

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

Кафедра «Двигуни та енергетичні установки»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

А. Гер
« 05 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка заходів по технічному використанню,
обслуговуванню та ремонту системи мащення головного двигуна МаК 8М20
судна «Gazpromshelf»

Прототип МаК 8М20

Виконав:

студент групи 41-ЕМ-22з

Нестеренко К.О.
(підпис)

Керівник роботи:

доцент кафедри ДЕУ, к.т.н, доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Трунін К.С.
(підпис)

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

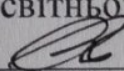
Кафедра «Двигуни та енергетичні установки»

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування

Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми


(підпис)

« 12 » 01 2026 р.

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

Студенту Нестеренко Кирилу Олеговичу

1. Тема роботи: «Розробка заходів по технічному використанню, обслуговуванню та ремонту системи мащення головного двигуна МаК 8М20 судна «Gazpromshelf»».

Керівник роботи Трунін К.С.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 12.01.2026 року № 6

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 12.05.2026 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип - головний двигун МаК 8М20 судна «Gazpromshelf»

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

Вступ. 1. Техніко-експлуатаційні особливості судна, його силових і енергетичних комплексів. 2. Техніко-експлуатаційний аналіз та особливості утримання системи мащення головного двигуна МаК 8М20 танкера «Gazpromshelf». 3. Обґрунтування технології сервісного обслуговування та відновлення компонентів змашувальної системи судового двигуна МаК 8М20 танкера «Gazpromshelf». 4. Охорона праці. Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1) Поперечний переріз головного двигуна МаК 8М20; 2) Принципова схема циркуляції мастила головних двигунів СЕУ; 3) Теплообмінник системи мащення судового двигуна; 4) Карта ескізів технічного обслуговування і ремонту теплообмінного апарату

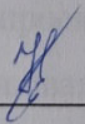
6. Консультанти роботи

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

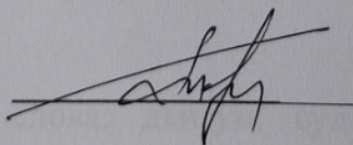
7. Дата видачі завдання «12» січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	24.02.2026	
2	Загальний розділ.	10.03.2026	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2026	
4	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2026	
5	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.	28.04.2026	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	12.05.2026	

Студент  Нестеренко К.О.

Керівник
роботи



Трунін К.С.

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті на основі детального аналізу конструктивних особливостей двигуна 8M20 компанії MaK, який експлуатується у складі енергетичної установки танкера «GAZPROMSHELF», було розроблено комплекс заходів щодо технічного застосування, обслуговування та ремонту елементів системи мащення.

Зокрема, у роботі детально досліджено специфіку експлуатації, технічного сервісу та ремонту трубчастого теплообмінного апарату масляної системи суднового дизеля. Обґрунтовано, що своєчасне та ефективне очищення внутрішніх поверхонь деталей теплообмінника забезпечує нормативний рівень теплообміну, запобігає термічній деструкції мастила та унеможливорює позапланові зупинки й технічні обслуговування системи мащення суднового двигуна.

В роботі розроблено заходи з охорони праці та розглянуто питання охорони навколишнього середовища.

Дипломний проєкт виконано українською мовою на 79 аркушах розрахунково-пояснювальної записки. Використано 12 літературних джерел. Графічна частина представлена на 4 кресленнях формату А1.

Ключові слова: двигун, суднова енергетична установка, технічне застосування, обслуговування, ремонт, система мащення, теплообмінник, охорона праці.

ABSTRACT

This graduation project, based on a detailed analysis of the design features of the MaK 8M20 engine operating within the marine power plant of the tanker "GAZPROMSHELF", develops a comprehensive set of measures for the technical operation, maintenance, and repair of the lubrication system components.

In particular, the work comprehensively investigates the operational specifics, technical service, and repair technologies for the shell-and-tube heat exchanger of the marine diesel engine's lubrication system. It is demonstrated that timely and effective cleaning of the heat exchanger's internal surfaces ensures the required level of heat transfer, prevents thermal degradation of the lubricating oil, and eliminates unplanned shutdowns and unscheduled maintenance of the marine engine's lubrication system.

Furthermore, occupational health and safety measures were developed, and environmental protection issues were addressed in the work.

The graduation project is written in Ukrainian on 79 pages of the calculation and explanatory note. A total of 12 reference sources were utilized. The graphical part is presented on 4 drawings of A1 format.

Keywords: engine, marine power plant, technical operation, maintenance, repair, lubrication system, heat exchanger, occupational safety.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ	
СУДНА, ЙОГО СИЛОВИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	6
1.1 Комплексний опис судна «Gazpromshelf».....	6
1.2 Специфікація та аналіз конструкції агрегатів суднової енергетичної установки.....	14
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ТА	
ОСОБЛИВОСТІ УТРИМАННЯ СИСТЕМИ МАЩЕННЯ	
ГОЛОВНОГО ДВИГУНА МаК 8М20 ТАНКЕРА	
«GAZPROMSHELF»	19
2.1 Технічне використання системи мащення та її елементів	19
2.2 Експлуатаційні властивості оливи	24
2.3 Технічне обслуговування системи мащення суднового двигуна	29
2.4 Заміна змащувальної оливи	37
2.5 Загальна характеристика теплообмінника системи мащення	40
2.6 Розрахунок системи мащення.....	46
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СЕРВІСНОГО	
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОМПОНЕНТІВ	
ЗМАЩУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА МаК	
8М20 ТАНКЕРА «GAZPROMSHELF».....	55
3.1 Науково-технічні основи обслуговування та відновлення теплообмінних апаратів	55
3.2 Операційні карти технічного обслуговування теплообмінника	62
3.3 Технологічні особливості експлуатації, обслуговування та ремонту кожухотрубного охолоджувача мастила двигуна МаК 8М20....	64

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	71
4.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах	71
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у машинному відділенні	72
4.3 Розрахунок припливно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні	75
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79
ДОДАТОК А. Відомість дипломної роботи	80

ВСТУП

Еволюція суднового дизелебудування наразі пов'язана з форсуванням робочих процесів та збільшенням середнього ефективного тиску в циліндрах. За таких обставин система мащення набуває особливого значення, оскільки порівняно з іншими вузлами вона має забезпечувати бездоганну стабільність і конструктивну надійність у найрізноманітніших режимах роботи. Зміна навігаційних умов — зокрема, перехід судна між різними кліматичними зонами під час доставки вантажів — вимагає від майбутнього інженера-механіка глибокого розуміння сучасних конструкторських рішень у будові змащувальних систем. Тільки чітке усвідомлення експлуатаційної логіки, закладеної в кожен елемент системи, дозволить фахівцю ефективно вирішувати складні технічні завдання на флоті. З огляду на це, у представленій дипломній роботі детально досліджено специфіку функціонування та обслуговування системи мащення дизель-генераторної установки сучасного судна.

Мета даної роботи — на основі досвіду функціонування суднового дизеля MaK 8M20 розробити заходи в частині їхнього технічного використання, обслуговування та ремонту для елементів системи мащення.

Задачі, розв'язувані в роботі полягають у наступному:

- проаналізувати особливості конструкції й експлуатації суднового двигуна MaK 8M20;
- проаналізувати причини засмічення проточної частини трубчатого теплообмінного апарату системи мащення двигуна MaK 8M20 і відомі методи боротьби із цими засміченнями;
- розробити для обслуговування та експлуатації комплекс заходів щодо очищення теплообмінного апарату системи мащення;
- обґрунтувати застосування заходів охорони праці та техніки безпеки.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА, ЙОГО СИЛОВИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

1.1 Комплексний опис судна «Gazpromshelf»

Судно «Gazpromshelf» (ідентифікатори ІМО 9353058, ММСІ 273312850) класифікується як спеціалізований танкер-бункерувальник. Його функціональним завданням є приймання, перевезення та відвантаження на плавзасоби моторного пального ДТ, дизельного палива (критична межа спалаху якого перевищує 60 °С), а також моторних мастил на бурові комплекси, платформи й трубоукладальні судна. Спущений був на воду у 2009 році корабельнею Krasniye Barrikadi. Загальна архітектура плавзасобу наведена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 — Конструктивна схема та зовнішній вигляд танкера «Gazpromshelf»

Архітектурно плавзасіб виконано як однопалубне судно, що має бак і ют, транцеву корму, носовий підрулювальний механізм, а також кормову компоновку машинного відсіку та надбудови. Житловий блок розрахований на перебування 15 осіб екіпажу (плюс додаткове місце для 1 пасажирів). Безпека забезпечується подвійним дном і подвійними бортами у зоні вантажних ємностей. Вантажний та відстійний блоки ізольовані від зовнішньої обшивки подвійним настилом дна і баластними ємностями, що гарантує збереження

аварійної остійності. Бункери дизельного пального та мастильних матеріалів захищені від контакту із зовнішнім корпусом за допомогою кофердамів або баластних відсіків. Внутрішній простір розбитий герметичними перебірками на такі ізольовані зони: форпик, вантажні ємності, слоп-танки, машинне відділення та ахтерпик. Вантажний сектор обладнано подвійним настилом. Друге дно та порожнини борту біля вантажного блоку слугують для закачування рідкого баласту. Подвійне дно у машинному відсіку відведене під ємності для води, систем мащення та технологічних потреб.

Головним рушійним комплексом є одногвинтова дизельна установка. Судну присвоєно класифікаційне позначення: КМ (*) Arc4 [1] AUT2 oil tanker (>60°C) (ESP). Наявність льодового класу Arc4, відповідно до чинних положень РМРС, визначає такі експлуатаційні параметри судна в кризі: Під час зимово-весняної навігації: автономний рух акваторіями Баренцевого та Білого морів, а також робота в Карському морі у супроводі криголамного судна за слабого льодового покриття. Гранична товщина льодового поля — тонкий однорічний шар до 0,6 м за робочої швидкості ходу 6–8 вузлів; Під час літньо-осінньої навігації: самостійне переміщення дозволяється у Білому та Баренцевому морях, а в Карському, Східно-Сибірському, Чукотському морях та морі Лаптевих — за умови легкої або середньої льодової ситуації. Рух за криголамом допускається в усіх арктичних басейнах (на схід від Карського моря — у легкій чи помірній кризі). Граничні параметри льоду — однорічний покрив середньої товщини 0,7–0,9 м при швидкості ходу 6–8 вузлів.

Даний нафтоналивний плавзасіб (Products Tanker) розрахований на одночасне транспортування чотирьох типів наливних вантажів із питомою масою від 0,73 до 1,0 т/м³, куди входять необроблена нафта, нафтопродукт, природний газовий конденсат та хімічні сполуки, що належать до третього класу небезпеки. Термічний комплекс вантажної системи дозволяє підігрівати й утримувати температуру нафтопродуктів під час зливання на рівні щонайменше 20 °С у вантажних та відстійних резервуарах (для дизельних палив марок Л-0,5-60, Л-0,2-60 і моторного пального ДП із точкою спалаху від

60 °C та показниками кінематичної в'язкості за умов 20 °C у межах 3,0–6,0 мм²/с та 185 мм²/с відповідно). Крім цього, підігрівальні контури забезпечують доведення та утримування температури очисного хімічного розчину в декантаційних ємностях до 50 °C, а також його нагрівання до 60 °C безпосередньо всередині мийної магістралі (через спеціалізований теплообмінник). Всі робочі та відстійні танки укомплектовані внутрішніми підігрівальними змійовиками. Географія переходів судна не має обмежень.

Головні розміри та метрики судна «Gazpromshelf»: Найбільша довжина (габаритна), LOA: 111,20 м; Довжина між носовим та кормовим перпендикулярами, LBP: 107,28 м; Найбільша габаритна ширина, BOA: 13,48 м; Висота суднового борту: 6,20 м; Величина надводного борту: 1,715 м; Максимальна габаритна висота: 16,80 м; Осадка плавзасобу: макс. 4,50 (корма 4,50) / мін. 4,23 (0,58) (ніс) м (корма 4,31 (2,93)); Повний дедвейт: 3500 т; Валова місткість: 2897 т; Експлуатаційна швидкість: 10,5 вузлів; Корисний об'єм танків (при 98%): 5271 м³; Радіопозивний літерний код: UBVA;

Суднові ємності для експлуатаційних матеріалів розраховані на розміщення пально-мастильних запасів, які гарантують радіус автономного ходу до 11 000 морських миль. Тривалість автономного рейсу за лімітами сухої провізії та пально-мастильних засобів дорівнює 20 добам, а за ресурсом прісної води — 30 добам. Наведена експлуатаційна швидкість досягається за умов завантаження судна, посадки без диференту на рівний кіль та осадці 10,5 м на глибоководді, при збуренні моря до 2 балів, силі вітру в межах 3 балів за шкалою Бофорта і за відсутності обростання підводної частини корпусу. Сумарний об'єм дизельного пального становить 277,8 т. Годинні витрати палива складають 13,7 т/добу під час ходу та 4,5 т/добу в режимі стоянки. Запас циркуляційного мастила дорівнює 13,7 т. Об'єм питної прісної води становить 31,2 т за середньодобового споживання на рівні 2,4 т.

Розрахунковий період бортової хитавиці за будь-яких варіантів комерційного завантаження коливається в межах 11–20 секунд. Показники остійності судна у кожному ходовому режимі повністю відповідають

критеріям класифікаційного товариства для необмеженого району навігації. Параметри непотоплюваності гарантуються при транспортуванні будь-яких номенклатурних вантажів. З метою інтенсифікації повороткості на малих швидкостях, у стиснутих акваторіях та під час виконання причальних операцій, судно укомплектоване носовим тунельним підрулювальним комплексом потужністю 300 кВт (конфігурація «гвинт у трубі»). Контроль роботи підрулювального вузла реалізовано за допомогою дистанційного пульта на ходовому містку.

Для підтримання належного мікроклімату та виконання санітарно-побутових нормативів для екіпажу, на борту розгорнуто комплекс інженерних мереж: Система забезпечення прісною водою, яка містить дві опріснювальні установки бортового розташування сумарною продуктивністю приблизно 25 тонн чистої води на добу; Магістралі збирання стічних (фекальних) і господарсько-побутових вод; Опалювальний комплекс на базі двох допоміжних судових котлів, що генерують технологічну пару тиском 0,7–0,75 (0,81–0,83; гранично 0,9) МПа для обігріву вантажних ємностей та паливних систем; Холодильні машини провізійних комор та кондиціонування.

Роздача гарячої питної води на потреби камбуза, медичного кабінету й буфетів здійснюється локальним автоматичним бойлером. Кліматичні параметри в каютах, їдальні, кают-компанії та гігієнічних приміщеннях підтримуються централізованою клімат-системою з можливістю автономного налаштування температурного режиму й вологості в кожній окремій зоні.

Кермовий комплекс призначений для утримання плавзасобу на траєкторії, здійснення поворотів і динамічного маневрування. До його складу входять перо керма, приводний балер, рульова машина та контури автоматичного контролю. Силова автоматика електроприводу реалізує динамічну перекладку, фіксацію у заданому положенні, реверс та зміну кутової швидкості обертання керма. На судні змонтовано один підвісний напівбалансирний руль аеродинамічного профілю NASA з площею пера близько 40 м². З'єднання прямого балера з тілом руля виконане за конусною

схемою за допомогою припасованої шпонки. Конструкція пера руля — пустотіла, суцільнозварна, обладнана дренажними пробками у верхньому й нижньому торцях.

Поворот здійснюється за допомогою плунжерної чотирициліндрової електрогідравлічної машини, що генерує крутний момент до 1000 кНм. Особливістю гідروпередачі є робота електродвигуна помпи зі сталою частотою обертання, тоді як динаміка перекладки регулюється безпосередньо арматурою гідросистеми. Відповідно до вимог класифікаційного товариства, під наглядом якого перебуває судно (Lloyd's Register), кермова система повинна містити дублюючі тракти. Оскільки на борту встановлено дубльовану двоагрегатну схему головного приводу з повен разделением живлення, встановлення окремого аварійного кермового механізму не вимагається.

Потужність кожної з двох pomp гарантує поворот пера від 35° одного борту до 30° протилежного за 28 секунд за умови повного ходу судна вперед. Архітектурою передбачено три контури керування машиною: автоматичний (дистанційний авторульовий з ходового містка), ручний (безпосередньо з румпельного відсіку) та локальний (із поста аварійної гідропомпи). Румпельне приміщення укомплектоване інтегрованою ємністю з робочою рідиною, об'єму якої достатньо для повної заміни масла у гідросистемі. Крім того, в ланцюгах керування реалізовано кінцеві електричні вимикачі, а в самому механічному приводі — стопори-обмежувачі граничного кута повороту.

Якірний комплекс. До складу системи входять два основні (станові) та один додатковий (запасний) якорі конструкції Холла, вагою по 8000 кг кожен. Калібр електрозварних ланцюгів підвищеної міцності (виготовлених зі сталі 3-ї категорії) зі спеціальними контрфорсами (розпірками) становить 81 мм. Довжина правого ланцюгового тракту дорівнює 325 м, лівого — 300 м. Розміщення ланцюгів передбачене в канатних ящиках самовкладної конфігурації. Рух ланцюга від бортового клюза до барабана брашпиля спрямовується напрямними роульсами. У похідному стані якорі фіксуються всередині якірних клюзів. Спускання та вибирання ланцюгів виконується

судновими гідравлічними якірно-швартовними лебідками, чії потужнісні характеристики забезпечують піднімання якоря після його відриву від ґрунту з робочих глибин до 100 м. Регулювання роботи якірних приводів здійснюється безпосередньо на баку, а контроль стрічкових гальм можливий як вручну на місці, так і за допомогою дистанційного пульта з ходової рубки. Для надійної фіксації судна на якорі розгорнуті палубні ланцюгові стопори.

Швартовно-буксирне устаткування. На палубах судна рівномірно змонтовано шість електричних швартовних автоматів: по два агрегати на баку, ютовій надбудові та у зоні вантажної магістралі палуби. Вони підтримують роботу як в автоматичному селекторі натягу, так і під прямим ручним керуванням. Автоматизований режим забезпечує самостійне вибирання слабини або попускання канатів під час вантажних чи припливно-відпливних коливань корпусу біля стінки термінала. Для закріплення ліній слугують палубні кнехти, швартовні кінці на які накладаються шлаг за шлагом у формі вісімки із виведенням ходового кінця наверх. Виведення канатів на причал здійснюється крізь універсальні клюзи роульсного типу із рухомою обоймою, що мінімізує абразивне зношування ниток. Зберігання вільних ліній організовано на в'юшках і банкетних платформах. Згідно з вимогами пожежної безпеки на танкерному флоті, використання металевих канатів для швартування суворо заборонено, тому застосовуються виключно полімерні матеріали.

Комплектація буксирно-швартовного спорядження містить: Гнучкі швартовні канатні лінії — 18 одиниць, довжиною по 220 м та діаметром (за окружністю) 225–250 мм, виготовлені із синтетичного волокна з міцністю на розрив не менше 530 кН (58 тс); Сталевий буксирний канат — 1 одиниця, перерізом 60 мм та довжиною 250 м, із руйнівним навантаженням 1660 кН (169 тс), що намотаний на ручну в'юшку всередині носового шкіперського складу.

Рятувальні та шлюпкові засоби. На борту «Gazpromshelf» розгорнуто комплекс засобів колективного та персонального порятунку відповідно до

вимог конвенції SOLAS та положень міжнародного кодексу LSA: рятувальні диски й круги, термоізоляційні костюми, медичні укладки, страхувальні та морські індивідуальні жилети.

Танкер обладнаний рятувальним засобом вільного падіння (Free-Fall) моделі 01612 Т, оснащеним дизельним приводом BUKH DV 29 RME, розрахованим на 18 місць. Функцію підбору людей виконує швидкісна чергова шлюпка RSB-0417 із підвісним мотором Mercury 25ML (місткість 6 осіб). Додатково встановлено два надувні рятувальні плоти: ПСН-20МК на 20 місць та SURVIVA Liferaft на 16 місць, спускання яких забезпечується судновою кран-балкою. Індивідуальний комплект налічує 20 захисних гідрокостюмів модифікації ГТК-А та 21 дорослий рятувальний жилет типу II ЖСМ. Спускання засобів обслуговується шлюпбалкою СПУ пр. ШЕАВ 570Г 1 (робоче зусилля 53.4 кН) та спеціалізованою балкою чергового плавзасобу СПУ пр. ШЕАВ 550ДП (зусилля 1,7 кН). До складу засобів також входять 10 одиниць стандартних кругів «RESCUER-2.5», 2 круги марки БСД-97, укомплектовані світлодимними самоспалахуючими буями з лініями, 2 круги виробництва EVAL/LALIZAS та один виріб модифікації ОС-01.

Вантажно-розвантажувальний комплекс. До складу системи вантажообробки нафтоналивного судна входить таке обладнання: насосні агрегати вивантаження та зачищення, мережі технологічних трубопроводів, бортові маніфольди з приймальними патрубками (пристроями Храпко) та регульовально-запірна арматура.

