

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

« » 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Вдосконалення циркуляційної масляної системи головного двигуна
MaK 7 M43 контейнеровозу «Maria Sibum»

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-23

Долгокер
(підпис)

Долгокер Є.В.

Керівник роботи:

проф. кафедри ЕМ, д.т.н., проф.
(прізвище, науковий ступень, вчене звання)

Білоус
(підпис)

Білоус Є.В.

Первомайськ - 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Представлений дипломний проект містить у собі 110 сторінок, 24 рисунки, 8 таблиць. При підготовці проекту було використано 20 джерел інформації.

У проекті виконане обґрунтування доцільності переведення головного двигуна контейнеровоза «Maria Sibum» на моторне масло нового покоління одержуване з використанням нанотехнологій. Розроблено пропозиції по модернізації масляної системи шляхом заміни штатних сепараторів на самоочисні повнопоточні фільтри.

Ключові слова: масляна система, самоочисний фільтр, регенерація масла

ABSTRACT

The diploma project includes 110 pages, 24 drawings, 8 tables. By project preparation 20 sources of the information have been used.

In the project the substantiation of expediency of transfer of the main engine of a ship for transportation of containers «Maria Sibum» on engine oil of new generation received with use of nano-technologies is executed. Offers on modernisation of oil system by replacement of regular separators by self-cleared filters of a full stream are developed.

Keywords: the oil system, the self-cleared filter, oil regeneration.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА, ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТА ДВИГУНА МаК 7М43С.....	6
1.1 Характеристика судна «Maria Sibum».....	6
1.2 Характеристика енергетичної установки.....	11
1.3 Аналіз конструктивних особливостей головного двигуна судна «Maria Sibum» типу МаК 7М43С.....	14
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА НА МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ З ПОКРАЩЕНИМИ ТРИБОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	36
2.1 Аналіз сучасних тенденцій розвитку масляних систем суднових середньообертових дизелів.....	36
2.2 Аналіз тенденцій у галузі розробки нових мастильних матеріалів для суднових дизелів фірми Castrol.....	41
2.3 Аналіз схемного рішення та конструктивних особливостей масляної системи дизеля М 43 С.....	44
2.4 Розрахунок робочого процесу двигуна з урахуванням покращених трибологічних властивостей циркуляційного масла.....	46
2.4.1 Процес впуску.....	51
2.4.2 Процес стиску.....	56
2.4.3 Процес згоряння.....	58
2.4.4 Процес розширення.....	61
2.4.5 Процес випуску.....	62
2.4.6 Індикаторні показники циклу.....	62

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Долгокерев Е.В.			Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Білоусов Е.В.								2	110
Реценз.		Дубовець А.І.									
Н. Контр.											
Затверд.		Нестеренко В.В.									

2.4.7 Ефективні показники двигуна.....	64
2.4.8 Уточнення основних розмірів двигуна.....	65
2.4.9 Побудова індикаторної діаграми.....	67
2.5 Аналіз результатів теплового розрахунку.....	71
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ МОТОРНИХ МАСЕЛ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ, ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЗМАЩЕННЯ.....	
3.1 Аналіз умов роботи масла в двигунах під час експлуатації.....	73
3.2 Розробка заходів щодо модернізації системи очищення масел.....	84
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	
4.1 Охорона праці.....	91
4.1.1 Нормативна та законодавча база охорони праці.....	91
4.1.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів у машинно-котельному відділенні судна при роботі з маслами.....	93
4.1.3 Заходи зі забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці на суднах при роботі з мастильними матеріалами.....	96
4.2 Розрахунок системи приточно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні.....	98
4.3 Охорона навколишнього середовища.....	100
ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	109

ВСТУП

Одним з важливих напрямків науково-технічного прогресу має бути радикальне поліпшення використання природних ресурсів, матеріалів, палива і енергії на всіх стадіях – від видобутку і комплексної переробки сировини до випуску і використання кінцевої продукції.

Особливо це актуально для суднової енергетики, як однієї з основних споживачів паливно-мастильних матеріалів (ПММ). Тому підвищення рівня експлуатації судових технічних засобів, збільшення ресурсу їх роботи є одним з найважливіших резервів економії палив і масел.

Дизель є основним типом двигуна, що використовується в суднової енергетичної установки (СЕУ), і в далекій перспективі збереже своє провідне місце для приводу суден. При цьому особливе місце займає використання в складі СЕУ тронкових дизелів середньої і підвищеної оборотності, які практично не поступаються по економічності малооборотних дизелям, але значно перевершують їх по габаритними показниками.

Тому значну роль у вирішенні проблеми економії і раціональному використанню паливно-енергетичних ресурсів відводять застосуванню високоефективних засобів і систем очищення палив і масел в дизелях цього типу. Скорочення споживання ПММ, в свою чергу, тісно пов'язано з поліпшенням їх якості і підвищенням ефективності використання. Велику роль при цьому відіграє розробка і широке застосування в системах змащення судових двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) високоефективних і перспективних засобів очищення моторних масел.

Дефіцит нафтової сировини, погіршення якості палива, а також все зростаючі вимоги до надійності і ресурсу роботи дизелів зумовили нові підвищені вимоги до якості очищення ПММ. Удосконалення засобів очищення моторних масел і палив в ДВЗ появою нових різноманітних конструкцій фільтрів і фільтруючих елементів, відцентрових маслоочисники,

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нових схем і систем дозволяють послабити вплив погіршення якості палива на економічні та ресурсні показники дизеля. Цей захід в значній мірі сприяє також зниженню зносу основних деталей і вузлів двигуна, поліпшення рівня його технічної експлуатації та зменшення трудомісткості обслуговування.

Важлива роль при цьому відводиться модернізації систем змащення, які обслуговують двигуни. Велике значення придбали заходи, спрямовані на підвищення ефективності агрегатів очищення, для гальмування старіння моторних масел, розробку перспективних його сортів. Від якості масла і ефективності засобів його очищення в значній мірі залежить ресурс і надійність судових дизелів, трудомісткість їх технічного обслуговування.

Метою кваліфікаційної роботи є розгляд можливості оптимального вибору циркуляційного масла для головного чотирьохтактного двигуна судна «Maria Sibum» та пов'язані з таким вибором зміни до масляної системи.

Задачі розв'язувані в роботі зводяться до наступного:

- проаналізувати склад та умови роботи СЕУ судна «Maria Sibum»;
- проаналізувати основні тенденції розвитку середньообертових судових дизелів фірми MaK і шляхи їхнього подальшого вдосконалювання;
- розробити комплекс заходів щодо оптимального вибору циркуляційного масла для головного двигуна судна;
- розробити заходи щодо модернізації масляної системи ГД та, зокрема, системи очищення масла від домішок;
- розробити заходи щодо охорони праці й підвищенню екологічних показників СЕУ.

Об'єктом розгляду в даній кваліфікаційній роботі є процеси що відбуваються в системі мащення головного двигуна, та їх вплив на ефективність його роботи.

Предметом розгляду в роботі є вирішення проблем пов'язаних з покращенням ефективності роботи дизельного двигуна за рахунок вдосконалення процесів мащення головного двигуна.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА, ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТА ДВИГУНА MaK 7M43C

1.1 Характеристика судна «Maria Sibum»

Теплохід «Maria Sibum» (IMO 9318929) – суховантажне судно призначене для перевезення контейнерів, генеральних і навалочних вантажів, включаючи вантаж на палетах, промислового обладнання, металоконструкцій, труб великого й дрібного діаметра, насипних вантажів, включаючи вугілля, руду, зерно, ліс, 20 й 40-футових контейнерів по стандартів ISO небезпечних вантажів класів 1-6, 8, 9 у трюмі №1, класів 4-6, 8, 9 у трюмах № 2 та № 3. Передбачена можливість перевезення 672 контейнерів, у тому числі 116 рефрижераторних контейнерів. У якості альтернативи 314 FEU та 32 TEU. Транспортування рефрижераторних контейнерів передбачено у кількості 36 у трюмах та 80 на верхній палубі.

Збудовано судно у 2004 році на верфі Yangfan Shipgroup м. Чжоушань (Zhoushan), Китайська народна республіка (China). Судно належить компанії Celito Shipping Co. Ltd. (Кіпр), та знаходиться в управлінні компанії Marlow Ship Management Deutschland GmbH & Co. KG, м. Гамбург (Hamburg), Німеччина. Судно являє собою одnogвинтовий, суховантажник, з трьома вантажними трюмами, системою балкхедов, з бульбоподібним носом. Система набору основного корпусу змішана. Друге дно розташоване між перебираннями форпіка й ахтерпіка. Повздовжній і поперечний набори палуб і платформ складаються зі збірних таврових профілів.

Судно спроектоване й побудоване на клас корпусу GL 100 A5 E NAV-OC Solas II-2, Reg. 19 C2P49 Container Ship + MC E AUT.

Судно ходить під прапором Антигуа и Барбуда (Antigua & Barbuda), порт припису судна Сент Джонс (St. John's).

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Теплохід «Maria Sibum»

Судно проектувалося й будувалося у відповідності з наступними правилами й конвенціями з доповненнями й виправленнями, що діють на день поставки:

Міжнародна конвенція по охороні людського життя на морі, 1974 р., включаючи протокол від 1978 р з виправленнями 1981, 1983, 1988-1990 р. (включаючи стосовні до перевезення зерна);

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Основні характеристики судна

Параметр	Значення
Номер ІМО	9318929
Позивний	V2BL2
Дедвейт судна	8200 т
GT/NT	6701 / 3557 т
Загальна довжина	132,60 м
Довжина між перпендикулярами	123,40 м
Ширина	19,20 м
Літнє осідання	7,20 м
Висота борту	9,20 м
Розмір трюму №1	25,20×16,00/13,24 м
Розмір трюму №2	25,20×16,00 м
Розмір трюму №3	25,20×16,00 м
Баластні води	3300 т
Прісна вода	110 т
Важке паливо	576 т
Легке паливо	213 т
Добова витрата палива ISO F RMG 380 близько	26,8 т
Головний двигун	MaK 7M 43C
Допоміжні двигуни	3×Volvo Penta 165A
Валагенератор	1200 кВт
Підрулюючий пристрій	385 кВт
Швидкість судна	17,5 вузлів
Час автономного плавання	25 діб/11380 миль

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міжнародна конвенція про вантажну марку 1966 р із протоколом від 1988 р.;

Міжнародні правила для попередження зіткнення суден у морі, 1972 р.;

Міжнародні правила по телекомунікаціях (Найробі 1982) і радіозв'язку (Женева 1982) з виправленнями від 1985 й 1986 р. з виправленнями у Фінальний Акт VAKR-PS-87 (Женева 1987);

Конвенція по запобіганню забруднення моря із суден 1973 р., включаючи Протокол від 1978 р.;

Міжнародна конвенція по обмірюванню суден 1969 р. з резолюцією ІМО А.494 (ХІІ);

Правила обмірювання й плавання суден по Суецькому каналові;

Правила обмірювання й плавання суден по Панамському каналові (с сертифікатом відповідності);

Наступні розділи Правил берегової охорони США для суден під іноземним прапором, 1972 р.: Глави 154, 155, 159;

Конвенція по захисту Балтійського моря, Гельсінкі, 1974 р. з доповненнями 1980 й 1981 років.

Остійність судна при всіх варіантах навантаження повністю відповідає вимогам ІМО для суден необмеженого району плавання.

Плавучість судна забезпечується відповідно до вимог ІМО – при затопленні одного відсіку.

Діаметр розвороту судна при повному ході вперед і куті повороту руля 350° дорівнює чотирьом довжинам корпусу судна.

Запобігання забруднення навколишнього середовища. Конструкція судових механізмів, устаткування, систем, корпусу відповідає вимогам Конвенції по Запобіганню Забруднення Моря Судами (МАРПОЛ 1973/1978), її додаткам №І (Нафта), IV (Стічні води) і V (Сміття).

Для запобігання забруднення моря нафторештками судно обладнане:

Цистерною трюмних вод для збору нафтовмісної води,

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сепаратором трюмних вод продуктивністю 5 м³ /годину.

Для запобігання забруднення моря стічними водами й відходами, судно оснащено:

- цистерною для збору побутових стічних вод;
- установкою обробки стічних вод.

Корпус. Конструкція, матеріали й міцність корпусу відповідають призначенню судна, навігаційним умовам й умовам використання. Основним матеріалом корпусу є високоміцні судові сталі.

Захист від корозії. Для захисту від корозії використовуються відповідні лакофарбові покриття в комбінації з катодним протекторним захистом.

Приміщення для екіпажа:

- 2 блоку-каюти з кабінетом, салоном, спальнею, санвузлом з ванною;
- 2 блок каюти з кабінетом, спальнею й санвузлом з душем;
- 7 одномісних кают із санвузлом та душем;
- 1 каюта для лоцмана із санвузлом.

Кермовий пристрій. Установлено одне підвішене кермо площею 43,6 м², що приводить у дію електрогідравлічною кермовою машиною. Кермова машина забезпечує перекладку керма з одного борту до іншого борту в продовж 28 секунд.

Пристрій, що підрулює, із гвинтом діаметром 1,55 м й потужністю 350 кВт. Керування – дистанційне з кермової рубки й крил містка.

Якірний пристрій. Судно оснащено 3 якорями Холу (один запасний) вагою 5060 кг кожний, й електричними швартовими лебідками із зусиллям 80 кН. Якірні ланцюги мають довжину 522,5 м, діаметром ланцюгів 50 мм.

Рятувальне встаткування:

- одна вільно-падаюча шлюпка на 15 чол.;
- одна рятувальна шлюпка на 6 чол.;
- один рятувальний пліт на 6 чол.;

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- необхідна кількість рятувальних кіл, жилетів, гідрокостюмів і т.д.

Люкові закриття. Люкові закриття верхньої палуби водонепроникні з гідравлічним приводом.

Загальносуднові системи. На судні передбачені наступні системи:

- водяна пожежна система;
- система вуглекислотного пожежогасіння машинного відділення, центрального посту керування, приміщення аварійного дизель-генератора, приміщення інсценізатора й т.п.;
- система піногасіння в машинному відділенні;
- система водораспилювання для трюмів;
- баластова система;
- система очищення трюмних вод;
- система повітряних і вимірювальних труб;
- система подачі прісної води для господарських потреб;
- система збору, очищення й видалення стічних вод;
- система загальсуднової вентиляції;
- система кондиціонування;
- система парового опалення й підігріву.

На судні є ящики охолоджувачі, для охолодження головного й допоміжних двигунів, захищені від обростання системою анодів.

1.2 Характеристика енергетичної установки

Силова установка складається з:

- одного двигуна з турбонаддувом, що працює через редуктор на гвинт регульованого кроку. Тип головного двигуна – MaK 7 M43C потужність – 6300 кВт з частотою обертання 500 хв^{-1} ;
- трьох дизель-генераторів потужністю 360 кВт кожний при частоті обертання з приводом від дизелів Volvo Penta Tamd 165A з частотою обертання 1800 хв^{-1} ;

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

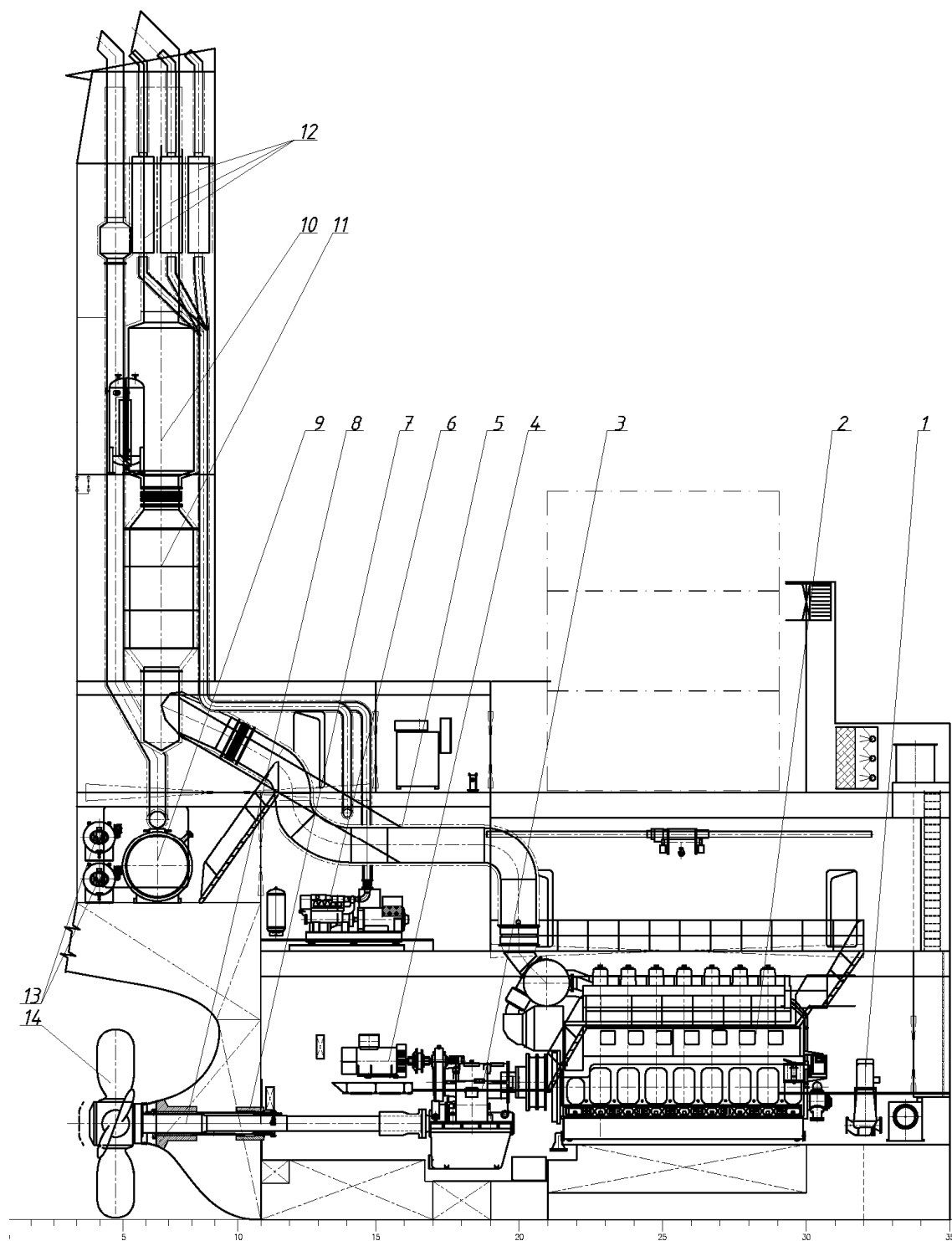


Рисунок 1.2 – Загальне розміщення обладнання у машинному відділенні судна «Maria Sibum»: 1 – насос забортного контуру охолодження; 2 – головний двигун; 3 – головний редуктор; 4 – валогенератор; 5 – газовод головного двигуна; 6 – дизель-генератор; 7 – дейдвудна труба; 8 – валопровід; 9 – паровий котел; 10 – утилізаційний котел; 11 – іскрогасник головного двигуна; 12 – іскрогасники дизель-генераторів; 13 – повітряні ресивери; 14 – гвинт

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- одного аварійного дизель-генератора потужністю 410 кВт;
- валогенератору потужністю 1200 кВт;
- комбінованого допоміжного котла, продуктивністю 1,25 т/год.;
- утилізаційного котла продуктивністю 0,8 т/год.;
- двох опріснювальних установок продуктивністю 2,3 т/добу кожна.

Головний двигун, дизель-генератори, казан працюють на важкому паливі в'язкістю до 360 сСт при 500°C и дизельному паливі з температурою спалаху не менш 61°C.

Аварійний дизель-генератор використовує морське дизельне паливо.

Витрата палива МаК 7М 43С – 177 г/(кВт×год.).

На судні є наступні системи обслуговування силової установки:

- система подачі палива;
- система мастила;
- система водяного охолодження;
- система газовихлопу;
- система пускового повітря;
- система вентиляції машинного відділення.

Для ремонту й переміщення важких частин й їхнього вивантаження з МО є наступні вантажопідйомні механізми:

- кран МО в/п 2,5 т;
- один електричний тельфер в/п 1,0 т;
- п'ять ручних талів в/п 1,0 т.

Валопровід складається із гребного й проміжного валів. Головний упорний підшипник убудований у головний редуктор. Дейдвудний пристрій – з масляним охолодженням і змащенням, підшипником з білого металу.

Гвинт регульованого кроку – чотирьохлопастний, виконано з бронзового сплаву, діаметр гвинта 3,8 м.

Дані головної енергетичної установки:

Потужність (N_e)..... 6300 кВт

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота обертання (n).....	500 хв ⁻¹
Довжина дизеля (L).....	8981 мм
Ширина дизеля (B).....	2878 мм
Висота дизеля (H).....	5590 мм
Діаметр циліндра (D).....	430 мм
Хід поршня (S).....	610 мм

1.3 Аналіз конструктивних особливостей головного двигуна судна «Maria Sibum» типу MaK 7M43C

Головний двигун сконструйовано для роботи на важкому паливі з в'язкістю до 700 сСт при 50 °С.

Двигуни MaK мають високі показники надійності й моторесурса. Про це свідчать нижче наведені дані (табл. 1.2).

З машини цього ряду (рис. 1.3) починаючи з 1992 року фірма перейшла на довгоходові двигуни з $S/D = 1,41$ (рис. 1.4).

Таблиця 1.2 – Ресурс окремих елементів конструкції двигуна M43C

Компонент	Час між перебираннями × 1000 год.	Термін служби × 1000 год.
Головка поршня	30	90
Поршневі кільця	-	30
Втулка	-	60
Кришка циліндра	15	-
Впускний клапан	15	30
Випускний клапан	15	30
Розпилювач	-	8
Плунжерна пара	-	15
Рамовий підшипник	-	30
Мотильовий підшипник	-	30

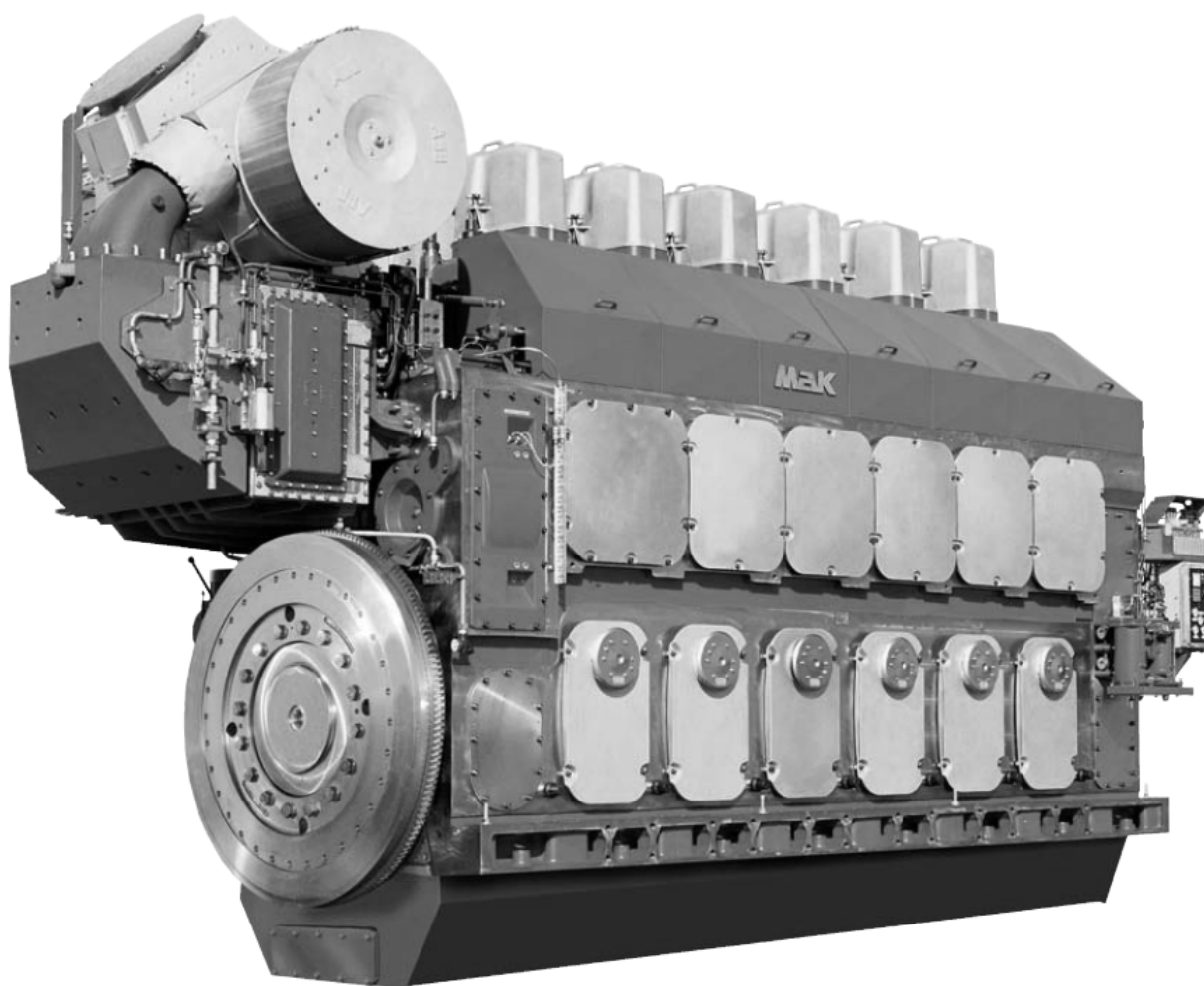


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд чотиритактного суднового середньообертового дизельного двигуна типу MaK 6M43C зі сторони турбокомпресору

Дизель забезпечує тривалу роботу при наступних умовах:

- температура навколишнього повітря, К (°С) 278...318 (5...45);
- відносна вологість, %, при:
 - 298 К 98%;
 - 318 К 75%;
- температура охолоджуючої води, К (°С) до 318 (до 45);
- протитиск на випуску 3,92 кПа (400 мм в.ст.).

