

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. Кер
«05» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка заходів по технічному використанню та обслуговуванню системи охолодження головного двигуна МаК 6М43С багатопільового суховантажного судна «OSLO FJORD 1»

Прототип МаК 6М43С

Виконав:

студент групи 41-ЕМ-22з

Остапенко В.Г.
(підпис)

Керівник роботи:

доцент кафедри ДЕУ, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Трунін К.С.
(підпис)

Первомайськ - 2026р.

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

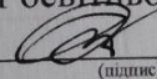
Кафедра «Двигуни та енергетичні установки»

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 Остапенко Віктор Григорійович

1. Тема роботи: «Розробка заходів по технічному використанню та обслуговуванню системи охолодження головного двигуна МаК 6М43С багатоцільового суховантажного судна «OSLO FJORD 1»».

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 6М43С судна «OSLO FJORD 1»

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

Вступ. 1. Загальна характеристика судна та його енергетичної установки. 2. Специфіка та практичні аспекти експлуатації системи охолодження головного двигуна МаК 6М43С на судні «OSLO FJORD 1». 3. технічне обслуговування та організація ремонту компонентів системи охолодження головного двигуна МаК 6М43С на судні «OSLO FJORD 1». 4. Охорона праці. Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1) Головний судновий двигун МаК 6М43С (поперечний переріз); 2) Принципова схема системи охолодження головного двигуна; 3) Пластинчастий теплообмінник системи охолодження; 4) Технічне обслуговування теплообмінника (основні операції)

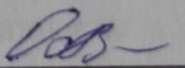
6. Консультанти роботи

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

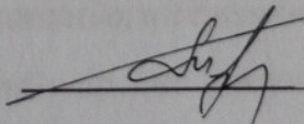
7. Дата видачі завдання «12» січня 2026 року

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  Остапенко В.Г.

Керівник
роботи



Трунін К.С.

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект присвячений детальному аналізу архітектури та робочих процесів середньообертового дизеля MaK 6M43C, який експлуатується на борту судна «OSLO FJORD 1». Було сформовано й обґрунтовано комплекс інженерно-технічних рішень щодо оптимізації експлуатації, сервісного обслуговування та організації ремонту вузлів охолоджувального контуру.

Основну увагу в дослідженні приділено специфіці використання, дефектації та відновлення ключового елемента системи — розбірного пластинчастого теплообмінника. Разом із цим виконано теплотехнічний і конструктивний розрахунок головних робочих компонентів відцентрового насосного агрегату. Впровадження запропонованого регламенту ТО та планово-попереджувальних ремонтів дозволяє підтримувати високий рівень експлуатаційної надійності СЕУ, максимізувати ресурс обладнання та повністю нівелювати ризик раптових відмов чи позапланових зупинок пропульсивної установки.

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

Дипломний проект виконано українською мовою на 75 аркушах розрахунково-пояснювальної записки. Використано 19 літературних джерел. Графічна частина представлена на 4 кресленнях формату А1.

Ключові слова: дизель, суднова енергетична установка, технічне застосування, обслуговування, ремонт, система охолодження, пластинчастий теплообмінник, охорона праці.

ABSTRACT

This graduation project focuses on a comprehensive analysis of the architecture and operational processes of the MaK 6M43C medium-speed diesel engine operating aboard the vessel "OSLO FJORD 1". A set of engineering and technical solutions has been developed and substantiated to optimize the operation, maintenance, and repair of the cooling circuit components.

The study primarily focuses on the operational specifics, fault detection, and restoration of a key element of the system — the gasketed plate heat exchanger. Concurrently, thermotechnical and structural calculations of the main working components of the centrifugal pump unit were performed. The implementation of the proposed maintenance schedule and planned preventive repair program ensures the high operational reliability of the marine power plant, maximizes equipment lifespan, and completely mitigates the risk of sudden failures or unplanned shutdowns of the propulsion 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 75 pages of the calculation and explanatory note. A total of 19 reference sources were utilized. The graphical part is presented on 4 drawings of A1 format.

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

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	6
1.1 Загальні відомості про судно	6
1.2 Основні характеристики елементів суднової енергетичної установки	9
РОЗДІЛ 2. СПЕЦИФІКА ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА MaK 6M43C НА СУДНІ «OSLO FJORD 1»	16
2.1 Конструктивно-технологічні особливості функціонування суднових охолоджувальних систем	16
2.2 Технологічні аспекти експлуатації контурів забортного охолодження	24
2.3 Характер впливу параметрів навколишнього середовища на тепловий стан суднових дизелів	27
2.4 Специфіка архітектури та конструктивного виконання систем охолодження суднових дизелів MaK	29
2.5 Математичне моделювання та теплотехнічний розрахунок параметрів системи охолодження	34
2.6 Конструктивний та теплотехнічний розрахунок пластинчастого теплообмінника системи охолодження	37
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РЕМОНТУ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА MaK 6M43C НА СУДНІ «OSLO FJORD 1»	43