Помпи вивантаження та зачищення. Основні вантажні насоси слугують для викачування рідких нафтопродуктів на берег, проведення внутрішньотранспортних перекачувань між танками та осушення баластних порожнин. Нормативи вимагають монтажу щонайменше двох дублюючих насосних одиниць, сумарна годинна подача яких має дорівнювати близько 10% від повної вантажопідйомності (дедвейту) судна. Технологічно ці агрегати можуть виконуватися як відцентрові, об'ємні поршневі або гвинтові машини.

Пропульсивний комплекс і лінія валів. До кінематичного тракту входять гребний, упорний та проміжні вали, упорні й опорні вузли тертя, дейдвудний сальниковий комплекс, валоповоротний механізм та допоміжні пристрої лінії. На кінцевому гребному валу монтується судновий рушій, а опорою вала виступають вкладні елементи дейдвудної труби. Упорний вал транслює осьову силу (упор) від гвинта на головний упорний підшипник, інтегрований у силове підкріплення корпусу. Тракт містить проміжні сегменти валів, укладені на опорні підшипники, що спрощує збирання лінії. Стикувальні вузли виконані у вигляді болтових фланцевих з'єднань або за допомогою знімних циліндричних сталевих муфт.

Тіло гребного і проміжних валів викуване з конструкційної вуглецевої сталі з границею міцності на рівні 480 МПа. Посадка гвинта та з'єднувальної напівмуфти на хвостовик гребного вала здійснена за безшпонковою конусною схемою. Основний упорний вузол інтегрований безпосередньо у станину головного ДВЗ. Дейдвудний сальник представлений торцевим ущільненням компанії Simplex із водяним типом змащування. Конструкція дейдвудного вузла Marprom характеризується високою експлуатаційною надійністю та адаптована для використання як у замкнених, так і у відкритих проточних схемах охолодження і змащування вала водою. Роль судового рушія виконує один чотирилопатеви́й гребний гвинт фіксованого кроку (ГФК) з діаметром 5,4 метра.

Носовий маневровий комплекс. Для підвищення повороткості при малих ходових режимах та замість буксирного судна при причалюванні, у носовому підзорі змонтовано засіб активного керування — тунельний підрулювальний пристрій. Цей комплекс потужністю 300 кВт являє собою встановлений у наскрізному поперечному каналі бронзовий гвинт фіксованого кроку. Маса всього носового блока становить близько 2200 кг, при цьому силовий вал і елементи тунелю виконані з конструкційної сталі. Дистанційний контроль за приводним електродвигуном виведений на центральний пульт навігаційної рубки та периферійні пости крил містка, а сама система сумісна із

загальносудновими комплексами, включаючи систему динамічного позиціонування (ДП), рульовий контур та реєстратор параметрів рейсу (VDR).

1.2 Специфікація та аналіз конструкції агрегатів суднової енергетичної установки

Головна пропульсивна установка. Силовий комплекс змонтований у кормовому машинному приміщенні та містить два головні дизельні ДВЗ. Судно оснащено двома середньооборотними двигунами марки MaK 8M20 — це чотиритактні восьмициліндрові агрегати з газотурбінним наддувом, номінальною потужністю 1360 кВт при частоті обертання колінчастого вала 1000 хв^{-1} . Розрахункова індикаторна потужність дорівнює 1520 кВт. Силові установки зібрані на виробничих потужностях CATERPILLAR Motoren GmbH & Co.KG (MaK), заводські серійні номери — №30841 та №30842. Обертовий момент від двигунів транслюється на гребний гвинт із фінальною частотою 284 хв^{-1} через понижувальний редуктор з гідродинамічною муфтою марки WAF 1542 (коефіцієнт редукції становить 3,522:1). Експлуатаційне пальне — дизельне паливо паливних марок відповідно до вимог ГОСТ 305–82. Для змащувальної системи застосовується моторне мастило типу Mobilgard 412.

Циркуляція мастила у ДВЗ організована за закритим контуром. Судновий рушій виконує функцію конвертації обертового моменту лінії валів в осьовий упор, що рухає судно; валопровід забезпечує механічний транзит потужності від фланця ДВЗ до маточини гвинта; системи допоміжних механізмів слугують для генерації електричного струму, вироблення технологічної пари й прісної води. Загальна архітектура СЕУ відповідає критеріям компактності, малої питомої ваги та паливної ефективності (мінімальні питомі витрати пального на годину роботи). Дистанційне автоматизоване керування головними двигунами реалізовано безпосередньо з ходового містка (режим Bridge Control) або з пульта центрального поста керування (режим ECR Control).

Головний ДВЗ. Конструктивна схема поперечного перерізу двигуна наведена на рис. 1.2. Силова установка має однорядне вертикальне компонування циліндрового блока та безпосереднє (пряме) упорскування пального в камери згоряння. Корпус двигуна жорстко закріплений на судновому фундаменті за допомогою спеціальних епоксидних клинових опор. Фундаментна рама виконана як зварна металоконструкція. Остов складається з чавунних литих сорочок циліндрів, скріплених між собою касетними болтами в єдиний моноблок. Статична жорсткість усього остова забезпечується системою наскрізних анкерних зв'язків, які компенсують розтягуючі зусилля від знакозмінних газових навантажень. Стартовий пуск силової установки виконується безпосередньо з локального поста у машинному відсіку.

Технічні параметри дизеля 8М20: Конфігурація та число циліндрових гнізд: лінійна (рядна); 8; Внутрішній діаметр циліндра, D : 200 мм; Робочий хід поршня, S : 300 мм; Геометричний коефіцієнт S/D : 1,5; Номінальна потужність одного циліндра: 170 / 190 кВт; Частота обертання вала (колінчастого): 900 / 1000 хв⁻¹; Середній ефективний тиск циклу: 2410 / 2420 МПа; Геометричний ступінь стиснення: 13,6; Абсолютний тиск наддувного повітря: 325 МПа; Піковий (максимальний) тиск згоряння: 18000 МПа; Температура вихлопних газів на виході з циліндра: 420 / 450 °С; Питомі витрати пального: 186–190 г/(кВт·год); Питомі витрати циркуляційного мастила: $0,6 \pm 0,3$ г/(кВт·год).

Корпусна структура двигуна є цільнолитою, чавунною з сухим типом блок-картера. На верхній стикувальний фланець блока монтується висока циліндрова сорочка, на яку зверху сідає кришка (головка) циліндра; внутрішній простір між ними утворює сорочку охолодження. З цього контуру теплоносій прямує в канали головки, а певний об'єм води відводиться для терморегуляції газотурбінного нагнітача. В оновленій модифікації даного ДВЗ впроваджено неохолоджуваний турбокомпресор, що повністю запобігає виникненню низькотемпературної корозії його равлика.

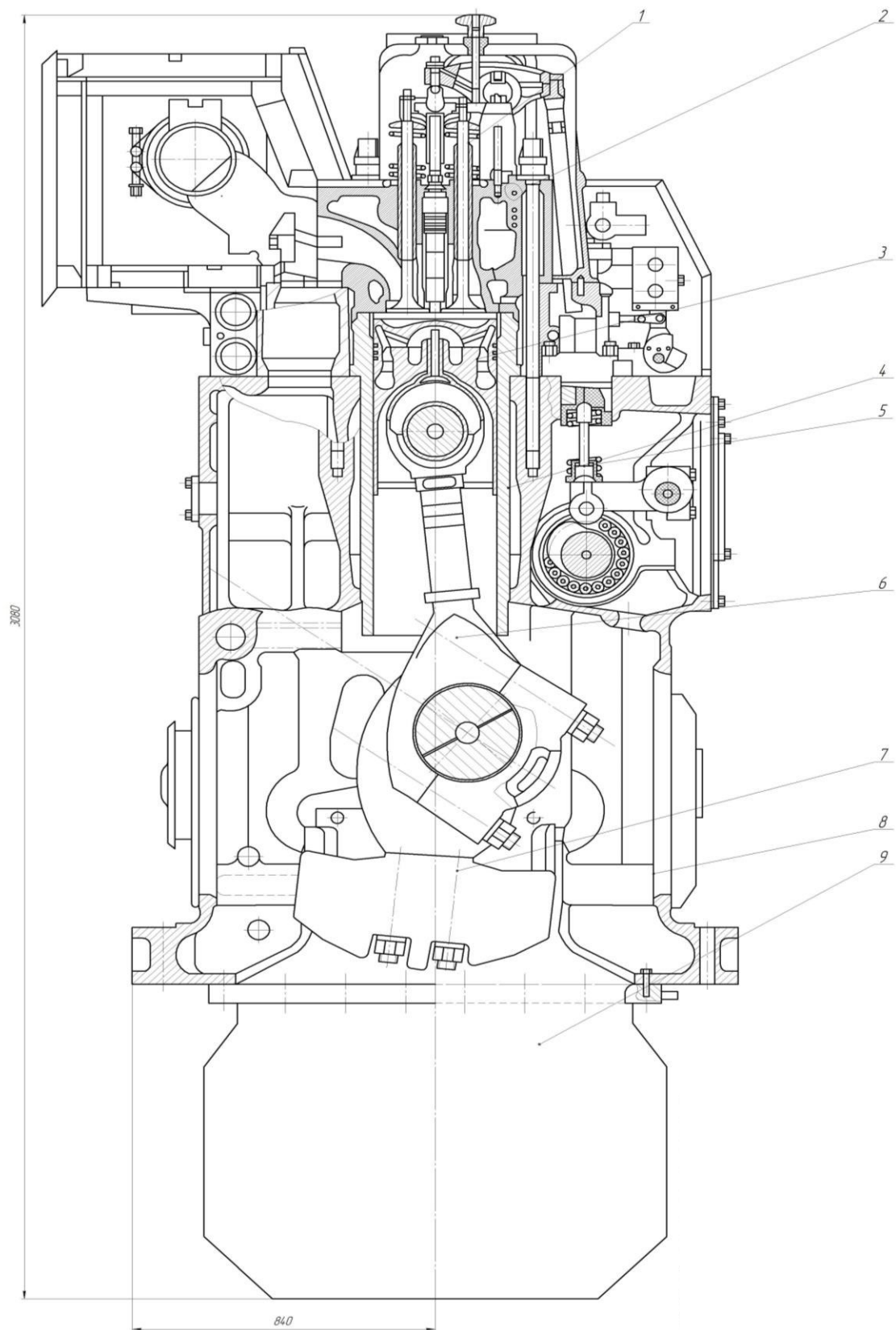


Рисунок 1.2 — Фронтальний розріз головного ДВЗ: 1 — газорозподільний клапан; 2 — стяжна шпилька; 3 — поршнева група; 4 — робоча втулка; 5 — штовхач паливної помпи; 6 — шатун; 7 — колінчастий вал; 8 — блок-картер; 9 — маслосбірний піддон

Циліндрова втулка у своїй верхній зоні укомплектована жароміцним антиполірувальним кільцем, а її робоче дзеркало піддане глибокому азотуванню, що забезпечує ресурс до 60 тис. годин. Конструкція колінчастого вала — суцільнокована, підвісного типу. Газорозподільний вал виконано за секційною схемою (кількість секцій дорівнює числу циліндрів), що значно спрощує ремонтні операції та заміну окремих сегментів. Складений поршень має примусове охолодження; його коронка (головка) виконана зі сталі, а тронк (спідниця) — з легкого алюмінієвого сплаву. На головці нарізані канавки под два компресійні та одне маслоснімне кільця. Шатун виготовлений зі сталі, має круглий переріз стовбура та косий рознім нижньої (мотильової) головки.

Вкладиші шатунних і корінних вузлів тертя є тонкостінними дво- чи тришаровими, зокрема використовуються модифікації з масляними канавками. Для прискорення приробітки пар тертя та запобігання задирам через можливу мікродеформацію фундаменту чи вала під навантаженням, виробник застосовує технологію гальванічного нанесення олов'яного або цинкового покриття товщиною в кілька мікронів. Експлуатаційний ліміт вкладишів становить 30 тис. годин.

Система паливоподачі. Паливні форсунки мають багатосоплові розпилювачі та охолоджуються мастилом, яке надходить із центрального циркуляційного контуру двигуна. Робочий ресурс соплових наконечників становить 8 тис. годин. Паливні помпи високого тиску (ПНВТ) мають золотникову конструкцію системи Bosch із відсіканням наприкінці циклу нагнітання. Ролик привода плунжера змонтований на важільному ексцентриковому валу, кінематично з'єднаному з рейкою паливоподачі. Зміна положення ексцентрикової осі зсуває привідний ролик відносно профілю паливного кулачка вала. Зміщення ролика назустріч вектору обертання кулачка забезпечує збільшення кута випередження (раннє упорскування), тоді як зсув у протилежному напрямку затримує подачу. Подібне конструктивне рішення для динамічного регулювання моменту впорскування впроваджене

також компанією MAN на дизелях серії 58/64, що дає змогу гнучко контролювати тиск згоряння P_z у діапазоні до 1500 МПа.

Система газотурбінного наддуву, яка раніше базувалася на імпульсному принципі, у нових серіях двигунів переведена на схему постійного тиску ($P = \text{const}$). Показник тиску наддувного повітря за умов стовідсоткової номінальної потужності досягає 325 МПа при вихідній температурі за повітряохолоджувачем на рівні 45 °С.

Дизель-генераторний комплекс суднової електростанції. На спеціальній палубній платформі машинного приміщення змонтовано три автоматичні дизель-генераторні агрегати BF8M1015MC виробництва бренду DEUTZ. Ефективна електрична потужність кожної генераторної установки дорівнює 318 кВт при робочій частоті обертання 1500 хв⁻¹. Режим роботи розподіляються за базовою або резервною схемою. Агрегат, що перебуває в гаряче резерві, постійно прогрівається допоміжними контурами для забезпечення миттєвого автоматичного старту. Конструктивно кожен ДГ містить приводний дизель та альтернатор змінного струму, закріплені через віброізолюючі амортизатори на загальній зварній рамі.

Стартова система — пневматична, з можливістю активації як через локальний щит, так і за сигналом від загальносуднової системи автоматичного керування електростанцією. Терморегуляція приводних ДВЗ здійснюється за допомогою інтегрованих боксових (ящикових) теплообмінників. Кожен дизель укомплектований навісними помпами циркуляції мастила, паливопідкачуючими насосами та ТЕНами підігріву сорочкової води. Електрична схема підтримує паралельну роботу агрегатів із застосуванням систем точної ручної або автоматичної синхронізації генераторів.

Роль аварійного джерела живлення виконує окремий дизель-генераторний агрегат 6Ч 15/18 АДГФ 100/1500М потужністю 100 кВт (номінальна частота обертання 1500 хв⁻¹), встановлений у відокремленому безпечному приміщенні на верхній палубі судна.

РОЗДІЛ 2.

ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ УТРИМАННЯ СИСТЕМИ МАЩЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА MaK 8M20 ТАНКЕРА «GAZPROMSHELF»

2.1 Технічне використання системи мащення та її елементів

Циркуляційна система мащення головного суднового двигуна виконує комплекс взаємопов'язаних завдань: приймання, внутрішньотранспортне перекачування, тривале зберігання, сепараційну підготовку та безперервне подавання оливи під тиском до вузлів тертя головних і допоміжних механізмів, гідродинамічне охолодження поршневих груп, а також відвантаження відпрацьованих мастильних матеріалів на берегові термінали або судна-збирачі. За конструктивним виконанням і способом створення напору суднові масляні контури поділяються на три типи: напірні, гравітаційні (безнапірні) та комбіновані напірно-гравітаційні.

В енергетичних комплексах, укомплектованих середньооборотними дизелями (СОД), як робоче середовище найчастіше застосовують мінеральні оливи. Штатна схема передбачає використання двох базових сортів: малов'язкі фракції — для примусового змащування підшипникових вузлів остова, деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) та внутрішнього охолодження коронки поршнів; а також спеціалізовані сорти з дуже низьким показником кінематичної в'язкості — для автономних підшипників агрегату газотурбінного наддуву.

Усі головні ДВЗ та допоміжні дизель-генератори обладнані незалежними замкнутими примусово-циркуляційними контурами мащення. Така архітектура забезпечує гарантоване подавання оливи до поверхонь спряжень під час передпускового прогрівання, у ході роботи під навантаженням та в період зупинки й охолодження силової установки. Суднові пропульсивні комплекси на базі СОД оснащені розгалуженою

комбінованою системою змащування, що складається з кількох ізольованих підсистем, які обслуговують окремі вузли ДВЗ: головний напірний циркуляційний контур (змащування підшипників КШМ та гідроохолодження поршнів); автономний контур лубрикаторного змащування дзеркала циліндрових втулок. Оскільки фізико-хімічні вимоги до характеристик робочих середовищ у зазначених підсистемах суттєво відрізняються, у них застосовують мастильні матеріали різних марок. Принцип функціонування та загальна топологія циркуляційного контуру представлені на рис. 2.1.

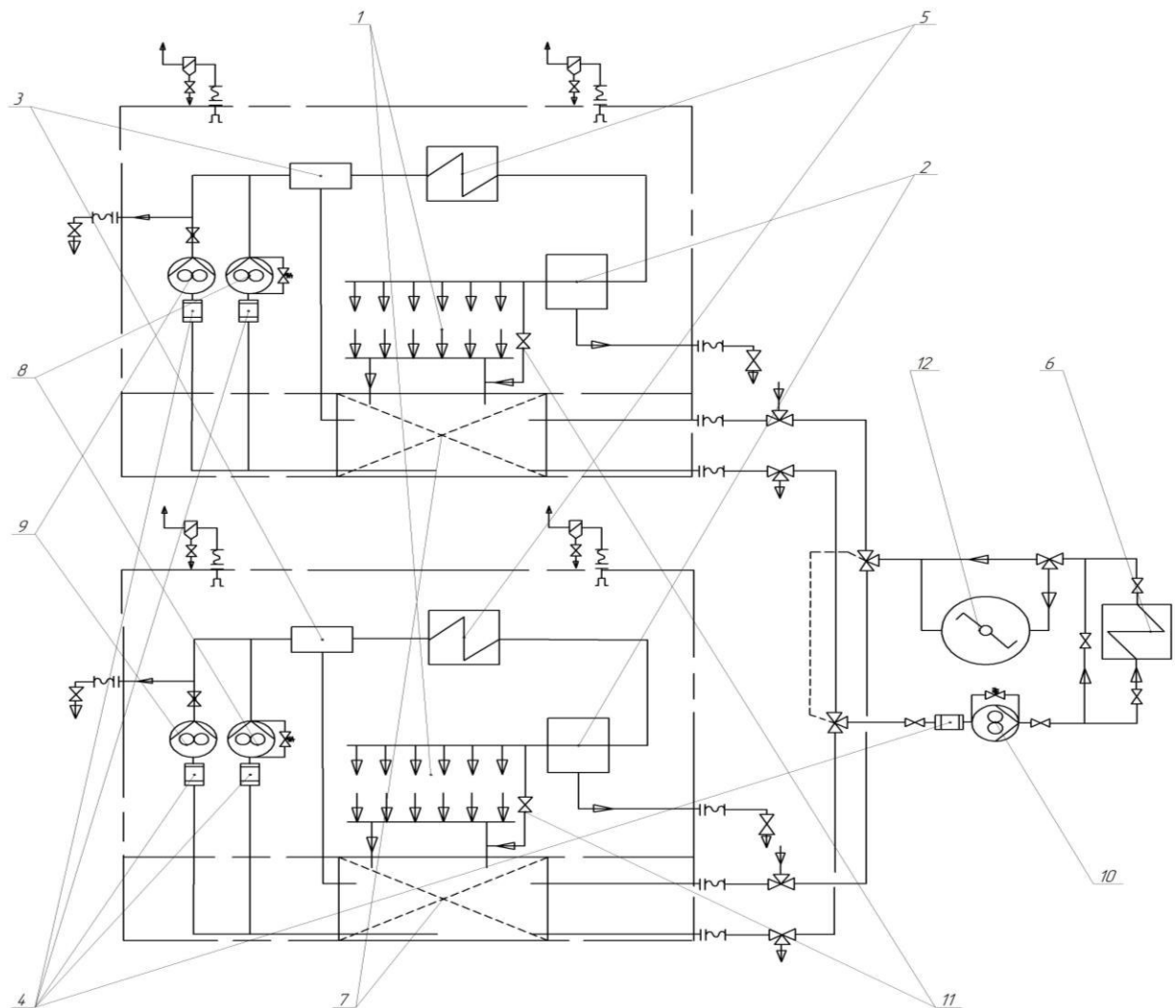


Рисунок 2.1 — Принципова схема циркуляції мастила головних двигунів СЕУ: 1 — дизельний двигун МаК 8М20; 2 — подвійний (здвоєний) індикаторний масляний фільтр; 3 — автоматичний самоочисний масляний фільтр зворотного промивання; 4 — захисний сітчастий фільтр; 5 — трубчастий охолоджувач мастила; 6 — електричний (або паровий) підігрівач; 7 — циркуляційний масляний бак; 8 — навісний нагнітальний насос; 9 — електронасос попереднього мащення (автономний/резервний); 10 — підкачуючий насос сепаратора; 11 — клапан автоматичного регулювання тиску; 12 — відцентровий масляний сепаратор

Бункерування мастильних матеріалів, як і паливні операції, здійснюється виключно закритим способом за допомогою берегових потужностей або судна-бункерувальника через палубні наливні втулки, виведені на бортові станції приймання-здачі пального та мастил.