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

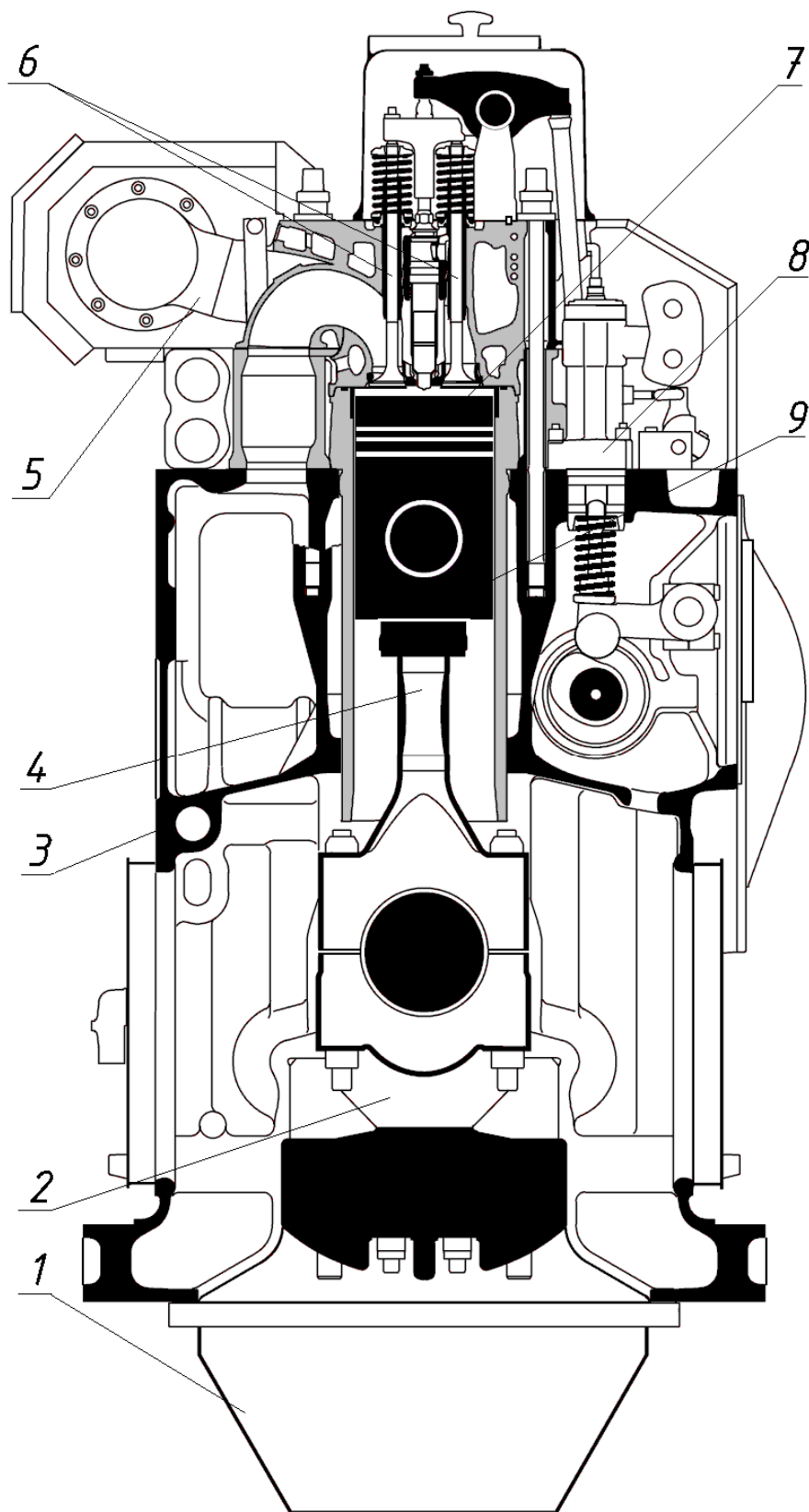


Рисунок 1.4 – Дизель МаК М43С у перетині: 1 – піддон картеру; 2 – колінчастий вал; 3 – остов двигуна; 4 – шатун; 5 – впускний колектор; 6 – клапана; 7 – поршень; 8 – ПНВТ; 9 – гільза циліндру

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 1.3 – Основні характеристики двигуна MaK 7M 43 C

Параметр	Значення
- марка двигуна	7M43C;
- діаметр циліндру, см	43;
- хід поршню, см	61;
номінальна потужність двигуна по ISO 3046/1, кВт	6300;
- максимальна потужність протягом однієї години безупинної роботи, кВт	6900;
- номінальна частота обертання, хв ⁻¹	500;
- мінімальна частота обертання, хв ⁻¹	165;
- питома витрата палива при витраті на дизельному й моторному паливі:	
$n = \text{const}$ 100 %, г/(кВт×год.)	177;
85 %, г/(кВт×год.)	177;
75 %, г/(кВт×год.)	179;
50 %, г/(кВт×год.)	185;
- середній ефективний тиск, МПа	2,44;
- тиск наддування, МПа	0,38;
- тиск вихлопу, МПа	0,21;
- годинна витрата палива, кг/год.	1115;
- годинна витрата повітря, м ² /год.	39100;
- питома витрата циркуляційного мастила на чад при роботі на дизельному або моторному паливі, г/(кВт×год.).	1,45;
- напрямок обертання вала	праве;
- призначений ресурс, год.:	
безупинної роботи	750;

Продовження таблиці 1.3.

- до перебирання:	
при роботі на дизельному паливі	15000;
при роботі на моторному паливі	10000;
- до капітального ремонту:	
- при роботі на дизельному паливі	60000;
- при роботі на моторному паливі	40000;
- термін служби до списання двигуна, років	20;
- маса дизеля повна, кг	23000;
- маса дизеля суха, кг	21950;
- емісія NO_x , г/(кВт×год.)	10;
- марка турбокомпресора	ABB A165.

Остів двигуна являє собою монолітний, чавунний, сухий блок-картер (рис. 1.5). Цільна станина двигуна виготовлені із чавуну. Вона містить у собі підшипник колінчатого вала, підшипник розподільного вала, ресивер наддувочного повітря. На верхню площину блоку встановлюється висока сорочка циліндра, зверху на неї опирається кришка циліндра й між ними утворена порожнина охолодження, з неї охолоджуюча вода переходить в кришку, а частина води (до кришки) відбирається на охолодження ГТК. В останній модифікації турбокомпресор не проохолоджується, що виключає можливість корозії його корпусу.

На лівій стороні остова розміщені: розподільний вал, паливні насоси високого тиску (ПНВТ), привод впускних і випускних клапанів, механізм регулювання подачі палива і тяга з засувкою механізму безпеки.

На правій стороні дизеля розміщена: магістраль подачі охолодної води в засорочковий простір втулок циліндрів, головна повітряна магістраль, трубки підведення повітря до випускних клапанів кришок циліндрів,

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

запобіжні противибухові клапани, аварійний стоп-пристрій.

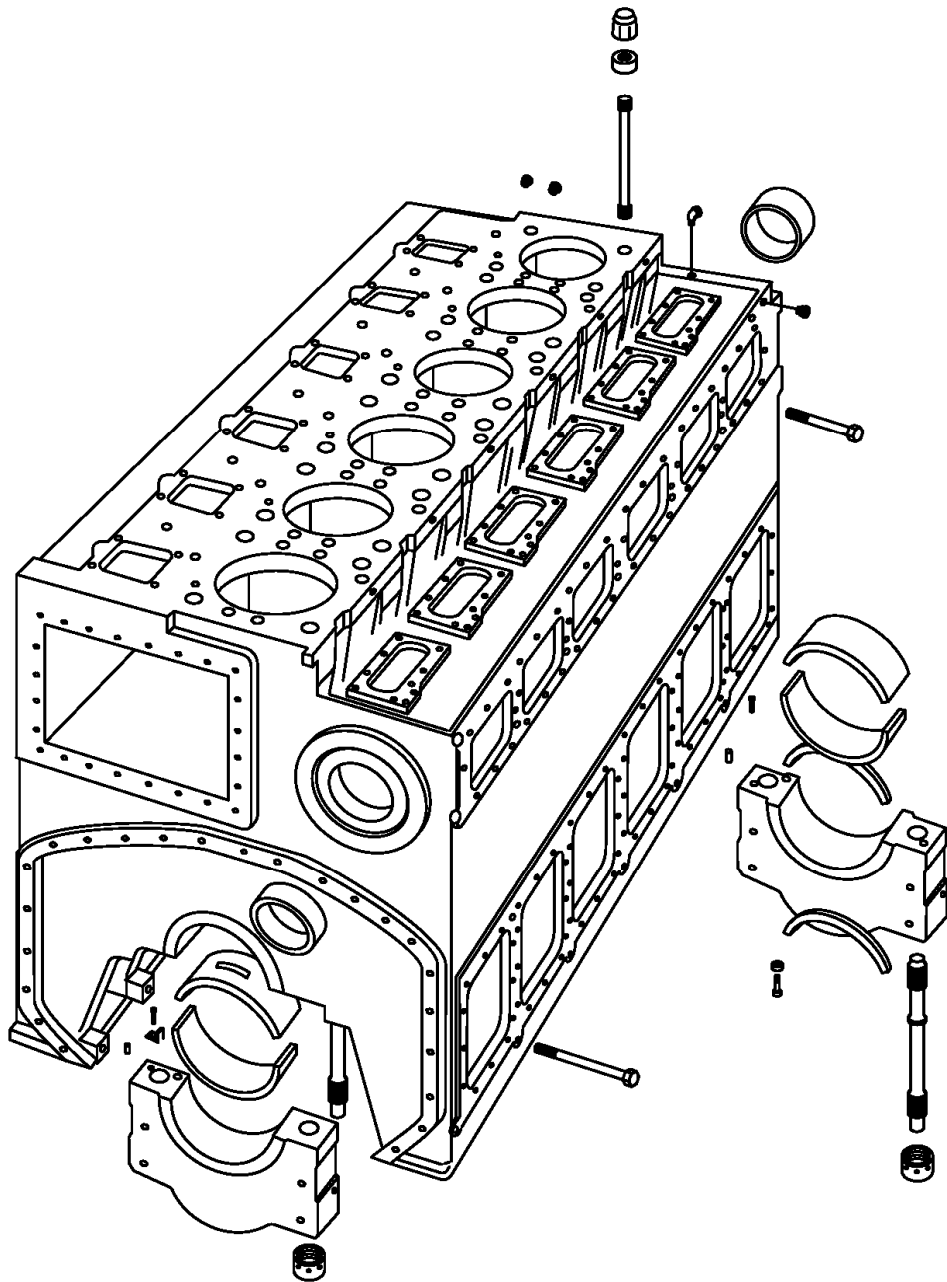


Рисунок 1.5 – Остів двигуна MaK M 43C

З боку розподілу по всій довжині блоку мається горизонтальна полиця, на якій установлені паливні насоси з приводами і корпуса штовхальників впускних і випускних клапанів. У порожнині під полицею розташовані

підшипники розподільного валу, один із яких (з боку маховика) – упорний. Порожнина закрыта кришками. Для доступу до механізму руху і рамних підшипників у нижній частині блоку по обидва боки передбачені люки, закриті кришками. На кришках з боку випуску передбачені запобіжні клапани. У верхній частині блоку укрупнені шпильки для кріплення кришок робочих циліндрів. Верхня частина сторін блоків закрыта щитами.

Втулка циліндра, відлита з чавуна, вставна. Нижній кінець втулки не закріплений, і вона вільно подовжується при нагріванні під час роботи двигуна. Основні габарити втулки циліндра показано на рис 1.6.

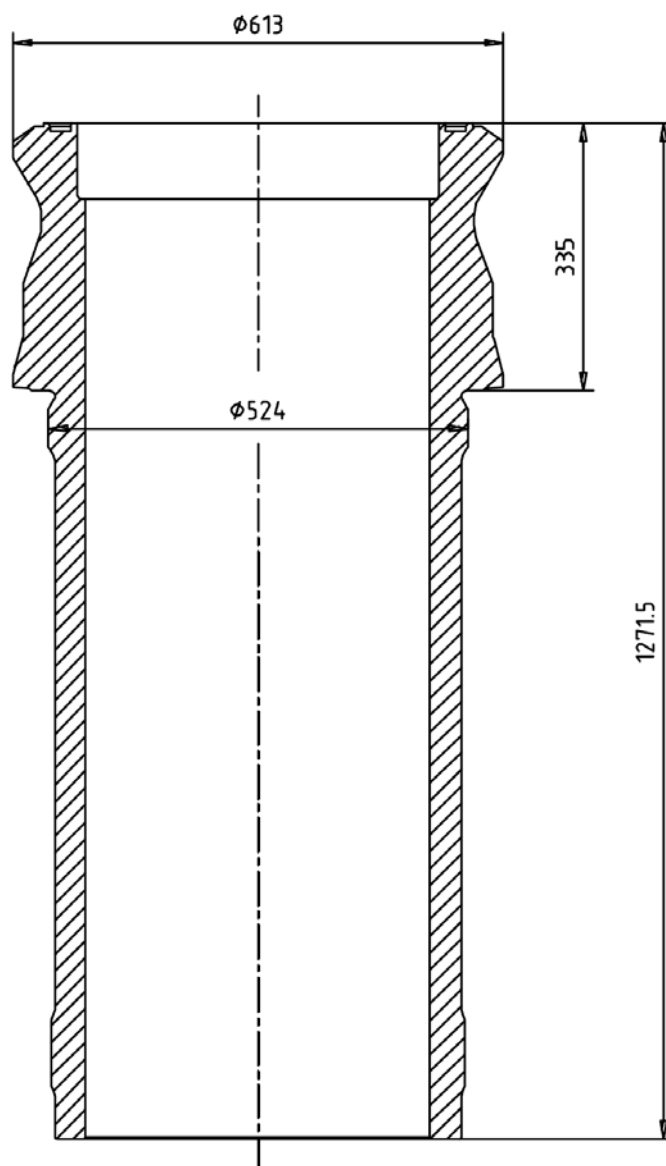


Рисунок 1.6 – Втулка циліндра двигуна МаК М 43 С та її основні габарити

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

У верхню частину втулки встановлюється антиполірувальне кільце. Під час роботи двигуна втулки змазуються маслом, що закидається на дзеркало усередині циліндра обертовим колінчастим валом. Для кращого приробляння на початку роботи двигуна внутрішня поверхня втулки азотована, термін служби – 60 тис. годин.

Колінчатий вал і рамові підшипники. Цільнокутий колінчатий вал підвішений у підвісних підшипниках з навішеними противагами й відбором потужності на споживачі із заднього фланця (від першого циліндра), і відбором потужності на привод допоміжних механізмів з переднього носка валу (рис. 1.7).

На передньому торці валу є зубчасте колесо для приводу масляного та водяного насосів.

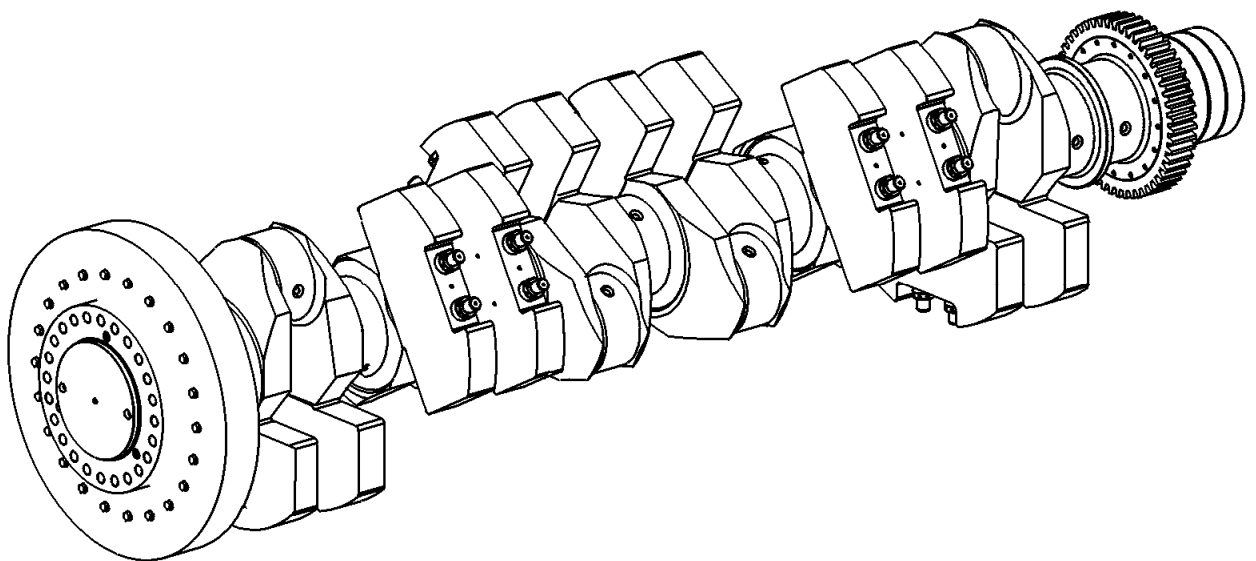


Рисунок 1.7 – Колінчатий вал двигуна М 43С

Для досягнення прийнятного рівня тиску в підшипниках і вібрації колінчатий вал обладнаний противагами, які закріплені до колінчатого вала на шпильках (рис. 1.8).

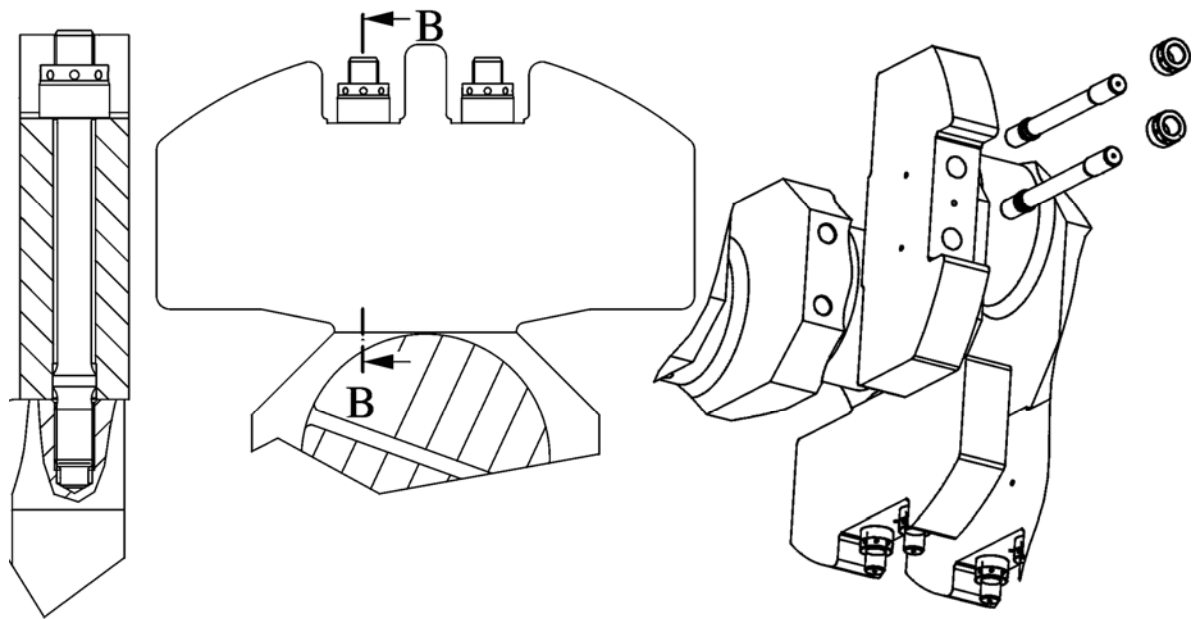


Рисунок 1.8 – Кріплення противаг до колінчатого вала на шпильках

Вкладиші мотилевих підшипників тонкостінні, двох- або тришарові, застосовуються також підшипники канавкового типу. З метою полегшення приробітки підшипників і захисту шийок вала від задирів, які можуть виникати від можливих неспіввісностей при його укладанні, а також невеликих деформацій вала й фундаментної рами при роботі фірма прибігає до електролітичного покриття вкладишів м'яким цинком або оловом, товщиною трохи тисячних міліметра. Термін служби підшипників – 30 тис. годин.

Рамові підшипники триміталічного типу, покриті пріпрацьовочним шаром. Масло в рамові підшипники подається по свердліннях у кістяку двигуна. З рамових підшипників масло проходить по свердліннях у колінчатому валу до мотильових підшипників, а відтіля через канали в шатунах на змащення поршневих пальців й охолодження поршнів.

Розподільний вал складовй, складається із секцій по числу циліндрів, що істотно спрощує його демонтаж і заміну окремих секцій (рис. 1.9). Усі кулачки на розподільному валу розташовані у визначеній послідовності в залежності від порядку роботи циліндрів. Розподільний вал розміщений в

станині двигуна. На стороні випуску, у самому верхньому положенні, що забезпечує жорсткість приводу клапанів й зменшення рухливих мас. Вал й регулятор приводяться зубчастою передачею, що розміщена в районі маховика двигуна. Він обертаються із частотою обертання у два рази меншої, чим колінчатий вал.

Розподільний вал розміщено у втулках підшипника, які встановлені в розточеннях станини двигуна; кожен підшипник є замінним і стопориться в положенні в станині двигуна за допомогою стопорного болта.

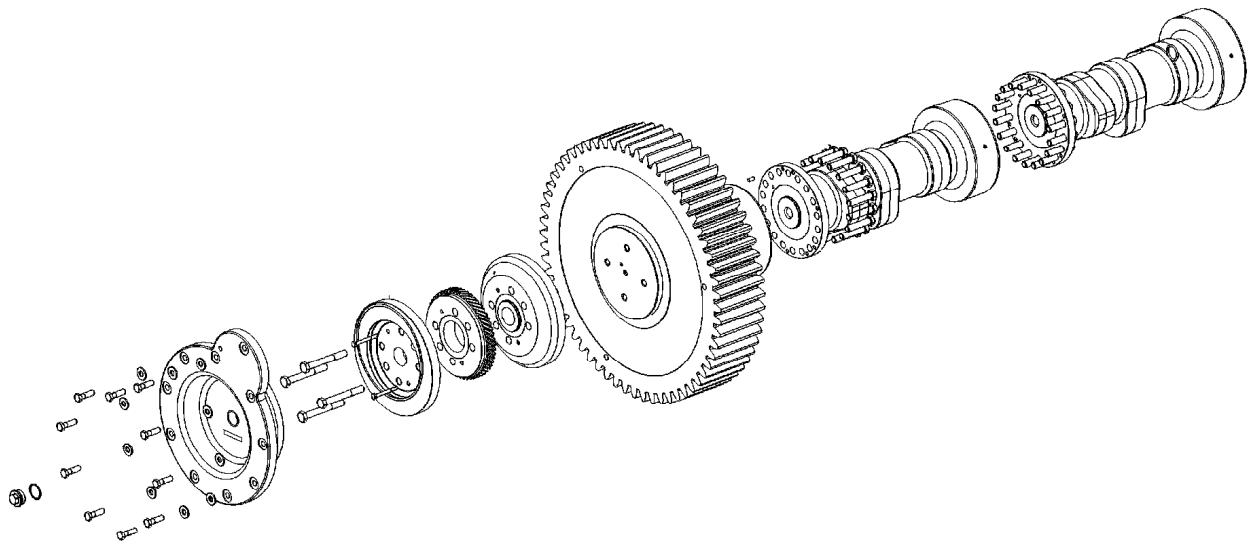


Рисунок 1.9 – розподільчий вал двигуна М 43С

Поршень охолоджуваний, складовий з формою днища типу «Гессельман». Спідниця відлита з чавуна, а днище з хром-ванадієвої сталі (рис. 1.10). У головці розташовуються два компресійних й одне маслоснімальне кільця.