3.1 Практичні аспекти експлуатації та конструктивні особливості елементів водоохолоджувального контуру	43
3.2 Регламент та загальні заходи з технічного обслуговування системи охолодження	48
3.3 Особливості архітектури та технічні параметри розбірних охолоджувальних апаратів двигуна MaK 6M43C	55
3.4 Розробка комплексу заходів з технічного обслуговування та ремонту теплообмінних апаратів	59
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
4.1 Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах	66
4.2 Комплексний аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у МКВ	67
4.3 Розрахунок параметрів припливно-витяжної вентиляції МКВ	69
4.4 Техніка безпеки при виконанні ремонтних робіт елементів системи охолодження	71
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	74
ДОДАТОК А. Відомість дипломної роботи	76

ВСТУП

Система охолодження належить до ключових елементів суднового дизельного двигуна, оскільки саме вона забезпечує підтримання необхідного теплового режиму роботи енергетичної установки та безпосередньо впливає на її надійність, економічність і довговічність. На відміну від багатьох інших систем сучасних суднових дизелів, система охолодження характеризується високою стабільністю функціонування та значною конструктивною відповідальністю, особливо в умовах експлуатації форсованих енергетичних установок. Зміна умов роботи судна, зокрема експлуатація в різних кліматичних районах, перевезення вантажів за підвищених теплових навантажень або тривала робота на змінних режимах, потребує детального аналізу конструктивних особливостей і принципів функціонування елементів системи охолодження. Саме тому для майбутнього інженера-механіка важливим є розуміння експлуатаційного значення технічних рішень, реалізованих у конструкції її окремих вузлів і агрегатів. Основну увагу у дипломній роботі приділено аналізу конструктивних рішень, умов функціонування, технічного обслуговування та забезпечення ефективної роботи системи охолодження в процесі експлуатації суднового двигуна.

Метою роботи є аналіз практичного досвіду технічної експлуатації, обслуговування та ремонту елементів системи охолодження суднових двигунів MaK 6M43C, а також розроблення заходів, спрямованих на підвищення ефективності та надійності їх роботи в умовах експлуатації.

Задачі, розв'язувані в роботі полягають у наступному:

- проаналізувати особливості конструкції та експлуатації суднового двигуна MaK 6M43C;
- проаналізувати і розробити заходи щодо застосування і експлуатації теплообмінника системи охолодження двигуна MaK 6M43C в умовах експлуатації, розробити комплекс заходів щодо ремонту теплообмінника системи охолодження суднового дизеля під час його та експлуатації;
- обґрунтувати застосування організаційних заходів щодо охорони праці.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА ТА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальні відомості про судно

Судно «OSLO FJORD 1» (IMO 9437311, MMSI 371471000) належить до універсальних багатоцільових суховантажних суден типу General cargo vessel та призначене для транспортування контейнерних і генеральних вантажів. Судно експлуатується без обмежень району плавання.

Конструктивно це одногвинтове двопалубне судно з подвійним дном і подвійними бортами. Машинне відділення, насосне приміщення, житлові та службові приміщення розташовані у кормовій частині. Судно має бульбоподібну форму носа та крейсерську корму із транцевим зрізом надводної частини. Архітектура корпусу передбачає збільшений надводний борт, що позитивно впливає на морехідні характеристики та безпечність експлуатації [1].

Кормова надбудова виконана зі сталі та містить житлові приміщення для дев'яти членів екіпажу. За період експлуатації судно змінювало назви та прапори, серед яких: OSLO M8, OSLO, OSLO ATA&A 2, ABB FELINA, ABB F, HR FACILITY, CHANDRA NEPTUNE та BELUGA FACILITY.

Судно побудоване у 2009 році на китайському суднобудівному підприємстві QINGSHAN SHIPYARD (WUHAN, CHINA). Класифікаційне позначення судна відповідає вимогам Reg. 19 Finnish/Swedish 1A Lloyd's Register, RL 1A, LMC, UMC SMC, SOLAS II-2, Ice Class 1A Tween-decker.

«OSLO FJORD 1» спеціально адаптоване для перевезення контейнерів стандартів 20 та 40 футів, а також спеціалізованих вантажних ємностей. У вантажних трюмах встановлені вертикальні напрямні елементи для надійної фіксації контейнерів під час рейсу. Максимальна місткість становить 542 TEU контейнерів масою до 14 т, а також 25 рефрижераторних контейнерів (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна

Основні характеристики судна:

- тип судна — General cargo vessel;
- прапор — Panama;
- порт реєстрації — Monrovia;
- судновласник і менеджер — HAMMONIA REEDEREI (Hamburg, Germany);
- дедвейт — 12608 т;
- валова місткість — 9611 т;
- контейнеромісткість — 669 TEU;
- експлуатаційна швидкість — 13,9 / 11,6 вузлів.

Габаритні розміри судна становлять:

- найбільша довжина — 138,95 м;
- довжина між перпендикулярами — 134,965 м;
- найбільша ширина — 21 м;
- висота борту — 10,95 м;
- максимальна експлуатаційна осадка — 7,9 м.