Перехід сучасного флоту на використання важких сортів палива з високим вмістом сірки й твердих домішок, за умови недостатнього догляду за змащувальним контуром, призводить до прискореного зношування й аварійних зупинок ДВЗ. З огляду на це, першочерговою умовою забезпечення безперебійної та паливно-економічної роботи двигуна є ретельний догляд за станом оливи та безперервний контроль параметрів її циркуляції. Критерії вибору марки оливи та облік її витрати здійснюються в чіткій відповідності до теплотехнічних умов роботи дизеля та інструкцій заводу-виробника.

У ході експлуатації суднового ДВЗ циркуляційна олива виконує такі функції: нівелювання сухого тертя металевих поверхонь і його заміна рідинним тертям шляхом формування стійкої гідродинамічної масляної плівки; антикорозійний захист внутрішніх елементів остова від агресивної дії продуктів згоряння (сірчисті сполуки та волога при охолодженні утворюють конденсат сірчаної кислоти, яка викликає корозійне зношування підшипників, поршнів, клапанів та втулок); відведення надлишків теплоти, що виділяється внаслідок механічного тертя в парах спряжень; охолодження внутрішніх порожнин поршнів; додаткове ущільнення зазорів у парі «поршневе кільце — циліндрова втулка» для запобігання прориву газів із камери згоряння в картер; утримання в дисперсному (підвішеному) стані твердих частинок пилу, сажі, продуктів нагароутворення та старіння оливи.

При роботі ДВЗ на важких паливах відцентрове сепарування є обов'язковим елементом догляду за оливою, оскільки високомолекулярні продукти нейтралізації кислот (коксо- та асфальтоподібні конгломерати), а також вільна вода не можуть бути вилучені з об'єму системи іншими методами фільтрації.

Процес регенерації організований за байпасною схемою: очищення здійснюється в побічному потоці за допомогою відцентрових сепараторів. Оптимальний термічний режим сепарації становить 90...95 °С. Для досягнення максимальної глибини очищення робоче навантаження на сепаратор не повинно перевищувати 20% від його паспортної номінальної продуктивності (контролюється за табличкою на корпусі агрегату).

Регламент контролю рівня та стану оливи в процесі експлуатації передбачає: щоденне вимірювання статичного рівня оливи в циркуляційній цистерні; поповнення системи свіжою оливою при зниженні її загального об'єму на 20% (це забезпечує часткове відновлення спрацьованого пакету миючих та проти зносних присадок); регулярний відбір проб для проведення лабораторного аналізу фізико-хімічних показників.

Технологічний маршрут руху робочого середовища полягає в тому, що навісна головна помпа забирає оливу з циркуляційного бака крізь захисну приймальну сітку і нагнітає її в магістраль автоматичного самоочисного фільтра. Далі через паралельно підключений водомасляний охолоджувач середовище прямує на здвоєний індикаторний фільтр тонкого очищення, після чого крізь демпферний буферний фільтр надходить до клапана автоматичного регулювання тиску, який розподіляє стабілізований потік по точках змащування остова ДВЗ. Відцентрова сепарація при цьому реалізована безперервно в обхідному контурі.

Передпускове прокачування оливи автономним електронасосом має такі особливості: тільки тривале передпускове змащування гарантує формування стійкого гідродинамічного шару в підшипниках колінчастого вала в момент пуску двигуна; необхідний постійний контроль зростання тиску оливи на найвіддаленішому корінному підшипнику (за відсутності автоматичного блокування стартового привода); процес передпускового змащування триває до моменту стабілізації робочого тиску, що генерується електронасосом.

Перевірка технічного стану та подачі навісного нагнітального насоса включає моніторинг робочого тиску при номінальних обертах ДВЗ та вихідній

робочій температурі. Якщо зафіксовано падіння тиску, першочергово перевіряють: щільність закриття та налаштування головного регулювального клапана системи; відсутність перетікань та герметичність перепускного клапана помпи; герметичність і відсутність підсосу повітря у всмоктувальному трубопроводі; ступінь забруднення захисної сітки на всмоктуванні; частоту та тривалість циклів автоматичного промивання головного фільтра.

Експлуатація автоматичного фільтра зворотного промивання (з очищенням елементів за рахунок власного або стороннього середовища) базується на тому, що частота спрацьовування промивного механізму є індикатором кількості дисперсних шкідливих домішок в оливі й відображає ефективність роботи сепаратора. Керівництву машинної команди необхідно відстежувати інтервали між циклами очищення за допомогою механічного або цифрового лічильника.

Якщо протягом 24 годин зафіксовано понад 100 циклів автоматичного промивання, це свідчить про критичне забруднення оливи. Для усунення несправності необхідно: перевірити робочі параметри (температуру, подачу) та ефективність сепараторів; проконтролювати температуру наддувного повітря (занадто низька температура викликає підвищене сажоутворення у циліндрах); провести ревізію та ручне очищення внутрішніх картриджів фільтра (згідно з інструкціями заводу-виробника); у фільтрах із промиванням власним середовищем відрегулювати тривалість циклу (за допомогою клапана на лінії скидання шламу) так, щоб промивання не викликало падіння робочого тиску в головній магістралі двигуна.

При використанні автоматичних фільтрів, обладнаних додатковими коагулюючими або підготовчими елементами, у разі спрацьовування аварійної сигналізації диференціального тиску ці елементи підлягають негайній заміні або глибокому очищенню. Для забезпечення нормативного рівня фільтрації важлива працездатність усіх ланок системи. Автоматичний самоочисний фільтр є головним бар'єром тонкого очищення, тому його байпасування (пуск оливи в обхід) допускається лише в аварійних ситуаціях.

Обслуговування автоматичного фільтра з тривалим циклом промивання у власному середовищі передбачає: регулярний моніторинг величини диференціального тиску на вхідному та вихідному колекторах, що дає інформацію про ступінь забивання тканинних елементів; ретельний огляд сітчастих або тканинних поверхонь на наявність розривів; при використанні мультисвічкових картриджів пошкодження навіть однієї фільтрувальної свічки порушує працездатність усього вузла, тому дефектний елемент підлягає негайній заміні.

Усі операції з розбирання та дефектації виконуються в чіткій відповідності до технічних інструкцій виробника фільтрувального обладнання. Експлуатація здвоєного індикаторного фільтра тонкого очищення вимагає щозмінного контролю перепаду тиску. При досягненні диференціальним тиском величини 50% від критичної (червона зона індикатора) або при спрацьовуванні аварійної сигналізації виконують перемикання робочих порожнин. Очищення відключеної камери проводять без демонтажу свічок при робочій температурі оливи. Під час кожного третього обслуговування фільтрувальні свічки демонтують для повного очищення та дефектації в розібраному стані; пошкоджені елементи замінюють новими з бортового ЗІП відповідно до технологічних карт виробника.

Обслуговування всмоктувальних сітчастих фільтрів. Захисні сітки, встановлені на всмоктувальних лініях головного навісного та резервного масляних насосів, підлягають обов'язковому очищенню через кожні 6000 годин роботи ДВЗ, а також після проведення будь-яких ремонтних чи монтажних робіт на трубопроводах системи мащення двигуна.

2.2 Експлуатаційні властивості оливи

Суднова моторна олива у ході експлуатації рідко втрачає свою первинну мастильну здатність (здатність утворювати гідродинамічну плівку, яка знижує коефіцієнт тертя), проте внаслідок старіння й обводнення вона може набувати виражених корозійних властивостей. У таких ситуаціях відбувається хімічне

руйнування металу шийок колінчастого вала — їхня поверхня вкривається пітинговими виразками, набуває підвищеної шорсткості, що призводить до стирання та наволікання (наплавлення) антифрикційного білого металу (бабіту) вкладишів. Наслідком такої аварії є не лише потреба у перенабиванні або заміні вкладишів підшипника, а й необхідність тривалого шліфування та полірування шийок вала для видалення налиплого бабіту до відновлення дзеркального стану. Розвиток корозійної агресивності мастильного матеріалу викликаний або термічним окисненням самої вуглеводневої основи (контролюється за показником загального кислотного числа TAN — Total Acid Number), або потраплянням чи утворенням в об'ємі системи сильних неорганічних кислот (визначається за кислотним числом сильних кислот SAN — Strong Acid Number). Показник лужного числа (TBN — Total Base Number) є прямим індикатором запасу миючих, нейтралізуючих та диспергуючих властивостей оливи. Він безпосередньо пов'язаний із концентрацією активних металовмісних елементів у складі протикорозійних та брудотримуючих присадок. З появою сучасних «малозольних» моторних олив (із суттєво зниженим початковим рівнем TBN) поширилася теорія, що лужне число не є єдиним критерієм оцінки миючого потенціалу. Це частково відповідає дійсності, оскільки важлива динаміка його зниження в часі та збереження стабільного кислотно-лужного балансу. Проте наразі в міжнародній практиці не існує іншої стандартизованої методики контролю стану оливи, окрім безперервного відстеження темпів падіння лужності та зростання кислотності, що базується на вимірюванні TBN.

Окиснення мастильних матеріалів. За умов нормальних робочих температур швидкість термоокиснювальних процесів в оливі є незначною, проте три чинники здатні критично прискорити старіння основи:

а) Високотермічний вплив. Температурний фон оливи зростає при зниженні ефективності або забрудненні водомасляних охолоджувачів. Локальні зони екстремального перегріву виникають у внутрішніх порожнинах поршневих коронкових зон, якщо після зупинки головного ДВЗ не

забезпечується обов'язкове прокачування системи оливою автономним електронасосом протягом щонайменше 15 хвилин. Аналогічний ефект деструкції оливи спостерігається в електричних проточних підігрівачах, якщо прокачування припиняють раніше ніж через 5 хвилин після вимкнення ТЕНів, або якщо корпус підігрівача заповнений робочим середовищем не повністю через неефективне видалення повітря.

б) Інтенсивне насичення повітрям (аерація). Трубопроводи телескопічного привода охолодження поршнів та сусідні стикувальні вузли мають зберігати абсолютну герметичність, оскільки через пульсації тиску в цих зонах відбувається підсос повітря в об'єм оливи. Також необхідно підтримувати належне функціонування вентиляційної системи картера та стічної цистерни.

Загальний об'єм оливи в контурі має розраховуватися так, щоб кратність її циркуляції не перевищувала 15...18 циклів за годину. Такий режим забезпечує необхідний час для повної деаерації (виділення бульбашок повітря) під час перебування оливи у стічному баку. Важливо, щоб у циркуляції брав участь увесь об'єм мастильного матеріалу, без утворення застійних зон у кутах цистерни.

в) Каталітичний вплив металів. Швидкість окиснення вуглеводневих ланцюгів різко зростає за наявності в об'ємі системи мікрочастинок, які виконують роль хімічних каталізаторів. Найбільш руйнівну дію мають дисперсні частинки зносу міді та її сплавів (латунь, бронза), проте високу каталітичну активність мають і мікрочастинки чорних металів та продукти корозії (іржа). Окиснення також прискорюється під впливом лакових відкладень та проміжних смолистих продуктів старіння самої оливи. Тому важливо забезпечити безперервне відцентрове очищення для підтримання мінімального вмісту шламу.

Оскільки з поверхні нагрітої оливи в стічному баку постійно випаровується волога, яка конденсується на підволоці цистерни, у цій зоні інтенсивно розвивається іржа, що згодом змивається в оливу й активізує її

старіння. Для запобігання цьому явищу внутрішні поверхні суднових цистерн підлягають регулярному очищенню та покриттю спеціальними маслостійкими антикорозійними сумішами.

Ознаки глибокого старіння (деградації) оливи. При критичному прискоренні окиснювальних процесів потрібні негайні дії, оскільки на фінальній стадії деградація структури оливи відбувається лавиноподібно — протягом 1–2 тижнів. Незважаючи на те, що такі випадки на флоті є поодинокими, судновому механіку необхідно знати основні ознаки старіння оливи, які проявляються окремо або в комплексі: різке збільшення об'єму шламу, що виділяється в барабані сепаратора; поява вираженого специфічного їдкого (кислого) запаху від оливи; забарвлення внутрішніх поверхонь картера ДВЗ у стійкий кавовий колір через формування тонкої лакової плівки; здуття, пузиріння або злущування захисного фарбового покриття внутрішніх порожнин картера; інтенсивне утворення твердого коксового нагару в порожнинах гідроохолодження поршневих головок.

У разі виявлення ознак глибокої деградації оливи вся партія підлягає зливанню, а картер і трубопроводи системи — ретельному хімічному очищенню та промиванню перед заповненням контуру свіжим мастильним матеріалом.

Обводнення оливи. Потрапляння води в циркуляційну оливу є неприпустимим. Присутність вологи, особливо за бортної солоної води, призводить до таких наслідків: різке прискорення процесів окиснення основи з утворенням комплексу мінеральних та органічних кислот; інтенсивна корозія шліфованих поверхонь валів, що викликає підвищення шорсткості шийок підшипників, штоків тощо; утворення твердих оксидів олова на антифрикційному бабітовому шарі вкладишів підшипників.

Крім того, потрапляння прісної води за сприятливих температурних умов створює середовище для розвитку бактеріологічного ураження (біодеградації) оливи мікроорганізмами.

Для високолузних моторних олив короткочасне незначне підвищення вмісту прісної води не є критичним під час роботи ДВЗ під навантаженням, проте за першої нагоди її концентрацію необхідно знизити до рівня менше 0,2%. Якщо двигун зупиняють при підвищеному вмісті вологи в оливі, колінчастий вал необхідно щогодини повертати валоповоротним пристроєм на 1/2 оберту для зміни положення шийок у підшипниках, не припиняючи при цьому безперервну циркуляцію та сепарацію оливи через підігрівач для випаровування та відцентрового видалення води. Цей регламент є критично важливим у разі прориву в контур солоної за бортної води.

Наявність вологи в системі візуально діагностується за появою крапель конденсату («роси») на внутрішніх поверхнях оглядових вікон картера або за характерним молочно-емульсійним виглядом оливи. Для експрес-діагностики обводнення на борту використовують тест на «тріск»: шматочок скла або паяльник нагрівають до температури 200...300 °C і занурюють у відібрану пробу оливи. Поява характерного шипіння або тріску однозначно свідчить про наявність вільної вологи. При масивному прориві води в систему необхідно першочергово відкачати її відстій із донної частини циркуляційного бака і провести хімічний аналіз цієї води на вміст хлоридів (солоність). В екстремальних випадках виконують повне зливання емульсії з промиванням контуру та заповненням системи чистою оливою.

Пакет присадок. У структурі сучасних суднових дизельних олив концентрація легуючих присадок становить до 10...15% за об'ємом. Ці комплексні сполуки запобігають передчасному зносу, блокують корозію, змивають відкладення та утримують їх у дрібнодисперсному стані. Основними хімічними елементами у складі присадок є:

- Кальцій (Ca) та Магній (Mg): входять до складу високонапружених миючих, нейтралізуючих та диспергуючих присадок (сульфонати, феноляти, саліцилати). Їхній сумарний масовий вміст в оливі становить від 0,2% до 0,3%;

- Цинк (Zn) та Фосфор (P): компоненти дитіофосфатів, що виконують функцію проти зносних та антиокиснювальних присадок (до 0,2% за масою);

- Молібден (Mo) та Бор (B): застосовуються як модифікатори тертя для зниження механічних втрат. Їхня концентрація становить до 0,2% за масою, і містяться вони переважно у високотехнологічних оливах преміум-сегмента. Сюди ж відносяться полімерні модифікатори в'язкості.

Експлуатаційний моніторинг стану оливи. Як зазначено вище, поточний контроль характеристик оливи силами суднового екіпажу включає регулярну фіксацію таких параметрів: динаміка об'єму шламів, що видаляються при чищенні сепаратора; органолептичні показники (колір, прозорість, специфічний загар за запахом); наявність конденсату на оглядових скляних лючках картера; утворення лакової плівки на деталях КШМ всередині картера; стан фарбового покриття внутрішніх порожнин двигуна; проведення тесту на «тріск» (шипіння) при нагріванні проби; наявність вуглецевого коксового нагару на внутрішніх поверхнях поршнів.

Додатково до бортового контролю обов'язковим є відправлення проп оливи для повного фізико-хімічного аналізу в берегову спеціалізовану лабораторію постачальника пально-мастильних матеріалів щонайменше один раз на три місяці. Відбір проби проводять під час роботи ДВЗ під навантаженням зі спеціального пробовідбірного крана на головному напірному колекторі двигуна. Бортові комплекти для експрес-аналізу (тест-кити) розглядаються лише як допоміжний інструмент оперативного контролю, який не замінює повноцінних лабораторних досліджень.

2.3 Технічне обслуговування системи мащення суднового двигуна

Під час роботи дизельної установки вахтовий інженер-механік зобов'язаний безперервно контролювати та утримувати в межах паспортних значень показники тиску й температури оливи на вході в ДВЗ, підшипники турбокомпресорів, редуктор і гідродинамічну муфту, а також візуально перевіряти надходження мастила до окремих вузлів крізь оглядові стекла головних розподільників.

- Не рідше одного разу за годину перевіряється рівень оливи в циркуляційних та стічних баках системи. Стрімке падіння рівня вказує на наявність зовнішніх або внутрішніх витоків через порушення герметичності арматури й прокладок. Раптове зростання рівня свідчить про потрапляння в контур води (через масловипарник) або палива (через ущільнення ПНВТ). При зниженні об'єму оливи нижче критичної мітки виконують її доливання з цистерни запасу. За наявності відхилень рівня негайно виявляють та усувають причину несправності. Потрапляння палива або води в оливу на початковій стадії визначають за зміною її кольору, прозорості та падінням робочої в'язкості.

- Не рідше одного разу за вахту подається пластичне консистентне мастило до вузлів ручного обслуговування, а також поповнюються прес-маслянки та ковпачкові преси периферійних приводів.

- За потреби (при фіксації повітряних мішків) виконують видалення повітря з верхніх масляних порожнин водомасляних охолоджувачів та корпусів фільтрів через штатні повітряні клапани.

- Робочий тиск оливи всередині теплообмінника-охолоджувача має постійно підтримуватися вищим, ніж тиск охолоджувальної за бортної або прісної води в суміжній порожнині. Це унеможлиблює потрапляння води в оливу при появі мікротріщин у трубках. Не рідше одного разу за добу відбирається проба води з водяного контуру охолоджувача для перевірки відсутності масляної плівки (індикатор прориву трубок).

- У разі падіння тиску мастила нижче норми на тлі зростання його температури виконують перемикання на резервний електронасос системи мащення, після чого виявляють і усувають несправність без зупинки головного двигуна. Якщо після запуску резервного насоса параметри не стабілізувалися, навантаження на ДВЗ знижують до мінімального або повністю зупиняють силову установку, не припиняючи при цьому прокачування контуру оливою для запобігання термічному схопленню підшипників.

- Не рідше одного разу за годину контролюють параметри системи змащення турбокомпресорів наддуву (рівень оливи в локальних збірниках, її колір та температура на виході з підшипників ковзання).

- Контролюють рівномірність розподілу циліндрової оливи по точках впорскування та рівень мастильного матеріалу в бункерах лубрикаторів, проводячи регулярний вимір витрати та дозування. Об'єм оливи, що подається лубрикаторними помпами на дзеркало втулок, має чітко відповідати режимним картам заводу-виробника. Недостатня подача призводить до сухого тертя й задирів, а надмірна — до інтенсивного нагароутворення у вікнах та закоксовування поршневих кілець.

- Налаштування та регулювання подачі лубрикаторів циліндрового змащення виконують відповідно до інструкції з експлуатації залежно від сорту палива та навантаження ДВЗ. Питома витрата циліндрової оливи на будь-якому проміжному режимі роботи має відповідати нормативам, встановленим для номінальної потужності двигуна.

- Граничний перепад тиску на фільтрувальних елементах (диференціальний тиск до і після фільтра) чітко регламентується інструкцією. Зростання цього показника свідчить про забивання сіток продуктами зносу та шламами й вимагає очищення.

- При раптовому падінні тиску чи критичному зростанні температури оливи двигун підлягає негайній аварійній зупинці. Поточне регулювання термічного режиму оливи здійснюється шляхом зміни об'єму охолоджувальної води, що проходить через водомасляний теплообмінник, за допомогою автоматичного терморегулюючого клапана або вручну байпасною засувкою.

- Робочий тиск циркуляційної оливи в охолоджувачі має перевищувати тиск охолоджувальної води на величину, визначену інструкцією з експлуатації.

- Під час роботи дизельної установки весь об'єм циркуляційної оливи підлягає безперервному або періодичному очищенню у відцентрових сепараторах.