Завдяки використанню компресійних кілець із різними бочкоподібними перетинами й хромованими робочими поверхнями, комплект поршневих кілець оптимізоване для забезпечення максимальної щільності й мінімального зношування.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

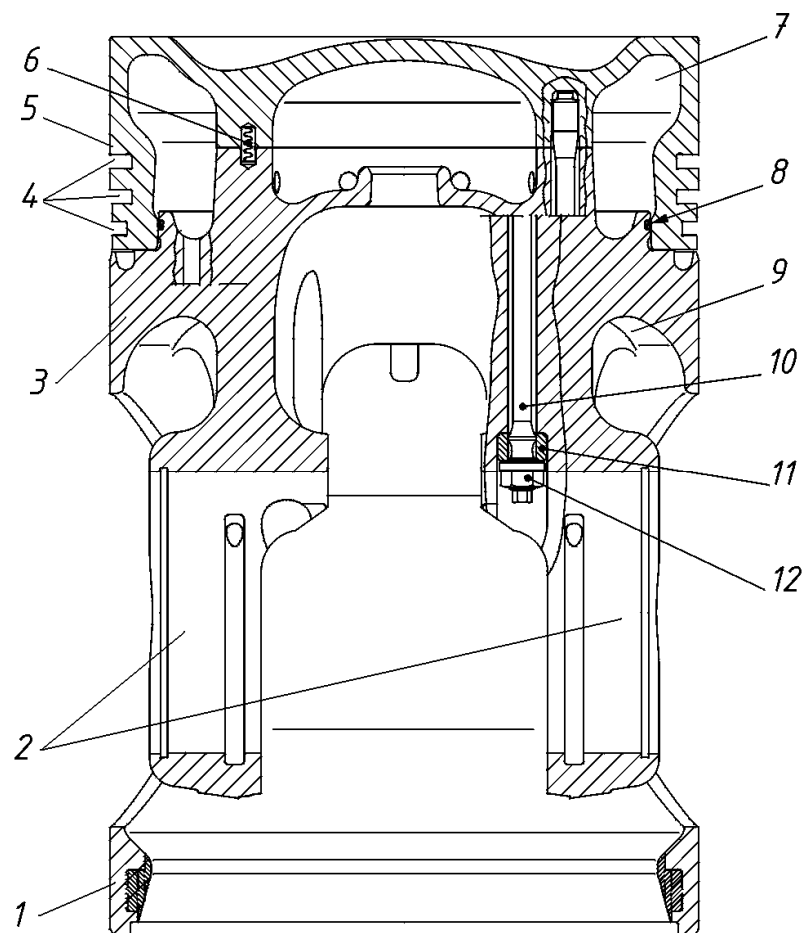


Рисунок 1.10 – Поршень двигуна MaK M43C: 1 – шпindel; 2 – бобишкі; 3 – тіло поршня; 4 – кепи; 5 – днище поршня; 6 – штифт; 7 – охолоджувальна порожнина; 8 – ущільнюючі кільця; 9 – масляні кармани; 10 – бовти кріплення; 11 – дистанційна втулка; 12 – гайка

Канавка першого кільця для підвищення зносостійкості зміцнена. На робочу поверхню кільця нанесене протизносне наплавлення. Термін служби кілець досягає 30 тис. годин.

У головці й у зоні поршневих кілець поршня розташована порожнина охолоджувального масла. Теплопередача й, отже, охолодження засновані на ефекті збовтування, що виникає при русі поршня. Як охолодне масло використається масло системи змащення двигуна. Масло із шатунної шийки через масловідводні канали попадає до поршневого пальця. Через отвір у середній частині пальця масло надходить у порожнину між внутрішньою

поверхнею трубки, вставленої усередину пальця, а потім через отвори, що мають на кінцях пальця й у бобишках поршня. Надлишки масла через спеціальну трубку зливаються в картер. Зріз зливної трубки розташований на рівні першого ущільнювального кільця. Прохідний перетин трубки зливу в три рази перевищує сумарний прохідний перетин двох маслоподаючих каналів у поршні.

Шатун сталевий, круглого перетину, нижня головка з прямим розніманням (рис. 1.11).

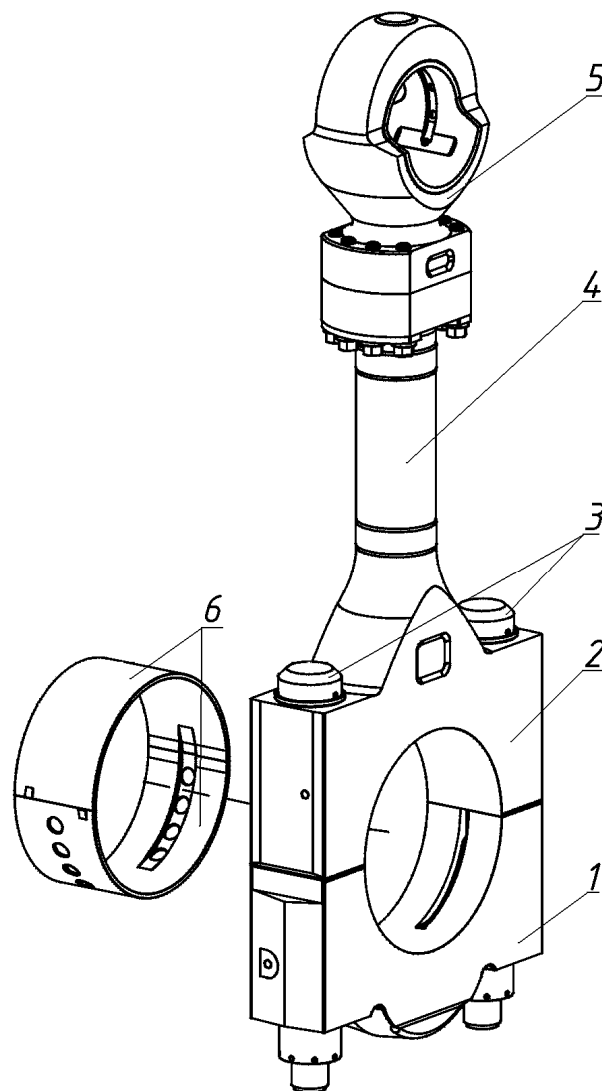


Рисунок 1.11 – Шатун двигуна МаК 6М43С: 1 – кришка нижньої головки шатуна; 2 – тіло шатуна; 3 – болти кріплення; 4 – стержень шатуна; 5 – верхня головка шатуна; 6 – підшипники нижньої головки шатуна

Стрижень шатуна круглого перетину, має в центрі канали, по яких мастило надходить із шатунного підшипника в головний. Верхня головка шатуна виконується раземною, для покращення умов монтажу (рис. 1.11).

У нижній голівці шатуна розташовані тонкостінні сталєбабітові вкладиші шатунного підшипника. На внутрішній поверхні нижнього та верхнього вкладиша мається кільцева проточка яка має по краях – свердління для забезпечення безперебійного надходження масла до головного підшипника.

Кришка шатунного підшипника кріпиться до стрижня шатуна двома шатунними болтами. Шатунні болти виготовлені з високоміцної високолегованої сталі. Циліндричні гайки шатунних болтів після затягування стопоряться від мимовільного розкручування. Гайки повинні затягуватися рівномірно за допомогою гідравлічного пристосування до подовження болтів у заданих межах.

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

Масло з каналу в стрижні шатуна надходить у кільцеву канавку в голівці шатуна, а потім через отвір втулки – у напівкільцеву канавку і до поршневого пальця.

Кришка циліндра суцільнолита, окрема для кожного циліндра. Виготовляється з високоміцного чавуну. У головці передбачені розточення для установки чотирьох клапанів (двох впускних та двох випускних) і форсунки. Загальний вигляд кришки показаний на рис. 1.12.

Кришка кріпиться до блок – картеру шістьма шпильками, що при зборці затягуються в за допомогою гідродомкратів. На днище кришки мається борт, що входить у проточку на втулці циліндра при зборці. Під борт для ущільнення камери згоряння ставиться стальна прокладка

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

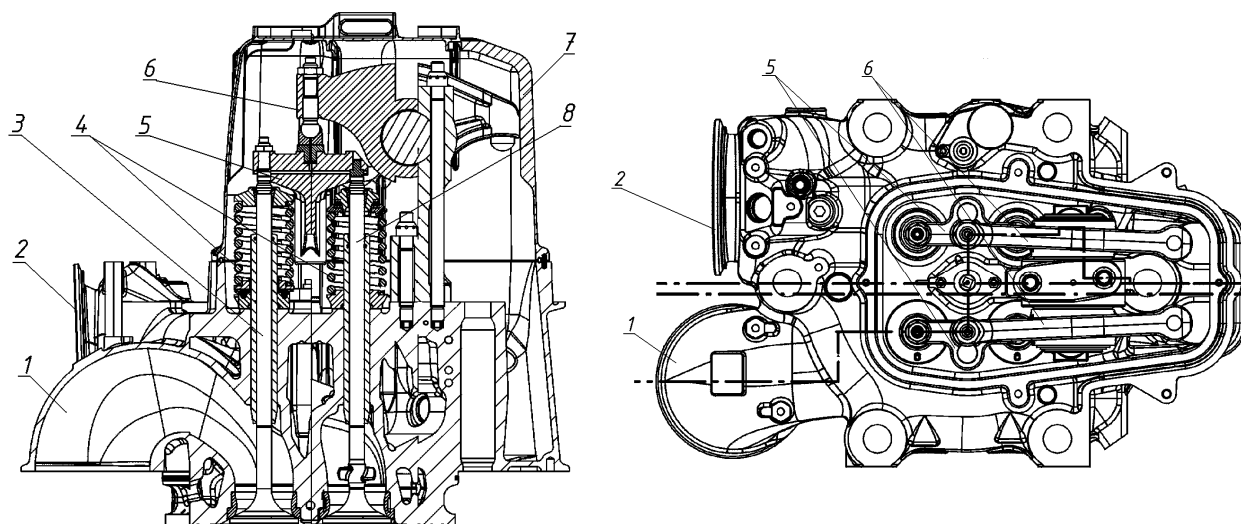


Рисунок 1.12 – Кришка циліндра двигуна М 43С: 1 – впускний колектор; 2 – випускний колектор; 3 – впускний клапан; 4 – клапанні пружини; 5 – траверси клапанів; 6 – коромисла; 7 – кришка клапанної коробки; 8 – випускний клапан

У центрі кришки розташована форсунка, що кріпиться двома шпильками і фланцем (рис. 1.13).

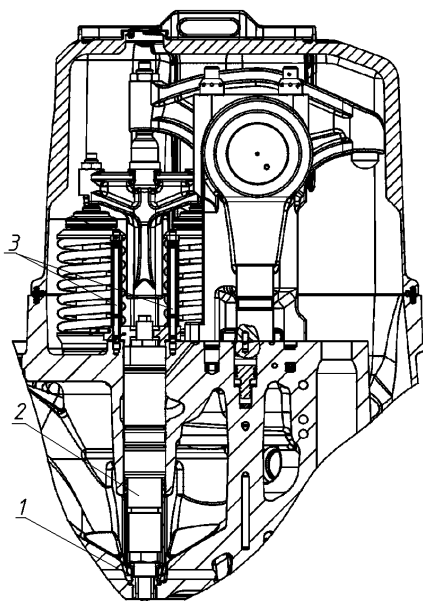


Рисунок 1.13 – Кріплення форсунки у кришці циліндра: 1 – мідна прокладка; 2 – форсунка; 3 – шпильки кріплення форсунки

Для ущільнення торцевих поверхонь між форсункою і кришкою ставиться мідна прокладка.

На кришці з боку випуску розміщений пусковий клапан, з боку впуску – запобіжний. На кришці розміщений запобіжний клапан, на вільному кінці якого мається різьблення для приєднання клапанного пристрою для визначення максимального тиску в циліндрі. Водяна порожнина кришки розділена горизонтальною перегородкою на дві частини. Охолодна вода надходить із блоку-картера по переливних трубах у нижню порожнину охолодження кришки, омиває і через два отвори в перегородці, розташованих у зоні каналу для форсунки, надходить у верхню порожнину, відкіля по переливних раковинах – у трубу, що відводить. Раковина до труби, що відводить, приєднується фланцем і ущільнюється гумовим кільцем.

Для очищення водяної порожнини кришки передбачені люки, закриті кришками. На верхній порожнині кришки маютьься канавки, по яких паливо, що потрапило на кришку, та мастило видаляється в дренажну систему.

Паливна система.

Паливна апаратура, включає паливні насоси, форсунки і трубки високого тиску, ретельно закриті знімними кришками.

Паливна форсунка штангового типу, розташована у втулці в центральному отворі кришки циліндра. Відкриття форсунки регулюється тиском палива, а закривається вона під дією пружини (рис. 1.14). Тиск підриву голчатого клапану форсунки – 46,5 МПа. Термін служби розпилювачів становить 8 тис. годин.

Форсунки дизелів фірми МаК обладнуються многодирчастими розпилювачами яки охолоджуються маслом, що поступає зі спеціальної системи масляного охолодження.

Трубка високого тиску, проведена через свердління в кришці циліндра, закрита захисною трубкою. Притискання трубок до посадкових гнізд здійснюється за допомогою різьбових пробок.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

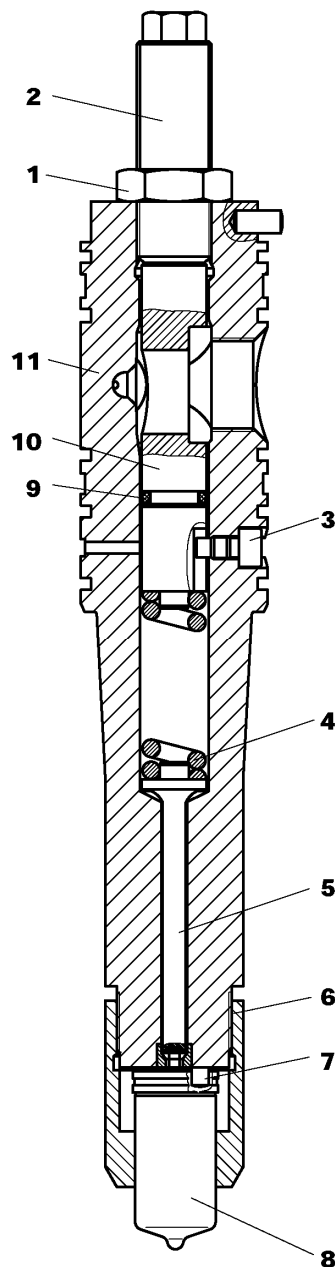


Рисунок 1.14 – Штатна форсунка дизеля МаК М43С охолоджувана маслом: 1 – контргайка; 2 – регулювальний стакан; 3 – підведення палива; 4 – пружина; 5 – шток; 6 – накидна гайка; 7 – проставка; 8 – розпилювач; 9 – гумове ущільнювальне кільце; 10 – упор з порожниною охолодження; 11 – корпус

Захисна трубка використовується також як зливний канал для видалення всіх витоків від форсунки й трубки високого тиску (у випадку появи свищу).

Паливний насос високого тиску золотникового типу фірми Бош (рис. 1.15), з регулюванням по кінцю подачі встановлюється на станині двигуна.

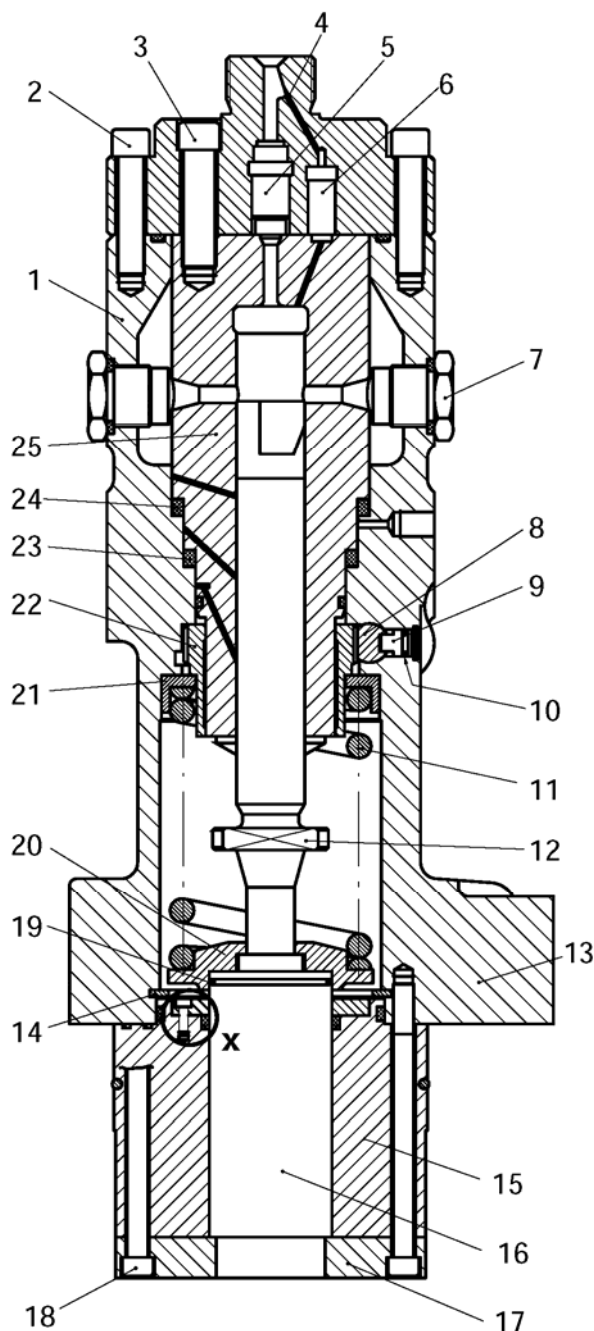


Рисунок 1.15 – ПНВТ дизеля М 43С: 1 – корпус; 2, 3, 18 – болти кріплення; 4 – байпасний канал; 5 – зворотний клапан; 6 – байпасная порожнина; 7 – контрольні пробки з дифузіоним компенсатором; 8 – зубчастий сектор; 9 – рейка; 10 – напрямна; 11 – зворотна пружина; 12 – плунжер; 13 – привалочный фланець; 14 – ущільнення; 15 – напрямна; 16 – упор; 17 – фланець; 19 – регулювальна шайба; 20 – нижня тарілка; 21 – верхня тарілка; 22, 23, 24 – ущільнення

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

ПНВТ складається з корпуса насоса, що включає в себе штовхач, центральне розташовану плунжерну пару (втулку та плунжер). Насос приводиться в дію паливним кулачком; кількість палива що подається регулюється поворотом плунжера.

Привод плунжера ПНВТ здійснюється через важіль із роликом (рис. 1.16), що сидить на осі з ексцентриком, поворот якої механічно пов'язаний з тягою керування подачею палива.

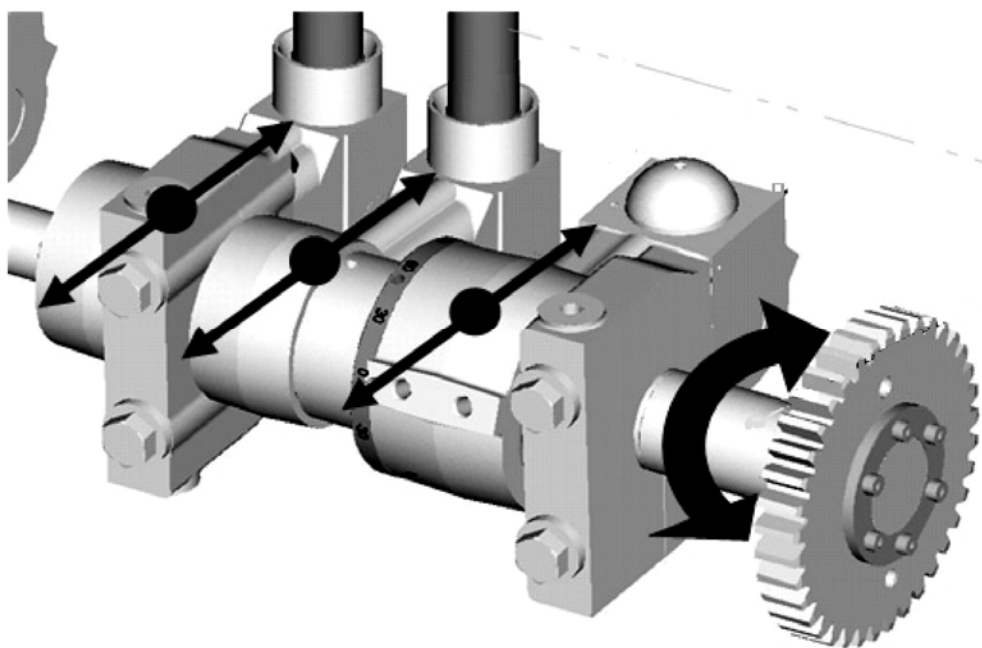


Рисунок 1.16 – Механізм привода ПНВТ і клапанів дизеля М 43С

Поворот ексцентрикової осі викликає поздовжнє переміщення ролика важеля щодо паливного кулака. Переміщення в назустріч обертання кулака приводить до більше раннього початку подачі палива, переміщення в протилежну сторону – викликає більше пізніше початок подачі.

Завдяки допоміжним насосам, підігрів палива в ПНВТ і форсунках здійснюється, навіть на стоянці двигуна, тому переходити на дизельне паливо на маневри й після зупинки двигуна, немає необхідності, за винятком, якщо будуть проводитися ремонтні роботи двигуна.

Паливна система містить у собі два розхідні танки для важкого палива й один для дизельного, два взаємозамінні топливнагнітальних насоса, два споміжних насоса палива, що забезпечують циркуляцію, паливопідігрівник з в'язкозиметром, забезпечує підігрів палива до робочої температури.

Два паливні розхідні танки, призначені для переходу двигуна з високосернистого палива на низкосернисте, і навпаки. Це дуже зручно, при вході або виході в обмежені МАРПОЛ райони плавання.

Турбонаддув (рис. 1.17) раніше був організований за імпульсною схемою, у двигунах нового покоління фірма перейшла на наддування при $p = \text{const}$. Тиск наддування на режимі повної потужності становить 0,325 МПа, температура повітря за повітроохолоджувачем 45°C.

Газотурбонагнітач (ГТН) представляє собою агрегат наддуву із одноступінчастою осьовою турбіною й одноступінчастим радіальним компресором, що змонтовані на одній осі.

Ротор опирається на два плаваючі підшипники ковзання, розташовані усередині. Від провертання підшипники фіксуються за допомогою гвинтових штифтів. Від осьового переміщення вал фіксується за допомогою упорного підшипника виконаного у вигляді двох шайб між якими розташовано упорний бурт валу ротора.

Колесо турбіни, що становить єдине ціле з валом, і колесо компресора встановлені на валу. Компресор з одним вихідним патрубком. Глушитель або кожух встановлено на вході повітря.

Система змащення підшипників ГТН, об'єднана з масляною системою двигуна. ГТН не охолоджується водою.

Відзначені конструктивні зміни дозволили істотно спростити й скоротити операції по технічному обслуговуванню й ремонту двигунів.

Усі операції з технічного обслуговування та ремонту можуть бути виконані силами машинної команди, або спеціального ремонтного підприємстві. Перебирання виконуються під час зупинок судна.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

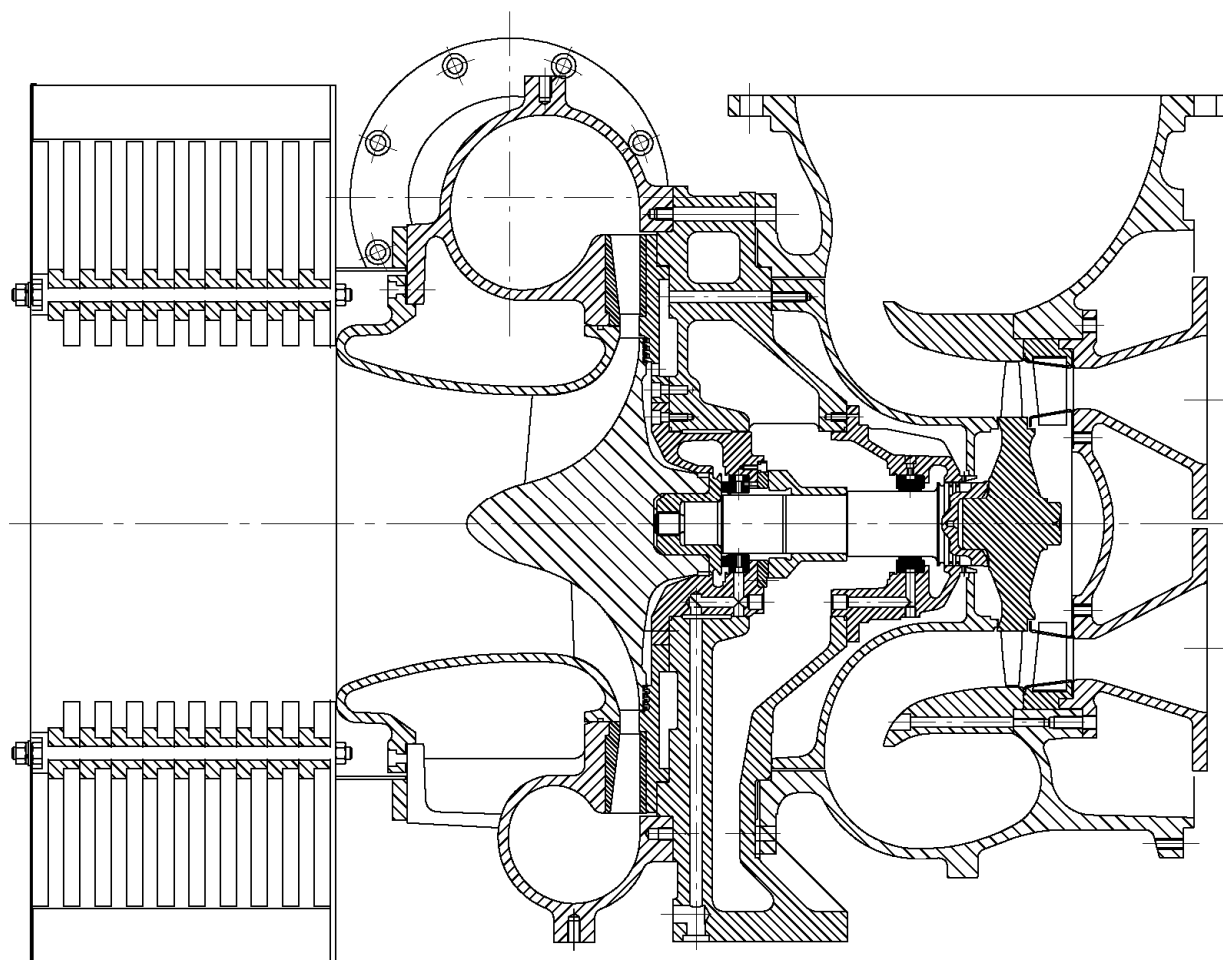


Рисунок 1.17 – Турбокомпресор дизеля М 43С

Система охолоджувальної води двоконтурна. Складається з високої й низькотемпературного контуру. Вода кожного контуру прооходжується в ящиковому охолоджувачі розташованому за бортом судна в спеціальних вигорodkaх (бокс-куллери). Водою низькотемпературного контуру охолоджується перший рівень охолоджувача наддувочного повітря, пластинчастий охолоджувач масла головного двигуна, масляний охолоджувач редуктора обертів і масло гвинта регульованого кроку. Після чого нагріта вода відправляється через терморегулюючий клапан у ящиковий охолоджувач. За допомогою води високотемпературного контуру видаляється тепло від другого рівня охолоджувача надувального повітря, далі охолоджується засорчковий простір, головка циліндра. Далі нагріта

вода рухається через терморегулюючий клапан у ящиковий охолоджувач.