Розрахунковий дедвейт у морській воді густиною 1,025 т/м³ при осадці за літню вантажну марку становить 8999 т, а в прісній воді густиною 1,000 т/м³ при осадці 7,9 м — 12102 т. До складу дедвейту входять вантаж, паливо, мастильні матеріали, запаси води, екіпаж, продовольство, інвентар і запасні частини відповідно до вимог класифікаційного товариства.

Автономність судна за запасами пального, води, мастила та провізії досягає 25 діб, а дальність плавання — близько 10000 морських миль.

Корпус судна має повністю зварну конструкцію. У середній частині використано поздовжню систему набору в поєднанні з поперечними рамними зв'язками. Для району машинного відділення та кінцевих частин характерна поперечна система набору. Судно виконане за схемою відкритого люка з подвійною оболонкою та може трансформуватися в однотрюмний варіант DWAT. Форма корпусу включає округлену скулу, бульбовий ніс і транцеву корму.

Морехідні характеристики судна забезпечують ефективну експлуатацію навіть за складних погодних умов. При повному завантаженні та чистому корпусі судно розвиває швидкість близько 13,4 вузлів при хвилюванні моря до 2 балів та вітрі до 3 балів за шкалою Бофорта. Період бортової хитавиці перебуває в межах 11–20 секунд. Для зменшення хитавиці передбачені скулові кілі.

Для покращення маневреності у портах та вузькостях судно оснащено носовим підрулюючим пристроєм STT1 «Eekels» із гвинтом у тунелі та електродвигуном Leroy Somer потужністю 500 кВт. Керування виконується дистанційно з ходового містка.

На судні реалізовано комплекс судових систем, спрямованих на забезпечення комфортних умов праці та проживання екіпажу. До них належать системи прісної води, господарсько-побутових і стічних вод, опалення, кондиціювання та холодильне обладнання для зберігання провізії. Усі житлові приміщення обладнані індивідуальним регулюванням температури.

Пожежна безпека забезпечується водяною пожежною системою, системою піногасіння, вуглекислотного пожежогасіння та системою зрошення. Водяна система обслуговується двома електронасосами продуктивністю 220 м3/год при тиску 1 МПа. Система піногасіння використовується для захисту трюмів і відкритих палуб, а система CO2 — для машинного відділення та аварійного дизель-генератора.

Рульовий пристрій судна побудований на основі підвісного руля типу Fish Tail. Для керування використовується рульова машина Rolls-Royce FRYDENBÖ RV850-3 із двома гідравлічними приводами. Передбачено дистанційне керування з містка та автоматичний режим автоводіння.

Якірний пристрій включає два станові якорі типу Холла масою по 6000 кг, запасний якір та додатковий кормовий якір. Для роботи з якірними ланцюгами встановлені електричні якірно-швартові лебідки.

Швартовний комплекс судна складається з електричних швартовно-буксирних лебідок Natlара, кнехтів, тросів, універсальних ключів та допоміжного обладнання для безпечного виконання швартових операцій.

Рятувальне оснащення відповідає вимогам SOLAS та кодексу LSA. Судно обладнане рятувальною шлюпкою вільного падіння, черговою шлюпкою, надувними рятувальними плотами, рятувальними кругами, жилетами та іншими засобами безпеки.

Для проведення вантажних операцій встановлено два електрогідравлічні крани вантажопідйомністю по 120 т та допоміжний кран вантажопідйомністю 8 т.

1.2 Основні характеристики елементів суднової енергетичної установки

Машинно-котельне відділення судна (рис. 1.2) містить головний двигун, дизель-генератори, системи валопроводу, гвинт регульованого кроку та допоміжне обладнання.