Сепарування оливи в системі спрямоване на ефективне видалення вільної вологи та нерозчинних дисперсних шламів. При регенерації високонапружених олив із комплексними пакетами присадок суворо забороняється додавання води в барабан для так званого «промивання», оскільки це призводить до вимивання (гідролізу) водорозчинних миючих компонентів. Олива перед подачею в центрифугу має бути підігріта в межах 60...95 °С. Більшість виробників мастильних матеріалів для досягнення максимальної глибини сепарації рекомендують підтримувати температурний режим на верхній межі цього діапазону — 90...95 °С.

Для забезпечення високої якості очищення продуктивність сепаратора обмежують на рівні 20% від його паспортного номінального значення. Оптимальні умови регенерації досягаються, якщо пропускна здатність центрифуги дозволяє повністю пропустити весь об'єм оливи системи 4–5 разів за кожні 24 години роботи при витраті 20% від номіналу. Підбір гравітаційного диска (горлового кільця) барабана здійснюють за номограмами виробника з урахуванням фактичної густини оливи при конкретній температурі сепарації. Для безвідмовної роботи обладнання суворо дотримуються вимог інструкції з експлуатації заводу-виробника сепаратора.

Сепарування олив, що містять пакет присадок, здійснюють без подачі промивальної води за температури підігріву до 90 °С (верхня межа рекомендована для масел із високим індексом TBN). Сепарацію базових олив без присадок допускається виконувати з водяним промиванням при температурі підігріву не більше 75 °С.

Конструкція фільтра змащувальної системи двигуна MaK 8M20 вимагає регулярного обслуговування вахтовим персоналом машинної команди, який зобов'язаний 1–2 рази на добу проводити очищення робочих поверхонь картриджа шляхом провертання спеціального ручного механізму (поворотом секцій фільтроелементів у поєднанні з ручним керуванням пневматичною арматурою обдуву та дренажу шламу). Фільтрувальний елемент повертається за допомогою вала з зірочкою, при цьому вся його поверхня продувається

стисненим повітрям від сторонніх часток, які по вертикальному внутрішньому каналу та дренажному трубопроводу скидаються у відстійну цистерну брудного мастила. Тиск повітря на вході у фільтр під час імпульсного обдуву має становити 1 МПа.

Якщо різниця показників манометрів на вході та виході з фільтра перевищує норму, виконують позапланове очищення стисненим повітрям. Якщо після продувки диференціальний тиск не знизився, це свідчить про глибоке забивання пор сітки смолистими відкладеннями. У такій ситуації проводять операцію позапланового технічного обслуговування: фільтр розбирають, а всі його робочі елементи та внутрішні порожнини корпусу промивають очисними розчинниками. Два рази на рік масляний фільтр підлягає повному розбиранню для проведення дефектації та заміни зношених деталей; за умов інтенсивного забруднення системи ця операція виконується частіше.

За потреби зношений фільтруючий елемент замінюють новим. Щоденний контроль роботи вузла здійснюється за штатними манометрами; при стійкому зростанні перепаду тиску та неефективності самоочищення призначають непланове розбирання й заміну картриджа за описаною вище технологією.

Робота суднового дизеля з несправним, пошкодженим або байпасованим масляним фільтром суворо заборонена.

Під час ручного очищення масляних фільтрів і розкриття порожнин шламозбірників вахтовому механіку необхідно ретельно перевіряти осад на наявність металевих включень (стружки, пудри), оскільки їхня поява свідчить про прогресуюче руйнування або аварійне зношування підшипників чи інших вузлів тертя ДВЗ.

Догляд за циркуляційною оливою. Перед первинним заповненням системи, з метою мінімізації ризику пошкодження дзеркала підшипників, обов'язково проводять ретельне ручне очищення та зачищення внутрішніх поверхонь картера двигуна, масляного піддона, трубопроводів та

циркуляційного бака. Особливу увагу приділяють ділянкам напірного тракту між фінальними фільтрами тонкого очищення та входом у підшипники для повного видалення залишків зварювального шлаку, бризок металу та окалини.

Якщо труби очищали методом піскоструминної обробки з подальшим промиванням «кислотним розчином» (травленням), їх у обов'язковому порядку нейтралізують лужним розчином, після чого металеві поверхні негайно покривають тонким шаром спеціального консерваційного мастила для захисту від вторинної корозії.

Оскільки сторонні механічні домішки можуть накопичуватися у внутрішніх порожнинах водомасляного охолоджувача, цей теплообмінний апарат також підлягає повному розбиранню та ретельному передпусковому очищенню.

Технологія промивання головної масляної системи (для двигунів без інтегрованого масляного контуру). Практика показує, що під час монтажних робіт або після ручного зачищення апаратів дрібні абразивні частинки з повітря все одно потрапляють у порожнини системи. Тому перед першим пуском виконують технологічну операцію промивання всієї системи шляхом безперервного прокачування оливи автономним насосом за тимчасовою схемою (байпасуючи — спрямовуючи потік в обхід підшипників ДВЗ). Це дозволяє видалити залишки твердих домішок і гарантує, що до вузлів тертя надходитиме абсолютно чисте робоче середовище.

На етапі промивання (як і під час попереднього зачищення) підшипники колінчастого вала мають бути надійно ізольовані від робочого контуру для виключення потрапляння в них бруду. Конкретні методи ефективного вловлювання твердих частинок під час промивання залежать від архітектури конкретної машинної установки, типу штатних фільтрів та характеристик сепараторів. Очищення системи здійснюється шляхом безперервної роботи відцентрових сепараторів та прокачування всього об'єму оливи через фільтрувальні елементи. Як додаток до штатного обладнання в контур

тимчасово встановлюють спеціальний промивний фільтр із тонкістю фільтрації до 10 мікронів.

Бруд та пил можуть потрапити у внутрішні порожнини крейцкопфних підшипників через відкриту конструкцію їхніх кришок. Тому на час проведення циркуляційного промивання кришки підшипників обов'язково вкривають щільними гумовими килимками. Оскільки циркуляційний потік замикається через стічний бак, у процесі промивання має брати участь увесь об'єм оливи системи. Під час прокачування оливи підігрівають до температури 60...65 °C і подають на повну продуктивність нагнітального насоса для ефективного змивання та розчинення консерваційних сумішей на внутрішніх стінках труб. Важливо забезпечити таку швидкість руху рідини в трубопроводах, яка б гарантувала перехід ламінарного потоку в турбулентний. Турбулентність потоку досягається при значенні числа Рейнольдса 3000 і вище.

Термічний підігрів мастильного матеріалу під час промивання можна реалізувати, наприклад, шляхом заповнення водяного простору охолоджувача оливи (ізолюваного запірними клапанами) прісною водою з подальшим контрольованим подаванням пари в цю порожнину. У ході цього процесу деаераційний вентиль на охолоджувачі залишають відкритим, а тиск пари регулюють так, щоб внутрішній тиск у теплообміннику залишався мінімальним. Для об'єктивного контролю чистоти контуру застосовують «контрольні мішечки», виготовлені з дрібної фільтрувальної сітки з розміром комірки 0,050 мм (стандартні габарити: 100 мм за шириною та 400 мм за довжиною, площа поверхні — не менше 1000 см²). Для контролю чистоти контуру після головного фільтра встановлюють два таких мішечки: один — на кінці головного масляного колектора перед телескопічними трубами охолодження поршнів, другий — у кінцевій точці напірної магістралі підшипників остова.

Для моніторингу ступеня чистоти самої оливи ще один контрольний мішечок підключають до пробовідбірного патрубку на нижній стороні

горизонтальної ділянки головного трубопроводу між нагнітальним насосом і головним автоматичним фільтром. Цей мішечок кріплять до кінця гнучкого пластикового шланга діаметром 25 мм і підвішують безпосередньо всередині картера двигуна.

Контрольні мішечки демонтують для огляду на наявність твердих частинок через кожні дві години роботи насоса, після чого їх очищають і встановлюють знову без зупинки циркуляції оливи в системі. Об'єм потоку через контрольні елементи регулюють за допомогою гвинтових затискачів на підвідних шлангах так, щоб мішечки були постійно заповнені оливою. Гранично допустимий перепад тиску на контрольному мішечку становить 0,1 МПа. За умови роботи головної помпи на повну потужність рівень чистоти системи вважається задовільним, якщо після двох годин безперервного прокачування на сітці контрольних мішечків повністю відсутні абразивні та металеві частинки.

Як додатковий інструмент об'єктивного контролю (для порівняння з результатами наступних ревізій) рекомендується паралельно з використанням сітчастих мішечків проводити електронний підрахунок дисперсних частинок в оливі для точного визначення їхнього розмірного розподілу, концентрації та хімічного складу. При застосуванні цього методу процес промивання вважається завершеним лише тоді, коли рівень чистоти робочого середовища відповідає критеріям стандарту ISO 4406 по класу не менше ніж $\pm 19/15$. Для прискорення процесу відцентрові сепаратори оливи мають працювати безперервно протягом усього циклу промивання, а їхні підігрівачі — підтримувати температуру на заданому рівні.

Якщо сепаратори працюватимуть автономно без запуску головних циркуляційних насосів системи, вони очищатимуть лише верхні шари оливи, оскільки через низьку швидкість руху рідини в баку важкі тверді частинки швидко осядуть на дно та в тупикові зони трубопроводів.

Для інтенсифікації відділення відкладень від стінок труб у ході циркуляційного промивання застосовують портативні віброочисники або

виконують обстукування ліній м'яким молотком, переміщуючи точку впливу вздовж труби щонайменше на один метр кожні 10 хвилин (з обережністю, щоб не пошкодити зварні шви). Оскільки значна частина змитого бруду та ошурок через падіння швидкості потоку осідає на дні стічної цистерни, після завершення промивання всю оливу рекомендується перекачати зі стічного бака в резервну ємність через мобільний фільтр із тонкістю фільтрації 10 мікронів. Після цього спорожнену стічну цистерну повторно очищають вручну й повертають оливу назад у контур через той самий 10-мікронний фільтр. Якщо знехтувати фінальним зачищенням стічної цистерни, у початковий період роботи ДВЗ під навантаженням відбудеться швидке забивання судових фільтрів через повторне збовтування й підняття донних відкладень під впливом високої робочої температури оливи, вібрації корпусу двигуна та бортової хитавиці судна на ходу в морі.

Важливо знати: При проведенні виключно візуального контролю стану оливи слід враховувати, що мінімальний розмір частинок, який здатне розрізнити людське око, становить приблизно 0,04 мм (40 мікронів). Водночас під час роботи двигуна мінімальна товщина гідродинамічної масляної плівки в підшипниках колінчастого вала може становити менше 0,005 мм (5 мікронів). Таким чином, візуальна оцінка прозорості оливи не здатна захистити пари тертя від потрапляння небезпечних мікрочастинок зносу, тому контроль чистоти середовища необхідно проводити за стандартами лазерного підрахунку відповідно до норм ISO 4406.

Повний фізико-хімічний аналіз відпрацьованої оливи виконується в спеціалізованих лабораторіях компанії-постачальника мастильних матеріалів, яка на основі отриманих графіків і метрик надає офіційний експертний висновок щодо придатності оливи до подальшої експлуатації.

2.4 Заміна змащувальної оливи

Експлуатаційні терміни заміни моторної оливи залежать від характеристик застосовуваного мастильного матеріалу, об'єму та якості

спалюваного палива, загальної місткості циркуляційного контуру двигуна, профілю навігаційного навантаження судна, питомої витрати оливи на чад та ефективності роботи очисного обладнання (фільтрів, сепараторів).

Нормативний питомий об'єм оливи для двигунів даного класу становить 1,36 л/кВт потужності. Якщо в силу конструктивних особливостей чи в особливих випадках об'єм оливи зменшено до граничної межі 0,3 л/кВт, терміни роботи оливи між замінами суттєво скорочуються. У таких ситуаціях базовий міжремонтний період роботи оливи (наведений нижче) множать на поправочний коефіцієнт, що відображає різницю між фактичним та нормативним об'ємами системи; проте повна заміна оливи в контурі має здійснюватися не рідше одного разу на півроку.

Статичний рівень оливи підлягає щоденному контролю за допомогою мірного пристрою; він не повинен опускатися нижче мінімальної мітки. Поповнення системи свіжою оливою проводять не пізніше ніж після вичерпання 20% від загального початкового об'єму циркуляційного контуру.

Сучасні середньооборотні ДВЗ серії МаК характеризуються низькими питомими витратами палива — менше 183 г/(кВт·год), а на окремих режимах цей показник може бути ще нижчим. За таких умов, через малу потребу в регулярному доливанні свіжої оливи, граничний стан зношування робочого середовища та спрацювання присадок може настати значно швидше, залежно від вмісту сірки в паливі та умов експлуатації установки. Незалежно від ефективності сепарування, при досягненні показниками оливи критичних меж її властивості необхідно поновити шляхом повного або часткового освіження (доливання нової партії).

Зважаючи на комплексний вплив зазначених факторів, наведені нижче часові інтервали заміни є орієнтовними. Головним параметром для прийняття рішення про зливання оливи є вихід її фізико-хімічних характеристик за гранично допустимі значення, встановлені інструкцією заводу-виробника двигуна.

Тому обов'язковою умовою є моніторинг стану оливи за допомогою регулярного відбору проб для лабораторного аналізу. Ці дослідження виконуються сервісними технічними лабораторіями фірми-постачальника мастильних матеріалів або безпосередньо лабораторією Caterpillar Kiel. Пробу для аналізу об'ємом 0,5...1,0 л відбирають із циркуляційного контуру на вході в двигун під час його роботи під навантаженням.

Орієнтовні терміни заміни оливи (за годинами роботи), розраховані на нормативний питомий об'єм 1,36 л/кВт, становлять:

- за умови очищення через попередній та головний автоматичний фільтр — кожні 1500 год;
- при додатковому підключенні допоміжного байпасного фільтра або центрифуги — кожні 3500 год;
- за умови безперервної роботи високотехнологічного сепаратора — кожні 7500 год.

Граничні значення показників для заміни оливи:

- Розрідження оливи пальним (паливом): Зниження температури спалаху в закритому тиглі не нижче ніж до 180 °С (визначено за методом Пенські-Мартенса, стандарт DIN 51758) або падіння кінематичної в'язкості для олив класу SAE 40 при температурі 40 °С нижче рівня 120 мм²/с (сСт); граничне зростання в'язкості при 40 °С через накопичення сажі обмежується показником 200 мм²/с (сСт).

- Лужне число (TBN): При роботі дизеля на важкому паливі з високим вмістом сірки лужне число циркуляційної оливи не повинно опускатися нижче 18 мг КОН/г. Якщо двигун обладнаний окремою лубрикаторною системою змащення циліндрів, критична межа для циркуляційної оливи становить 15 мг КОН/г. При роботі на чистих сортах палива (газойль, морське дизельне паливо MDO) показник TBN не повинен знижуватися більш ніж на 50% від значення для нової оливи. Якщо лужне число досягло нижньої межі, але всі інші аналітичні параметри (в'язкість, дисперсність, кислотність) перебувають у

нормі, допускається відновлення лужності шляхом інтенсивного освіження — зливання частини робочої оливи та доливання нової партії з високим TBN.

- Вміст вільної та зв'язаної води: При зростанні концентрації вологи понад 0,2% необхідно негайно виявити та усунути джерело прориву води в контур. Оливу піддають безперервному сепаруванню на максимальному термічному режимі або повністю замінюють.

- Вміст механічних домішок (забруднення): При експлуатації двигунів Caterpillar/МаК на важких паливах обов'язковою умовою є безперервна робота відцентрового сепаратора оливи. Це дозволяє утримувати концентрацію твердих сторонніх домішок на рівні значно нижче 1% за масою. Якщо цей показник досягає 1%, оливу переводять у режим форсованої сепарації. Гранично допустиме значення вмісту механічних домішок становить 2% за масою; при його перевищенні олива підлягає утилізації.

2.5 Загальна характеристика теплообмінника системи мащення

Загальні положення. На судах сучасного флоту застосовують переважно поверхневі (рекуперативні) теплообмінні апарати, у яких одне робоче середовище (гаряче) передає теплову енергію іншому (холодному) через металеву стінку роздільних елементів, що виключає їхнє взаємне змішування. Найбільшого поширення в судових системах набули кожухотрубні та змійовикові конструкції (водонагрівачі, паливопідігрівачі, масловипарники, а також охолоджувачі води, циркуляційної оливи та наддувного повітря).

До судових теплообмінників висуваються жорсткі загальнотехнічні вимоги: висока надійність і безвідмовність протягом усього паспортного терміну служби, простота проведення ремонтних та очисних операцій, мінімальні масогабаритні характеристики та оптимальна вартість.

Конструкція теплообмінних апаратів визначається їхнім цільовим призначенням, термодинамічними параметрами робочих середовищ (тиск, температура) та величиною теплового навантаження. На судах, побудованих

наприкінці 20 століття, основу парку теплообмінників становлять кожухотрубні конструкції з прямими круглими, U-подібними або гнутими змійовиковими трубками. При значних термічних перепадах між середовищами (Δt) застосовують апарати з прямими трубками та двома жорсткими одинарними або подвійними трубними дошками, які монтуються всередині циліндричного корпусу-кожуха (див. рис. 2.2).

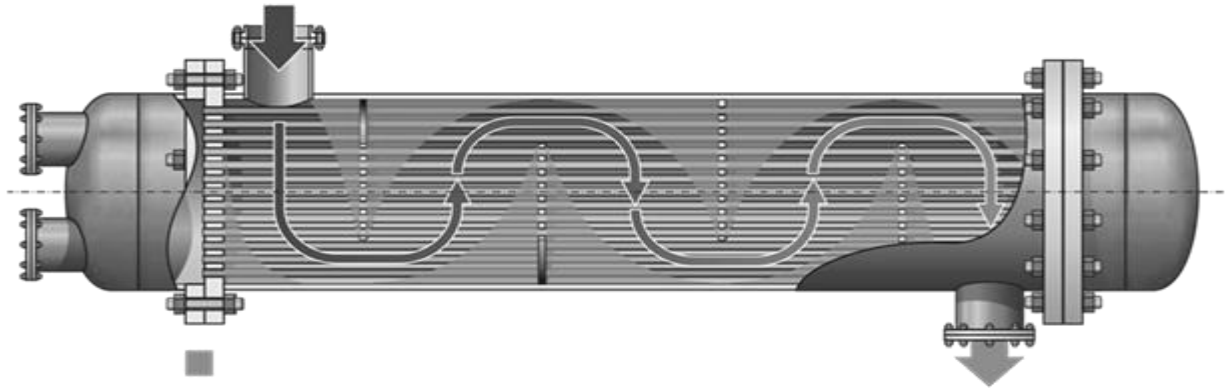


Рисунок 2.2 — Конструктивна схема кожухотрубного теплообмінного апарата

Виходячи з функціонального призначення, теплообмінник є апаратом для забезпечення теплообміну між двома потоками. Робота кожухотрубного апарата побудована на тому, що одне середовище рухається всередині трубного пучка (трубний простір), а друге — у просторі між зовнішніми стінками трубок та внутрішньою поверхнею корпусу (міжтрубний простір), де і відбувається передача тепла.

Циліндричний кожух являє собою міцну трубу, зварену з кількох листів конструкційної сталі. Основні конструктивні відмінності між модифікаціями полягають у способі з'єднання трубних дощок із корпусом та торцевими кришками. Товщина стінки кожуха розраховується залежно від робочого тиску середовища та внутрішнього діаметра апарата, але за умов механічної міцності вона не може бути меншою за 4 мм. До зовнішньої поверхні корпусу приварюють опорні лапи для монтажу на судновий фундамент. Трубний пучок фіксується у дошках (решітках) за допомогою технології розвальцьовування. Конструктивно кожухотрубні апарати виконуються із жорсткою, напівжорсткою (з лінзовим компенсатором) або нежорсткою (з плаваючою

головкою) структурою. За просторовою орієнтацією вони поділяються на горизонтальні, вертикальні та похилі.

У класичних кожухотрубних теплообмінниках площа прохідного перерізу міжтрубного простору в 2–3 рази перевищує сумарну площу перерізу всередині трубок. Тому при однакових об'ємних витратах теплоносіїв з однаковим фазовим станом коефіцієнти тепловіддачі на зовнішній поверхні трубок є низькими, що суттєво знижує загальний коефіцієнт теплопередачі всього апарата. Для усунення цього дефіциту всередині міжтрубного простору встановлюють сегментні перегородки, які змінюють напрямок руху потоку на поперечний, підвищують його швидкість та турбулентність, що значно інтенсифікує теплообмін.

Трубні дошки (решітки) призначені для жорсткої фіксації та герметизації кінців трубного пучка шляхом розвальцьовування, відбортовування, зварювання, паяння або із застосуванням сальникових ущільнень. Трубні дошки приварюють безпосередньо до кожуха, затискають шпильками між фланцями корпусу та торцевих кришок або з'єднують болтами з фланцем вільної рухомої камери. Матеріалом для виготовлення решіток служить товстолистова сталь або латунь товщиною не менше 20 мм.

Технічне обслуговування. У ході експлуатації судновий теплообмінник зазнає знакозмінних температурних деформацій, гідравлічних ударів та вібраційних навантажень від працюючого двигуна. Ефективність теплопередачі може критично знизитися через утворення на внутрішніх та зовнішніх поверхнях трубок шару накипу, мулу чи продуктів старіння оливи. Навіть стійкий турбулентний потік, який перешкоджає осадженню зважених часток, не здатний повністю захистити поверхні від забруднення.