Циркуляція води здійснюється відцентровими насосами, навішеними на двигун. Так само є резервний насос з електричним приводом для високотемпературного контуру й насос з електричним приводом що вводиться в дію при виході з ладу основного насоса.

Вода низкою й високою температурою виходить із двигуна через окремі триходові термостатичні клапани (терморегулятори), які регулюють температуру води.

Система стислого повітря. Система стислого повітря двигуна складається із систем пуску, керування пуском і захисту.

Стиснене повітря надходить із балонів пускового повітря під тиском 1,7 МПа через редукційну станцію, звідки воно надходить до двигуна.

Для запобігання влучення шламу в систему на повітропроводі до двигуна встановлюється шламовіділювач із дренажним клапаном.

Система пуску. Двигун запускається за допомогою стиснутого повітря, яке подається через головний розподільний клапан до направляючих паливних насосів на яких виконано золотникові кромки за допомогою яких повітря розподіляється по циліндрах за порядком їх роботи. У циліндр повітря поступає через пусковий клапан з центральної повітряної магістралі двигуна.

Система керування. Керування повітряного стартера – електричне, соленоїдним пневматичним клапаном. Клапан може бути задіяний вручну з місцевого поста (пускового блоку) на двигуні й він може бути пристосований для дистанційного, автоматичного або ручного керування.

При дистанційному включенні котушка пуску приєднується так, що кожен пусковий сигнал на пускову котушку надходить у пристрій блокування, з'єднаний з базовим модулем, встановленим на двигуні.

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

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система захисту. Як правило, двигун обладнаний пневматичним або механічним стоп-циліндром, що починає діяти по сигналові від системи захисту (при спрацьовуванні). Система захисту електрична.

Якщо при роботі двигуна подача повітря не припинена, стоп-циліндр захисту виведений з дії.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА НА МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ З ПОКРАЩЕНИМИ ТРИБОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

2.1 Аналіз сучасних тенденцій розвитку масляних систем судових середньообертових дизелів

Згідно стратегії підвищення ефективності основних видів морської діяльності та, зокрема, посилення заходів щодо забезпечення безпеки мореплавства. Слід особливо відзначити, що Міжнародна морська організація (ІМО) в даний час послідовно рішає задачі підвищення безпеки мореплавства. Одним із пріоритетних напрямків її діяльності в цьому напрямку є Міжнародний кодекс з управління безпекою (МКУБ).

Аналіз невідповідностей по МКУБ показує, що найбільший їх відсоток припадає на категорію «технічне обслуговування та ремонт судна і обладнання». При цьому основна частка порушень пов'язана з головними і допоміжними двигунами морських суден. Головні і допоміжні судові дизеля відносяться до найбільш складних об'єктів. У той же час безпеку експлуатації суден в першу чергу залежить від надійності їх функціонування.

Поглиблення переробки нафти супроводжується погіршенням якості товарних палив, що призводить до зниження надійності роботи і ресурсних показників СДВЗ при їх експлуатації на продуктах крекінг-процесу. При цьому збільшується інтенсивність старіння моторного масла, забруднення дизелів вуглецевими відкладеннями і швидкість зношування їх основних деталей.

Пристосування ДВЗ до застосування палив зі зниженими показниками якості, особливо при необхідності підвищення їх експлуатаційної

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

економічності і надійності, може успішно вирішуватися тільки спільними зусиллями конструкторів і виробників двигунів, експлуатаційників, а також фахівців з палив і масел. Значна увага при цьому приділяється вдосконаленню ефективності технічного обслуговування. Ефективний моніторинг моторного масла – один із способів послабити вплив погіршення якості палива на економічні та ресурсні показники ДВЗ.

Проблема забезпечення надійності є однією їх центральних на всіх стадіях «життєвого» циклу» суднового двигуна внутрішнього згорання: проектування, виробництво, експлуатації. Потужним засобом підтримки необхідного рівня надійності технічного об'єкта є наукова організація процесу його експлуатації. У ній особлива роль належить діагностуванню, за результатами якого визначається дійсний технічний стан об'єкта діагностування і характер його зміни в часі.

Працююче моторне масло з системи мастила суднового дизеля несе в собі інформацію о термодинамічних, хімічних і тріботехнічних процесах, які відбуваються в циліндрах. Носіями цієї інформації є фізико-хімічні показники самого моторного масла, а також продукти зносу тертьових сполучень дизеля і неповного згорання палива, що містяться в ньому. Інформація про концентрацію частинок зносу в маслі і їх розподіл за розмірами дозволяє вирішувати завдання розпізнавання технічного стану дизеля.

Великий вплив на процес забруднення моторних масел і інтенсивність зношування деталей двигуна надає сорт вживаного палива. Широке використання останнім часом в судових тронкових дизелях палив глибокої переробки нафти, що мають низьку якість і високі щільність і в'язкість, істотно впливають на загальний стан масла і двигуна. Перш за все, це пов'язано з інтенсивним надходженням в моторні масла в великих кількостях продуктів неповного згорання палива (погане розпилювання, сумішоутворення і згорання), особливо при використанні палив з широким

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

фракційним і груповим складом.

Абразивну дію вуглецевих частинок неповного згоряння палива, що надходять в масло і мають твердість, що перевищує твердість матеріалу деталей дизеля, значно збільшує знос циліндрових втулок і кілець. При цьому знос деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) в значній мірі залежить від термостабільності, миючих і нейтралізують властивостей масла.

Легування моторних масел для поліпшення експлуатаційних властивостей присадками, до складу яких входять солі металів, підвищує зольність масла і призводить до таких негативних наслідків як збільшення швидкості зношування основних деталей ДВЗ (особливо кілець) і утворення твердих відкладень на днище і верхньої частини бічної поверхні поршня. Зольні продукти спрацювання присадок і частинок зносу деталей, циркулюючи в системі змащення, провокують окислювальні процеси, будучи їх каталізаторами. Таким чином, використовувані в даний час в суднових дизелях моторні масла без відповідної очистки не в повній мірі задовольняють вимогам експлуатації сучасних дизелів і практично не можуть забезпечити їх надійної, довговічної і економічної роботи.

Найбільш раціональним заходом, що дозволяє певною мірою компенсувати негативний вплив високов'язкого палива на роботу двигуна внутрішнього згоряння і недолік вихідної якості масла, є комплексне поліпшення ефективності тонкого очищення моторних масел з розробкою нових принципів очищення і подальше вдосконалення систем змащення і конструкцій маслоочисників. Значна інтенсифікація основних напрямків зміни параметрів масла (забруднення, розкладання і спрацювання присадок, термоокислювальна деструкція і т.п.) призвела до посилення умов роботи агрегатів очищення. З іншого боку підвищення рухових якостей масла, що мають високий мийно-диспергуючий потенціал, призвело до зниження ефективності засобів очищення, що використовуються в системах змащення.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливе значення при вирішенні цієї проблеми надається вдосконаленню систем змащення двигунів в цілому, яке багато в чому визначає економічність ДВЗ по витраті палива і масла. Від ефективності системи змащення значною мірою залежить ресурс і надійність дизелів, трудомісткість їх технічного обслуговування і витрата експлуатаційних матеріалів. Основна вимога до системи змащення суднового дизеля – це максимальна техніко-економічна ефективність від її використання.

Поліпшення якості очищення моторних масел в судових дизелях в даний час здійснюється за такими основними напрямками:

- вдосконалення конструкцій фільтрів і фільтруючих елементів;
- підвищення функціональних властивостей застосовуваних у них фільтрувальних матеріалів;
- оптимізація основних параметрів маслоочищення і систем очищення масла;
- створення комбінованих засобів очищення.

Застосування комбінованої системи очищення моторних масел, що включає повнопотоковий фільтр тонкого очищення і відцентровий маслоочіник (частічнопоточний) добре зарекомендувало себе в високофорсованих дизелях останнього покоління. Разом з тим, слід зазначити, що потенційні можливості комбінованих засобів очищення ще далеко не вичерпані.

Для повного використання всіх закладених в них ресурсів, необхідно здійснити оптимізацію експлуатаційних параметрів засобів очищення і режимів їх функціонування, розробити методику розрахунку і вибору складу і параметрів, що входять в систему змащення та маслоочистки. Розробка і створення високоефективних агрегатів і схем очищення масла повинна базуватися на глибокому дослідженні всіх елементів багатоланкової хіммотологічної системи «дизель → паливо → масло → засоби очищення».

Масло слід розглядати як елемент мастильної системи дизеля. Воно може тривало і надійно працювати (виконувати свої функції) тільки за умови

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідності його властивостей тим термічним і механічним впливам, яким піддається моторні масла на змащуваних поверхнях, охолоджуваних або омиваємих деталях системи змащення дизеля. Взаємне узгодження конструкції дизеля з властивостями масла – одне з найважливіших засобів досягнення високої експлуатаційної надійності дизелів.

Посилення адгезійної і каталітичної активності нерозчинних домішок в моторних маслах систем змащення двигунів з високим наддувом, а також погіршення розшарування мастильного середовища унеможливили задоволення вимог до ефективного тривалого очищення масла тільки за рахунок фільтрування або центрифугування і потребує постійного обслуговування очищувачів. Розробка принципово нових комбінованих систем і агрегатів очищення моторних масел може вирішити протиріччя між тонкістю відсіву маслоочисниками і надійним захистом вузлів тертя від великих часток забруднень, глибинної очистки моторних масел і терміном служби фільтруючих елементів.

Новизна вирішення проблеми очищення моторного масла полягає в тому, що протікання цього процесу проводиться не ізольовано, а в складі системи взаємопов'язаних елементів системи. Розвинена теорія фільтрування і центрифугування складних колоїдно-дисперсних систем на основі вдосконалення детермінованого і випадкового впливів. Нові дослідження проведені провідними виробниками як дизелів так і мастильних матеріалів послужили основою при проектуванні нових агрегатів очищення з високими функціональними характеристиками.

Раціональне масловикористання можливо тільки в разі злагодженої взаємодії всіх ланок в ланцюжки його експлуатації. Сучасні тенденції розвитку двигунобудування, спрямовані на зниження витрати масла на чад за допомогою вдосконалення конструктивної схеми двигуна. Нафтохімічна промисловість покращує якість моторних масел, легірую їх присадками з різними функціональними властивостями. Експлуатаційники в свою чергу

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинні грамотно використовувати моторні масла, щоб збільшити ресурс їх роботи.

2.2 Аналіз тенденцій у галузі розробки нових мастильних матеріалів для суднових дизелів фірми Castrol

Аналіз тенденцій розвитку сучасних середньообертових СДВЗ показав, що двигуни фірми MaK (нині входить до концерну Caterpillar) на сьогоднішній момент найбільше відповідають сучасним вимогам по економічності, екологічності й умовам експлуатації.

Однак треба відзначити за останні роки до експлуатації запропоновано нові класи мастильних матеріалів з покращеними показниками, особливо трибологічними властивостями що дозволяють зменшити на 5...7% втраті на тертя в механізмах двигуна. Наприклад Castrol Elixion Low SAPS.

Castrol Elixion Low SAPS – моторне масло, створене по новітніх технологіях мастильних матеріалів Castrol. Спеціальні компоненти забезпечують високі антифрикційні властивості, що дозволяє підвищити економію палива. Castrol Elixion Low SAPS надійно захищає двигун від всіх негативних факторів, що знижують ресурс, дозволяючи двигуну завжди знаходитися на піку технічних характеристик, навіть при збільшених інтервалах заміни.

Масло може використовуватися й у судновій техніці, відповідно до допусків і специфікаціям.

SAE 15W-40

ACEA E6/E7

MB-Approval 228.51

MAN M3477 Схвалений

RVI RLD-2 Схвалено

Castrol було поставлене завдання не тільки розробити передове

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моторне масло з використанням самих останніх технологій у галузі виробництва мастильних матеріалів, але й з наукового погляду довести власникам комерційної техніки в усім світі наявність конкретних переваг, які забезпечуються при використанні Castrol Elixion Low SAPS.

Фірма Castrol провела більше 3000 годин, піддаючи масло випробуванням, оцінюючи його по 69 різних параметрах, щоб одержати всі необхідні схвалення виробників двигунів. Але після цього були проведені додаткові випробування, щоб довести високу ефективність Castrol Elixion Low SAPS по 7-ми критичних факторах роботи двигуна. Застосування новітніх масел дає змогу отримати ряд переваг, з яких є:

Економія палива

В Castrol Elixion використана унікальна Low Friction Technology (Технологія зниженого тертя), розроблена для зниження витрати палива. Серія екстремальних випробувань, як на моторних стендах у дослідницькому центрі, так й умовах експлуатації довела, що застосування Castrol Elixion забезпечує значну економію палива. Перед фахівцями фірми ставилося завдання не просто констатувати середні показники економії палива при стандартному циклі експлуатації, але й перевірити дані показники в різних умовах експлуатації.

Таке детальне тестування дозволило зіставити значення економії палива при різних режимах форсуванні двигунів; при цьому результати випробувань показали, що використання масла Castrol Elixion скорочує втрати на тертя в механізмах двигуна до 4...7%.

Захист від зношування

Розроблена Castrol технологія Clean Performance Technology™ захистить двигун від зношування протягом усього інтервалу заміни моторного масла. У ході випробувань на протизносні властивості Castrol Elixion продемонстрував перевищення вимог стандартів якості виробників суднових двигунів. Castrol Elixion захищає кулачковий вал і штовхач клапана

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

набагато краще, ніж інші масла класу в'язкості 10W30. Всі дані випробування доводять, що Castrol Elixion захищає найбільш піддані зношування деталі двигуна набагато краще, ніж штатні масла багатьох двигунів.

Збільшення терміну служби

Castrol Elixion перевищує вимоги виробників двигунів за основними показниками терміну служби, забезпечуючи чистоту поршня, що більш ніж на 70% перевищує вимоги стандартів. При цьому, за результатами 300-годинного випробування, Castrol Elixion здатний утримувати у своєму об'ємі 2 кг сажі. А це значить, що двигун захищений від зношування, пов'язаного із сажеутворенням, підвищення в'язкості перебуває під контролем, а відсутність відкладень запобігає закупорці фільтрів.

У результаті, Castrol Elixion, підтримуючи чистоту двигуна, забезпечує збільшення його терміну служби.

Скорочення викидів

Castrol Elixion з технологією Clean Performance Technology™ сприяє значному зниженню кількості сажі, що утворюється. Додатково, використання Castrol Elixion Low SAPS дозволить скоротити кількість шкідливих викидів двоокису вуглецю (CO_2) завдяки зниженню витрати палива.

Витрата масла на вигар

Для деяких моторних масел аналогічного класу в'язкості характерна підвищена витрата масла на вигар. При розробці Castrol Elixion ураховувалася необхідність скорочення витрати масла. За результатами стандартних випробувань на витрату масла Castrol Elixion продемонструвало зниження витрати масла на вигар на 10% у порівнянні із кращим по даному показнику маслом іншої марки. Відповідно, Castrol Elixion дозволить скоротити витрати не тільки на паливо, але й, у значній мірі, на моторне масло.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2.3 Аналіз схемного рішення та конструктивних особливостей масляної системи дизеля М 43 С

До систем змащення двигуна (рис. 2.1) пред'являються наступні загальні вимоги: своєчасна подача необхідної кількості масла до вузлів тертя, для захисту їх поверхонь від зношування й корозії (змащувальна й захисна дія); відвід тепла від тертьових поверхонь і деталей (терморегулююча дія); видалення продуктів зношування й нагару з поверхонь тертя (миюча дія); очищення масел.

Від того, наскільки задовольняє відзначеним вимогам система змащення, у значній мірі залежить надійність і довговічність та безвypadновність роботи двигуна.

Під час роботи головного двигуна, масло всмоктується масляним насосом з картера двигуна 5, воно проходить через усмоктувальний фільтр (сітковий) і потрапляє в насос 5, далі попадає в пластинчастий охолоджувач масла 10, або мине його й проходить через терморегулюючий клапан, (який при будь-яких режимах навантаження двигуна підтримує температуру масла 60...65 °С).

Після охолоджувача масло при температурі 60...65 °С, очищаючись у дуплексному фільтрі надходить до всіх точок змащення двигуна, а після стікає назад у картер. Також є резервний масляний насос 5 з електричним двигуном, який автоматично запускається, якщо тиск у системі падає нижче 0,3 МПа.

Система сепарації циркуляційного масла здійснюється за допомогою сепаратора 2. Масло всмоктується з картера насосом, перекачуючим насосом сепаратору 3 в електричний підігрівник масла 1, де масло нагрівається до температури 80°С, щоб зменшити його в'язкість і тим самим поліпшити очищуємості під дією відцентрової сили сепаратора, і після сепаратора очищене масло подається насосом сепаратора в картер двигуна [9].

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

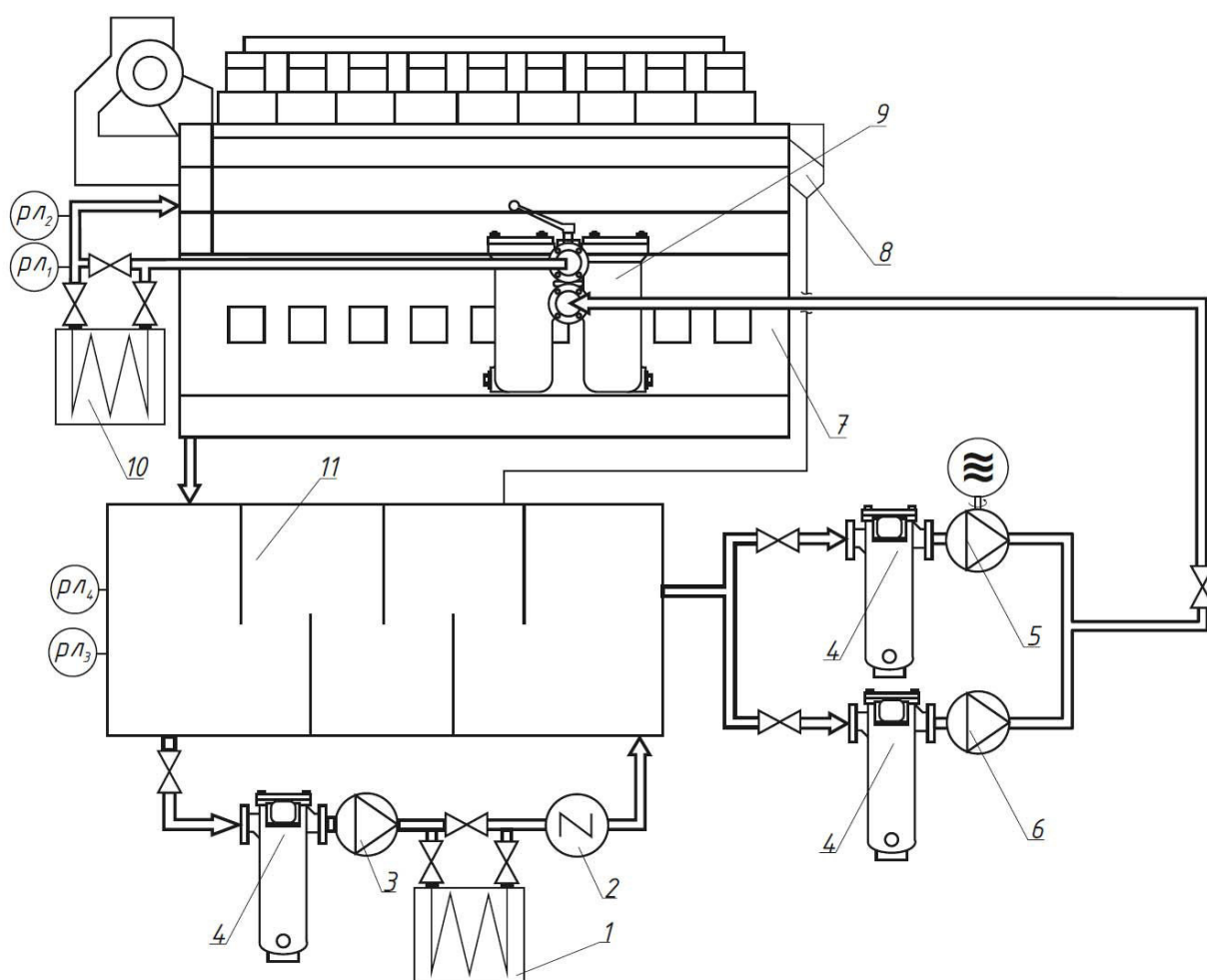


Рисунок 2.1 – Система змащення двигуна MaK M43C: 1 – підігрівач масла; 2 – сепаратор зовнішній; 3 – насос підкачуючи; 4 – фільтр грубого очищення для захисту насосу; 5 – насос з електроприводом; 6 – насос з приводом від колінчатого валу; 7 – двигун; 8 – масловідділювач системи вентиляції картеру; 9 – фільтр тонкого очищення; 10 – регулятор температури масла; 11 – масляна цистерна; рл₁ – реле максимального тиску; рл₂ – реле мінімального тиску; рл₃ – реле максимального рівня масла; рл₄ – реле мінімального рівня масла

У даній кваліфікаційній роботі розглядається можливість, технічні та економічні наслідки переведення двигуна MaK 43C на новий клас

мастильних матеріалів. Треба відзначити що суттєвим недоліком нових мастильних матеріалів є дуже висока чутливість до забруднення, особливо асфальто-смолістими відкладеннями. У зв'язку із цим, далі буде розглянуто можливість заміни штатних фільтрів двигуна на самоочистці фільтри фірми Bollfilter.

2.4 Розрахунок робочого процесу двигуна з урахуванням покращених трибологічних властивостей циркуляційного масла

Покращення трибологічних властивостей моторних масел, яке відбувається на протязі останніх 10...15 років, дозволяє останнім часом значно підвищити експлуатаційні показники двигунів, як тих що створюються у теперішній час, так і тих що вже знаходяться в експлуатації. Найбільш доцільний перехід на нові масла для суднових середньообертових та високообертових дизелів, що обумовлено:

- більшою форсировкою робочого процесу;
- меншим об'ємом масла в системі змащення;
- більш жорсткими вимогами до якості масла у зв'язку з тим що усі елементи двигуна змазуються одним замазувальним матеріалом.

Для вирішення технічної доцільності застосування нових масел з покращеними трибологічними властивостями проведемо тепловий розрахунок двигуна за методикою наведеною у роботі [12].

Основне завдання розрахунку – визначити як зменшення тертя впливає на основні показники робочого процесу двигуна, та на його вихідні параметри.

Покращення трибологічних функцій врахуємо зменшив на 5% тиск механічних втрат, що, як було показано вище, відповідає результатам випробувань СДВЗ при застосуванні циркуляційного масла Castrol Elixion.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку робочого процесу визначимо основні параметри дизеля
яки наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні параметри двигуна

Діаметр циліндра двигуна, мм	430
Хід поршня, мм	610
Відношення ходу поршня до діаметру циліндра	1,42
Ефективна потужність, кВт	6300
Число циліндрів, шт.	7
Циліндрова потужність, кВт	900
Частота обертання, хв^{-1}	500
Тиск наддування, МПа	0,38

Дійсний ступінь стиску (ϵ_0). У двигунах що працюють за циклом Міллера, у силу особливостей робочого процесу частина робочого ходу поршня губиться на організацію газообміну робочого циліндра з навколишнім середовищем. Для видалення продуктів згоряння й подачі свіжого повітря в циліндрі є впускні й випускні клапана газорозподілу. Процес стиску в цьому випадку починається тільки після закриття всіх газорозподільних органів. Для врахування втрат ходу поршня на органи газообміну вводиться поняття дійсного ступеня стиску.

Між теоретичним і дійсним ступенями стиску існує відношення:

$$\epsilon_0 = \epsilon(1 - \psi_a) + \psi_a;$$

де $\psi_a = h_a/S$ – частка загубленого ходу на органи газообміну, після закриття яких починається стиск у циліндрі;

h_a – відстань що пройде поршень від НМТ до моменту закриття випускного клапана, м (вибирається за аналогією із прототипом).