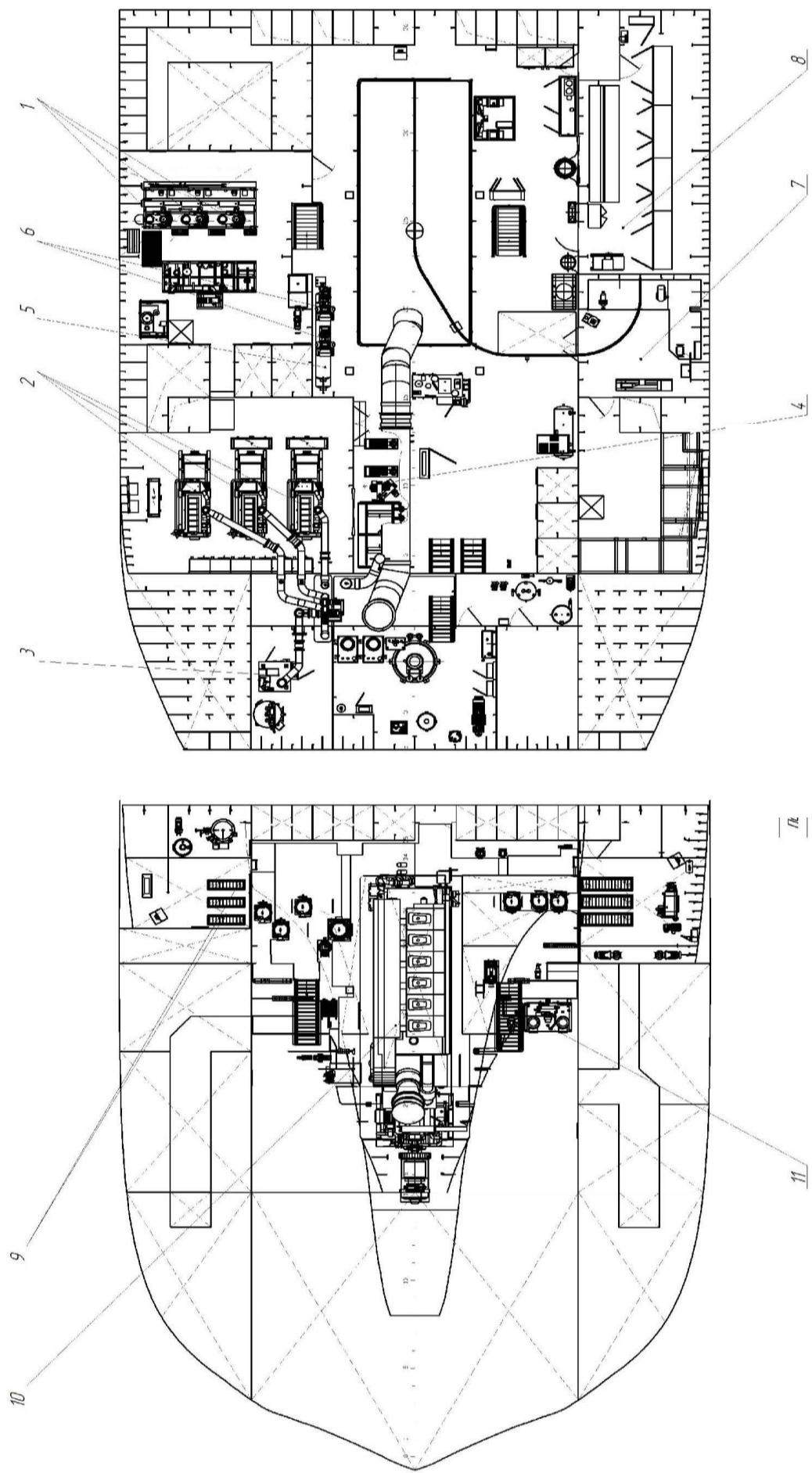


Рисунок 1.2 - Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна «OSLO FJORD 1»:
 1 – масляні сепаратори; 2 – дизель-генератори; 3 – інснератор; 4 – дільниця підготовки палива; 5 – повітряні ресивери;
 6 – повітряні компресори; 7 – суднова майстерня; 8 – центральний пост керування; 9 – масляні охолоджувачі;
 10 – головний двигун; 11 – дільниця ремонту паливної апаратури

Валопровід складається з гребного валу, системи подавання мастила до механізму зміни кроку та гідрозамка. Двудвудний пристрій має масляне змащення та ущільнення радіального типу.

Як рушій використовується один гребний гвинт регульованого кроку діаметром 5000 мм із чотирма лопатями. Маточина та лопаті виготовлені з нікель-алюмінієвої бронзи.

На судні встановлено три дизель-генератори MAN D2840LE 301 потужністю по 700 кВт кожен при частоті обертання 1800 хв^{-1} . Кожен агрегат може працювати як основний або резервний. Система автоматично підтримує резервний генератор у прогрітому стані.

До складу дизель-генератора входять дизельний двигун і безщітковий генератор змінного струму LEROY SOMER LSAM 49/1S2, змонтовані на спільній рамі через амортизатори.

Запуск дизель-генераторів виконується пневматично — локально або автоматично через систему керування електростанцією. Передбачена можливість паралельної роботи генераторів та автоматичної синхронізації.

Аварійним джерелом електроенергії є дизель-генератор MAN D2866 E20 потужністю 400 кВт, встановлений у спеціальному приміщенні на шлюпковій палубі.

Особливості конструкції головної енергетичної установки. Головна енергетична установка судна розміщена у кормовій частині та включає один головний дизельний двигун, який забезпечує рух судна та роботу пропульсивного комплексу.

Дизель-генератор MAN D2840LE є чотиритактним двигуном із турбонаддувом і системою охолодження морською водою. Для двигуна характерне V-подібне розташування десяти циліндрів та система безпосереднього впорскування палива. Конструкція обладнана двома турбокомпресорами, що забезпечують стабільні параметри наддуву та ефективне згоряння паливної суміші. Робочий об'єм двигуна становить 18,273

л, а питома витрата палива — $222 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$). Система мащення реалізована за схемою примусового подавання мастила шестеренчастим насосом.

У якості головного двигуна на судні використовується чотиритактний дизель МаК 6М43С із газотурбінним наддувом. Максимальна потужність двигуна досягає 5600 кВт при частоті обертання колінчастого вала 500 хв^{-1} . Двигун має рядне вертикальне розташування шести циліндрів та працює за схемою прямого впорскування палива у камеру згоряння. Монтаж двигуна виконаний на епоксидних клинах, закріплених на зварній фундаментній рамі. Блок циліндрів і станина виготовлені у вигляді монолітної литої конструкції, що забезпечує високу жорсткість та надійність під час тривалої експлуатації. Запуск двигуна передбачений лише з машинного відділення. Поперечний переріз головного суднового двигуна показано на рис. 1.3.