На сучасному флоті для хімічної обробки та запобігання відкладенням в охолоджувачах води, оливи та повітря застосовують спеціалізовані присадки та реагенти, класифікацію яких наведено на схемі (рис. 2.3).

Для кондиціювання та очищення контурів охолоджувачів води й оливи використовують такі хімічні препарати: SAF-ACID (сухий порошкоподібний

реагент, дозування — 100 кг на 1 т води); EDGE (рідка присадка, концентрація від 20 до 100 л на 1 т води); LAC (рідкий очисник, 10 л на 1 т води); HDE-777 (рідкий склад, 50 л на 1 т води); DESCALE-IT (кислотний рідкий реагент, 200 л на 1 т води).



Рисунок 2.3 — Класифікація хімічних присадок і реагентів для обслуговування суднових охолоджувачів води, оливи та повітря

Для промивання повітряохолоджувачів наддувного повітря застосовують спеціалізовані суміші марки ACC/ME (робочий розчин готують у пропорції 1 частина реагенту на 4 частини прісної води).

Під час проведення ТО теплообмінні апарати очищають та промивають за безрозбірною схемою на місці монтажу або із розкриттям кришок. Для механічного видалення накипу використовують довгі щітки-йоржі, яким надають зворотно-поступального або обертового руху вручну чи за допомогою пневмопривода.

При підготовці теплообмінника до стоянки або обслуговування в умовах низьких температур зовнішнього середовища (загроза замерзання) його водяні порожнини повністю осушують, а спускні та повітряні клапани залишають у відкритому положенні.

Дефектоскопія та ремонтні операції. До типових дефектів суднових теплообмінників належать: порушення герметичності вальцьованих з'єднань трубок у гніздах дошок; наскрізні тріщини на трубках, решітках та торцевих кришках; товстий шар сольового накипу в каналах; корозійні виразки та ерозійне зношування поверхонь під впливом потоку води, а також корозійне руйнування цинкових протекторів.

Технічний стан апарата контролюють за перепадами температур та тиску робочих середовищ на основі показників штатних манометрів і термометрів, контактних вимірювачів, а також візуально за допомогою оптичних жорстких або гнучких ендоскопів (відеоендоскопів) та ультразвукових товщиномірів. Візуальний огляд дозволяє виявити тріщини, деформації й здуття корпусу та кришок, корозійні руйнування торців трубок у зоні вальцювання, тріщини на решітках та ступінь зносу протекторів.

За результатами контролю фактичного технічного стану формується відомість дефектів та виконується ремонт за станом таких елементів: внутрішнє очищення трубного пучка; глушіння дефектних трубок (при виявленні тріщин, нориць або пропусків у дошці); заміна або наплавлення корпусу й кришок, встановлення нових протекторів замість зношених.

Очищення каналів призначають, якщо показники перепаду температур та тиску виходять за межі, встановлені інструкцією з експлуатації. За відсутності або несправності штатних приладів температуру стінок вхідних і вихідних патрубків вимірюють за допомогою портативних контактних цифрових термометрів типу ТТЦ (модифікації ТТЦ-1-01 для діапазону 0–200 °С або ТТЦ-1-02 для 0–600 °С). Також застосовують безконтактні інфрачервоні пірометри: «Thermopoint 80SC» (робочий діапазон від -30 до +1100 °С), «Thermopoint 40» (від -18 до +870 °С) або «Pyrovar НРА» (0...+870 °С).

Стан трубного пучка (наявність внутрішніх тріщин, нориць, нещільностей вальцювання) визначають візуально або за допомогою ендоскопів після демонтажу торцевих кришок апарата.

Трубки з наскрізними дефектами допускається тимчасово глушити — їхня сумарна кількість не повинна перевищувати 10% від загального числа труб у пучку. Для цього всередині дефектної трубки нарізають різьбу і встановлюють на сурику («фарбі») або герметику глухі конічні пробки, після чого проводять повторне гідроопресування міжтрубного простору. При

фіксації течі по гнізду дошки виконують повторне підвальцювання трубки роликів інструментом.

Величину зносу стінок корпусу, кришок та трубок визначають методом ультразвукової товщинометрії за допомогою приладів типу УТ-93П або аналогічних товщиномірів. Якщо потоншення стінок елементів перевищує 10...20% від номінального паспортного значення, ці деталі підлягають заміні або відновленню зварюванням/наплавленням.

Герметичність трубного пучка та місць його кріплення в дошках перевіряють гідравлічним випробуванням міжтрубного простору тиском, що дорівнює: $1,25 P_{роб}$. Поява крапель води всередині трубок або на дзеркалі решітки свідчить про наявність тріщин чи нориць. Корпус теплообмінника з наскрізними корозійними руйнуваннями або великими тріщинами підлягає заміні.

В аварійних ситуаціях або за відсутності зварювального обладнання нориці та тріщини в корпусі, кришках чи дошках допускається тимчасово усувати за допомогою композитних матеріалів на основі епоксидних смол та склотканини. Для цього пошкоджену ділянку зачищають шліфмашиною до чистого металу, знежирюють ацетоном або бензином, наносять перший шар епоксидного компаунду, укладають армуючу склотканину і зверху покривають фінальним шаром епоксидної смоли.

До переліку типових робіт під час ремонту суднових теплообмінників в умовах судноремонтного заводу належать: відновлення щільності вальцюваних з'єднань трубок у дошках, повна заміна трубних пучків або окремих змієвиків, усунення тріщин та деформацій корпусів і кришок.

У теплообмінних апаратах високого тиску кріплення труб у решітках виконують комбінованим способом — вальцюванням у поєднанні з обварюванням торців. В апаратах низького й середнього тиску застосовують виключно роликове вальцювання.

Щільність вальцюваного стику відновлюють повторною роздачею роликами, а зварного — вирубуванням дефекту та переварюванням шва.

При виявленні масових тріщин у трубках або решітках трубний пучок підлягає повній заміні. Тріщини в чавунних або сталевих кришках усувають заварюванням за спеціальною технологією (із попереднім підігрівом або застосуванням спеціальних електродів).

Гнуття нових трубок виконують за шаблонами в холодному стані на трубогинальних верстатах або вручну на оправках. Для гарячого гнуття застосовують нагрівання струмами високої частоти (СВЧ) або газополум'яні пальники.

Циліндричні змійовикові елементи виготовляють на токарних верстатах, використовуючи спеціальну сталеву оправку зі спіральною канавкою заданого кроку. У ході згинання сталеві труби підігрівають газовим пальником для зняття напружень. Мідні та мідно-нікелеві трубки гнуть виключно у попередньо відпаленому (м'якому) стані.

Профільні пластини для пластинчастих теплообмінників виготовляють методом холодного штампування в один прохід на потужних гідравлічних пресах. Це гарантує абсолютну ідентичність геометричних розмірів, однакову висоту гофри та точність розташування точок контакту. При збиранні пакета пластин в апараті ці контактні точки утворюють просторову ферму, що забезпечує високу жорсткість, пружність та механічну міцність конструкції, здатної витримувати значні тиски й гідроудари без деформації пластин.

2.6 Розрахунок системи мащення

Суднова масляна система (рис. 2.1) виконує функції приймання, зберігання та безперервного подавання змащувального матеріалу до робочих органів. У загальному випадку масляні контури дизельних СЕУ об'єднують кілька автономних функціональних підсистем: мащення та гідроохолодження деталей руху головних і допоміжних ДВЗ; змащування головних редукторних передач; гідросистеми реверс-редукторів (включаючи об'ємні та гідродинамічні трансмісії); контури живлення засобів автоматичного регулювання та дистанційного керування. При верифікації параметрів або

проектуванні масляної системи критично важливо аналізувати сумарні витрати оливи в кожній із зазначених підсистем.

Годинна продуктивність головної нагнітальної помпи системи мащення визначається за залежністю:

$$Q_{nm} = K_m \cdot \frac{Q_m \cdot 10^{-3}}{C_m \cdot \rho_m \cdot (t_{2m} - t_{1m})}, m^3 / z, \quad (2.1)$$

де $K_m = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт експлуатаційного запасу подачі; Q_m – тепловий потік, що сприймається оливою від пар тертя та охолоджуваних вузлів ДВЗ, кДж/год; $C_m = 2,02 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ – теплоємність мастила; питома теплоємність мастильного матеріалу; $\rho_m = 0,9$ – густина циркуляційної оливи; $t_{2m} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$ – гранична робоча температура оливи на виході з блоку двигуна; $t_{1m} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура мастильного матеріалу на вході в ДВЗ після охолоджувача.

$$\left. \begin{aligned} Q_{nm} &= 1,5 \cdot \frac{1187424 \cdot 10^{-3}}{2,02 \cdot 0,9 \cdot (65 - 45)} = 32,66 m^3 / z \\ Q_{nm} &= 1,5 \cdot \frac{1062432 \cdot 10^{-3}}{2,02 \cdot 0,9 \cdot (65 - 45)} = 43,83 m^3 / z \\ Q_m &= a_m \cdot G_e \cdot N_e \cdot Q_{nm} \\ Q_m &= 0,1 \cdot 0,186 \cdot 1520 \cdot 42000 = 1187424, \text{ кДж/г} , \\ Q_m &= 0,1 \cdot 0,186 \cdot 1360 \cdot 42000 = 1062432, \text{ кДж/г} , \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де $a_m = 0,1$ – частка теплової енергії палива, що сприймається оливою, від загального теплобалансу циліндра ДВЗ; $Q_p'' = 42000 \text{ кДж/кг}$ – нижча теплота згоряння судового палива; $g_e = 186 - 190 \text{ г/(кВт} \cdot \text{г)}$ – питома витрата палива дизелем; N_e – ефективна потужність двигуна на відповідній частоті обертання вала:

$$N_e = 190 \cdot 8 = 1520 \text{ кВт. (при } 1000 \text{ хв}^{-1}\text{)}$$

$$N_e = 170 \cdot 8 = 1360 \text{ кВт. (при } 900 \text{ хв}^{-1}\text{)}$$

За базовим рівнянням (2.1) визначаємо розрахункову подачу нагнітальної помпи високотемпературного масляного контуру:

$$Q_{mo} = 1,25 \cdot 32,66 = 40,82, \text{ м}^3 / \text{г}, \quad (2.3)$$

$$Q_{mo} = 1,25 \cdot 43,83 = 54,79, \text{ м}^3 / \text{г},$$

Корисна місткість циркуляційного (маслозбірного) бака системи:

$$V_{mc} = K_c \cdot \frac{Q_{mo}}{z}, \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

де $K_c = 1,3$ - коефіцієнт місткості з урахуванням динамічного рівня;

$z = 20$ - нормативна кратність циркуляції оливи в системі за годину.

$$V_m = 1,3 \cdot \frac{40,82}{20} = 2,62, \text{ м}^3$$

$$V_m = 1,3 \cdot \frac{54,89}{20} = 3,56, \text{ м}^3$$

Робочий об'єм стічного бака для збирання відпрацьованої оливи:

$$V_{cm}^M = 0,6 \cdot \sum V_m \cdot n, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

де $n = 1,0$ – розрахункова кількість повних замін мастильного матеріалу за період автономного плавання судна.

Корисна місткість добової витратної цистерни циліндрового мащення:

$$V_p^M = 1,3 \cdot V_{mc}, \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

$$V_p^M = 1,3 \cdot 2,62 = 3,41, \text{ м}^3$$

$$V_p^M = 1,3 \cdot 3,56 = 4,63, \text{ м}^3$$

Місткість запасної суднової цистерни для зберігання моторної оливи:

$$V_3^M = 1,1 \cdot \frac{G_m}{\rho_m}, \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

$$V_3^M = 1,1 \cdot \frac{7}{0,9} = 8,56, \text{ м}^3$$

$$G_m = 0,05 \cdot G_{\text{т}} \quad (2.8)$$

де $G_m = 0,05$ – коефіцієнт норми запасу оливи відносно палива; $G_{\text{т}} = 140$ - загальний запас палива на борту судна, т.

$$G_m = 0,05 \cdot 140 = 7m$$

Необхідна площа поверхні теплообміну водомасляного охолоджувача оливи:

$$F_{mx} = \frac{Q_m}{3,6 \cdot K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (2.9)$$

де $K = 400$ – інтегральний коефіцієнт теплопередачі від масляного середовища до стінок трубок холодильника; $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{1m} + t_{2m}}{2} - \frac{t_{1z} + t_{2z}}{2} = \frac{75 + 55}{2} - \frac{27 + 40}{2} = 31,5^\circ C$$

$$F_{mx} = \frac{1187424}{3,6 \cdot 400 \cdot 31,5} = 26,18, m^3$$

$$F_{mx} = \frac{1062432}{3,6 \cdot 400 \cdot 31,5} = 23,42, m^3$$

При цьому розрахункова температура за бортової охолоджувальної води на вході в апарат приймається відповідно до географічного району навігації судна (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 — Розрахункові термічні параметри заборотної води

Географічний район навігації судна	Розрахункова температура води, $^\circ C$
Карибський морський басейн	31
Акваторія Мексиканської затоки	29
Необмежений район плавання (світовий океан)	24
Плавзасоби змішаного (річка-море) типу	27

Подача суднової помпи заборотної води для обслуговування масляного охолоджувача:

$$Q_{nz} = K_z \cdot \frac{Q_m \cdot 10^{-3}}{C_v \cdot \rho_v \cdot (t_{2z} - t_{1z})}, m^3 / z \quad (2.10)$$

де $K_z = 1.5$ – коефіцієнт експлуатаційного запасу подачі охолоджувальної води; $C_v = 4.19$ – питома теплоємність прісної річкової води; $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$; $C_v = 3.98$ – питома теплоємність морської води; $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$; $\rho_v = 1.02$ – середня густина води, t/m^3 ;

Параметри помпи для умов прісної (річкової) води:

$$Q_{nz} = 1,5 \cdot \frac{1187424 \cdot 10^{-3}}{4,19 \cdot 1,02 \cdot (40 - 27)} = 21,37, m^3 / z$$

$$Q_{нз} = 1,5 \cdot \frac{1062432 \cdot 10^{-3}}{4,19 \cdot 1,02 \cdot (40 - 27)} = 28,68, \text{ м}^3 / \text{г}$$

Параметри помпи для умов морської води:

$$Q_{нз} = 1,5 \cdot \frac{1187424 \cdot 10^{-3}}{3,98 \cdot 1,02 \cdot (40 - 27)} = 22,5, \text{ м}^3 / \text{г}$$

$$Q_{нз} = 1,5 \cdot \frac{1062432 \cdot 10^{-3}}{3,98 \cdot 1,02 \cdot (40 - 27)} = 30,2, \text{ м}^3 / \text{г}$$

Годинна продуктивність відцентрового масляного сепаратора системи:

$$Q_{мс} = \frac{m \cdot \sum V_{мс}}{t_c} \quad (2.11)$$

де $m = 3$ – нормативна кратність очищення повного об'єму оливи за добу;

$t_c = 10$ – тривалість щоденної роботи сепараційного вузла, год.

$$Q_{мс} = \frac{3 \cdot 2,65 \cdot 2}{10} = 1,59, \text{ м}^3 / \text{г}$$

2.7 Перевірочний теплотехнічний розрахунок суднового масляного охолоджувача

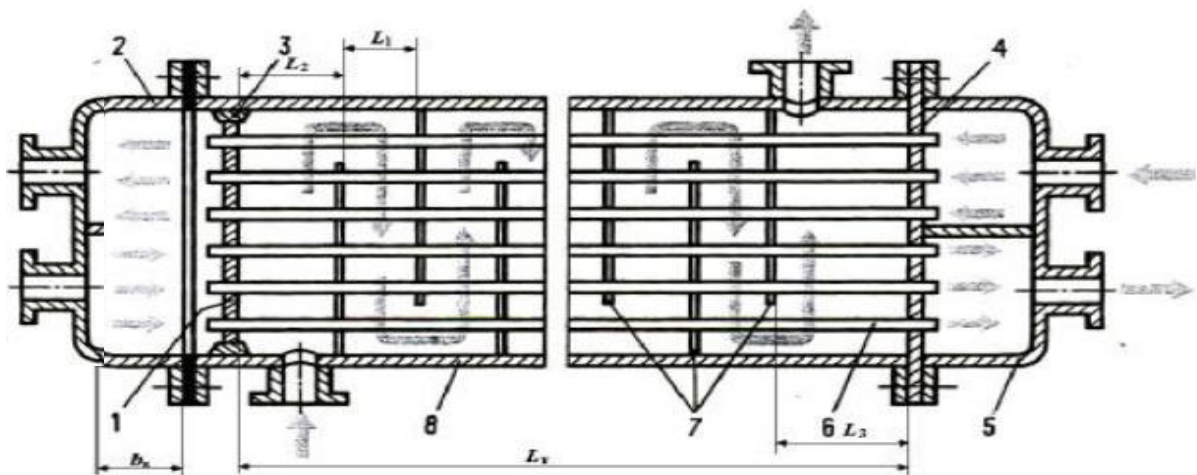


Рисунок 2.4 - Конструктивна схема кожухотрубного масляного охолоджувача: 1 — рухома трубна дошка (плаваюча головка); 2 — задня водяна кришка з поворотними порожнинами; 4 — нерухома трубна дошка; 5 — передня водяна кришка з прийомним та відвідним патрубками; 6 — охолоджувальна трубка; 7 — перегородки міжтрубного простору (діафрагми); 8 — циліндричний кожух; бк - висота водяної камери; Lt - робоча довжина трубок між дошками; L1 - крок між діафрагмами в середній частині пучка; L2 - відстань від діафрагми до рухомої дошки; L3 - відстань від діафрагми до нерухомої дошки

Вихідні параметри для виконання перевірного розрахунку зведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 — Фізико-термічні параметри для розрахунку теплообмінника

№	Найменування розрахункового параметра	Числове значення
1	Початкова температура масла на вході в апарат, $t_{ГМ1}$	72 °С
2	Кінцева температура масла на виході з апарата, $t_{ГМ2}$	52 °С
3	Питома теплоємність гарячого масляного середовища, $c_{ГМ}$	1,700 кДж/(кг·°С)
4	Густина гарячої оливи при середній температурі, $\rho_{ГМ}$	969,4 кг/м ³
5	Годинна об'ємна витрата гарячої оливи через кожух, $L_{ГВ}$	339 м ³ /год
6	Початкова температура охолоджувальної води на вході, $t_{ХВ1}$	28 °С
7	Кінцева температура води на виході з апарата, $t_{ХВ2}$	41 °С
8	Питома теплоємність охолоджувальної води, $c_{ХВ}$	4,174 кДж/(кг·°С)
9	Густина води в трубному просторі, $\rho_{ХВ}$	1030 кг/м ³

Переведемо масову витрату гарячого масла в об'ємну. Переведемо годинну об'ємну витрату масляного потоку в масову секундну витрату:

$$G_{ГМ} = L \cdot \rho_{ГМ} / 3600 \quad (2.12)$$

$$G_{ГМ} = 339 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 969,4 \text{ кг/м}^3 / 3600 = 92,28 \text{ кг/с}$$

Визначаємо фактичне теплове навантаження (потужність) теплообмінника:

$$Q = G_{ГМ} \cdot c_{ГМ} (t_{ГМ2} - t_{ГМ1}) \quad (2.13)$$

$$Q = 92,28 \cdot 1,7 \cdot (72 - 52) = 3137,5 \text{ кВт}$$

де Q – тепловий потік, що передається від гарячої оливи до охолоджувальної води.

Необхідна масова витрата охолоджувальної води крізь трубний простір апарата визначається з теплобалансу:

$$Q = G_{ХВ} \cdot c_{ХВ} (t_{ХВ2} - t_{ХВ1}) = G_{ХВ} \cdot c_{ХВ} (t_{ХВ2} - t_{ХВ1}) \eta \quad (2.14)$$

Звідси масова секундна витрата води становить, $G_{ХВ}$:

$$G_{ХВ} = Q / c_{ХВ} (t_{ХВ2} - t_{ХВ1}) \eta \quad (2.15)$$

$$G_{ХВ} = 3137,5 / 1,7 \cdot (41 - 28) \cdot 0,93 \cdot 10^3 = 15,2 \text{ кг / сек}$$

$\eta = 0,93$ – коефіцієнт, що враховує розсіювання тепла в навколишнє середовище.

При розрахунку суднових кожухотрубних апаратів раціональна швидкість руху середовищ у каналах приймається на рівні $\omega_{opt} = 0,4 \text{ м/с}$.

За цією величиною визначаємо необхідну кількість трубок для забезпечення потоку, m_{xg} :

$$m_{xg} = G_{гв} / \omega_{омг} \cdot f_k \cdot \rho_{гв} \quad (2.16)$$

де $f_k = 0,00243 \text{ м}^2$ – площа живого перерізу однієї робочої трубки досліджуваного теплообмінника.

$$m_{xg} = 92,28 / 0,4 \cdot 0,00243 \cdot 969,4 = 98,17 \text{ кг / сек} \quad (2.17)$$

Компонування трубного пучка охолоджувача є симетричним. Загальна площа живого перерізу каналів у трубному контурі за ходом руху середовищ становить, тобто $m_{xg} = m_{zg} = m$.