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Виходячи з аналізу фаз газорозподілу визначимо частку загубленого ходу на продувку ψ_a .

Якщо, у базового двигуна до моменту закриття випускного клапану поршень проходить $h_a = 26$ мм.

$$\psi_a = 26,0 / 610,00 = 0,043$$

Знайдемо ε_0 , яке і будемо використовувати у подальших розрахунках.

$$\varepsilon_0 = 17,00 \times (1 - 0,043) + 0,043 = 16,3$$

Відношення ходу поршня до діаметра циліндра (S/D). Зі зменшенням S/D зменшуються габарити двигуна, знижуються механічні втрати й швидкість зношування деталей, поліпшуються умови для розміщення клапанів і збільшення їх розмірів. Однак, збільшуються габарити двигуна по довжині, підвищуються навантаження на деталі КШМ від тиску газів і сил інерції, зменшується висота камери згоряння, що веде до погіршення умов для сумішоутворення.

Для надсучасних тронкових суднових середньо- й високооборотних S/D становлять для чотиритактних дизелів – 0,9...1,5.

Враховуючи конструктивні особливості прототипу прийmemo співвідношення S/D таке ж, як і для базового двигуна. У подальших розрахунках будемо приймати $S/D = 1,42$.

Число й розташування циліндрів. При збереженні постійної потужності дизеля, зі збільшенням числа циліндрів їх діаметр зменшується та поліпшується врівноваженість і рівномірність ходу двигуна.

Найбільше поширення для суднових дизелів рядне розташування циліндрів у вертикальній положенні. У розрахунках збережемо характерне для прототипу число циліндрів $i = 7$.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Вид і марка застосовуваного палива. Основні конструктивні відмінності паливної апаратури суднових дизелів пов'язані з пристосованням їх для роботи на в'язких IFO, TFO (Intermediate Fuel Oil, Thin Fueloil) і високов'язких сортах палив HFO, RFO (Heavy Fuel Oil, Residual Fuel Oil). Такі палива для зниження їх в'язкості до 10...14 сСт підігрівають до 100...140°C.

Більшість морських палив являє собою суміш залишкового палива й дистилатних фракцій з високим вмістом сірки й інших шкідливих компонентів. У зв'язку з цим паливна апаратура суднових дизелів повинна бути стійка до впливу хімічної корозії.

Найчастіше для суднових дизелів на флоті використовують сорти палива IFO-180 і IFO-380 (табл. 3.2). Вони відповідають вимогам стандарту ISO 3217:1987 і відповідають класам RME 25 і RMG 35.

Склад та властивості горючої суміші й продуктів згоряння.

Горюча суміш утворюється у наслідок перемішування парів палива та атмосферного повітря поданих у камеру згоряння дизеля. Для розрахунку властивостей горючої суміші визначають склад її основних складових.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики палива що використовується

Параметр	Масова частка
Елементарний склад (по масі) палива:	
<i>C</i> – вуглець	0,87
<i>H</i> – водень	0,126
<i>O</i> – кисень	0,002
<i>S</i> – сірка	0,002
Середня молекулярна маса, кг/кмоль	230
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	42700
Стехіометричний коефіцієнт	14,3

Склад атмосферного повітря характеризується наявністю у ньому 79% азоту (N_2) та 20,8% кисню (O_2) по масі. Кількість інших складових дуже мала тому може не враховуватися.

Теоретично необхідна кількість атмосферного повітря для повного згоряння 1 кг палива визначається по формулах:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0,002}{32} - \frac{0,002}{32} \right) =$$

$$= 0,5000 \text{ кмоль};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) = \frac{1}{0,230} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,87 + 8 \times 0,126 + 0,002 - 0,002 \right) =$$

$$= 14,49 \text{ кг/кг}.$$

Коефіцієнт надлишку повітря (α). Для кращого згоряння палива, кількість повітря що поступає у камеру згоряння, значно перевищує стехіометричне відношення. Для сучасних дизелів з наддуванням та охолодженням повітря коефіцієнт надлишку повітря на номінальному режимі лежить у межах $\alpha = 2,25 \dots 4,0$, для розрахунків приймемо значення характерне для прототипу $\alpha = 2,41$.

Кількість свіжого заряду, (M_1), для дизеля визначається по формулі:

$$M_1 = \alpha L_0 = 2,41 \times 0,500 = 1,21 \text{ кмоль}.$$

Кількість продуктів згоряння (M_2),

Для повного згоряння ($\alpha > 1$)

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M_i;$$

Кількість компонентів продуктів згоряння, (кмоль) для дизелів розраховується по формулах:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,870}{12} = 0,073 \text{ кмоль};$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,126}{2} = 0,063 \text{ кмоль};$$

$$M_{S_2} = \frac{S}{32} = \frac{0,002}{32} = 0,000063 \text{ кмоль};$$

$$M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_o = 0,21(2,410 - 1) 0,500 = 0,1481 \text{ кмоль};$$

$$M_{N_2} = 0,79\alpha L_o = 0,790 \times 2,410 \times 0,500 = 0,9520 \text{ кмоль};$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M_i = 0,073 + 0,063 + 0,000063 + 0,1481 + 0,9520 = 1,2356 \text{ кмоль}.$$

2.4.1 Процес впуску

Температура й тиск навколишнього середовища (T_0 , p_0). Тиск і температуру навколишнього середовища (атмосферного повітря) приймаємо відповідно $p_0 = 0,103$ МПа й $T_0 = 288$ К.

Температура й тиск на вході у двигун. У двигунів з наддуванням параметри навколишнього середовища приймають рівними до параметрів повітря на виході з компресора, а при наявності проміжного охолодження повітря – тиску й температурі повітря за охолоджувачем.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Відповідно до прототипу, у двигуні, застосовується наддування й проміжне охолодження повітря. Прийmemo величину наддування згідно із прототипом:

$$p_{\kappa} = 1,4 \times p_0 = 3,690 \times 0,103 = 0,380 \text{ МПа.}$$

Показник політропи стиску в компресорі (n_{κ}), що залежить від його типу й ступеня досконалості процесу, що протікає в ньому, $n_{\kappa} = 1,4 \dots 2$. Прийmemo значення показника політропи характерне для більшості сучасних турбокомпресорів $n_{\kappa} = 1,4$.

Температура повітря у двигуна з наддуванням на виході з компресора залежить від ступеня підвищення тиску:

$$T'_{\kappa} = T_0 \left(\frac{p_{\kappa}}{p_0} \right)^{\frac{n_{\kappa}-1}{n_{\kappa}}} = 288,0 \left(\frac{0,380}{0,103} \right)^{\frac{1,400-1}{1,400}} = 418,2 \text{ К.}$$

Ступінь охолодження повітря в повітроохолоджувачі ($\sigma_{\text{ох}}$). Для водоповітряних охолоджувачів, $\sigma_{\text{ох}} = 0,7 \dots 0,90$, прийmemo $\sigma_{\text{ох}} = 0,938$.

У двигуні з охолоджувачем після компресора температура у впускному ресивері:

$$T_{\kappa} = T'_{\kappa} - \sigma_{\text{ох}} (T'_{\kappa} - T'_a) = 418,2 - 0,938 (418,2 - 288,0) = 296,1 \text{ К.}$$

де T'_a – середня температура охолоджувальної води у повітроохолоджувачі, (при використанні для охолодження забортної води $T'_a = T_0 = 288 \text{ К}$);
 T'_{κ} – температура повітря перед охолоджувачем, що приймається рівній температурі на виході з компресора.

Тиск залишкових газів (p_r), МПа. Тиск залишкових газів у циліндрі двигуна p_r залежить від числа, розмірів і розташування клапанів, опору впускного й випускного трубопроводів, фаз газорозподілу, ступені наддування, швидкохідності двигуна й інших факторів. Для двигунів з високим наддуванням приймають: $p_r = (0,75...0,98)p_k$. Враховуючи це приймемо:

$$p_r = 0,980 \times p_k = 0,980 \times 0,380 = 0,372 \text{ МПа.}$$

Температура залишкових газів (T_r) для дизелів – 700...900 К. Слід урахувати, що збільшення α , і ε приводить до зниження T_r , а підвищення частоти обертання дизеля збільшує температуру залишкових газів.

Приймемо $T_r = 700,0 \text{ К.}$

Ступінь підігріву (охолодження) заряду у впускному тракті (ΔT).

Для дизелів з наддуванням $\Delta T = -5...10 \text{ К.}$ Необхідно враховувати, що при збільшенні діаметра циліндра D , частоти обертання колінчатого вала n , і ступені стиску ε величина T_r зменшується. Якщо впускний і випускний трубопроводи розміщені поруч або впускний трубопровід обладнаний підігрівом, то величину ΔT слід приймати ближче до верхньої межі. Враховуючи особливості конструкції впускного тракту двигуна-прототипу, приймемо значення $\Delta T = 6 \text{ К.}$

Тиск наприкінці процесу впуску, (p_a) МПа. Наявність опорів у впускному тракті приводить до зниження тиску p_a , подаваного в циліндрі заряду на величину Δp_a .

Для знаходження втрат тиску визначимо щільність заряду в циліндрі:

$$\rho_k = \frac{p_k \times 10^6}{R_g T_k} = \frac{0,380 \times 10^6}{287,0 \times 296,1} = 4,473 \text{ кг/м}^3;$$

де $R_g = 287 \text{ кДж/(кг} \times \text{К)}$ газова постійна повітря.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Коефіцієнт опору ($c = \beta^2 + \xi_{\text{вп}}$) враховуючий падіння швидкості свіжого заряду після входу його в циліндр і гідравлічні опори впускної системи двигуна, змінюється в межах 2,5...4,0. β – коефіцієнт загасання швидкості руху заряду, $\xi_{\text{вп}}$ – коефіцієнт опору впускної системи в найбільш вузькому її перетині. Основний вплив на величину c виявляє частота обертання колінчатого вала. При збільшенні n коефіцієнт збільшується. Для розрахунку, враховуючи особливості конструкції базового двигуна прийmemo $c = 2,5$.

Середня швидкість повітря ($\omega_{\text{вп}}$) в прохідних перетинах впускних органів дизелів та лежить у межах $\omega_{\text{вп}} = 20 \dots 70$ м/с. Ця швидкість залежить від перетину органів газообміну та частоти обертання колінчатого вала. При зменшенні перетину впускних органів й збільшенні n середня швидкість $\omega_{\text{вп}}$ збільшується. Для розрахунку, враховуючи результати аналізу особливостей конструкції базового двигуна, прийmemo $\omega_{\text{вп}} = 55$ м/с.

Втрати тиску за рахунок опору впускної системи можна визначити з рівняння Бернуллі. Приймавши нульову швидкість заряду на вході у впускну систему й зневажаючи зміною щільності заряду в процесі його руху, одержимо:

$$\Delta p_a = c \frac{\omega_{\text{вп}}^2}{2} \rho_k \times 10^{-6} = 2,5 \frac{55,0^2}{2} 4,473 \times 10^6 = 0,0169 \text{ МПа.}$$

$$\text{Тоді: } p_a = p_k - \Delta p_a = 0,380 - 0,0169 = 0,3632 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт залишкових газів (γ_r). Даний показник характеризує якість очищення циліндра від продуктів згоряння й визначається як відношення числа молей залишкових газів до молів свіжого заряду. Без урахування продувки й дозарядки циліндра коефіцієнт залишкових газів для суднових дизелів визначається за допомогою залежності:

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma_r = \frac{(T_k + \Delta T) \times p_r}{T_r \times (\varepsilon p_a - p_r)} = \frac{(296,1 + 6) \times 0,363}{700,0 \times (16,30 \times 0,363 - 0,372)} = 0,029 \text{ МПа.}$$

Отриманий коефіцієнт залишкових газів характерний для базового двигуна.

Температура наприкінці процесу впуску (T_a) залежить від температури повітря після компресора T_k , підігріву заряду на впуску ΔT температури T_r і коефіцієнта залишкових газів γ .

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{296,1 + 6,00 + 0,029 \times 700,0}{1 + 0,029} = 313,3 \text{ К.}$$

Коефіцієнт наповнення (η_v) є найважливішим показником якості процесів газообміну при впуску й визначається відношенням дійсної кількості свіжого заряду, що надійшла у циліндр, до тієї кількості заряду, яка могла б поміститися в циліндрі при тиску й температурі середовища, з якого надходить заряд:

$$\eta_v = \frac{M_d}{M_0} ;$$

де M_d – дійсне число молів свіжого заряду в циліндрі;

M_0 – число молів свіжого заряду, яке могло б поміститися в циліндрі при p_k і T_k .

Без урахування продувки й дозарядки циліндра для суднових дизелів коефіцієнт наповнення можна знайти по формулі:

$$\eta_v = \frac{T_k}{(T_k + \Delta T) \times (\varepsilon - 1)} \left(\frac{\varepsilon p_a}{p_k} - \frac{p_r}{p_k} \right) =$$

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$= \frac{296,1}{(296,1 + 6) \times (16,30 - 1)} \left(\frac{16,30 \times 0,363}{0,380} - \frac{0,372}{0,380} \right) = 0,935.$$

2.4.2 Процес стиску

У реальному двигуні теплоємність заряду в циліндрі змінюється залежно від температури, тому що, відбувається теплообмін зі стінками циліндра, а також на характер протікання процесу впливають витік газів через нещільності клапанів і поршневих кілець, дозарядка циліндра до закриття впускного клапана, випар палива, згоряння палива наприкінці стиску. У зв'язку із цим точний термодинамічний опис процесу стиску в реальному двигуні дуже складний. На практиці вважають, що процес стиску відбувається по політробі з показником n_1 величина якого забезпечує одержання такої ж роботи в процесі стиску, як і при змінному показнику, що має місце в дійсному процесі.

Показник політробі стиску (n_1). Розрахунки параметрів процесу стиску проводиться по умовному середньому за процес стиску політробі n_1 , що змінюється в межах $n_1 = 1,32 \dots 1,4$.

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;

Враховуючи результати аналізу конструкції прототипу приймаємо значення політробі стиснення характерне для дизелів з нерозділеними камерами згоряння, тобто, $n_1 = 1,378$.

Тиск наприкінці процесу стиску (p_c).

$$p_c = p_a \times \varepsilon^{n_1} = 0,363 \times 16,30^{1,378} = 17,002 \text{ МПа.}$$

Для розглянутого у проекти класу дизелів $p_c = 14 \dots 19$ МПа, отримане значення відповідає даному діапазону.

Температура наприкінці процесу стиску, (T_c).

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 313,3 \times 16,30^{1,378-1} = 899,8 \text{ К.}$$

Для розглянутого у проекти класу дизелів $T_c = 810,0 \dots 990,0$ К, отримане значення відповідає даному діапазону.

Середня молярна ізохорна теплоємність свіжого заряду (c'_v).

Для обчислення молярної теплоємності знайдемо відносну температуру заряду до кінця стиску:

$$t_c = T_c - 273,15 \text{ К} = 899,8 - 273,15 = 626,6 \text{ К.}$$

Для спрощення подальших розрахунків, середню молярну теплоємність горючої суміші приймають рівної теплоємності повітря. Для обчислення c'_v використовується емпірична залежність:

$$c'_v = 20,088 + 3,7544 \times 10^{-3} t_c - 5,657 \times 10^{-7} t_c^2 =$$

$$= 20,080 + 3,7544 \times 10^{-3} \times 626,6 - 5,6570 \times 10^{-7} \times 626,6^2 =$$

$$c'_v = 22,219 \text{ кДж/(кмоль} \times \text{К)}.$$

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.3 Процес згоряння

Рівняння згоряння для дизелів має вигляд:

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

Для рішення цього рівняння задамося або розрахуємо деякі параметри що характеризують процес згоряння у дизелі.

Коефіцієнт молекулярної зміни свіжої суміші (μ).

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma M_1}{M_1 + \gamma M_2} = \frac{1,236 + 0,029 \times 1,205}{1,205 + 0,029 \times 1,236} = 1,024.$$

У дизелів $\mu=1,03...1,06$, отримане значення відповідає даному діапазону.

Коефіцієнт ефективного тепловикористання (ξ_z) являє собою параметр, який урахує втрати теплоти яка була утримана у результаті згоряння палива. Величина ξ_z змінюється на номінальному режимі для дизелів у наступних межах $\xi_z = 0,7...0,85$.

При виборі даних для розрахунків слід урахувувати зв'язок зазначених величин з режимом роботи двигуна. При підвищенні частоти обертання колінчатого вала дизеля значення ξ_z зростає з поліпшенням сумішоутворення й згоряння палива. Для двигунів ξ_z підвищується при збільшенні n доти, поки ріст втрат тепла за рахунок збільшення фази догорання палива не перевищить зменшення теплообміну за рахунок скорочення часу контакту гарячих газів зі стінками циліндра. Для розрахунків приймемо $\xi_z = 0,850$.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня мольної теплоємності продуктів згоряння (c_v) в діапазоні температур $t_z - 1000...2800$ °C можна приблизно оцінити за допомогою апроксимуючих рівнянь для продуктів згоряння дизельного палива

$$c_v = 27,0211 + 0,002039 t_z - 2,234 \alpha.$$

Підставивши у рівняння згоряння для дизелів відповідні значення параметрів, а замість c_v його рівняння одержимо:

$$\begin{aligned} & \frac{0,850 \times 42700}{1,205(1 + 0,029)} + (1,024 \times 22,22 + 8,314 \times 1,118) \times 626,6 = \\ & = 1,021 \times ((27,02110 + 0,002039 \times t_z - 2,234 \times 2,410) + 8,314) t_z. \end{aligned}$$

Рівняння згоряння після підстановки вищенаведених параметрів перетворюється у квадратне, відносно t_z виду:

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

$$0,002082 t_z^2 + 30,58212 t_z - 49069,51 = 0;$$

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

$$t_z = \frac{-30,58212 + \sqrt{30,58212^2 + 4 \times 0,002082 \times 49069,51}}{2 \times 0,002082} = 1455,205 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тому, що:

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$t_z = T_z - 273,15.$$

$$T_z = 1455,205 + 273,15 = 1728,355 \text{ К.}$$

Максимальна температура згоряння для дизелів $T_z = 1600 \dots 1800 \text{ К}$, отримане значення відповідає даному діапазону.

Теоретичний тиск газів наприкінці згоряння (p_z) у суднових дизелів.

Ступінь підвищення тиску (λ). При розрахунках згоряння в дизелі крім значення ξ_z необхідно задатися ступенем підвищення тиску λ .

Значення λ залежить головним чином від типу сумішоутворення й форми камери згоряння та змінюється в дизелях з безпосереднім вприском з об'ємно-плівковим сумішоутворенням – $1,1 \dots 1,5$;

При збільшенні ступеня підвищення тиску збільшується жорсткість роботи двигуна, ростуть навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму, збільшуються втрати на тертя, зростає зношування двигуна. Для розрахунків задамо ступінь стиску характерну для прототипу, тобто $\lambda = 1,12$.

$$p_z = p_c \lambda = 17,00 \times 1,118 = 19,00 \text{ МПа.}$$

Для дизельних двигунів p_z обмежується виходячи з міцності матеріалів елементів КШМ і у зв'язку зі зростанням механічних втрат у двигуні. Максимально припустимим прийнято вважати значення $p_z = 21 \text{ МПа}$.

Розрахункове значення нижче максимально припустимого.

Ступінь попереднього розширення (ρ) у дизельних двигунів з комбінованим підведенням теплоти:

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,021}{1,118} \times \frac{1728,355}{899,784} = 1,7549.$$

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для дизелів $\rho = 1,2 \dots 1,7$. Отримане значення характерне для даного типу двигуна.

2.4.4 Процес розширення

Показник політропи розширення (n_2). Розрахунки параметрів процесу розширення проводиться з умовно усередненим показником n_2 . Для дизелів $n_2 = 1,18 \dots 1,28$. Слід пам'ятати, що показник політропи залежить від режиму робота двигуна, розмірів циліндра, способу охолодження й ряду інших факторів. У всіх випадках, коли збільшується тривалість догорання палива, знижуються відносний теплообмін, n_2 зменшується. Виходячи з вищесказаного приймемо $n_2 = 1,226$.

Тиск наприкінці розширення (p_ϵ), МПа.

Для дизельного двигуна, щоб знайти тиск p_ϵ спочатку необхідно визначити ступінь наступного розширення δ . Її знаходять із формули:

$$\delta = \frac{\epsilon}{\rho} = \frac{16,30}{1,755} = 9,29.$$

Тоді:

$$p_\epsilon = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{19,00}{9,29^{1,226}} = 1,236 \text{ МПа.}$$

Тиск наприкінці розширення для судових дизелів $p_\epsilon = 1,1 \dots 1,4$ МПа.

Температура наприкінці розширення (T_ϵ), К, для дизельного ДВС:

$$T_\epsilon = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1728,355}{9,29^{1,226-1}} = 1044,426 \text{ К.}$$

Для дизелів $T_\epsilon = 1000 \dots 1100$ К.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.5 Процес випуску

При розрахунках процесу випуску були орієнтовно прийняті значення тиску p_r і температури T_r газів наприкінці випуску. Точність вибору цих величин можна перевірити, обчисливши температуру залишкових газів за допомогою формули:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} = \frac{1044,4}{\sqrt[3]{\frac{1,236}{0,37}}} = 700,2 \text{ К.}$$

Визначимо погрішність прийнятого допущення:

$$\Delta = \frac{700,2 - 700,0}{(700 / 100)} = 0,03 \text{ \%}.$$

Дана погрішність може бути прийнятною при попередньому розрахунку циклу двигуна.

2.4.6 Індикаторні показники циклу

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda p}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda(p - 1) \right] =$$
$$= \frac{17,002}{16,30 - 1} \left[\frac{1,12 \times 1,755}{1,226 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,29^{1,226 - 1}} \right) - \frac{1}{1,378 - 1} \left(1 - \frac{1}{16,30^{1,378 - 1}} \right) + \right.$$
$$\left. + (1,12 \cdot 1,755) - 1 \right] = 2,837 \text{ МПа.}$$

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсний середній індикаторний тиск циклу трохи менше теоретичного внаслідок відмінності дійсної індикаторної діаграми від теоретичної. Зазначена відмінність ураховується коефіцієнтом повноти індикаторної діаграми φ .

Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми (φ) для більшості сучасних суднових дизелів $\varphi = 0,92 \dots 0,95$. У розрахунках будемо використовувати значення $\varphi = 0,94$.

З урахуванням прийнятого коефіцієнта φ дійсний середній індикаторний тиск циклу дорівнює:

$$p_i = \varphi p_i' = 0,940 \times 2,837 = 2,667 \text{ МПа.}$$

Індикаторний ККД для суднових дизелів (η_i),

$$\eta_i = \frac{p_i l_0 \alpha}{\rho_\kappa H_u \eta_v} = \frac{2,667 \times 14,46 \times 2,41}{4,473 \times 42700 \times 0,935} = 0,523.$$

Для дизелів на номінальному режимі $\eta_i = 0,42 \dots 0,55$.

Питома індикаторна витрата рідкого палива (g_i), г/(кВт×год.),

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} = \frac{3600}{42,700 \times 0,523} = 162,09;$$

де H_u підставляємо в МДж/кг.

Межі зміни питомої витрати палива g_i на номінальному режимі для середньообертових дизелів $g_i = 150,0 \dots 170,0$ г/(кВт×год.).

Отримане значення відповідає даному діапазону.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.7 Ефективні показники двигуна

Середній ефективний тиск робочого циклу (p_e) визначається як різниця середнього індикаторного тиску циклу p_i і середнього тиску механічних втрат p_m .

$$p_e = p_i - p_m.$$

Середній тиск механічних втрат представляє собою потужність, затрачувану на подолання тертя в КШМ, привод допоміжних механізмів, здійснення впуску й випуску, віднесену до одиниці робочого об'єму циліндра. Для визначення величини p_m використовується емпірична формула, що має загальний вигляд:

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

де $V_{п.ср.}$ – середня швидкість поршня, м/с;

A_p, B_p – коефіцієнти.

Залежно від конструктивних особливостей двигунів коефіцієнти A_p і B_p приймають різні значення. При попередніх розрахунках можна рекомендувати наступні значення: $A_p = 0,105$; $B_p = 0,0120$.

Середню швидкість поршня $V_{п.ср.}$ прийmemo – 10,00 м/с.