До основних характеристик двигуна МаК 6М43С належать: діаметр циліндра 430 мм , хід поршня 610 мм , робочий об'єм одного циліндра $88,6 \text{ дм}^3$. Частота обертання колінчастого вала перебуває у межах $500\text{--}514 \text{ хв}^{-1}$, а середня швидкість поршня становить $10,2\text{--}10,5 \text{ м/с}$. Питома витрата палива залежить від навантаження двигуна та змінюється від 176 до $190 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$, що свідчить про достатньо високий рівень паливної економічності. Для наддуву використовується турбокомпресор імпульсного типу АВВ TPL 71 С 33.

Конструкція двигуна МаК М43С відзначається підвищеною жорсткістю та адаптованістю до роботи в складних умовах морської експлуатації. Несучий блок-картер виготовлений із високоміцного чавуну з кулястим графітом. Додаткову міцність конструкції забезпечують поперечні різьбові з'єднання між блоком і кришками підшипників. Однією з особливостей двигуна є відсутність охолоджувальної води всередині блок-картера, що дозволяє уникнути корозійних пошкоджень та підвищити ресурс основних елементів конструкції. Охолодження циліндрової втулки здійснюється лише у найбільш термічно навантаженій зоні — у верхній частині біля камери згоряння.

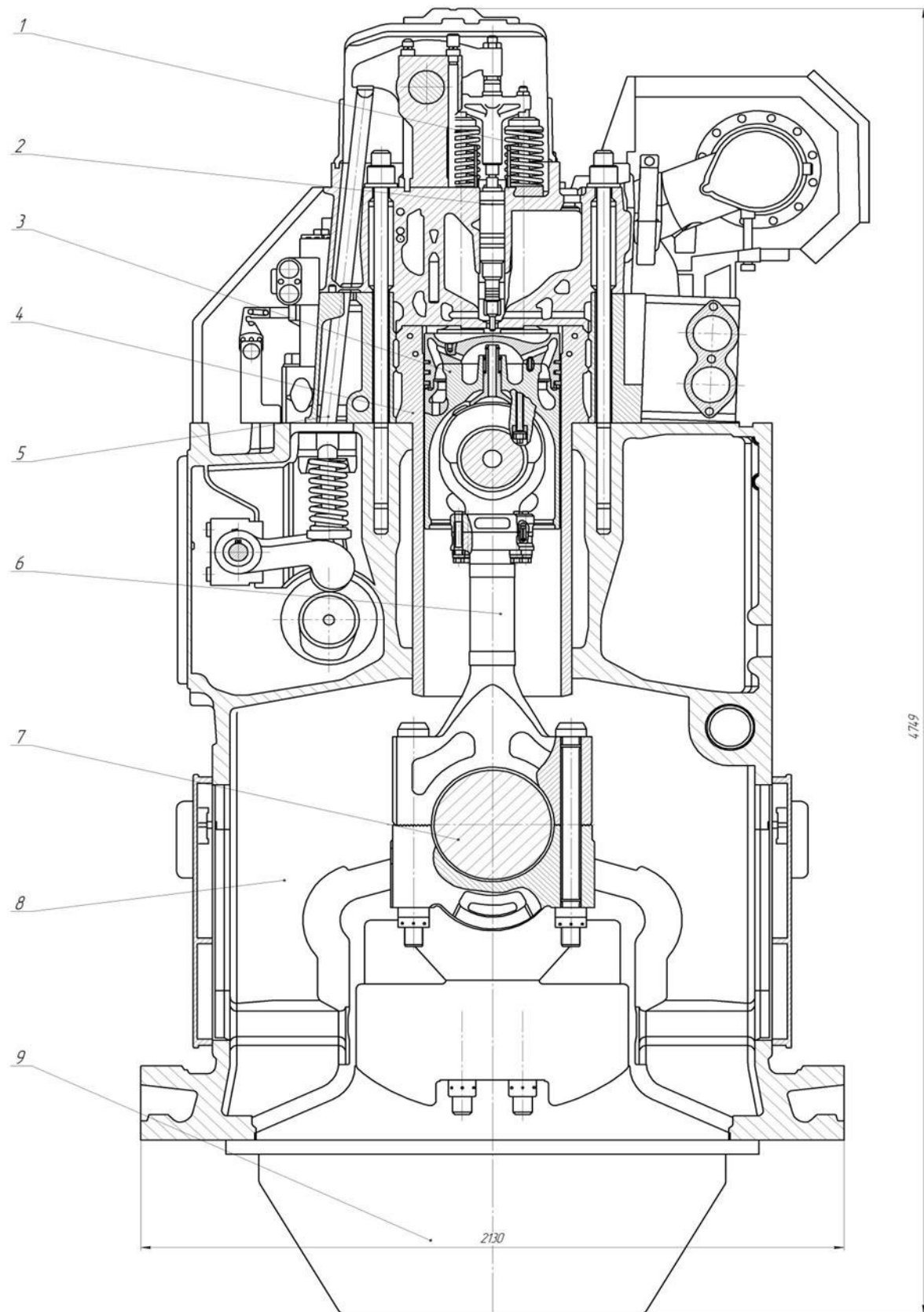


Рисунок 1.3 - Поперечний переріз головного двигуна: 1 – клапан; 2 – паливна форсунка; 3 – поршень; 4 – циліндр; 5 – штовхач коромисла; 6 – шатун; 7 – колінчастий вал; 8 – картер; 9 – піддон картера