Загальний живий переріз каналів в трубчатому пакеті за ходом «гарячого» масла і охолоджуючої води:

$$f_{гв} = f_{xg} = f_{xg} \cdot m_{гв} \quad (2.18)$$

$$f_{гв} = f_{xg} = 0,00243 \cdot 98,17 = 0,238$$

Обчислюємо фактичні швидкості руху масляного та водяного потоків у каналах:

$$\omega_{гв} = G_{гв} / f_{гв} \cdot \rho_{гв} = 92,28 / 0,238 \cdot 969,4 = 0,398 \text{ м/с} \quad (2.19)$$

$$\omega_{xg} = G_{xg} / f_{xg} \cdot \rho_{xg} = 152 / 0,238 \cdot 1030 = 0,621 \text{ м/с} \quad (2.20)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від гарячої оливи до зовнішньої поверхні трубок становить, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \bar{t}_{zg} - 0,63 \cdot \bar{t}_{zg}^{-2}) \cdot \omega_{гв}^{0,73} \quad (2.21)$$

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot 0,9 \cdot (23000 + 283 \cdot 62 - 0,63 \cdot 62^2) \cdot 0,398^{0,73} = 20314$$

де $A = 0,9$ – коефіцієнт конструкції трубного пучка; $\bar{t}_{zg} = (72 + 52)/2 = 37 \text{ } ^\circ\text{C}$ – середня температура масляного теплоносія в апараті.

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки трубки до потоку охолоджувальної води становить, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \bar{t}_{xg} - 0,63 \cdot \bar{t}_{xg}^{-2}) \cdot \omega_{xg}^{0,73} \quad (2.22)$$

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot 0,9 \cdot (23000 + 283 \cdot 34,5 - 0,63 \cdot 34,5^2) \cdot 0,361^{0,73} = 15886,05$$

де $\bar{t}_{xв} = (41+28) / 2 = 34,5$ °C – середня температура водяного теплоносія в апараті.

Розрахунковий коефіцієнт теплопередачі апарата з урахуванням термічного опору стінок становить:

$$k = \beta / (1 / \alpha_1) + (1 / \alpha_2) + (\delta_{ст} / \lambda_{ст}) =$$

$$= 0,81 / (1 / 20314) + (1 / 15886,05) + (0,0006 / 18,2) = 5785,7 \quad (2.23)$$

де $\beta = 0,81$ – коефіцієнт, що враховує зниження теплопередачі через утворення експлуатаційного шару забруднень; $\delta_{ст} = 0,0006$ м – товщина стінки охолоджувальної трубки; $\lambda_{ст} = 18,2$ Вт/(м·°C) – коефіцієнт теплопровідності латунного матеріалу трубок.

Необхідна робоча площа поверхні теплообміну визначається за виразом:

$$F_{mp} = Q / k \cdot \Delta t, \quad (2.24)$$

де Δt – середньологарифмічний температурний напір протиточного апарата, °C:

$$\Delta t = (\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln (\Delta t_6 / \Delta t_m) \quad (2.25)$$

$$\Delta t_m = t_{гв2} - t_{хв1} = 52 - 28 = 24$$

$$\Delta t_6 = t_{гв1} - t_{хв2} = 72 - 40 = 32$$

$$\Delta t_x = (32 - 24) / \ln (32 / 24) = 28,8 \quad (2.26)$$

$$F_{тр} = 3137,5 / (5785,7 \cdot 28,8) = 18,8 \text{ м}^2 \quad (2.27)$$

Визначаємо необхідну кількість ходів середовища у трубному просторі X :

$$X = (F_{тр} - f_{пл}) / (2 \cdot m \cdot f_{пл}) \quad (2.28)$$

$$X = (18,8 + 1,4) / (2 \cdot 98,17 \cdot 1,4) = 0,07$$

де $f_{пл} = 1,4 \text{ м}^2$ – площа теплообмінної поверхні одного стандартного трубного пакета.

Округляємо число ходів до найближчого цілого конструктивного значення, отримуємо $X = 1$. Патрубки підведення та відведення середовищ при цьому розташовуються на нерухомій водяній кришці апарата.

Фактична загальна площа поверхні теплообміну становить, м^2 :

$$F = (2,25 \cdot m \cdot X - 1) \cdot f_{пл} \quad (2.29)$$

$$F = ((2,25 \cdot 98,17 \cdot 1) - 1) \cdot 1,4 = 30,7 \text{ м}^2$$

Виконаний перевірочний розрахунок підтверджує, що кожухотрубний теплообмінний апарат із фактичною корисною площею поверхні 30,7 м², з урахуванням нормативного 10% інженерного запасу по площі теплопередачі, повністю задовольняє всім теплотехнічним вимогам змащувальної системи суднового двигуна.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДВИГУНА MaK 8M20 ТАНКЕРА «GAZPROMSHELF»

3.1 Науково-технічні основи обслуговування та відновлення теплообмінних апаратів

Тривалий експлуатаційний ресурс викликає поступове корозійно-ерозійне руйнування трубних пучків та корпусних елементів, що супроводжується інтенсивним відкладенням забруднень на теплопередаючих поверхнях і зниженням коефіцієнта теплопередачі. До типових дефектів належать потоншення стінок корпусу, днищ та трубок, утворення нориць у зварних з'єднаннях, деструкція ущільнювальних поверхонь, тріщини в металі, деформації й вм'ятини, порушення герметичності вальцьованих стиків у трубних дошках, розширення отворів під трубки, а також виразкова, пітингова та міжкристалітна корозія, деформація опорних конструкцій, зношування нарізевих з'єднань і замокання або руйнування ізоляційного покриття.

Графік і структура ремонтного циклу обладнання визначаються специфікою роботи, конструкцією апарата та архітектурою установки в цілому. Стандартний регламент передбачає проведення профілактичного огляду кожні три місяці, щорічний поточний ремонт, середній ремонт (з періодичністю один раз на 3 роки) та капітальне відновлення через 12 років роботи. Деякі експлуатаційні схеми обмежуються двома стадіями — поточним і капітальним ремонтами.

Під час кварталних профілактичних оглядів контролюють стан затягування фланців, усувають локальні пропуски середовищ, підтягують або повністю замінюють сальникові ущільнення запірної арматури, проводять ревізію КВП та запобіжних пристроїв, перевіряють натяг приводних пасів на установках із заважними пристроями або вентиляторами.

Поточний ремонт передбачає розширений перелік операцій: часткове розбирання й демонтаж запірної арматури, повне перенабивання сальників, оновлення прокладок, перевірку арматури на герметичність, відновлення запобіжних і зворотних клапанів, а для зрошувальних конденсаторних установок — демонтаж із подальшим очищенням відбійних щитів, труб і регулюванням водорозподільних пристроїв.

Середній ремонт, окрім базових операцій поточного, включає знімання торцевих кришок теплообмінника, очищення внутрішніх порожнин і трубок від мулистих відкладень, накипу та продуктів корозії, гідравлічні випробування для виявлення нещільностей у трубних решітках, повторне підвальцьовування, зачеканення або підварювання нориць, глушіння пошкоджених трубок, відновлення теплоізоляційного шару та технічний огляд судин під тиском адміністрацією судноплавної компанії.

Капітальний ремонт додатково включає повну заміну раніше заблокованих трубок (якщо їхня кількість перевищує 15% від загального об'єму пучка), заміну пошкоджених труб і секцій, поновлення труб із потоншенням стінок понад 25%, ремонт чи заміну запірних органів, а також повний технічний огляд судин під тиском інспектором класифікаційного товариства.

Методи очищення теплообмінників. Ефективне видалення відкладень із теплообмінних поверхонь не лише інтенсифікує теплообмін, а й подовжує загальний термін служби обладнання. Залежно від умов застосовують хімічний, механічний, гідравлічний, ультразвуковий або комбінований методи.

Механічні технології (рис. 3.1) використовуються для внутрішнього очищення трубного пучка. Спеціальний робочий пристрій містить обертову штангу з ріжучим інструментом на кінці. Штанга разом із приводом (пневматичним або електричним) змонтована на рухомому візку, що переміщується вздовж монорежки паралельно осі теплообмінника. Робочий вал укладений у захисний кожух, який убезпечує персонал і виконує функцію

трубопроводу для подачі промивальної води під тиском. Горизонтальне позиціонування здійснюється вручну. Для очищення U-подібних елементів та трубок малих діаметрів застосовують гнучкі вали, з'єднані з приводними двигунами.

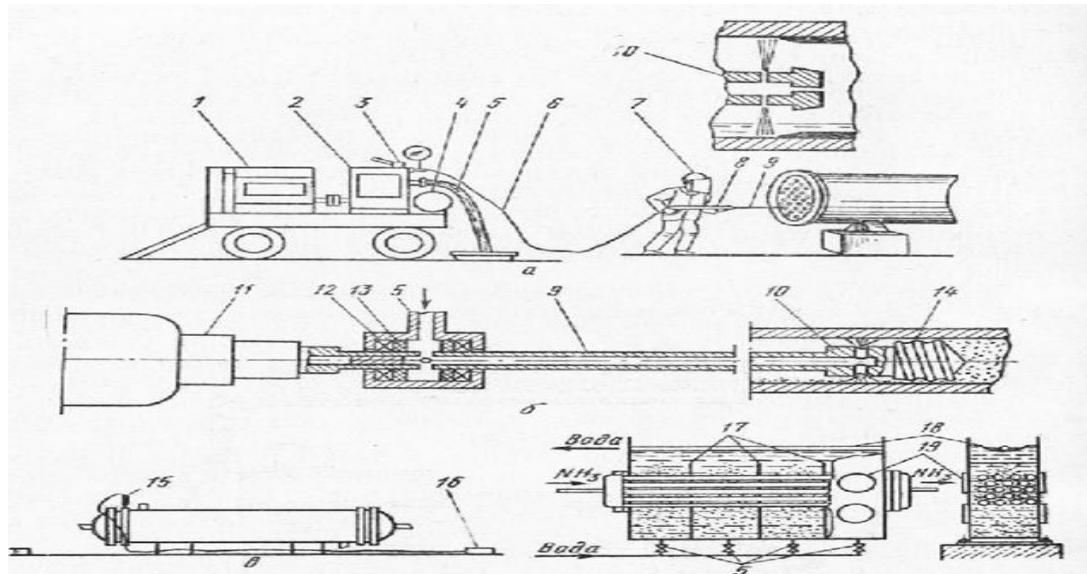


Рисунок 3.1 — Технології очищення трубних пучків: гідродинамічний метод (а), гідромеханічний спосіб (б), схема встановлення ультразвукових випромінювачів (в) та принцип самоочищення конденсатора у псевдозрідженому потоці піску (г): 1 — приводний двигун; 2 — нагнітальний насос; 3 — регулятор тиску; 4 — барабан шланга; 5 — лінія подачі води; 6 — високонапірний гнучкий шланг; 7 — захисний щиток; 8 — пістолет керування; 9 — порожниста робоча штанга; 10 — розпилювальна головка з соплами; 11 — електродріль; 12 — опорний підшипник; 13 — манжетне ущільнення; 14 — свердло; 15 — ультразвуковий перетворювач; 16 — генератор імпульсів; 17 — внутрішні перегородки; 18 — зливний лоток; 19 — інспекційні вікна

Робочий інструмент для механічної обробки обирається залежно від характеру накипу: свердла, металеві йоржі, різці, бури або шарошки.

Під час піскоструминного очищення абразивний пісок подається в канали разом із потоком води («мокра» технологія). Якщо для транспортування піску застосовується стиснене повітря, утворюється трикомпонентна водо-повітряно-піщана очисна суміш.

Гідропневматичний метод базується на подачі в трубні канали за допомогою спеціального пістолета води під тиском 0,5–0,6 МПа та стисненого повітря під тиском 0,7–0,8 МПа у пропорції 1:1. Розширення стисненого повітря різко інтенсифікує рух води, викликаючи її імпульсне та завихрене переміщення, що призводить до руйнування відкладень. Це дозволяє скоротити час проведення операції у 8–10 разів порівняно з механічним

чищенням. Гідродинамічний метод передбачає нагнітання води під тиском до 70 МПа високонапірним шлангом у порожнисту штангу, на кінці якої закріплено сопло з отворами, орієнтованими під кутом 45° до її осі. Спосіб вимагає суворого дотримання правил безпеки, проте забезпечує високу швидкість обробки без ризику ерозійного пошкодження металу. Якщо порожниста штанга укомплектована твердосплавним різцем чи свердлом, стає можливим розсвердлювання повністю забитих трубок. Тиск промивальної води в такому випадку не перевищує 1,0 МПа. Найбільш надійним методом запобігання утворенню відкладень є ультразвукова технологія. В її основі лежить різниця швидкостей поширення хвиль у металі та шарі накипу, внаслідок чого на межі розподілу середовищ виникають мікродеформації, що безперервно руйнують відкладення на початковій стадії їхнього формування. При модернізації суднових систем без ефективної попередньої фільтрації води від мулу доцільно впроваджувати апарати з псевдозрідженим шаром (самоочисні конденсатори). Під час роботи мікроудари частинок піску постійно очищають внутрішні поверхні трубок (рис. 3.1). Обмеженням методу є підвищений корозійно-ерозійний знос корпусу, що вимагає виготовлення труб виключно з високолегованих сталей.

Технологічна послідовність ремонту. Після відключення апарата від магістралей та здачі в ремонт дотримуються такого порядку операцій: демонтаж арматури й трубопровідного обв'язування, розбирання нарізевих з'єднань, зняття кришок і люків, виймання трубного пучка (якщо дозволяє конструкція), перевірка щільності трубок та їхніх з'єднань методом гідро- чи пневмовипробувань, глушіння або перевальцьовування (обварювання) дефектних стиків у решітках, вилучення зношених трубок, монтаж нових елементів із попереднім зачищенням отворів і торців, ремонт корпусних деталей, виготовлення прокладок, підготовка кріплення, збирання апарата, фінальні випробування на міцність та задача в експлуатацію (рис. 3.2).

Ремонтні роботи починають із діагностики герметичності. Локальні витоки визначають гідроопресуванням. У нерозбірних кожухотрубних

апаратах воду під тиском випробування подають у міжтрубний простір, контролюючи дзеркало трубної дошки на наявність течії. Якщо видалення води з контуру ускладнене, перевірку проводять сухим повітрям або азотом (пневматичне опресування) з обмилюванням решіток чи використанням електронних течешукачів. Виявлені пошкоджені трубки глушать тимчасовими пробками для продовження діагностики. За існуючими нормативами допускається глушіння не більше 15% від загальної кількості трубок. Виправлення деформованих ділянок здійснюють протягуванням каліброваної оправки на штанзі за допомогою гвинтових пристроїв. Глушіння виконують з обох боків трубки нарізевими пробками або паянням.

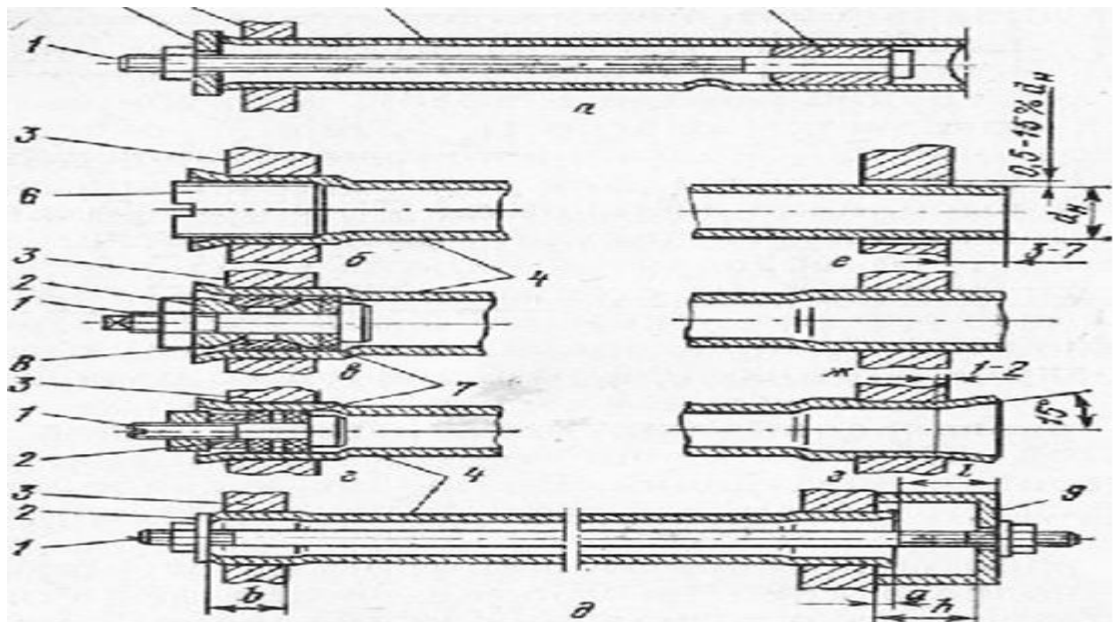


Рисунок 3.2 — Технологія відновлення теплообмінних модулів: усунення локальних деформацій у каналах (а), блокування пошкоджених трубок нарізною заглушкою (б); еластичним ущільнювачем із розтискними елементами (в), гумовою манжетою на етапі перевірки (г); демонтаж дефектних елементів пучка (д) та послідовність розширення: позиціонування трубки в дошці (е), початкове розвальцьовування (ж) та фінальна роздача з бортуванням торця (з): 1 — натяжний гвинт; 2 — фіксуючі компоненти; 3 — трубна решітка; 4 — трубка охолоджувача; 5 — калібрована оправка; 6 — гвинтова пробка; 7 — гумові ущільнення; 8 — блокувальний клин; 9 — опорна втулка.

При повній заміні вальцьовані трубки підрізають біля дошки спеціальним різцем або розсвердлюють для зменшення товщини стінки з метою безпечного виймання без пошкодження посадкових отворів. Розсвердлювання виконують східчастим свердлом, гладкий направляючий кінець якого відповідає внутрішньому діаметру труби, а ріжуча частина

становить $\frac{3}{4}$ її зовнішнього діаметра. Зменшення товщини знімає напруження у вальцьованому поясі, і трубка легко вилучається. Для запобігання падінню елемента в міжтрубний простір всередину вставляють металевий стрижень.

Трубки, закріплені зварюванням, видаляють шляхом вирубування кільцевого шва вручну або зрізанням торця фрезою з приводом від гнучкого вала. Перед монтажем нових елементів отвори у решітках зачищають, продувають стисненим повітрям і протирають насухо. Поздовжні риси й подряпини у гніздах видаляють шабером. Параметр шорсткості поверхні отворів під вальцювання має становити не менше $R_a = 0,80 \text{ мкм}$.

Кінці нових трубок зачищають до металевого блиску, вставляють у решітку, а монтажні зазори продувають повітрям. Величина зазору має становити від 0,5% до 1,5% від діаметра трубки. Менші зазори ускладнюють монтаж, а більші — знижують міцність і щільність вальцьованого вузла. Процес починають із привальцьовування та роздачі кінця труби для її фіксації. Операцію виконують вальцівками, довжина роликів яких на 10–12 мм перевищує товщину решітки. Після фіксації проводять остаточне розвальцьовування з розрахунку розширення стінки на 15–20% та відбортовують кінці під кутом 15° до осі. Привальцьовування виконують кріпильним інструментом, а фінальну роздачу й бортування — спеціальним бортувальним пристроєм із конічними роликами.

Спочатку розвальцьовують усі елементи на одній дошці, а потім переходять до протилежної. При значних обсягах заміни дотримуються такої схеми: спочатку вальцюють чотири трубки хрест-навхрест для фіксації пучка, далі — елементи по зовнішньому периметру, після чого — всі інші. Якість з'єднання перевіряють візуально на відсутність тріщин, розривів металу та підрізів по кромці гнізда, контролюючи плавність переходу між деформованою та вихідною ділянками труби. Механізація процесів. Під час ремонту великих апаратів доцільно використовувати напівавтоматичні пристрої — наприклад, розвальцьовальні машини. За умови зміни робочого

інструменту вони дозволяють виконувати розвальцьовування, торцювання, видалення трубок, а також нарізання ущільнювальних канавок в отворах дошок для труб діаметром від 14 до 57 мм. Пристрій працює в ручному, автоматичному та напіваавтоматичному режимах. На базовій рамі змонтовано візок, що переміщується по горизонталі за допомогою ланцюгового привода. На візку встановлено вертикальну напрямну, по якій рухається каретка з приводом розвальцьовувального інструменту. Вертикальний рух також здійснюється ланцюговою передачею, а поперечна подача — важільним механізмом. Керування приводами позиціонування по осях здійснюється з пульта-координатора, а вибір параметрів і режиму вальцювання — з виносного пульта на захисному кожусі телескопічного вала. Розвальцьовування виконують інструментом, закріпленим у головці з шарнірним з'єднанням. Під час торцювання та нарізання канавок керування мотор-редуктором здійснюється через кнопкову станцію.