Знайдемо тиск механічних втрат з урахуванням зменшення на 5%:

$$p_m = 0,105 + 0,0120 \times 10,00 \times 0,950 = 0,214 \text{ МПа.}$$

Визначимо середній ефективний тиск p_e :

$$p_e = 2,667 - 0,214 = 2,453 \text{ МПа.}$$

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічний ККД (η_m). Механічний ККД двигуна визначається як відношення середнього ефективного тиску до середнього індикаторного

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{2,453}{2,67} = 0,920.$$

Ефективний ККД (η_e):

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,523 \times 0,920 = 0,481.$$

Питома витрата рідкого палива (g_e):

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{162,086}{0,920} = 176,21 \text{ г/(кВт} \times \text{год.)}.$$

2.4.8 Уточнення вихідних параметрів дизеля за результатами розрахунку робочого процесу

Уточнюємо основні параметри й показники двигуна:

- літраж двигуна,

$$V_{лц} = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} = \frac{3,142 \times 430,0^2 \times 610}{4 \times 10^6} = 88,0 \text{ дм}^3;$$

- повний об'єм двигуна:

$$V_l = V_{лц} i = 88,0 \times 7 = 6335,60 \text{ дм}^3;$$

- ефективна потужність одного циліндра:

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{e_{\text{ц}}} = \frac{p_e V_{\text{л}} n}{30 \tau} = \frac{2,453 \times 88,0 \times 500}{30 \times 4} = 905,086 \text{ кВт};$$

- повну потужність:

$$N_e = N_{e_{\text{ц}}} i = 905,086 \times 7 = 6335,60 \text{ кВт};$$

- обертовий момент:

$$M_e = \frac{3 \times 10^4 \times N_e}{\pi n} = \frac{3 \times 10^4 \times 6335,60}{3,142 \times 500} = 121063 \text{ Н} \times \text{м};$$

- годинна витрата палива:

$$G_{\text{т}} = N_e \times g_e \times 10^{-3} = 6335,60 \times 176,21 \times 10^3 = 1116,4 \text{ кг/год.};$$

- середню швидкість поршня, м/с:

$$V_{\text{п.ср.}} = \frac{S n}{30000} = \frac{610 \times 500}{30000} = 10,2 \text{ м/с}.$$

Перевіримо погрішність прийнятого раніше допущення середньої швидкості поршня:

$$\Delta = \frac{10,2 - 10,0}{(10,00 / 100)} = 1,7 \text{ \%}.$$

Дана погрішність цілком припустима для попередніх розрахунків.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.9 Побудова індикаторної діаграми

Для наочної вистави протікання робочого циклу в циліндрі двигуна, що розраховується, побудуємо індикаторну діаграму. Для цього скористаємося аналітичним методом. Обчислення й побудова ключових і проміжних крапок циклу будемо робити в комп'ютерному форматі Excel.

Закладемо у вигляді масиву дані для побудови уздовж осі абсцис діаграми рівномірної шкали об'ємів, і відклавши на осі абсцис значення об'єму камери згоряння, обчисливши його по формулі:

$$V_c = \frac{V_{л_ц}}{\varepsilon - 1} = \frac{88,04}{16,30 - 1} = 5,75 \text{ дм}^3.$$

Повний об'єм циліндра:

$$V_a = V_c + V_{л_ц} = 5,75 + 88,0 = 94 \text{ дм}^3.$$

По осі ординат – у відповідному масштабі тисків відкладемо координати характерних точок циклу: $a, c, c', c'', z, z', v, v', v''$.

Дані для побудови політропи стиски й розширення знайдемо аналітичним способом. Для цього весь робочий об'єм поділимо на частини й визначимо проміжне значення об'ємів V_i . Для забезпечення точності побудови побудуємо відносно невеликі проміжки між V_i розбивши весь об'єм на 400 ділянок. Проміжне значення тисків визначимо по формулах:

На лінії стиску:

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

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На лінії розширення:

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

Розрахунки проміжних значень тисків і температур представимо у таблиці 2.3. Для скорочення табличних даних представимо отримані значення із кроком розбивки всього об'єму на 40 ділянок.

Таблиця 2.3 – Дані для побудови індикаторної діаграми

Точка	Геометричні дані		Лінія стиску	Лінія розшир.
	ϵ	V_i	p_{ci}	p_{ei}
0	1,00	93,80	0,363	1,24
1	1,02	91,58	0,375	1,27
2	1,05	89,37	0,388	1,31
3	1,08	87,16	0,402	1,35
4	1,10	84,94	0,416	1,40
5	1,13	82,73	0,431	1,44
6	1,16	80,52	0,448	1,49
7	1,20	78,30	0,465	1,54
8	1,23	76,09	0,484	1,60
9	1,27	73,87	0,504	1,65
10	1,31	71,66	0,525	1,72
11	1,35	69,45	0,548	1,78
12	1,39	67,23	0,573	1,85
13	1,44	65,02	0,600	1,93
14	1,49	62,81	0,629	2,01
15	1,54	60,59	0,660	2,10
16	1,60	58,38	0,695	2,20
17	1,66	56,17	0,732	2,31

Продовження таблиці 2.3.

Точка	Геометричні данні		Лінія стиску	Лінія розшир.
	ε	V_i	P_{ci}	P_{ei}
18	1,73	53,95	0,774	2,42
19	1,80	51,74	0,819	2,55
20	1,88	49,53	0,870	2,69
21	1,97	47,31	0,925	2,84
22	2,07	45,10	0,988	3,01
23	2,17	42,89	1,058	3,20
24	2,29	40,67	1,137	3,41
25	2,42	38,46	1,227	3,65
26	2,56	36,25	1,330	3,92
27	2,73	34,03	1,449	4,23
28	2,92	31,82	1,587	4,59
29	3,13	29,61	1,750	5,01
30	3,38	27,39	1,944	5,50
31	3,67	25,18	2,178	6,08
32	4,01	22,96	2,466	6,79
33	4,43	20,75	2,826	7,67
34	4,95	18,54	3,288	8,78
35	5,60	16,32	3,897	10,21
36	6,44	14,11	4,731	12,13
37	7,59	11,90	5,930	14,83
38	9,24	9,68	7,771	18,87
39	11,79	7,47	10,881	19,00
40	16,30	5,26	17,002	19,00

Отримана в такий спосіб індикаторна діаграма представлена на рис. 2.2.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

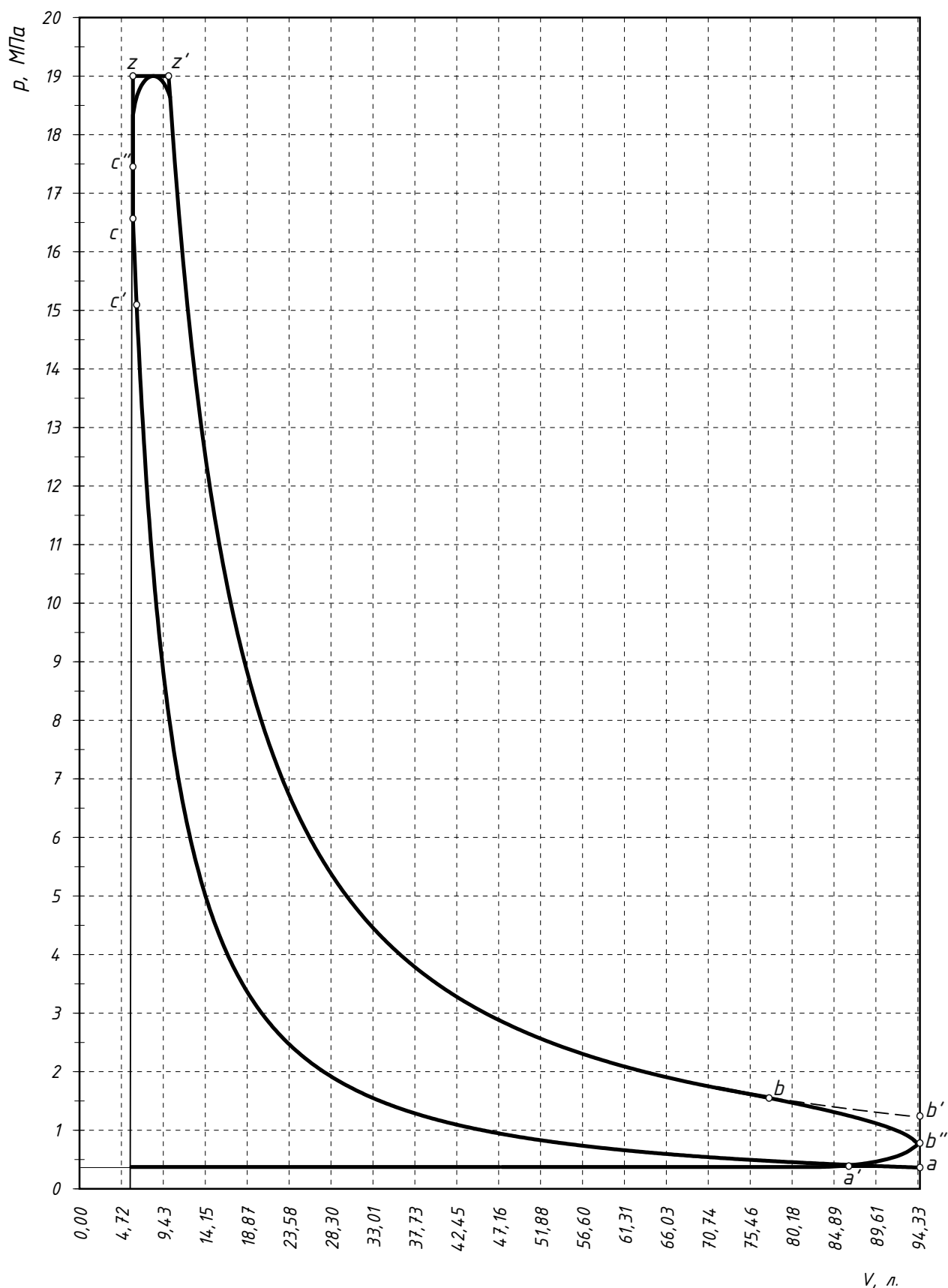


Рисунок 2.2 – Індикаторна діаграма робочого процесу в pV -координатах

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

2.5 Аналіз результатів теплового розрахунку

Результати теплового розрахунку представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняння основних параметрів дизеля МаК 43 С при використанні штатних масел та масла Castrol Elixion

Параметр	Од.	База	Новий
		100%	100%
Ефективна потужність, N_e	кВт	6300	6335,6
Кут випередження вприску по ПНВТ, $\varphi_{вк}$	°ПКВ	12	12
Коеф. надлишку повітря, α	—	2,410	2,410
Коефіцієнт залишкових газів, γ_r	—	0,029	0,029
Температура залишкових газів, t_r	°С	700,18	700,18
Тиск залишкових газів, p_r	МПа	0,372	0,372
Температура заряду на вході, T_a	°С	313,28	313,28
Щільність повітря на вході у двигун, ρ_k	кг/м ³	4,47	4,47
Тиск повітря на вході у двигун, p_k	МПа	0,380	0,380
Коефіцієнт наповнення, η_v	—	0,935	0,935
Тиск на прикінці стиску, p_c	МПа	17,00	17,00
Температура на прикінці стиску, T_a	°С	626,63	626,63
Коефіцієнт молярних змін, μ	—	1,021	1,021
Максимальний тиск згоряння, p_z	МПа	19,00	19,00
Максимальна температура циклу, t_z	°С	1455,2	1455,2
Ступень попереднього розширення, ρ	—	1,755	1,755
Температура прикінці розширення, T_b	°С	1044,4	1044,4
Тиск прикінці розширення, p_b	МПа	1,236	1,236
Механічний ККД, η_m	—	0,916	0,920
Ефективний ККД, η_e	—	0,479	0,481
Середній індикаторний тиск, p_i	МПа	2,667	2,667
Середній ефективний тиск, p_e	МПа	2,442	2,453
Питома ефективна витрата палива, g_e	г/(кВт×год.)	177,02	176,21

Результаті розрахунку дозволяють сподіватися що запропоновані технічні рішення є ефективними, що ведуть до покращення показників двигуна. Так запропонована заміна штатного масла новим сортом Castrol Elixion дозволяє майже без зміни потужність двигуна за рахунок зниження механічних втрат, зменшити витрати палива на 0,8 г/(кВт×год.). Крім того зменшення витрати палива дозволить скоротити обсяги викидів окислив азоту, а зменшення тертя у двигуни зробить його роботу більш надійною, що в свою чергу приведе до скорочення затрат на обслуговування.

Таким чином запропоновану модернізацію дизеля шляхом заміни штатного масла новим сортом Castrol Elixion, можна вважати доцільною.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ МОТОРНИХ МАСЕЛ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ, ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЗМАЩЕННЯ

Умови роботи моторних масел у суднових дизелях трохи відрізняються від умов роботи в інших типах енергетичних установок. У цьому зв'язку проведемо детальний аналіз факторів, що впливають на зміну стану масел, а також методів підтримки їхніх експлуатаційних властивостей, і, зокрема, методів очищення масел у суднових умовах.

3.1 Аналіз умов роботи масла в двигунах під час експлуатації

Подача масла. Поршні і кільця, що ковзають по поверхні циліндра, повинні бути розділені масляною плівкою, що забезпечує мінімальний знос кілець, циліндра і поршня, ефективне ущільнення від прориву газів, охолодження і промивання поверхонь, що труться.

Задача поршневих кілець полягає в розподілі підведеного в циліндр масла відповідно до вказаних вимог і передусім в рівномірному розподілі масла по висоті втулки циліндра. При цьому, враховуючи більш високі температури та інтенсивне випаровування масла з поверхні верхньої частини циліндра, остання повинна отримувати масла більше. Якщо подача масла не регулюється і воно підводиться в надлишку (а це характерне для тронкових двигунів з розбризкуванням масла), то поршневі кільця повинні забезпечувати підтримку шару масла, достатнього для здійснення гідродинамічного тертя, а надлишок масла скидати в картер, одночасно перешкоджаючи його попаданню в камеру згоряння.

Існують три способи підведення масла в циліндри двигунів: *змазування*

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

сумішшю – масло в кількості 10...15 %, домішене до палива, поступає в циліндр разом з ним, велика частина його згоряє, частина осідає на стінках циліндра і розтягується по його поверхні кільцями (в мотоциклетних, човновий, карбюраторних двигунах);

Змазування розбризкуванням – масло, витікаючи з підшипників кривошипно-шатунного механізму, закидається на нижню частину втулки циліндра і розноситься по ній поршковими кільцями при русенні поршня вгору, надлишок масла скидається в картер маслозємними кільцями при русенні поршня вниз (тронкові середньо- і високооборотні двигуни);

Примусове змазування від лубрикаторів – масло поступає на поверхню циліндрів від спеціальних насосів – лубрикаторів через штуцера, укрупнені в отвори у втулці, рівномірно розташовані по її колу на відстані не менше за 0,36...0,38 м. По обидві сторони від отворів звичайно вифрезеровані масло-розподільні канавки, направлені під кутом вниз і переважно що сполучаються один з одним, тим самим утворюючи кільцеву хвилеподібну канавку, з допомогою якою масло розподіляється по колу циліндра. Краї канавок закруглені з метою утворення масляного клина при русенні мимо них поршкових кілець. Вгору і вниз від отворів масло розноситься поршковими кільцями (в крейцкопфних двигунах, деяких середньооборотних, в яких масло подається в циліндри як лубрикаторами, так і розбризкуванням).

Змазування розбризкуванням є найбільш простим рішенням, але в порівнянні з примусовим має два істотних недоліки: подача масла на втулку циліндра нерегульована і, як правило, надмірна; на втулку попадає несвіже масло, що проробило в циркуляційній мастильній системі, окислилося і втратило певною мірою частково нейтралізуючі і інші необхідні властивості.

У протилежність відміченому примусове змазування дозволяє суворо дозувати подачу свіжого масла, що найбільш задовольняє за своїми характеристиками вимогам змазування циліндрів і нейтралізації в них кислих з'єднань.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Масло, що подається витрачається на змазування робочих поверхонь циліндрів, поршневих кілець, поршнів, а також закидається в камеру згоряння і в продувочно-випускні вікна (в двотактних двигунах), скидається в картер або в підпоршневу порожнину. Масло, що розподіляється тонкою плівкою по поверхні циліндра, виконуючи функцію розділення поверхонь, що труться, одночасно нагрівається, зазнає впливу гарячих, агресивних продуктів згоряння і повітря, великих теплових потоків з боку поршня. Внаслідок окислювальних процесів в ньому утворюються органічні кислоти, масло насичується сильними неорганічними кислотами, сажею і ін. Велика частина масла, що особливо знаходиться на верхній поверхні циліндра, випаровується. Пари масла дифундують в повітря і згоряють або несуться з випускними газами у випускний тракт. Інша частина масла, що стала більш в'язкою і що вбрала в себе продукти старіння, частково скидається поршневими кільцями в картер або в підпоршневі порожнині, частково залишається на стінках циліндра і поршнів, перетворюючись в лаки і нагар.

На товщину масляної плівки на поверхні циліндра впливають: кількість масла, що підводиться і спосіб підведення; швидкість рушення кілець вздовж поверхні циліндра, що залежить від швидкості поршня і частоти обертання двигуна; радіальний тиск кілець на втулку, що визначається навантаженням циліндра, пружністю кілець і їх розташуванням на поршні; якість робочої поверхні циліндра (шорсткість); властивості масла (в'язкість, маслянистість, термічна стабільність і ін.); температура і тиск газів в циліндрі, температура поверхонь втулки, поршня, що змазуються.

Необхідне поновлення або освіження масляної плівки на робочій поверхні циліндра в двигунах з подачею масла розбризкуванням відбувається при кожному ході поршня вгору. У двигунах з примусовим змазуванням нерегулярність надходження масла з штуцерів певною мірою порушує циклічність поновлення плівки на поверхні циліндра. Необхідною умовою збереження масляної плівки є вимога, щоб кількість масла, що

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відшкодовується G_m покривала його витрату G_{mp} , зумовлену випаровуванням і згорянням масла G_{isp} , закиданням масла кільцями в камеру згоряння G_{kc} (це масло частково згоряє, переходить в нагар, несеться з випускними газами), скиданням масла, що частково окислилося у випускні вікна, де воно відкладається у вигляді нагару, і в підпоршневу порожнину або в картер G_k :

$$G_{mp} = G_{isp} + G_{kc} + G_k$$

Якщо подача масла в циліндр недостатня ($G_m < G_{mp}$), то підтримка масляної плівки необхідної товщини стає неможливою, режим тертя з рідинного може перейти в граничний або в режим сухого тертя.

Найбільшої товщини масляна плівка досягає в зоні, розташованій від середини ходу поршня в сторону НМТ, саме тут поршень розвиває максимальну швидкість, гідродинамічний тиск збільшується, а температура і інтенсивність випаровування масла знижуються. На більшій частині ходу поршня товщина плівки складає більше за 20 мкм, тому режим змазування носить гідродинамічний характер. У малообертових дизелях в зв'язку з меншими швидкістю поршня і подачею масла на змазування циліндрів товщина шару масла звичайно менше, однак і в них режим змазування в основному носить гідродинамічний характер, за винятком зон ВМТ і НМТ, більш протяжних, ніж в швидкохідних дизелях. Тут змазка підкоряється законам граничного тертя. Ефективне змазування істотно утрудняється або порушується там, де є пропуск газів вздовж утворюючої циліндра, незалежно від того, викликаний він порушенням циліндричності втулки внаслідок деформації або зносу або порушеннями в роботі кілець (втрата пружності, зависання в кепках, поломка). У місцях прориву газів масляна плівка перегрівається, окислюється, згоряє або здувається; якщо в таких випадках локальні ділянки поверхні металу залишаються незахищеними, то це сприяє як корозійному, так і механічному зносу. Особливо велика небезпека

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прориву газів через перше поршневе кільце. Прорив газів відбувається через відкриті замки поршневих кілець; особливо небезпечна ситуація, коли замки кілець шикуються в одну лінію. Тому необхідно збереження рухливості кілець в кепках, при якій кільця мають можливість безперервно обертатися, займаючи положення, не залежні один від одного. Пропуск газів через кільця внаслідок їх нещільного прилягання визначають по появі на кільцях місцевих плям опіку, а на втулці – темних смуг. Особливо важкі умови змазування в двотактних двигунах в поясі випускних вікон, де є сприятливі умови для здування масла з поверхонь втулки, кілець і поршня в момент проходження його мимо вікон і їх відкриття. Цим пояснюється сильний знос втулок в поясі вікон і задіри, типовий для двигунів з петлевою схемою газообміну.

Витрата масла. Масло, що закидається кільцями в камеру згоряння, безповоротно втрачається згоряє, бере участь в утворенні нагару або несеться з випускними газами. Згоряє також масло, що випаровується з поверхні плівки на дзеркалі циліндра. Приховані втрати масла прийнято відносити до витрати масла на вигар $G_{\text{уг}}$. Ця витрата залежить від наступних чинників:

- числа і конструкцій кілець;
- розташування кілець на поршні;
- пристосування кілець до зміни форми циліндра;
- міри зносу кілець;
- збільшення зазору в замку;
- знос торцевих поверхонь кілець і канавок (посилюється перекачування масла)
- втрата пружності кілець;
- свобода їх переміщення в канавках;
- конструкції поршня;
- здатності поршня зберігати циліндричну форму при навантаженні;
- зазору між тронком і циліндром;
- конструкції циліндра, здатності зберігати циліндричну форму в

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесі роботи;

- стану поверхонь тертя і міри зносу;
- якості і стан масла (зниження в'язкості збільшує витрату масла);
- зазору між штоками клапанів і направляючими;
- режиму навантаження двигуна;
- щільність мастильної системи.

Витрата масла на злив $G_{зл}$ являє собою втрату масла, зумовлену необхідністю його періодичної заміни в зв'язку з втратою ним тих або інших експлуатаційних властивостей (досягнення браковочних показників). Зміна стану масла у часі, його старіння, а з ним і витрата $G_{зл}$ визначаються не тільки властивостями самого масла, конструктивними особливостями двигуна, режимами його роботи і технічним станом, але і мастильною системою (її місткістю, кратністю циркуляції масла, наявністю і ефективністю засобів очищення масла, від яких залежить відновлення його експлуатаційних властивостей).

Сумарна витрата масла двигуном складається з витрат масла на вигар і на злив: $G_{мр} = G_{уг} + G_{зл}$. З загальної суми витрати масла тронковим двигуном основної складової є витрата на вигар (84...96 %), а витрата на злив становить всього 16...4 %. Витрата масла дизелем прийнято виражати його питомою величиною $g_m = G_m \cdot 10^3 / N_e$, званої питомою витратою.

У середньообертових дизелів з помірної форсировкою робочого процесу, що застосовуються на судах морського флоту як головні або допоміжні та на судах річкового і рибпромислового флотів, $g_m = 1,6...1,8$ г/(кВт×год.). У сучасних середньообертових головних дизелях з високим рівнем форсировки ($p_e > 1,5$ МПа) $g_m = 1,5...2,4$ г/(кВт×год.). Особливо великими витратами масла характеризуються високообертові дизелі $g_m = 6...8$ г/(кВт×год.)].

Велика витрата масла у великих форсованих дизелів пояснюється не тільки великими втратами на вигар в зв'язку з більш високим тепловим

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаженням циліндрів, але і більш інтенсивним окисленням масла в циліндрах і в картері. Сприяють цьому два чинники – високе теплове навантаження і робота на важких високосіркових паливах, продукти згоряння яких, попадаючи в картер, істотно прискорюють старіння масла.

Приведені норми витрати циркуляційний масел дані стосовно до номінальної або максимальної потужності дизелів. У експлуатації дизелі рідко працюють на такій потужності, тому представлені цифри носять декілька умовний характер. Більш об'єктивний показник питомої витрати, віднесений до фактичної (середньозважений) потужності дизеля. Він значно вище номінальної витрати. Так, згідно з практичними нормами витрати масла для двигунів Зульцер 16ZV40/48 номінальна витрата на рівні 1,54 г/(кВт×год.), а фактична 2 г/(кВт×год.); для двигунів SEMT Pielstick 16PC2-2V40 відповідно 1,75 і 2,18 г/(кВт×год.).

Так істотна різниця питомих витрат пояснюється тим, що з переходом від потужності максимальної до експлуатаційної ефективна потужність питомої витрати меншає, а часова витрата масла практично не міняється, більш того може навіть дещо збільшуватися в зв'язку з погіршенням технічного стану деталей ЦПГ.

Старіння масла. Старіння масла являє собою сукупність різних процесів, що приводять до зміни фізичних і хімічних його властивостей в ході використання в машинах і механізмах і при зберіганні. Сучасне моторне масло являє собою комплекс, що складається з базового масла (вуглеводневої частини) і добавок, і при старінні в ньому відбуваються хімічні і фізико-хімічні процеси зміни масляної основи, зовнішнє забруднення, спрацювання добавок і зміна їх хімічного складу і структури.

Зовнішній вияв старіння масла – потемніння. Внаслідок роботи в дизелі в маслі з'являються механічні домішки органічного (продукти окислення і окислювальної полімеризації масла) і неорганічного (продукти зносу) походження, змінюються в'язкість, кислотно-лужні властивості, вміст

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

присадок, в ньому можуть накопичуватися паливо і вода.

Окислення масла в циліндрах і в картері якісно протікає по-різному. На інтенсивність і характер окислювальних процесів у високотемпературній зоні в покриваючій дзеркало циліндра масляній плівці впливають теплообмін між газом і плівкою, взаємодію з плівкою кисню повітря, сірчистих і інших агресивних з'єднань. Крім того, в плівку осаджується твердий вуглевод (сажа). Під впливом перерахованих чинників окислення масла на втулках йде в десятки разів інтенсивніше, ніж в картері, особливо при спаленні важких сірчистих палив з високим змістом асфальтенів. Процес окислення носить ланцюговий характер з участю вільних радикалів. Першими продуктами окислення є перекису, подальше окислення яких йде у двох напрямках: кислі продукти (кислоти і оксикислоти) і нейтральні продукти (смоли, асфальтени, карбени, карбоїди).