Система подавання наддувного повітря інтегрована безпосередньо в блок-картер. Повітря через внутрішні канали надходить до впускних клапанів через сорочку охолодження кришки циліндра. Таке компонування дозволило відмовитися від окремих зовнішніх трубопроводів наддуву, що зменшило ризик втрати герметичності та спростило технічне обслуговування. У конструкцію блок-картера також інтегрований розподільний вал.

Для зниження зношування механізмів привід штовхачів клапанів і паливних насосів високого тиску реалізований через проміжні важелі. Конструкція передбачає можливість регулювання фаз газорозподілу та моменту впорскування палива шляхом зміни положення важелів на ексцентриковому валу або за допомогою електронних систем керування.

Маховик та приводна шестірня розподільного вала закріплені на колінчастому валу методом гарячого запресовування з використанням конусної посадки. Шестірня кулачкового вала приводиться через проміжну шестірню, а точність міжосьових відстаней дозволяє виконувати монтаж без додаткового регулювання зазорів між зубцями. Усі шестірні приводу проходять спеціальне загартування, що підвищує їх зносостійкість.

Поршень двигуна має складену конструкцію: верхня частина виготовлена зі сталі, а нижня — із чавуну з кулястим графітом. Таке поєднання матеріалів забезпечує надійне сприйняття високих теплових і механічних навантажень. Канавки під поршневі кільця проходять індукційне загартування, а робоча поверхня верхнього кільця має спеціальне покриття та сферичне шліфування. Це сприяє зменшенню витрати мастила та збільшенню ресурсу деталей циліндро-поршневої групи.

Циліндрова втулка обладнана жорстким буртиком і каліброваною вставкою, яка перешкоджає накопиченню коксових відкладень. Завдяки цьому підвищується довговічність втулки та зменшується витрата мастила на вигоряння.

Під час проектування двигуна особливу увагу приділено зменшенню кількості окремих вузлів і спрощенню монтажних операцій. Частина елементів

приводу та демпфера крутильних коливань інтегрована безпосередньо в блок-картер, що дозволило скоротити трудомісткість технічного обслуговування. Для підвищення надійності деякі масляні трубопроводи були замінені внутрішніми каналами в кришках механізмів. Насоси встановлюються безпосередньо на двигун без потреби додаткового регулювання зачеплення шестерень.

Двигуни серії M43C характеризуються зручністю обслуговування та високою ремонтпридатністю. Паливні, мастильні й охолоджувальні системи розташовані з одного боку двигуна, що забезпечує легкий доступ до основних вузлів. Паливні та мастильні фільтри встановлені безпосередньо на корпусі двигуна, що спрощує їх обслуговування в умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 2

СПЕЦИФІКА ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА MaK 6M43C НА СУДНІ «OSLO FJORD 1»

2.1. Конструктивно-технологічні особливості функціонування суднових охолоджувальних систем

У сучасному суднобудуванні для забезпечення температурного режиму двигунів внутрішнього згоряння застосовують дві базові схеми: проточну (прямоточну) та замкнену (двоконтурну). За умови використання проточної схеми теплота відводиться безпосередньо за борт за допомогою насоса, який безперервно прокачує морську воду крізь сорочку двигуна. Цей комплекс складається з кінгстонних ящиків із запірною арматурою, очисних фільтрів, помпових агрегатів, розвиненої мережі трубопроводів, а також засобів автоматичного контролю, вимірювання та аварійної сигналізації.

Відповідно до нормативів Класифікаційного Товариства (Регістру), архітектура системи має передбачати щонайменше один донний та один або два бортові кінгстони. Для підвищення надійності контур заборотної води зазвичай обладнують двома насосами. Один із них виконує роль універсального резервного агрегату, здатного за потреби забезпечити циркуляцію як у лінійці прісної, так і заборотної води. Якщо виникає аварійна ситуація із загрозою перегріву, для охолодження циліндрів дозволяється задіяти технічні ресурси суднової пожежної системи або насосне обладнання рефрижераторної установки. Стабільна робота системи охолодження є критично важливою для довговічності й безвідмовності суднового дизеля. Порушення правил експлуатації або раптова відмова цього комплексу є однією з найпоширеніших причин серйозних аварій та руйнування елементів пропульсивної установки. Варто наголосити: якщо контур охолодження інтегрований заводом-виробником безпосередньо в конструкцію двигуна, будь-яка самовільна модернізація чи зміна конфігурації суворо заборонена.