Нориці та тріщини на корпусі й обичайках усувають зварюванням. Після завершення зварювальних робіт корпуси апаратів піддають гідравлічним випробуванням на міцність. Опресування кожухотрубних теплообмінників жорсткої конструкції проводять із демонтованими торцевими кришками, що дозволяє контролювати якість стиків у решітках. Під час заповнення апарата водою обов'язково забезпечують повне виведення повітря з випробовуваної порожнини через верхні дренажні засувки (рис. 3.3).

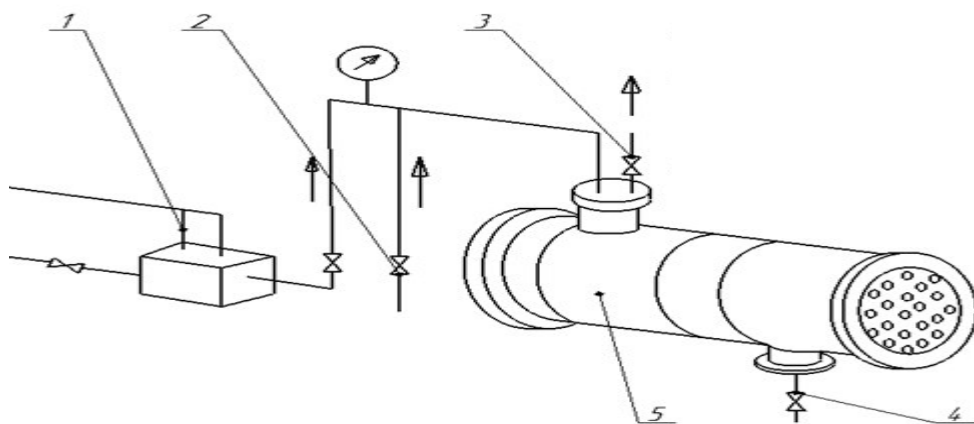


Рисунок 3.3 — Схема гідравлічного випробування міжтрубного простору: 1 — гідравлічний прес; 2 — лінія заповнення водою; 3 — повітряний вентиль; 4 — зливний кран; 5 — зони контролю щільності вальцьованих з'єднань під випробувальним тиском

3.2 Операційні карти технічного обслуговування теплообмінника

Експлуатаційні дефекти. Ефективність роботи теплообмінника та його стійкість до руйнування залежать від чистоти трубних каналів і дошок. Відкладення, що накопичуються в процесі експлуатації, погіршують теплопередачу та підвищують гідравлічний опір системи, викликаючи падіння тиску. Не допускається перебування апарата у заповненому стані без циркуляції середовищ понад 24 години; за потреби тривалої зупинки рідини мають бути злиті, або забезпечено їхній дренаж. При зупинці до доби без зливання середовищ температура в контурах штатної системи не повинна опускатися нижче 5 °С. При виведенні теплообмінника з експлуатації на термін понад 6 місяців обов'язково проводять повне зливання робочих рідин, промивання порожнин та консервацію апарата з укриттям його водонепроникним матеріалом. Перелік типових несправностей кожухотрубних теплообмінників та методи їх усунення наведено в таблиці 3.1. Регламент проведення технічних оглядів та обслуговування теплообмінника представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 — Типові несправності теплообмінних апаратів та методи їх усунення

Клінічні ознаки	Характеристика відхилень	Першопричина появи	Метод усунення дефекту
Невідповідність робочих параметрів проектним показникам	Зниження теплової потужності апарата та (або) зростання гідравлічного опору в контурах	Невідповідність фактичних режимів експлуатації розрахунковим параметрам системи	Стабілізувати параметри робочих середовищ відповідно до проекту
	Інтенсивне забруднення або забивання трубних каналів відкладеннями		Провести повне розбирання апарата та очищення внутрішніх поверхонь трубок
Приховані внутрішні витоки середовища	Взаємне змішування робочих теплоносіїв (масла та води)	Корозійне пошкодження або втомне руйнування стінок однієї чи кількох трубок пучка	Розібрати апарат, провести дефектоскопію трубного пучка (капілярний або гідравлічний метод)

Таблиця 3.2 — Технологічний регламент технічного обслуговування апарата

Зміст робіт	Періодичність проведення
1. Моніторинг робочих параметрів апарата	Безперервно в процесі експлуатації судна
2. Трубний пучок (касета):	
Візуальний та інструментальний контроль стану: — герметичність з'єднань; — відсутність осередків корозії; — відсутність механічних деформацій та забруднень дзеркала решітки. За потреби — капілярна дефектоскопія (кольоровий метод).	При виявленні відхилень параметрів згідно з п. 1–3 табл. 3.1
3. Вузли кріплення корпусу до суднового фундаменту:	

Зовнішній технічний огляд: — стан спряження опорних лап із фундаментною рамою; — перевірка затягування нарізевих з'єднань; — контроль надійності стопоріння болтів та гайок; — видалення бруду та слідів корозії з елементів кріплення.	Перед пуском в експлуатацію, щомісяця та при проведенні ТО
4. Фланцеві з'єднання патрубків підведення/відведення середовищ:	
Візуальний контроль щільності: — перевірка герметичності (відсутність підтікань масла чи води); — контроль затягування та стопоріння шпильок і болтів; — очищення поверхонь від забруднень та продуктів корозії.	Перед пуском в експлуатацію, щомісяця та при проведенні ТО

Технологія очищення. Видалення забруднень із внутрішніх порожнин на початковому етапі виконують хімічним методом із застосуванням спеціальних миючих розчинів, які не чинять деструктивного впливу на метал трубок та матеріал прокладок. Рекомендовані хімічні засоби наведено в таблиці 3.3. Безрозбірне хімічне очищення (CIP-метод). Цей метод ефективний за умови повної розчинності відкладень та стійкості конструкційних матеріалів апарата до компонентів очисного розчину. Для реалізації технології до контурів теплообмінника підключають мобільну циркуляційну установку з підігрівом.

Таблиця 3.3 — Специфікація хімічних засобів для очищення теплообмінників

Торгова марка / Хімічний склад	Функціональне призначення	Експлуатаційні обмеження та режими
Очисник «MOBISOL 77 B»	Видалення нафтових фракцій, масляних та жирових плівок	Застосовувати згідно з інструкцією виробника
Розчинник «CASTROL SOLVEX ICW 1130»	Ефективне розчинення масляних відкладень та смол	Використовувати в циркуляційних контурах
Їдкий натр (NaOH)	Очищення від органічних сполук та жирових відкладень	Гранична концентрація 1,5%, максимальна температура розчину 85 °C
Азотна кислота (HNO_3)	Видалення стійкого накипу та твердих сольових відкладень	Максимальна концентрація 1,5%, температура до 65 °C. Суворо заборонено контакт із вуглецевою сталлю (корпус, фланці без захисту)
Ортофосфорна кислота (H_3PO_4)	Видалення накипу з відновленням пасивуючого шару нержавіючої сталі	Максимальна концентрація 2,5%, температура до 65 °C. Не допускати контакту з елементами з чорних металів
Реагент «СК 110А» (ТУ 245830-33912561)	Руйнування залізоокисних, вапняних та карбонатних конгломератів	Застосовувати для неорганічних типів накипу

Об'єм циркулюючого хімічного розчину має відповідати штатному об'єму робочого теплоносія в контурі апарата. Очищення можна проводити і статичним методом — шляхом повного заливання порожнин розчином на визначений час без циркуляції. Операцію повторюють до повного видалення відкладень. Для інтенсифікації процесу в контур періодично додають свіжий реагент, а після завершення циклу теплообмінник ретельно промивають великою кількістю прісної води для нейтралізації залишків кислот або лугів.

3.3 Технологічні особливості експлуатації, обслуговування та ремонту кожухотрубного охолоджувача мастила двигуна MaK 8M20

Конструкція суднового кожухотрубного масляного теплообмінника двигуна MaK 8M20 представлена на рис. 3.4.

1. Правила технічної експлуатації апарата:

В контурі охолоджувальної води (трубний простір):

- Регулювальні клапани мають забезпечувати плавне і безкавітаційне заповнення всього об'єму трубного пучка рідиною;
- Повітряні вентиля кришок повинні перебувати у злегка відкритому стані для безперервного видалення газів. Не допускається потрапляння повітряних бульбашок у водяні канали або внутрішні порожнини трубок;
- Швидкість руху теплоносія не повинна перевищувати критичних значень для уникнення ерозії. За потреби (при падінні ефективності або підозрі на виток) витрату контролюють за допомогою ультразвукових витратомірів (Flow-meter);
- Параметри температури (на вході/виході), робочий тиск та витрату середовищ фіксують у машинному журналі за графіком вахти;
- Для регулювання теплового режиму та витрати води завжди застосовують випускний клапан, тоді як впускний запірний клапан має бути повністю відкритим для запобігання кавітаційним явищам.

В контурі кожуха (міжтрубний простір):

- Під час пуску системи повітряний ventиль на корпусі відкривають повністю;
- Після повного виведення повітря та появи суцільного струменя рідини ventиль закривають;
- Забороняється подача гарячого теплоносія (масла, пари) в міжтрубний простір при відсутній циркуляції охолоджувальної води, оскільки термічні напруження призведуть до порушення щільності вальцювання трубок та руйнування прокладок.

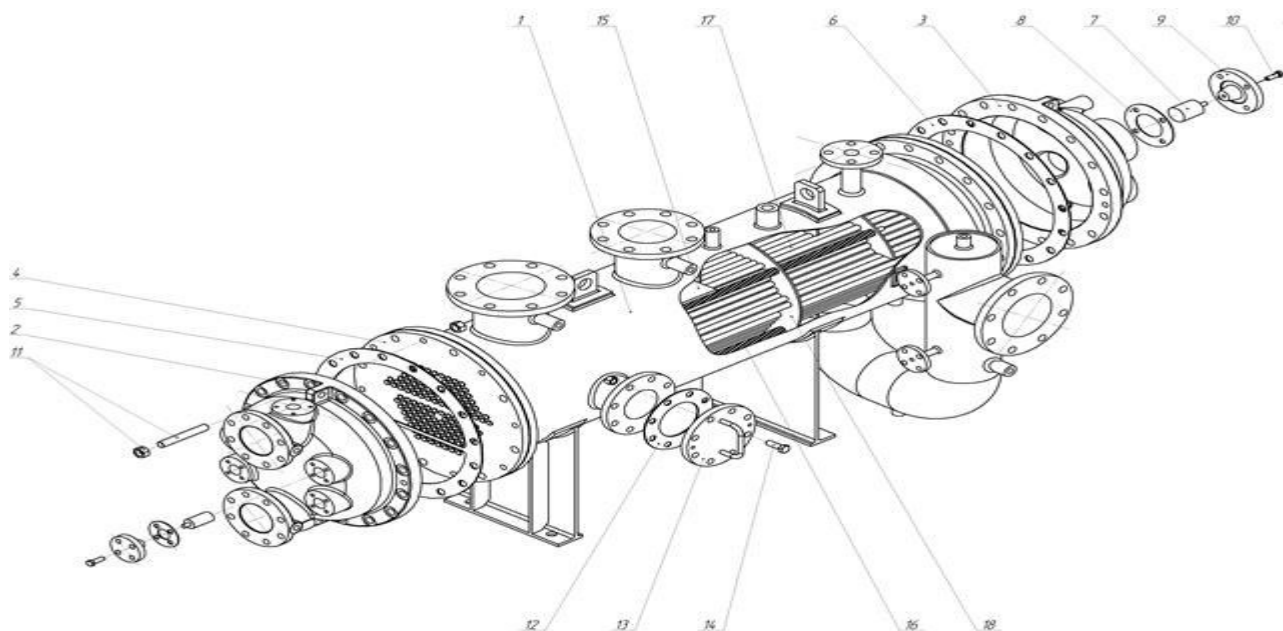


Рисунок 3.4 — Кожухотрубний масляний охолоджувач двигуна Мак 8М20: 1 — циліндричний кожух; 2 — інспекційні отвори кришки; 3 — задня торцева кришка; 4 — трубна дошка (решітка); 5 — ущільнювальна прокладка передньої кришки; 6 — ущільнювальна прокладка задньої кришки; 7 — цинковий захисний анод; 8 — анодна прокладка; 9 — анодний фланець; 10 — кріпильний болт анода; 11 — шпилькове з'єднання кришки з гайками; 12 — ущільнювальне кільце; 13 — різьбова заглушка; 14 — шпилькове з'єднання корпусу; 15 — відбійна пластина; 16 — дистанційні розпірки; 17 — трубки пучка; 18 — дефлекторний елемент

2. Технологія очищення внутрішніх поверхонь трубного пучка:

Очищення апарата виконують у таких випадках:

- При виявленні відкладень на внутрішніх стінках під час планового огляду, або якщо температурні показники паливно-мастильних матеріалів чи води на виході відхиляються від регламентних значень, негайно проводять очищення каналів;

- Якщо за результатами регулярних ревій фіксується прискорене утворення накипу в трубках, необхідно виконати капітальний ремонт із модернізацією фільтраційних елементів кришок охолоджувача.

Технологія демонтажу кришок водного контуру. Для забезпечення доступу до дзеркала трубного пучка демонтують кришки або елементи водяних каналів (рис. 3.5).

Очищення внутрішніх поверхонь міжтрубного простору (кожуха):

- Повністю зливають масло з корпусу через нижній дренажний засув;
- Перекривають вхідні та вихідні запірні органи масляного контуру;

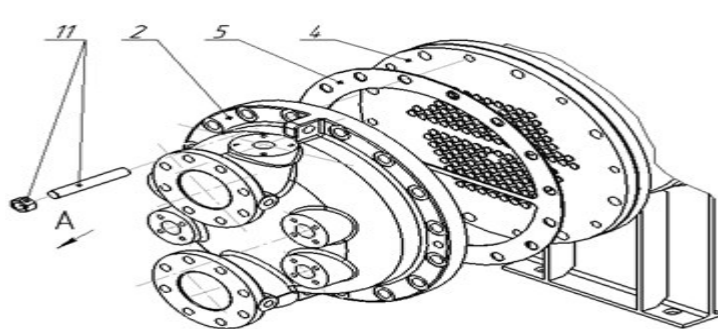


Рисунок 3.5 — Етапи демонтажу торцевої кришки охолоджувача (позиції елементів відповідають специфікації рис. 3.4)

- Заповнюють міжтрубний простір підготовленим хімічним розчином через верхню заливну горловину або повітряний патрубок;
- Підключають шланги мобільної мийної установки до дренажних та повітряних отворів корпусу, забезпечуючи примусову циркуляцію хімічного реагенту;
- При важких типах засмолення та смолистих відкладеннях застосовують спеціалізовані промивальні суміші;
- Після завершення хімічної обробки розчин обов'язково нейтралізують лужним складом, а внутрішні порожнини ретельно промивають прісною водою.

Очищення внутрішнього простору трубок: Повністю осушують водяний контур апарата; Демонтують елементи водяних патрубків та знімають торцеві кришки (рис. 3.5); Збирають спеціальну нейлонову щітку (рис. 3.6) та проводять механічне очищення кожного каналу (рис. 3.7).

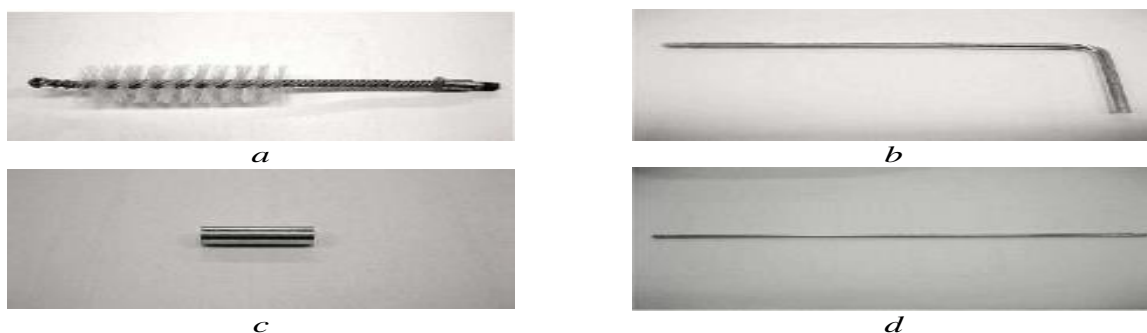


Рисунок 3.6 — Конструктивні елементи щітки для очищення трубних каналів: а) нейлонова щітка-йорж; б) приводна рукоятка; в) з'єднувальна муфта; д) подовжувальна штанга

Для очищення касети елементи з'єднують в єдину очисну конструкцію (рис. 3.7) шляхом послідовного збирання ланок а, б, с та d, після чого інструмент вручну або за допомогою механічного привода вводять всередину трубки для видалення накипу й мулу.



Рисунок 3.7 — Інструмент для механічного очищення трубної касети у зібраному стані

3. Регламент дефектоскопії, обслуговування та ремонту трубного пучка (касети):

Технічний огляд та дефектацію пучка проводять у суворій послідовності за такими етапами:

- Виявлення внутрішніх перетікань. За наявності ознак потрапляння масла у воду або навпаки проводять гідроопресування міжтрубного простору допустимим тиском для локалізації пошкоджених трубок;

- Фіксація критичних змін витрати або температурних показників охолоджувального середовища;

- Фіксація аномальних акустичних шумів або гідроударів усередині корпусу. За наявності витоків виконують ремонт або повну заміну елементів за такою технологією:

- Глушіння пошкоджених каналів. Виконують установку різьбових або паяних пробок з обох боків пошкодженої трубки (рис. 3.8 та рис. 3.9);

- Ліквідація нещільностей у зоні вальцювання. Проводять повторну роздачу кінця трубки в гнізді за допомогою роликового розширювального інструменту. Якщо після цього теч не усунено, трубку глушать або замінюють;

- При значних пошкодженнях стінок трубку замінюють новою з комплекту суднового ЗІП (рис. 3.9). При заміні керуються схемами на рис. 3.9. Додатково дозволяється заглушити до 2% трубок від загальної кількості без

помітного зниження теплової потужності охолоджувача. Для виготовлення трубних пучків виробник використовує високоякісні матеріали провідних світових брендів, що виключає ризик передчасного руйнування через дефекти металу за умов дотримання регламентів.

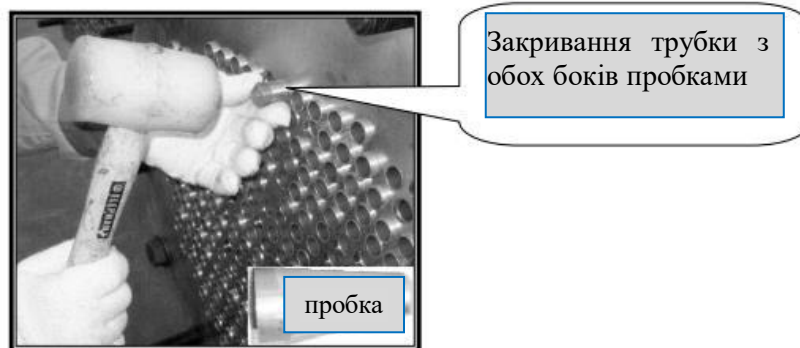


Рисунок 3.8 — Технологія глушіння дефектної трубки за допомогою встановлення конічних пробок з обох боків трубної дошки

Виробник обмежує максимальну швидкість руху рідини в трубах залежно від матеріалу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 — Граничні швидкості потоку в трубах за рекомендаціями виробника

№	Конструкційний матеріал трубок пучка	Гранична швидкість руху рідини (м/с)
1	Алюмінієва латунь (Al-Brass)	1,8
2	Мідно-нікелевий сплав Cu-Ni (90/10)	2,0
3	Мідно-нікелевий сплав Cu-Ni (70/30)	2,3

При перевищенні проектних значень швидкості потоку виробник знімає з себе гарантійні зобов'язання щодо ерозійного руйнування металу. Надмірна витрата середовища викликає прискорену кавітаційну та ерозійну деструкцію стінок трубок.

Контроль та заміна протекторного (анодного) захисту. Цинкові аноди призначені для захисту внутрішніх поверхонь кришок та трубних дошок від гальванічної корозії в морській воді. Регулярну ревізію та оновлення протекторів виконують відповідно до строків, зазначених у технічній документації або на корпусі апарата. Послідовність операцій із заміни анодних елементів представлена на рис. 3.10. Заміну протекторів проводять завчасно, не допускаючи їхнього повного розчинення. Зношування анода понад критичну межу призводить до руйнування захисного покриття водяних камер та розвитку інтенсивної гальванічної корозії трубних дошок і торців трубок.

Швидкість зношування протектора залежить від солоності, температури морської води, режимів роботи установки та факторів середовища. На початковому етапі експлуатації теплообмінника необхідно ретельно контролювати стан анодів, враховуючи, що їхнє інтенсивне зношування відбувається вже під час проведення заводських ходових випробувань судна до здачі замовнику. При перевищенні нормативної витрати та швидкості руху за бортної води знос анодних блоків прискорюється, що може супроводжуватися їхнім механічним змиванням. Тому стан протекторів підлягає регулярному контролю. Усі інші операції з технічного обслуговування, нагляду та ремонту кожухотрубного охолоджувача виконуються в чіткій відповідності до інструкцій та регламентів виробника теплообмінного обладнання.