У тронковому двигуні яким є двигун що розглядається у даному проекті процес окислення, що почався в циліндрах продовжується в масляній системі, в основному в картері, де його визначають вже не температура і тиск, а чинник часу. Важливий технічний стан двигуна (стан ущільнення циліндрів), режим його роботи, ефективність добавок, якість очищення масла і ін. У масло, що знаходиться в картері разом з газами, що прориваються з циліндрів проникають продукти високотемпературного окислення масла, агресивні з'єднання і сажа, що утворилися при згорянні палива, водяні пари і неспалене паливо. На процеси окислення надає також вплив велика поверхня масляного туману в картері. Під впливом перерахованих чинників і в умовах значно більш низьких температур і тиску в процесах окислення масла, що продовжується в картері переважну роль грають полімеризацій і конденсація проміжних з'єднань з утворенням асфальто-смолистих речовин, карбенов і карбоїдов. У крейцкопфному двигуні, де картер відділений від циліндрів діафрагмою і застосовується роздільна змащувальна система, масло в картері окислюється дуже повільно і старіння масла в основному визначається

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

накопиченням в ньому продуктів зносу і корозії. Цим пояснюється, що при ефективному очищенні від механічних домішок термін служби масла практично не обмежений.

Процес окислювальної полімеризації що протікає в циліндрах і картері полягає в укрупненні і ущільненні молекул. Продукти менш щільні переходять до більш щільним в наступному порядку:

оксикислоти → смоли → асфальтени.

Оксикислоти мають одночасно властивості карбонових кислот і спиртів. Смоли – продукти полімеризації головним чином парафінових і нафтових вуглеводнів, добре розчиняються в маслі. Асфальтени, що з'являються внаслідок полімеризації смол, утворюють з маслом колоїдний розчин, а ті, що утворюються в циліндрах внаслідок неповного згоряння палива, в ході подальшого ущільнення переходять в карбени і карбоїди, в маслі не розчинні, а завдяки своїй високій твердисті їх наявність у маслі викликає абразивний знос.

Смоли, асфальтени і оксикислоти характеризуються високою в'язкістю і поганою випаровуємостью. Попадаючи з маслом на нагріті металеві поверхні, вони утворюють липкі лакові плівки, здатні затримувати і скріплювати тверді органічні включення (карбени, карбоїди, сажу) і утворювати нагар. Нарівні з відміченим, асфальто-смолісті з'єднання, з притаманними їм високими поверхово-активними властивостями, адсорбуються на зважених в маслі частках (механічних домішках) і покривають їх своєрідною колоїдною захисною плівкою, яка перешкоджає безпосередньому контакту абразивних часток з поверхнями тертя. У початковий період, коли в двигуні знаходиться свіже масло і продукти окислення відсутні або їх мало, спостерігається значний зйом металу з поверхонь тертя, що супроводжується локальними температурними спалахами і контактним окисленням масла (це окислення мікрооб'ємів масла в точках контакту поверхонь, що труться, де розвиваються високі тиск і температура). По мірі накопичення колоїдних

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

продуктів окислення швидкість процесу зносу меншає, скорочується число точок контактного окислення і процес старіння певною мірою стабілізується.

Накопичення в маслі кислих продуктів приводить до зростання його органічної кислотності, яка характеризується *кислотним числом* – ця кількість еквівалентного лугу, необхідного на нейтралізацію кислих з'єднань, що виражається в одиниці мг КОН на 1 грам масла. Зростання кислотності визначає збільшення корозійної агресивності працюючого масла в зв'язку з утворенням в ньому органічних кислот, що негативно впливають на антифрикційні сплави підшипників із змістом свинцю і кадмію. По даним Б.В. Лосикова, помітна дія цих кислот дія на метал починає позначатися при кислотності масла, що перевищує 1,5 мг/г КОН. Кислотне число масла характеризує лише ті кислоти, які лужні з'єднання добавок не в стані нейтралізувати, і вони накопичуються в маслі по мірі його старіння. Нарівні із зростанням кислотності збільшується в'язкість масла, що зв'язано з накопиченням в ньому високов'язких продуктів ущільнення (смола, асфальтенів, окисикислот). Це утрудняє надходження масла до найбільш видалених місць дизеля і може привести до їх підвищеного зносу. Якщо на змазування циліндрів масло поступає з картеру (а в більшості середньообертових двигунів це так), то збільшення в'язкості внаслідок окислення, особливо помітне при високих температурах, супроводжується збільшенням товщини масляної плівки на дзеркалі, вигару і інтенсивності подальшого окислення масла.

У процесі роботи масла вміст активних добавок в ньому знижується, що приводить до зниження загального лужного числа (ЗЛЧ). Причини витрати присадок в маслі полягають в наступному: витрачання компонента добавки на нейтралізацію сильних кислих з'єднань, що попадають в масло ззовні; адсорбції молекул добавки на поверхнях деталей і на зважених частках органічного і неорганічного походження, що утворюються в маслі в процесі його роботи в дизелі; адсорбції добавки на фільтрі тонкого очищення

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

масла; втраті добавки разом з вигоряючим маслом.

Вміст в маслі механічних домішок і води. Механічні домішки, що накопичуються в маслі в процесі його роботи в залежності від походження поділяють на мінеральні і органічні. Мінеральні домішки являють собою продукти зносу деталей і забруднення мінерального походження, що попадають в картерне масло ззовні. Домішки органічного походження утворюються внаслідок процесів окислювальної полімеризації вуглеводнів масла.

Наявність в маслі механічних домішок сприяє збільшенню зносу дизеля, однак вплив окремих компонентів різний. Основну роль в абразивному зносі деталей грають мінеральні складові домішок. Окислення, що накопичуються в маслі не розчинні в нафтопродуктах, органічні домішки завдяки своїй полярності сприяють підвищенню міцності масляної плівки, що утворюється на деталях, це знижує імовірність її руйнування при збільшенні навантажень і тим самим зменшує знос. Захисний шар підвищеної міцності утворюється також навколо часток мінерального походження, запобігаючи певною мірою абразивному зносу, що викликається цими частками. Указані положення переконливо підтверджуються численними даними експериментальних і експлуатаційних досліджень.

Попадання в масло води потрібно уникати, оскільки її присутність (особливо солоної) приводить до інтенсифікації процесів окислення масла з утворенням органічних і неорганічних кислот, випаданню шламу, кородуванню чисто оброблених металевих поверхонь (особливо цапф підшипників і штоків поршнів їх поверхня стає більш шероховатою), окисленню олова, що входить до складу підшипникових сплавів. Поступаючи в масло вода може також викликати гідроліз високолужних з'єднань, що входить до складу добавок, і їх кристалізацію, слідством чого є забиття фільтрів і масляних каналів. Масла з ЗЛЧ 10...11 високолужних добавок не містять, тому відміченого явища в них не спостерігається. У

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

протилежність ним масла з ЗЛЧ 20 і вище схильні до дії води, тому при обводненні і появі ознак кристалізації підлягають заміні. Характерно, що при кристалізації ЗЛЧ масла не міняється.

При попаданні прісної води може статися зараження масла бактеріями, що агресивно впливають на метали, що з'їдають добавки і ін. Ознакою наявності бактерій є поява у масла різкого запаху, характерного для сірководню.

3.2 Розробка заходів щодо модернізації системи очищення масел

Перехід на нові масла пов'язано не тільки з перевагами але й непозбавлений ряду недоліків. Найбільш істотним, є те, що застосування нових масел не дозволяє використати традиційні методи їхнього очищення в процесі експлуатації двигуна. Так традиційний для судових систем метод сепарування масла, мало або взагалі практично не придатний для подібних масляних композицій. У цьому випадку недолік методу сепарування навіть трохи парадоксальний – відцентрові сепаратори занадто добре очищають масло, у тому числі й від зважених наночасток. Таким чином, після декількох циклів сепарації в масляній композиції не залишається механічних присадок, у результаті чого масло втрачає значну частину своїх експлуатаційних властивостей. Саме цим пояснюється повсюдна відмова від відцентрових методів очищення масел на наземних транспортних засобах. Безумовно подібна тенденція очікується й для судових систем у міру переходу на масла нового покоління.

У розглянутій роботі нами розроблена принципова схема масляної системи СДУ без використання сепараторів у системі очищення циркуляційного масла (рис. 3.1). Як слід зі сказаного вище, система очищення масла повинна мати селективність, затримувати великі частки механічних домішок і пропускати дрібні.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

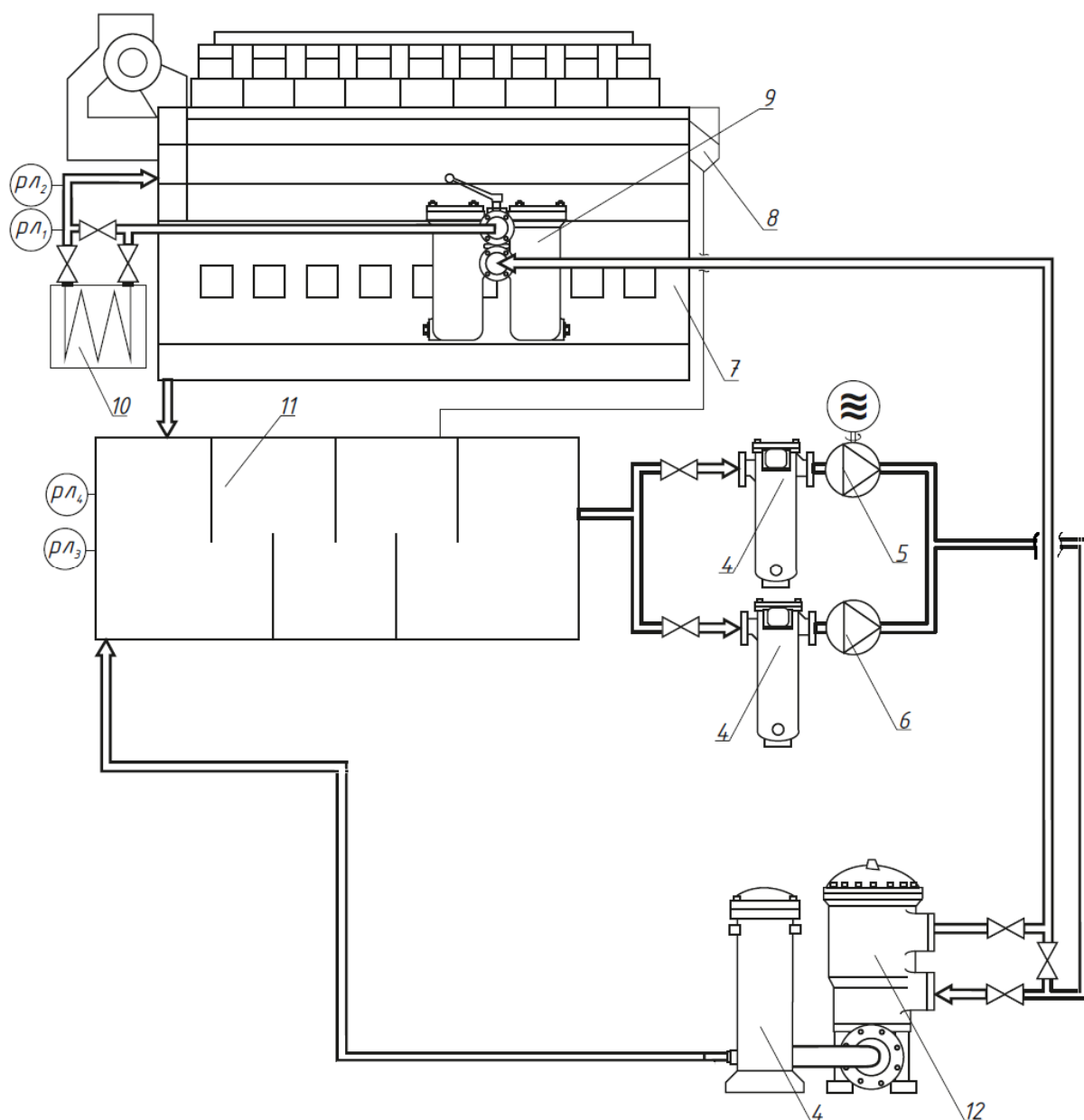


Рисунок 3.1 – Схема масляної системи після модернізації: 4 – фільтр грубого очищення для захисту насосу; 5 – насос з електроприводом; 6 – насос з приводом від колінчатого валу; 7 – двигун; 8 – масловідділювач системи вентиляції картеру; 9 – фільтр тонкого очищення; 10 – регулятор температури масла; 11 – масляна цистерна; 12 – фільтр самоочисний серії 6.46 фірми Bollfilter; $рл_1$ – реле максимального тиску; $рл_2$ – реле мінімального тиску; $рл_3$ – реле максимального рівня; $рл_4$ – реле мінімального рівня

У значній мірі цій вимозі відповідає метод очищення масла шляхом фільтрації через пористу перегородку, у якості якої використовується спеціальний папір із середнім розміром пор близько 5 мікронів. Однак використання такого способу очищення в судових дизелях у чистому вигляді досить важко. Високий рівень форсування робочого процесу приводить до значного окислювання масляної основи з утворенням асфальто-смолистих сполук які у вигляді згустків швидко забивають пористу структуру й виводять фільтри з ладу. Для забезпечення надійного очищення масла таким способом необхідно багаторазово збільшити поверхню фільтрації, що приведе до збільшення фільтруючої установки до неприйнятних розмірів. Іншим істотним недоліком такого способу очищення є те, що подібного роду фільтруючі елементи є одноразовими й після вироблення певного ресурсу підлягають заміні.

Для усунення перерахованих вище недоліків нами запропоновано модернізувати систему змащення застосувавши двоступінчасте очищення масла. Як перший ступінь, що забезпечує очищення масла від великих часток запропоновано використати повнопоточний самоочисний фільтр із очищенням протитоком (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд фільтру серії 6.46 фірми Bollfilter

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розглянутого двигуна як фільтр першого ступеня обраний фільтр виробництва фірми Bollfilter. Устрій фільтра показаний на рис. 3.3.

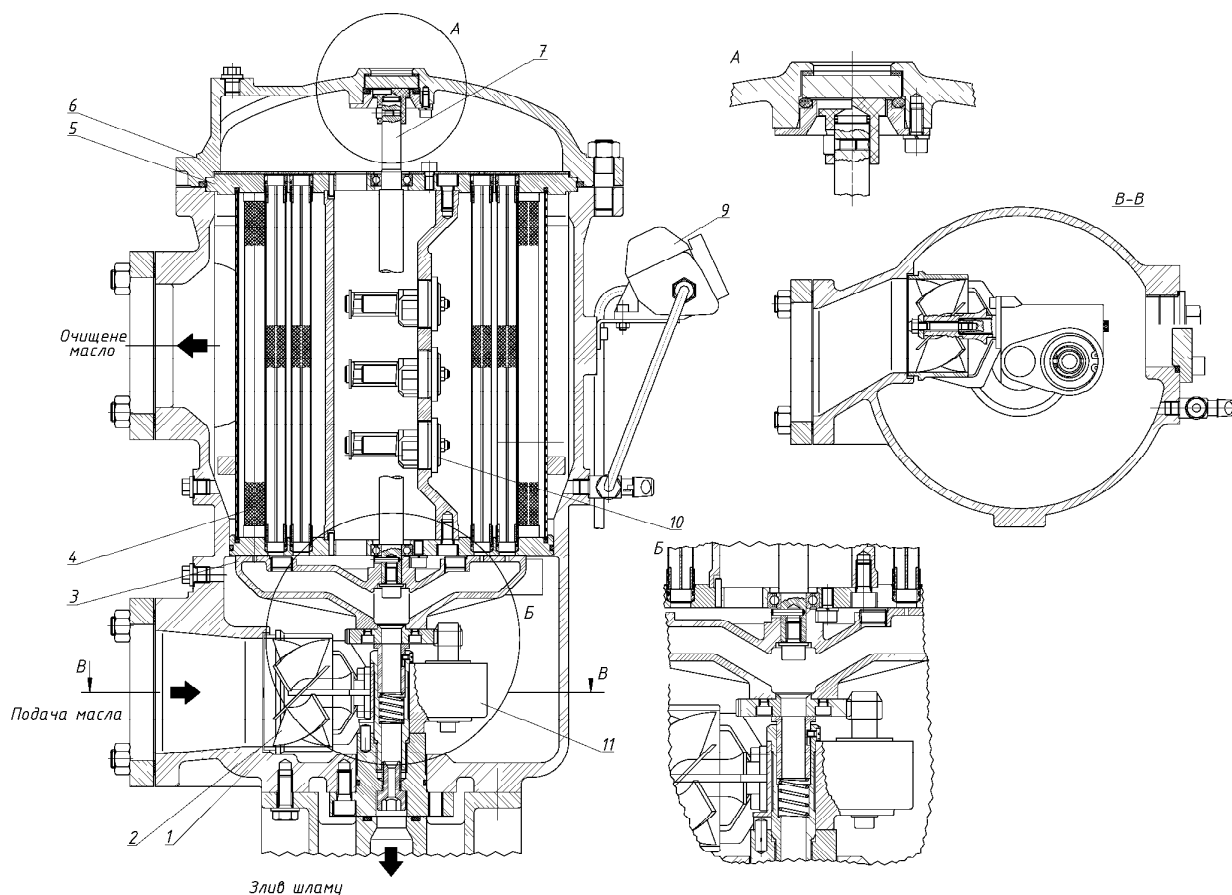


Рисунок 3.3 – Самоочисний фільтр виробництва фірми Bollfilter:
 1 – корпус фільтру; 2 – крильчатка приводу; 3 – супорт збору шлану;
 4 – фільтруючі елементи; 5 – верхня дошка; 6 – кришка фільтру; 7 – вісь
 обертання супорту; 8 – діафрагма; 9 – контрольна панель; 10 – перепускні
 клапани; 11 – редуктор приводу супорту

Фільтр складається з корпусу, у якому зверху й знизу затиснуто дві металеві дошки з отворами для установки фільтруючих елементів щілинного типу. Кожен елемент являє собою металеву гільзу на поверхню якої навито спеціальний дріт із клиноподібним профілем, і перфорацією по опорній поверхні (рис. 3.4). Між витками дроту утворюються щілини товщиною 0,01...0,05 мм, при проходженні через які й відбувається відділення великих

часток від масла. Масло надходить в усередину корпусу, відтіля надходить у внутрішню порожнину фільтруючих елементів і проходячи через них виходить у збірний колектор, звідки надходить у систему для подальшого очищення.

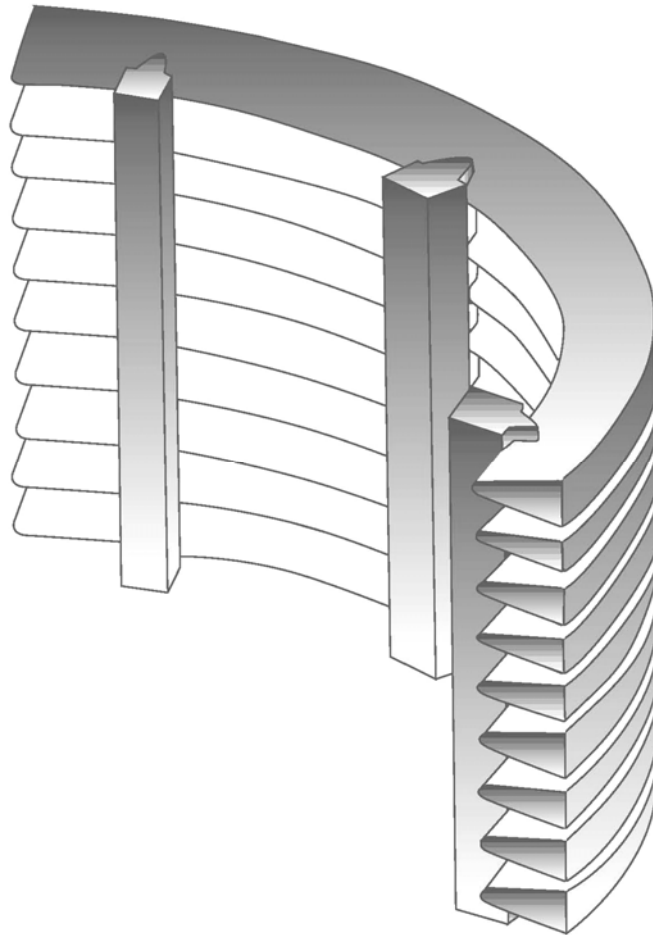


Рисунок 3.4 – Формування фільтруючої поверхні

Для автоматичного, безперервного очищення фільтра від шламів, у нижній частині корпусу встановлений обертовий супорт що приводиться у рух через редуктор від установленної в потоці масла крильчатки. Супорт виконує роль золотника, у його корпусі передбачені канали, які при обертанні періодично від'єднують фільтруючі елементи першого й другого ряду від порожнини подачі масла. У результаті цього тиск у фільтруючому

елементі падає до атмосферного в результаті чого потік масла міняє напрямок, промиваючи протитоком щілини фільтруючого елемента. Шлами надходять у порожнину супорта й далі виводяться назовні через його вісь. На випадок забивання фільтра в корпусі передбачена розділова діафрагма із установленими на ній редуційними клапанами. При збільшенні перепаду тисків між порожниною, що подає, і збірним колектором, клапана відкриваються й припускають неочищене масло в систему. При цьому на контрольній панелі контрольна зона офарблюється в червоні кольори. На вимогу замовника контрольна панель може оснащуватися світловою й звуковою сигналізацією.

Як другий ступінь очищення масла пропонується використати традиційний для даного класу двигунів, двосекційний фільтр тонкого очищення (рис. 3.5).

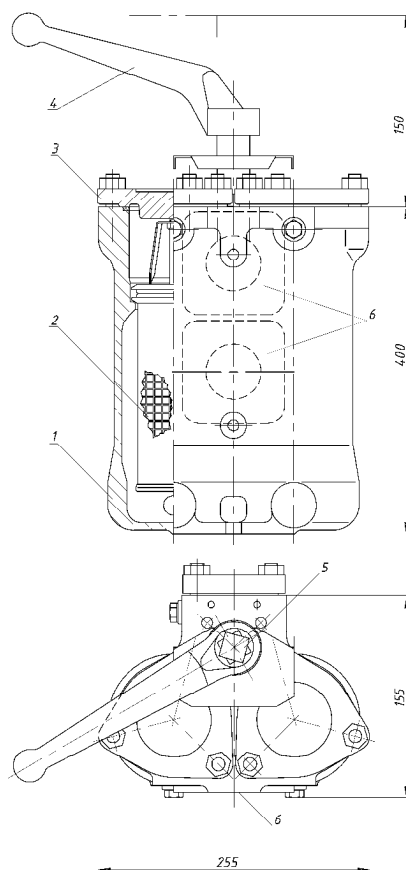


Рисунок 3.5 – Фільтр тонкого очищення масла: 1 – корпус; 2 – фільтруючий елемент; 3 – кришка; 4 – рукоятка; 5 – розподільник; 6 – фланці для приєднання

Фільтр складається зі здвоєного корпусу в якому встановлене два паперових фільтруючі елементи. На кришці корпусу встановлений розподільник, що дозволяє поперемінно підключати до системи очищення один з фільтруючих елементів. Таким чином, можна робити зміну фільтруючих елементів без виводу двигуна з експлуатації.

Подібна модифікація системи на наш погляд дозволить значно продовжити ресурс фільтрів тонкого очищення, і дозволить використати у двигуні моторні масла нового покоління без погіршення їхніх властивостей у процесі експлуатації.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці

Охорона праці в Україні регламентується законом «Про охорону праці», прийнятим в 1993 році.

Згідно з ДСТУ 2293 2014 «Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення». Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Техніка безпеки – це система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих небезпечних виробничих факторів.

Небезпечний виробничий фактор – це виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або раптового різкого погіршення здоров'я.

Шкідливий виробничий фактор – це виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до захворювання або зниження працездатності.

4.1.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах

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

1. Правила технічної експлуатації судових енергоустановок;
2. Правила технічної експлуатації судових електроустановок;
3. Правила устрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів та судин під тиском;

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Правила організації безпечної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння;

5. Правила техніки безпеки при експлуатації суднового тепломеханічного й електричного встаткування.

СОЛАС – конвенція по охороні життя людини на морі. Основні цілі конвенції СОЛАС – визначення мінімальних стандартів по конструкції, обладнанню та плаванню суден, відповідаючи за їх безпеку.

Конвенція передбачає, що договірні уряди зобов'язуються виконувати положення конвенції й додатка до неї, а також видавати закони, декрети, накази й правила та приймати всі інші заходи, для повного виконання положень Конвенції.

При перевірці та огляді відповідним суднам видаються:

- свідоцтво про безпеку вантажного судна по конструкції;
- свідоцтво про безпеку вантажного судна по устаткуванню та постачанню;
- свідоцтво про безпеку вантажного судна по радіоустаткуванню.

Також до цього списку можна додати ті інструкції, що розробляються спеціально роботодавцем.

Міжнародний кодекс по управлінню безпеки на судні (МКУБ) за головну мету ставить забезпечення міжнародного стандарту по управлінню безпечною експлуатацією суден та запобіганню забрудненням.

МКУБ складається з двох частин:

- частина А – «Впровадження»;
- частина В – «Огляд і перевірка».

Обидві частини містять у собі 16 розділів, замість прийнятих 04.11.93 р. 13-ти розділів.

Включений у СОЛАС-74 в 1994 р. МКУБ є застережливим документом, направленим на те, щоб відхилення від стандартів, які можуть так чи інакше вплинути на безпеку на морі, були заздалегідь виявлені й

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконані дії, застерігаючи їхній розвиток. Вимоги МКУБ стали поширюватися на танкери, газовози, хімовози, навалювальні судна, валовою місткістю більше 500 реєстрових тон, і на всі пасажирські й швидкісні судна незалежно від розміру.