Геометричні розміри, пропускна здатність та параметри теплообміну елементів розраховані під конкретні теплові навантаження основних деталей. Неузгоджені інженерні втручання порушують тепловий баланс, що неминуче призводить к термічній деформації та пошкодженню елементів циліндро-поршневої групи (ЦПГ).

У судових ДВЗ від 8% до 25% загальної енергії, яка виділяється під час термічного розпаду палива, поглинається стінками циліндрів, поршнями та корпусом газотурбінного нагнітача. Щоб уникнути руйнування металу від перегріву, ці зони потребують постійного та інтенсивного відведення тепла. Окрім цього, частина енергії втрачається через механічне тертя деталей, трансформуючись у теплову енергію, яку вбирає в себе циркуляційне мастило (воно також потребує примусового охолодження). Не менш важливим завданням є зниження температури наддувочного повітря, яке сильно нагрівається в процесі компресії всередині турбонаддуву. Варто зазначити, що найнижчий показник теплових втрат (у межах 8...10%) притаманний великим двотактним малообертовим двигунам.

Загалом дисипація (розсіювання) тепла на судні реалізується через систему взаємопов'язаних контурів, серед яких: контур прісної води для стабілізації температури втулок, кришок циліндрів та блоків турбонагнітачів; система охолодження головних частин (днищ) поршнів (де робочим тілом може виступати як прісна вода, так і мастило); вузол охолодження паливних форсунок (за допомогою прісної води або безпосередньо палива); контур заборотної води, який є кінцевим поглиначем тепла і забезпечує охолодження всіх внутрішніх робочих середовищ дизельної установки; система зниження температури повітряного заряду на наддуві.

Потоками зовнішньої морської води забезпечується робота центральних водо-водяних теплообмінників, маслоохолоджувачів головних редукторів та систем змащення ДВЗ, а також охолодження повітряних компресорів, дейдвудних пристроїв, опорних підшипників валопроводу та іншого допоміжного обладнання судової енергетичної установки (СЕУ). Крім свого

базового призначення, магістраль заборотної води може застосовуватися як резервний засіб для осушення трюмів машинного відділення в екстрених ситуаціях, а також для постачання води загальносудновим споживачам.

Згідно з міжнародними стандартами безпеки, у кожному машинному приміщенні обов'язково монтують як мінімум два незалежні кінгстонні ящики (приймальні бокси), що гарантують безперебійний забір води за будь-яких умов навігації та варіантів завантаження судна. Комплекс повинен стабільно функціонувати в умовах тривалого нахилу судна (крену до 15° та диференту до 5°). На сучасних комерційних суднах найчастіше проектують кінгстоно-розподільний колектор (канал). Морська вода спочатку накопичується в ньому, а вже потім крізь клінкетні засувки розподіляється по споживачах. Скидання відпрацьованої води за борт реалізується через незворотно-запірну арматуру або клінкети. Щоб гаряча вода після теплообмінників знову не потрапляла в систему, прийомні та зливні отвори максимально розносять по довжині корпусу судна. Отвори для зливу розташовують на днищі або бортах, занурюючи їх щонайменше на 300 мм нижче конструктивної ватерлінії за максимальної осадки. При розрахунках судових систем для необмеженого району плавання гранична температура заборотної води приймається на рівні 32°C . У більшості дизельних СЕУ впроваджують двоконтурні (замкнені) схеми. Внутрішній контур заповнюється прісною водою, яка безперервно циркулює крізь блоки двигуна, забирає тепло і передає його забортній воді у водо-водяних холодильниках. Ефективність цього процесу контролюють за різницею температур прісної води на вході та виході з дизеля.

Для запобігання небезпечним термічним напруженням у металі деталей ЦПГ (кришках, втулках) температура води, що подається у двигун, має бути не меншою за 55°C . Це повністю виключає використання заборотної солоної води безпосередньо для охолодження сорочок через миттєве утворення шару сольових відкладень та накипу.

Робоча температура суттєво впливає на загальний ККД установки. Якщо температура теплоносія зростає, індикаторний ККД дещо знижується через

погіршення наповнення циліндрів повітрям, скорочення періоду затримки самозаймання палива та падіння швидкості наростання тиску газів. З іншого боку, гаряче двигунне мастило стає менш в'язким, що мінімізує втрати на тертя (механічний ККД йде вгору) та зменшує знос деталей. Як наслідок, у широкому діапазоні температур теплоносія (від 50 до 150 °C) ефективний ККД дизеля змінюється незначно, демонструючи легку тенденцію до зростання при вищих значеннях.

Термічний режим прямо впливає на інтенсивність коксування мастила, появу нагару та швидкість деградації (окислення) моторного масла. Високі температури суттєво прискорюють ці деструктивні процеси. Проте, з погляду утилізації тепла та енергоефективності, підвищення робочої температури є вигідним: зростає енергетичний потенціал вихлопних газів (що корисно для утилізаційних котлів), тоді як частка тепла, що марно втрачається з водою, зменшується. Попри такі переваги, масове впровадження високотемпературного (адіабатного або напівсухого) охолодження на судах поки що стримується, оскільки це сильно ускладнює конструкцію дизеля та вимагає специфічних матеріалів для забезпечення експлуатаційної надійності.