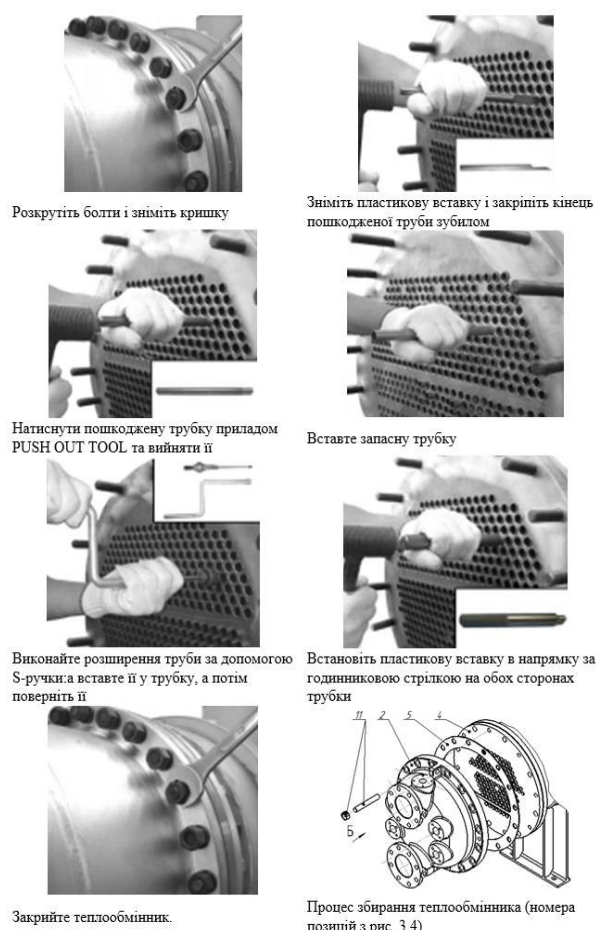


Рисунок 3.9 — Технологічний процес ремонту та заміни елементів трубної касети: 1 — відкручування кріплення та зняття торцевої кришки; 2 — видалення пластикових вставок та розвальцювання пошкодженого кінця трубки за допомогою зубила; 3 — виштовхування

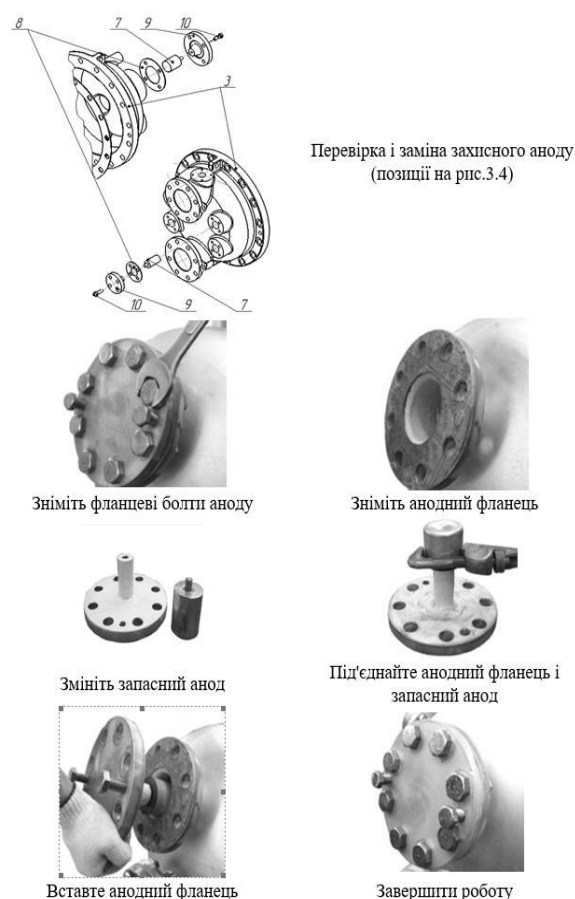


Рисунок 3.10 — Послідовність технологічних операцій під час ревізії та заміни захисного анода: 1 — відкручування фланцевих болтів кріплення анодного вузла; 2 — демонтаж анодного фланця з корпусу кришки; 3 — зняття зношеного протектора та підготовка нового

дефектної трубки спеціальним пристроєм (Push Out Tool) та її вилучення з корпусу; 4 — заведення нової запасної трубки у гнізда решіток; 5 — розширення і вальцювання металу трубки за допомогою S-подібної рукоятки інструменту; 6 — монтаж пластикових вставок на обох трубних дошках шляхом закручування за годинниковою стрілкою; 7 — фінальне збирання та закриття кришок теплообмінника

запасного анода; 4 — механічне з'єднання нового протектора з анодним фланцем; 5 — встановлення зібраного анодного фланця в гніздо кришки теплообмінника; 6 — затягування кріплення та перевірка вузла на герметичність

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах

Закон України «Про охорону праці» регламентує базові засади практичної реалізації закріпленого Конституцією права громадян на безпеку їхнього життя та збереження здоров'я в процесі професійної діяльності. Цей акт, за координації уповноважених структур, врегульовує правовідносини між адміністрацією підприємства чи установи та працівником у сфері виробничої санітарії, безпеки праці й робочого середовища, а також затверджує консолідований порядок організації охорони праці в державі.

До нормативно-технічного базису безпеки життєдіяльності під час обслуговування судових МКВ відносяться такі профільні регламенти [7–9]: Правила технічної експлуатації судових енергоустановок; Правила технічної експлуатації судових електроустановок; Правила будови та безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів та посудин, що працюють під тиском; Правила будови та безпечної експлуатації судових двигунів внутрішнього згоряння; Правила техніки безпеки при експлуатації судового тепломеханічного та електричного обладнання.

Правове регулювання питань безпеки праці на морському транспорті базується на поєднанні внутрішніх нормативів України (базове законодавство, «Закон про охорону праці», КЗпП України тощо, галузеві підзаконні акти) та міжнародно-правових інструментів (Резолюції ІМО, «Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS-74/78)», ратифікована Україною 25.05.1980 року; «Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти. ПДНВ-78/95» зі змінами (STCW Code); «Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден та запобіганням забрудненню (МКУБ / ISM Code)», затверджений дипломатичною конференцією ІМО у 1994 році в Лондоні як додаток до

SOLAS-74/78; «Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден (MARPOL-73/78)»; «Конвенція про міжнародні правила запобігання зіткненню суден у морі (МППСС-72 / COLREG)».

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у машинному відділенні

У ході професійної діяльності на персонал може впливати спектр шкідливих і небезпечних чинників. Судно, зважаючи на високу концентрацію енергетичного обладнання, технічних комплексів та приводів, класифікується як об'єкт підвищеної небезпеки з високою щільністю деструктивних виробничих факторів [7–8]. Зазначені чинники систематизовано у табл. 4.1:

Таблиця 4.1 — Потенційні небезпеки та шкідливі чинники на судах

Класифікація потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників	Наявність фактора
1. Фізичні виробничі чинники:	
1.1. Шкідливі:	
— акустичний шум;	+
— механічна вібрація;	+
— дія електромагнітних полів;	+
— підвищений рівень загазованості повітря;	-
— надлишкові виділення теплової енергії;	+
— підвищений рівень вологості середовища.	+
1.2. Небезпечні:	
— загроза вибуху;	-
— ризик виникнення пожежі;	+
— небезпека ураження електричним струмом;	+
— незахищені рухомі та обертові елементи агрегатів.	+
2. Хімічні виробничі чинники:	
2.1. Шкідливі:	
— речовини подразнювальної дії: лужні розчини, кислоти, хімічні розчинники, кислі гази.	+
2.2. Небезпечні:	
— речовини канцерогенної групи: сполуки алюмінію, паливні бензини, гас, 3,4-бенз(а)пірен (компонент вихлопних газів ДВЗ).	+
3. Біологічні виробничі чинники:	
3.1. Небезпечні:	
— патогенні бактерії та мікроорганізми.	-

Генераторами цих чинників виступають робоче обладнання, інструменти, безпосередній об'єкт обробки та умови середовища. Основними джерелами небезпеки під час обслуговування валогенераторних установок на судах типу СТМ є електричні машини та цифрові комплекси автоматичного керування. Розглянемо ці фактори детальніше. До таких чинників відноситься мережа живлення 380 В трифазного змінного струму для силових приводів та 220 В однофазного змінного струму для ланцюгів автоматики. Електричні машини є генераторами вібраційних навантажень. Вібрація чинить деструктивний вплив на персонал; тривала робота у такій зоні може спровокувати розвиток віброхвороби. Згідно з нормативами, рівень акустичного тиску має залежати від октавної смуги в межах 92...108 дБ, а обладнання повинно зберігати працездатність при вібраціях частотою 3...50 Гц з амплітудою до 1 мм. Шкідливим чинником є і рівень шуму, критерії якого регламентуються нормами ГОСТ 12.1.003-83.

Параметри суднового мікроклімату підтримуються системами вентиляції та опалення. Оптимальними вважаються умови за відносної вологості повітря 40...60% та температури 18...22 °С. Важливою умовою безпеки є штучна освітленість, нормативне значення якої на робочому місці становить 200 лк. Відповідно до стандартів, компонування робочої зони має забезпечувати ергономічність рухів у положеннях сидячи та стоячи. Оптимальний кут огляду інформаційного поля становить до 120°. Вільна робоча зона повинна складати щонайменше 1 м. Завдяки методам математичного моделювання стає можливим суттєво мінімізувати вплив небезпек на персонал під час випробувань та експлуатації валогенераторних комплексів шляхом вибору раціональних режимів роботи.

Підвищена запиленість та загазованість. До основних токсичних домішок у повітрі МВ належать вуглеводневі сполуки, сірчаний та сірчистий ангідриди, які при перевищенні ГДК чинять отруйну дію на людей. Чинні стандарти чітко обмежують гранично допустимі концентрації шкідливих газів

у зоні роботи. Основний захист — загальнообмінна вентиляція, а також пилогазозовнюючі ЗІЗ та очисне обладнання.

Температурні параметри, вологість та швидкість руху повітря. Висока температура у МВ викликає втому та тепловий перегрів організму, що знижує працездатність і підвищує ризик травматизму. Низька температура призводить до місцевого або загального переохолодження. Для стабілізації термодинамічних параметрів розгорнуто вентиляцію з підігрівачами та охолоджувачами. Для комфорту екіпажу важлива і температура поверхонь огорожувальних конструкцій. Для уникнення конденсації вона не повинна відхилятися від температури повітря більш ніж на 6 °С або бути нижчою за точку роси.

Освітленість. У МВ суден застосовується штучне світло. Нерівномірність світлового потоку підвищує втому очей через часту переадаптацію зору при переводі погляду з яскравих зон на затемнені. Наявність глибоких тіней та відблисків від металевих поверхонь погіршує умови роботи. Оптимальний розподіл світла досягається загальним освітленням. При аварійному режимі освітленість повинна становити не менше 25% від норми робочого світла, а на сходинах трапів і проходах — щонайменше 5 лк. Ці параметри контролюються правилами штучного освітлення на морських судах. У МВ мінімальна загальна освітленість на палубі становить 20 лк, на шкалах приладів — 75 лк, на сходах — 20 лк.

Протипожежний захист судна. Головне завдання під час ліквідації загоряння — швидка локалізація та гасіння, що можливо лише за умови оперативної подачі вогнегасної речовини у достатньому обсязі. Це забезпечується стаціонарними системами пожежогасіння. Вуглекислий газ (CO_2) є поширеним судовим засобом гасіння. Ліквідація вогнищ у закритих відсіках здійснюється методом об'ємного витіснення кисню. Для підвищення ефективності системи виконується герметизація аварійного приміщення.

Маючи густину в 1,5 рази більшу за повітря, вуглекислота проникає у важкодоступні зони: під пайоли машинних та котельних відділень, у простори трюмів, танків та паливних цистерн, малярних комор тощо. На суднах газ зберігається у сталевих балонах об'ємом 30...40 л у зрідженому стані. Для систем, що працюють під тиском близько 12,5 МПа, застосовуються стандартні 40-літрові балони, які містять по 25 кг рідкого газу. Їх розміщують групами по 8...16 одиниць вертикально, головками догори. Балони надійно фіксують у спецприміщеннях далеко від житлового блоку, оскільки вуглекислий газ є задушливим і за концентрації від 22% становить загрозу для життя. При виході з балона та розширенні вуглекислота випаровується, збільшуючись в об'ємі понад 500 разів. Частина газу через ефект переохолодження переходить у тверду фазу (снігоподібні пластівці), які у вогнищі миттєво переходять у газ. Вуглекислота опускається до зони горіння, обволікає предмети, витісняє кисень і припиняє хімічну реакцію горіння. Висока ефективність гасіння досягається при концентрації газу в атмосфері приміщення на рівні 22...23%.

4.3 Розрахунок припливно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні

Вибір конфігурації вентиляції залежить від призначення судна, району навігації та сумарної потужності СЕУ. Тип системи та кратність повітрообміну визначаються призначенням відсіків, часом перебування екіпажу, рівнем загазованості та надлишками тепловиділень. Кратність повітрообміну n вказує на кількість циклів зміни повітря у приміщенні за одну годину і розраховується за рівнянням:

$$n = L/V,$$

де: L — об'єм повітря, що подається або виводиться з відсіку, м³/год; V — об'єм робочого приміщення, $V = 19000$ м³.

Обсяг подачі повітря визначається за формулою:

$$L = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T),$$

де: $Q_{\text{заг}}$ — сумарні явні тепловиділення від обладнання в машинному відділенні, Вт; c — питома теплоємність повітря, $c = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); γ — густина повітря при 20 °С і нормальному тиску, $\gamma = 1,3$ кг/м³; ΔT — допустима різниця температур між зовнішнім та внутрішнім повітрям у МВ ($\Delta T_{\text{літо}} = 12^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{зима}} = 27^\circ\text{C}$).

Обсяг тепла, що надходить до МВ від головного двигуна, розрахуємо за виразом:

$$Q_T = K_T \cdot N_e \cdot B \cdot q_e,$$

де: K_T — коефіцієнт тепловиділення дизеля (при водо-водяній системі $K_T = 0,02$, кількість відведеного тепла може складати до 5% від енергії палива); N_e — ефективна потужність дизеля, $N_e = 1520$ кВт; B — нижча теплота згоряння палива, $B = 42500$ кДж/кг; q_e — питома витрата палива двигуном, $q_e = 0,190$ кг/(кВт·год).

Тоді:

$$Q_T = 0,02 \cdot 42500 \cdot 1520 \cdot 0,190 = 490960 \text{ кДж/год.}$$

Обсяг витяжного повітря з МВ визначається як різниця між припливним потоком та об'ємом повітря, що споживається ДВЗ (якщо забір йде з приміщення МВ):

$$L_B' = L_B - L_D, \text{ м}^3 / \text{год}$$

Об'єм повітря, необхідний для роботи двигунів:

$$L_D = 14,6 \cdot q_e \cdot \alpha \cdot N_e, \text{ м}^3 / \text{год}$$

де α — коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha = 2,4$.

Тоді:

$$\text{Тоді } L_D = 14,6 \cdot 0,190 \cdot 2,4 \cdot 1520 \cdot 2 = 20239 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Підставивши значення у формулу (4.2), проводимо розрахунок:

$$L_{\text{літо}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 490960 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 12) \approx 31160 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$L_{\text{зима}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 490960 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 27) \approx 13848,97 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Підставляємо отримані результати у вираз (4.4) для літнього та зимового періодів.

$$- \text{ для літа } L_{\text{с}}' = 31160 - 20239 = 10921 \text{ м}^3/\text{год};$$

– для зими $L'_6 = 13848,97 - 20239 = -6390,0 \text{ м}^3/\text{год.}$

Згідно з рівнянням розрахунковий показник кратності вентиляції МВ для літа становить:

$$n_{\text{літо}} = L_{\text{літо}} / V = 31160 / 19000 \approx 1,64 \text{ год}^{-1}$$

На судні розгорнуто систему вентиляції машинного відділення, яка повністю забезпечує безпечні умови праці. Цей теплотехнічний розрахунок виконано для визначення оптимального об'єму циркулюючого повітря в МВ відповідно до санітарно-гігієнічних вимог. Цього обсягу достатньо для стабілізації мікроклімату, а встановлена потужність суднових вентиляторів марки SMC8-100 дозволяє утримувати параметри вологості в межах 40...60% при роботі повітряного опалення, яка влітку нормалізується. Для забезпечення параметрів повітря в МКВ застосовано припливно-витяжну систему вентиляції та контур опалення.

Мікроклімат у машинному відділенні формується такими чинниками: вологість, температура, швидкість руху та тиск повітря, а також теплові виділення від нагрітих поверхонь обладнання та механізмів. Підвищена температура викликає швидку втому екіпажу, перегрів, веде до падіння працездатності та підвищує ризик травматизму. Низька температура викликає переохолодження. Для оптимізації термодинамічних параметрів передбачено вентиляцію з калориферами та охолоджувачами. Для гарного самопочуття важлива і температура поверхонь; для уникнення конденсату вона не повинна відхилятися від температури повітря більш ніж на 6 °С або бути нижчою за точку роси.

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі на основі детального аналізу конструктивних особливостей двигуна 8М20 компанії МаК, який експлуатується у складі енергетичної установки танкера «GAZPROMSHELF», було розроблено комплекс заходів щодо технічного застосування, обслуговування та ремонту елементів системи мащення.

Зокрема, у роботі детально досліджено специфіку експлуатації, технічного сервісу та ремонту трубчастого теплообмінного апарату масляної системи суднового дизеля. Обґрунтовано, що своєчасне та ефективне очищення внутрішніх поверхонь деталей теплообмінника забезпечує нормативний рівень теплообміну, запобігає термічній деструкції мастила та унеможлиблює позапланові зупинки й технічні обслуговування системи мащення суднового двигуна.

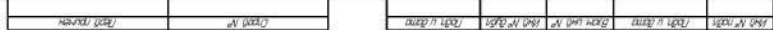
Таким чином, усі завдання, поставлені в межах дипломної роботи, виконані в повному обсязі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9353058>
2. <http://gazpromnoncoreassets.ru/tanker.pdf>
3. Woodyard, D. (2009). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines* (9th ed.). Butterworth-Heinemann. – 892 p.
4. Kuiken, K. (2012). *Diesel Engines for Ship Propulsion and Power Plants* (Vol. 1 & 2). Target Global Energy BV. – 720 p.
5. Christensen, S. G. (2002). *Medium and High Speed Marine Diesel Engines*. Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST). – 248 p.
6. Taylor, D. A. (2011). *Introduction to Marine Engineering* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. – 416 p.
7. Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education. – 1056 p.
8. Mollenhauer, K., & Tschöke, H. (2010). *Handbook of Diesel Engines*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 636 p.
9. McGeorge, H. (2002). *Marine Auxiliary Machinery* (7th ed.). Butterworth-Heinemann. – 544 p.
10. International Maritime Organization. (2020). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. IMO Consolidated Edition.
11. International Maritime Organization. (2022). *MARPOL: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*. IMO Consolidated Edition.
12. Watson, N., & Janota, M. S. (1982). *Turbocharging the Internal Combustion Engine*. Macmillan International Higher Education. – 608 p.





[illegible][illegible]

[illegible]

14.24.126.09.04	МКБ 8420	ПНН ПУК	Система мощення загальногосподарського призначення
1. Після виконання всіх робіт з темного відбудовування / ремонту теплообмінника, в частині очищення / відновлення работоздатності відновлених корпусних деталей судин, що підлягають контролю, піддати відбудованому відбудованню на місцях.	2. Провести відновлення кожух-трубки теплообмінника опорної жаростійкої конструкції / відбудови зі сталевих шпалунів / з передбаченої якості очищення / відновлення трубок / відбудови в решітках.	3. Відновити відбудовану міжтрубну простору теплообмінника опорної конструкції з використанням епоксида 1, який проводиться відбудованою системою для підводу води. 2. В процесі відбудови відбудовування впуск підстави відбудови кранів 3. Після перевірки злив води / відбудови через кран 4. Після закінчення 5 при проведенні відбудовування на ширині біляконтра в процесі відбудови відбудовування під тиском.	4. Після час заповнення опорної води перед відбудовуванням необхідно зазначити для від-жого конструкції / теплообмінника велич підбиття з відбудовування / парожми через відбудову кран 3.

[illegible]

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество	Примечание
1	Крышки / теплообменники	шт.	2	
2	Вспомогательные крышки	шт.	1	
3	Накидные / рабочие крышки на теплообменники	шт.	2	
4	Подвески / соединительные элементы	шт.	1	
5	Вспомогательные / основные элементы	шт.	1	

1. Крышки / теплообменники
2. Вспомогательные крышки
3. Накидные / рабочие крышки на теплообменники
4. Подвески / соединительные элементы
5. Вспомогательные / основные элементы