4.1.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів у машинно-котельному відділенні судна при роботі з маслами

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

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі фактори що діють у МКВ

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

Розглянемо окремо найбільш важливі з вище перерахованих небезпечних і шкідливих факторів що можуть виникнути при роботі з

маслами та обладнанням масляних систем СДУ.

Хімічні фактори. Клас безпеки конкретних товарних моторних масел встановлюється за результатами токсикологічних і санітарно-гігієнічних досліджень у відповідних органах Мінздоров'я України, а також пожежонебезпечних характеристик в органах Міністерства внутрішніх справ України.

Як правило, моторні масла відносяться до наступних класів безпеки:

- у разі інгаляційної дії – 3 (речовини помірно небезпечні);
- при введенні в шлунок – 4 (речовини малошкідливі);
- при нанесенні на шкіру – 4 (речовини малошкідливі).

Клас безпеки масел по загальній токсичній дії по ДСТУ 3.2-1:2007. «Система стандартів безпеки. Визначення наявності шкідливих речовин, класифікацію небезпечних відходів...» моторні масла віднесено до малошкідливих речовин.

Контакт з допущеними до застосування моторними маслами звичайно не веде до поразки центральної нервової системи, серечно-судинної системи, кровотворних органів, шкіряних покривів, слизових оболонок очей, верхніх дихальних шляхів і порушенню обмінних процесів. Масла можуть мати слабу кумуляційну дію і сенсibiliзуючі властивості. Одноразова і багаторазова дія на непошкоджену шкіру може викликати ознаки короткострокових шкіряно-резорбтивного і місцево – дратівливої дії. Масла можуть викликати слабу дратівливу дію на слизові оболонки очей. Контакт з маслами не повинен супроводжуватися виявами алергії і дерматиту. По тропності токсичної дії, масла відносяться до речовин політропного характеру дії. Віддалені ефекти відсутні.

Масла моторні – горючі рідини. Температура samozapalennya по ДСТУ 8829:2019 знаходиться в межах 300...350°C. Норми температури спалаху, що визначається у відкритому тиглю, і метод випробування встановлюється в нормативній документації на масла.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У стандартних умовах виробництва і зберігання масла не повинні гідролізуватись, полімеризуватися і окислюватися, не володіти летучістю, не мати здібності до утворення токсичних з'єднань в присутності інших речовин і чинників. Масла не повинні утворювати токсичних з'єднань в повітрі і стічних водах, в присутності інших речовин або чинників.

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

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

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

При експлуатації СДУ необхідно періодично проводити контроль рівнів шуму й вібрації й при необхідності виконати заходи щодо зниження їхнього несприятливого впливу на обслуговуючий персонал. Вимір шуму на робочих місцях повинне проводитися відповідно до СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на робочих місцях...».

Вимір вібрації енергетичних установок з метою відповідності її припустимим параметрам проводиться в процесі приймально-здавальних випробувань енергетичного комплексу, а також після ремонту устаткування. Вимір вібрації проводиться відповідно до СН 2.2.4.548-96.

Крім виконання конструктивних заходів щодо зниження шуму й

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вібрації при експлуатації енергетичних установок рекомендується застосування індивідуальних засобів захисту від шуму й вібрації у вигляді: протишумових навушників, шумозахисних шоломів, вібродемпфуючих килимків, виброгасячого взуття і т.і.

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

Освітленість у МКВ повинна бути не менш 75 лк.

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

Аварійне освітлення забезпечує не менш 10% нормативної освітленості в МКВ. Світильники, встановлені в МКВ повинні бути стійкі до вібрації, вибухово-пожежобезпечними, металева арматура – заземлена. Світильники встановлені так, щоб запобігти сліпучу дію ламп на зір [20].

4.1.3 Заходи зі забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці на суднах при роботі з мастильними матеріалами

При роботі з моторними маслами необхідно дотримуватися правил особистої гігієни. У разі попадання масел:

- на шкіру – необхідно видалити продукт ганчіркою, забруднене місце промити великою кількістю мильного розчину і змити великою кількістю води;
- в шлунок – викликати блювоту, промити шлунок, прийняти послаблююче;
- на слизові оболонку очей – промити їх водою, закапати дикаїном і альбуцидом.

Контроль повітря робочої зони при роботі з маслами проводять при наявності аерозолі масла. Гранично допустимою концентрацією пар вуглеводнів в повітрі робочої зони 300 мг/м³.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

При розливі масла в приміщенні необхідно зібрати його в окрему тару, місце розливу протерти сухою ганчіркою, яку потім необхідно покласти в спеціальний металевий ящик, а потім спалити відповідно до вимог. При розливі на відкритому майданчику місце розливу засипати піском з подальшим вивозом його у відвал. Відпрацьовані масла підлягають збору, регенерації і використанню відповідно до вимог.

При роботі з маслами необхідно застосовувати індивідуальні способи захисту, передбачені типовими галузевими нормами, затвердженими у встановленому порядку:

- костюми,
- взуття,
- рукавиці,
- захисні окуляри типу ЗН.

Приміщення, де проводяться роботи з маслами, повинні бути обладнані приточно-витяжною вентиляцією, водопровідною системою і каналізацією, штучним освітленням, опалюванням 1. Обладнання повинне бути захищене від статичної електрики методами захисту. У приміщеннях, де виконуються роботи з маслами, забороняються робота з відкритим вогнем.

При відкритті тари не дозволяється використати інструменти, що дають при ударі іскру. Штучне освітлення повинне бути у вибухобезпечному виконанні.

У разі зайняття масел застосовуються наступні способи пожежегасіння: розпиляну воду, піну, вогнегасні порошки П-2АП, П-2АППМ і ПСБ-3; при об'ємному гасінні – вуглекислий газ, склад СЖБ, склад «3,5», пару.

Перед роботою з маслами доцільно змазати руки дерматологічними засобами, рекомендованими органами санепідемнагляду (пастаи ИЭР-1 (ФС 42-1402–80), паста ХИОТ-6 (ФС 42-1532–80), крем плівкоутворюючий, паста "Айро"(ТУ 6-15-635–77) і ін.), а після роботи використати очищувачі шкіри (мило ДНС-АК, засіб миючій кремоподібний, паста "Ралі" (ТУ 6-15-985–76) і

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ін.).

Технологічний персонал, працюючий з маслами, повинен пройти медичні огляди відповідно до вимог наказу Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94, №45.

Для запобігання забрудненню повітря суднових приміщень, необхідно забезпечити герметичність ємностей, обладнання, комунікацій і методів відбору проб у відповідності з СанПіН, затверджених у встановленому порядку.

4.2 Розрахунок системи приточно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні

Цей розрахунок виконано з метою визначення необхідної подачі повітря вентиляторами системи вентиляції приміщень СЕУ, забезпечуючи задані температуру повітрообмін у робочих приміщеннях МКВ.

Мікроклімат у приміщеннях судна визначається наступними параметрами: вологість, температура, рухливість повітря, тиск повітря, теплота, що виділяється від нагрітого повітря, устаткування та механізмів.

Джерелами теплових випромінювань є нагріті поверхні машин, механізмів, устаткування, трубопроводів.

Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це призводить до зниження працездатності та може стати причиною травматизму. Для захисту персоналу застосовують герметизацію та теплоізоляцію механізмів, машин, паропроводів та газопроводів.

Низька температура може викликати місцеве чи загальне охолодження організму.

Для підтримки нормальної температури та стану повітря передбачається вентиляція з підігрівником і охолоджувачем повітря.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вологість повітря підтримується в межах 40...60 % при наявності повітряного опалення, в літню пору нормалізується. Для підтримки необхідних параметрів повітря в побутових приміщеннях та на мостик судна застосована система приточно-витяжної вентиляції та опалення.

Розрахунок необхідної кількості зовнішнього повітря, що подається в приміщення системою загально-обмінної вентиляції, яка необхідна для підтримки метеорологічних умов на оптимальному рівні, припускаючи, що у виробничому приміщенні є надлишок явного тепла. При цьому необхідно користуватися наступною формулою:

$$V_T = V_0 + \frac{Q_a - 0,29 \times V_0 \times (t_0 - t_H)}{0,29 \times (t_{yx} - t_H)},$$

де V_T – об'єм зовнішнього повітря, що подається в приміщення при розрахунку за надлишком явного тепла, м³/год.;

V_0 – об'єм повітря, що видаляється з робочої зони приміщення місцевими повітродувками на технологічні потреби, м³/год. ($V_0 = 14000$ м³/год.);

Q_a – надлишок явного тепла, ккал/м³·год ($Q_a = 0,03 \cdot 10^6$ ккал/м³·год.);

t_0 – температура повітря, що видаляється з робочої зони приміщення, °C ($t_0 = t_{\text{норм}}$);

t_H – температура зовнішнього повітря, що подається в приміщення, °C;

t_{yx} – температура повітря, що видаляється із приміщення за межами робочої зони, °C ($t_{yx} = t_0$).

Улітку:

$$V_T = 9000 + \frac{0,03 \cdot 10^6 - 0,29 \cdot 9000 \cdot (36 - 28)}{0,29 \cdot (36 - 30)} = 14241 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Узимку:

$$V_T = 9000 + \frac{0,03 \cdot 10^6 - 0,29 \cdot 9000 \cdot (18 - 15)}{0,29 \cdot (15 + 9)} = 12185 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для подальшого розрахунку необхідно мати значення загального об'єму

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочих приміщень (МКВ) судна $V_{\text{орп}}$, м^3 , якщо розміри МКВ становлять:

- довжина $L=10,86$ м;
- ширина $B=12,30$ м;
- висота $H=10,85$ м.

При цьому об'єм МКВ приблизно складе:

$$V_{\text{орп}} = 10,86 \cdot 12,3 \cdot 10,85 = 1449 \text{ м}^3$$

Визначимо коефіцієнт повітрообміну $n_{\text{ц}}$, год^{-1} :

Улітку:

$$n_{\text{ц}} = \frac{V}{V_{\text{орп}}} \cdot T = \frac{14241}{1449} = 9,82 \text{ год}^{-1},$$

Узимку:

$$n_{\text{ц}} = \frac{V}{V_{\text{орп}}} \cdot T = \frac{12185}{1449} = 8,4 \text{ год}^{-1},$$

Згідно загальних санітарно-гігієнічних умов до повітря робочого середовища даної кількості повітря вистачає, що пропускається системою загальної суднової вентиляції, досить для підтримки метеорологічних умов на оптимальному рівні, а встановленої потужності вентиляторів, досить для підтримання дозволених санітарних вимог у приміщенні.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Велика увага при проектуванні та будівлі суден приділяється охороні навколишнього середовища. За останні роки на судах та берегових об'єктах проводяться роботи щодо запобігання забруднення навколишнього середовища внаслідок судноплавства. У даному розділі розглядаються шляхи

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднення моря з суден, а також представлені заходи запобігання такому забрудненню.

Основні негативні фактори для навколишнього середовища, що виникають при експлуатації судна. В процесі експлуатації судна та в наслідок роботи енергетичної установки і допоміжних систем неминуче утворюються різні види шкідливих відходів. Так при експлуатації СЕУ навколишнє середовище може забруднюватися:

- нафтопродуктами;
- стічними водами;
- забруднення атмосфери відбувається завдяки викидам відпрацьованих газів що утворюються у ГД, ДГ на ДК;
- теплове забруднення атмосфери створюється за рахунок вентиляції приміщень в яких працюють установки з високими температурними параметрами та температури відпрацьованих газів.

Використання нафтопродуктів та масла супроводжується протічками у паливних та масляних системах. Ці протічки, як правило, збираються в льялах, де змішуються з водою, а тому являють собою пряму загрозу забрудненню морського середовища. Морську воду використовують як для побутових потреб, так і для охолодження машин та механізмів. Небезпека при зливів використаної води виникає з причини можливого знаходження в ній небезпечних бактерій, миючих хімічних речовин та т.і. В наслідок зливу охолоджуючої води відбувається підігрів гідросфери.

Запобігання забруднення морського середовища. Судноплавство має міжнародний характер, тому всі питання, норми та правила щодо запобігання забрудненню Світового океану судами приймаються на міжнародному рівні. Організація Об'єднаних Націй створила спеціальне морське агентство, що займається тільки питаннями морської індустрії.

В 1948 р. в м. Женева була скликана Конференція ООН з морських питань, яка прийняла Конвенцію про Міжнародну морську організацію, яка

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вступила в силу 1958 р. На сьогодні членами Міжнародної морської організації (International Maritime Organization – IMO) є 174 держави.

Основні завдання ІМО з питання запобігання забрудненню Світового океану полягають в наступному:

- заборона усвідомленого скидання у море нафти й інших шкідливих речовин під час очищення танків та під час дебалластировки судна. Розробка і затвердження нормативних правил на конструктивне устаткування суден;
- розробка конструктивних правил щодо проектування суден, що забезпечують мінімізацію розливу нафти в аварійних ситуаціях;
- штрафи і компенсації за встановлення фактів забруднення акваторії морів нафтою;
- контроль за виконанням всіх вимог Конвенції, включно з оглядом суден в портах.

У 1973 р. була проведена Міжнародна конференція, яка ратифікувала Міжнародну Конвенцію щодо запобігання забрудненню з суден (МАРПОЛ 73). У Конвенції передбачені заходи з запобігання забрудненню морів не тільки нафтопродуктами, але і іншими шкідливими речовинами, які перевозяться суднами або утворюються в процесі їх експлуатації.

Конвенція супроводжується додатками 1 та 2. Додаток 1 «Правила запобігання забрудненню нафтою» і додаток 2 «Правила запобігання забрудненню шкідливими рідкими речовинами, що перевозяться наливом». Виконання цих додатків є обов'язковими для всіх країн учасниць Конвенції.

Окрім цього, є ще три додатки: «Правила запобігання забрудненню шкідливими речовинами, що перевозяться морем в упаковці, вантажних контейнерах, знімних танках автомобільних і залізничних цистернах»; «Правила запобігання забрудненню стічними водами з суден»; «Правила запобігання забрудненню сміттям з суден». Виконання цих додатків є бажаним, але не обов'язковим.

У 1978 р. були прийняті доповнення до Конвенції, і вона стала

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

називатися МАРПОЛ 73/78.

Нові судна, що будуються на верфях, відповідають вимогам всіх статей і додатків Конвенції. Судна старої споруди при ремонті дообладнуються додатковими пристроями для знезараження стічних вод, а також інсинераторами для знищення сміття.

Суднові пристрої і системи для запобігання забруднення морського середовища сміттям. Скидання з суден всіх видів сміття (у тому числі і подрібненого) в морських внутрішніх і територіальних водах України заборонене. Скидання необроблених стічних вод в територіальних водах нашої держави дозволене тільки для суден з числом людей на борту не більше 10. Для всієї решти суден вирішується питання скидання побутово-господарських стоків, не змішаних із стічними водами, або стічних вод, очищених в спеціальних установках.

На кожному судні повинні бути контейнери для збирання, обробки (подрібнення і/або пресування) або пристрої для спалювання сміття (інсинератори). Під терміном «сміття» розуміють всі види харчових, побутових і експлуатаційних відходів, що утворюються при експлуатації судна. При цьому розрахункові норми в добу на 1 людину складають: сухе побутове сміття – 2,0 дм³; харчові тверді відходи – 3,0 дм³. Якщо встановлюються контейнери, то вони повинні мати кришки, що щільно закриваються, і відповідне маркування.

Якщо судно обладналося пристроями для подрібнення і пресування сміття, то вони повинні забезпечувати подрібнення частинок розміром не більше 25 мм і зменшення об'єму пресованого сміття в 5 разів.

На сучасних суднах переважно встановлюють інсинератори – пристрої для спалювання твердих фракцій і сміття. У деяких конструкціях передбачено спалювання залишків після масляних і паливних сепараторів. В суднових приміщеннях при роботі інсинератора не повинні відчуватися запахи. Продуктивність інсинератора зазвичай підбирається так, щоб він

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працював періодами 1-2 рази на добу.

На кожному судні для обробки стічних вод (очищення і знезараження) передбачається спеціальна установка – цистерни для збору і зберігання цих вод з подальшою передачею на берег або спеціальне судно. Система збирає стоки зі всіх санвузлів, шпігатів, медичних приміщень. Всі ці стоки далі подаються на очищення і знезараження. Аналогічні пристрої встановлюються для збору і сепарації нафтоутримуючих промивальних і баластних вод з автоматичним контролем чистоти обробленої води.

Заходи щодо запобігання забрудненню навколишнього середовища з судна нафтопродуктами. Відповідно до вимог Міжнародної конвенції по запобіганню забруднень із суден (1973 р.) і Протоколу до неї (1978 р.) – Конвенція МАРПОЛ 73/78 – усі споруджувані судна обладнають комплексом природоохоронних пристроїв.

Відповідно до правил Конвенції МАРПОЛ 73/78 ступінь очищення нафтовмістовних вод у сепараційному устаткуванні від нафтопродуктів на виході повинна бути не більш 500 ppm для відкритих районів. Для особливих районів (Балтійське, Чорне, Середземне, Червоне моря і Перська затока) взагалі забороняється скидання нафтопродуктів і нафтовмістовних вод.

Для очищення нафтовмістовних вод від нафтопродуктів застосовуються такі методи: гравітаційний відстій, флотація, коалесценція, фільтрація, дія відцентрових сил чи комбінації перерахованих методів. На суднах нафтовмістовні води очищуються в сепараторах (коалесцюючого, відцентрового і флотаційного типів) і в дво-, триступінчастих сепараційних установках, в яких у якості 1-го щаблю може бути застосований механічний фільтр чи гравітаційний сепаратор, 2...3 коалесцируючі вставки чи фільтри, а також модулі з напівпроникних мембран.

Дія відстійних сепараторів засновано на відділенні нафтопродуктів від води за рахунок їхньої різної щільності. Для інтенсифікації процесу спливання часток нафти використовують підігрів забрудненої води, а також

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відцентрові сили, що виникають при зміні напрямку руху потоку.

Сепаратори такого типу можуть задовільно забезпечити лише попереднє грубе очищення води від нафтопродуктів. Для автоматичного зливу відокремлених нафтопродуктів, сепаратор оснащують поплавковим клапаном.

У флотаційних сепараторах відділення диспергованих часток нафтопродуктів відбувається за рахунок захоплення їх дрібними пухирцями повітря. Нафто-водяна піна, яка утворюється в сепараторі на поверхні води, видаляється обертовим пінкознімачем у збірну ємність. Для інтенсифікації піноутворення у воду, що очищається, вводять флотореагент (піноутворювач) за допомогою дозуючого пристрою.

Флотаційні сепаратори тонкого очищення застосовують звичайно в двоступінчастих сепараційних установках. Ці сепаратори забезпечують ефективне відділення нафтопродуктів, що містяться у воді і мають підвищену щільність. До недоліків сепараторів цього типу варто віднести порівняльну складність.

Очищення нафтовмістовних вод у сепараторах коалесцируючого типу засновані на властивості коалесцируючих матеріалів сприяти укрупненню часток нафтопродуктів, що знаходяться у воді, до таких розмірів, при яких ці частки легко відокремлюються від води під дією сили тяжіння. У таких сепараторах у якості коалесцируючих звичайно використовують синтетичні волокнисті матеріали. Коалесцируючі сепаратори чи фільтри відрізняються простотою конструкції, надійністю в роботі і забезпечують ефективне тонке очищення нафтовмістовних вод при двоступінчастій схемі сепарації.

Для запобігання забруднення морського середовища всі судна обладнають цистернами збору стічних вод і установками для їхньої обробки з метою зливу за борт у будь-яких акваторіях. Застосовуються установки біохімічного очищення і знезаражування стічних вод з різними способами обробки вод.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку з необхідністю економії енергії і палива на судах останнім часом більшу увагу стали звертати на джерела низькопотенційної теплоти, які викликають теплове забруднення. Поряд з розширенням можливостей традиційних джерел використання теплоти випускних газів і охолоджуючої прісної води застосовуються і нові – це маслоохолоджувачі СЕУ і повітроохолоджувачі систем повітропостачання ДВЗ, теплоту робочих середовищ яких утилізують для потреб установки.

Зменшення викидів в атмосферу відкладень (сажі й ін.) досягається установкою в суднових димоходах і газовипускних трубопроводах іскрогасників, а також глушителів (крім їхнього основного призначення). Застосовують іскрогасники сухого і мокрого типів різних конструкцій.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі розроблений комплекс заходів щодо зниження витрати палива головним двигуном за рахунок підвищення його механічного ККД. Це досягається шляхом використання у двигуні нового покоління моторних масел виготовлених на основі нанотехнологій. Аналіз умов роботи моторних масел у двигунах морських суден, що відрізняються більшим рівнем форсування, показав, що існуючі методи очищення моторних масел не відповідають сучасним вимогам. Традиційні методи сепарування приводять до швидкої втрати моторними маслами своїх властивостей. Було встановлено, що для ефективного використання масел нового покоління необхідно щоб система підготовки й очищення масла мала селективність по видаленню з масла мікрочастинок. Частки розмірами до п'яти мікронів необхідно вилучати з масла, тому що в основній своїй масі вони являють собою продукти забруднення, більше дрібні частки є колоїдними присадками що забезпечують маслу його високі трибологічні властивості. Із цієї причини система очищення повинна безперешкодно пропускати ці частки.

Для усунення наведених вище протиріч у кваліфікаційній роботі запропонована схема масляної системи з якої виключені відцентрові сепаратори. Для забезпечення необхідного рівня очищення без збільшення обсягів робіт по технічному обслуговуванню системи змащення, запропоновано використовувати двоступінчасте очищення. Як перший щабель запропоновано встановлювати самоочисні щілинні фільтри фірми Bollfilter, як другий щабель двосекційні пористі фільтри з паперовим фільтруючим елементом.

У роботі, на підставі детального аналізу умов роботи масел, вироблені докладні рекомендації з їхнього підбора з урахуванням конструктивних особливостей двигуна і його фактичного стану.

Для підтвердження ефективності запропонованих технічних рішень у

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботі виконаний тепловий розрахунок робочого процесу для якого були скоректовані показники механічних втрат відповідно до інформації наданою фірмою Castrol. Розрахунки показали, що використання масел з більш високими експлуатаційними властивостями дозволить без додаткових витрат на модернізацію самого двигуна забезпечити зниження питомої витрати палива з 177 до 176,21 г/(кВт×год.).

Крім того, в роботі значна увага приділена питанням охорони праці при роботі з мастильними матеріалами й питанням охорони навколишнього середовища.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Engine operating instructions type M43C. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG. P. O. Box, D-24157 Kiel, Germany. – 2002. – 1186 с.
2. Engine operating instructions type M43C. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG. P. O. Box, D-24157 Kiel, Germany. – 2007. – 2632 с.
3. M43C Project Guide. Propulsion. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG. P. O. Box, D-24157 Kiel, Germany. – July 2007. – 99 с.
4. M43C Long-stroke diesel engines for maximum efficiency and high reliability. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG. P. O. Box, D-24157 Kiel, Germany. – 2008. – 20 с.
5. **Mollenhauer K. Tschoeke H.** Handbook of Diesel Engines. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. – 634 p.
6. **Woodyard D.** Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803. 2004. – 914 с.
7. **Bilousov I.V.** Internal combustion engines of modern marine vessels. Textbook for higher maritime educational institutions / I.V. Bilousov, M.P. Bulgakov – Astroprint, Odesa, 2024 – 512 p. ISBN 978-617-7797-54-7
8. **Bilousov I.** Modern Marine Internal Combustion Engines. A Technical and Historical Overview. Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping. 2020. – 285 p. ISBN 978-3-030-49748-4 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49749-1>
9. **Наливайко В.С.** Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С.Г. Ткаченко. — Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
10. **Latache M.** Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Elsevier Ltd. – 2021. – 957 p.
11. **Woodyard D.** Marine diesel engines and gas turbines. Ninth Edition, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803, 2009. – 896 p.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

12. **Білоусов Є.В.** Навчальний посібник до курсу «Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх експлуатація» (виконання розрахунково-графічної роботи) Навчальний посібник / Є.В. Білоусов, Р.А. Варбанець, В.П.Савчук // Херсон – ХДМА, Одеса – ОНМУ, 2021 – 215 с.

13. **Суворов П.С.** Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебное пособие. Одесса, ОНМА, 2012. – 626 с.

14. **Белоусов Е.В.** Топливные системы современных судовых дизелей. Херсон, ХГМА, 2014. – 260 с.

15. **Парсаданов И.В.** Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. – Харьков: Издательский центр НТУ(ХПИ), 2003.– 244 с.

16. **Heywood J.B.** Internal Combustion Engine Fundamentals. Second Edition. McGraw-Hill Education. New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico, City Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto. – 2018. – 1721 p.

17. **Okubo M.** New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines. / M. Okubo, T. Kuwahara // Butterworth-Heinemann, Kidlington, Oxford, United Kingdom, Elsevier Inc. 2020. – 284 p.

18. **Brawn D.T.** A History of the Sulzer low-speed marine diesel engine. Sulzer Brothers Ltd., 8401 Winterthur (Switzerk Design: W. Guntensperger, SPW, 8802 Kilchberg (Switzerland)

19. **Kuiken K.** Diesel Engines I for ship propulsion and power plants from 0 to 100,000 kW. Groningen, Netherlands: Target Global Energy Training. 2008. – 509 p.

20. **Іванов Б.М.** Основи охорони праці на морському транспорті. / Б.М. Іванов, М.О. Колегасв, Ю.І. Касилов, О.І. Іванов // КОМПАС, Одеса, 2003 – 416 с.

					ПННІ НУК 131.61.24.14.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110