З огляду на це, виробники встановили жорсткі межі: для головних малообертових двигунів температура води на виході не повинна перевищувати 60...70 °C, а для середньообертових і допоміжних агрегатів цей показник становить 75...85 °C. Великий обсяг теплової енергії забирає вода під час охолодження наддувочного повітря (у нових серіях малообертових двигунів цей показник сягає 14% від загальної теплоти згоряння). До 4% енергії розсіюється через масляний контур, частина тепла також витрачається на охолодження форсунок. Еволюція дизелебудування чітко демонструє тенденцію до зміни балансу: частка тепла, що відводиться прісною водою від сорочок циліндрів, поступово зменшується, натомість зростають теплові втрати в контурі охолодження наддувочного повітря.

Охолодження двигунів здійснюється закритим контуром прісної води. Стабільний об'єм теплоносія циркулює замкненим колом: забирає тепло від

дизеля, охолоджується в термоблоці потоком забортної води і знову повертається в колектор двигуна. Робочий тиск у системі регламентується інструкцією заводу-виробника і зазвичай становить 150...280 кПа. Стабільний тиск є обов'язковим для унеможливлення появи застійних або кавітаційних зон у внутрішніх порожнинах сорочки охолодження. Системи автоматики обов'язково оснащуються сигналізацією, яка спрацьовує при критичному падінні тиску, а деякі модифікації мають функцію аварійної зупинки (протект-автоматику) для захисту двигуна від теплового удару.

Температурні стандарти теплоносія для сучасних установок становлять: на вході — 50...70 °C, на виході — 60...85 °C. У дизелях останніх поколінь робочу температуру на виході тримають ближче до верхньої межі (80...85 °C), що дозволяє зменшити температурний градієнт у стінках циліндрів та оптимізувати теплові втрати. Цей параметр на виході має бути максимально стабільним. Будь-які коливання температури за межі норми посилюють знос циліндрових втулок та поршневих кілець внаслідок змивання масляної плівки або низькотемпературної сірчаної корозії. У разі фіксації критичного перегріву автоматично вмикається світлозвукова сигналізація на центральному посту керування.

Продуктивність циркуляційного насоса розраховується так, щоб гарантувати стабільне знімання тепла при номінальному температурному перепаді. Окрім датчиків, контури обладнують візуальними індикаторами (звєрьками або оглядовими стеклами) для безпосереднього моніторингу руху рідини. На більшості суден дизель-генератори (допоміжні двигуни) інтегровані в загальний контур головного двигуна. Під час стоянки, коли головний дизель вимкнений, допоміжні агрегати переходять на автономне охолодження за допомогою портового насоса. Ця схема є реверсивною: вона дозволяє підігрівати сорочку непрацюючого головного двигуна теплом від допоміжних дизелів через спеціальний перепускний клапан. На всіх сучасних судах розподілом потоків керують автоматичні терморегулятори.

Для циркуляції прісної води застосовують відцентрові насоси. Вони мають високий ККД, конструктивно прості та не створюють перешкод для самопливного спорожнення контуру під час дренажу. Зазвичай встановлюють один робочий насос і один універсальний резервний (спільний для прісної та морської води). На автоматизованих судах (з класом автоматизації системи без постійної присутності вахти в МВ) встановлення окремого, повністю незалежного резервного насоса прісної води є обов'язковою умовою. Конструктивна простота відцентрових насосів спрощує їх технічне обслуговування, яке полягає у контролі параметрів роботи, регламентній заміні сальникових або торцевих ущільнень та періодичній дефектації підшипникових вузлів, робочого колеса (крильчатки) та вала. Запуск насосного агрегату виконують при повністю відкритій засувці на всмоктуванні та закритому (або ледь відкритому) нагнітальному клапані (рис. 2.1). Після виходу електродвигуна на номінальні оберти нагнітальний клапан плавно відкривають, виводячи систему на штатний режим. Головними критеріями правильної роботи є вихідний тиск та нормалізація температурного перепаду рідини. Перед пуском насоса після тривалого простою необхідно видалити повітря з його равілика (корпусу) через повітряний клапан. Також рекомендується перевірити вал вручну, щоб переконатися у відсутності заклинювання ущільнень та вільному обертанні ротора. Під час роботи насоса вахтовий інженер повинен контролювати показники амперметра на щиті керування: аномальне зростання струму свідчить про підвищене тертя в механічній частині або електродвигуні, тоді як різке падіння навантаження зазвичай вказує на кавітацію або пошкодження крильчатки.

На судах експлуатуються пластинчасті або трубчасті теплообмінні апарати. Напівавтоматичне або ручне обслуговування охолоджувачів полягає в регулярному очищенні контуру заборотної води від мулу та біобростання, заміні жертвних анодів (протекторного захисту) та глушінні або перевальцюванні дефектних трубок.

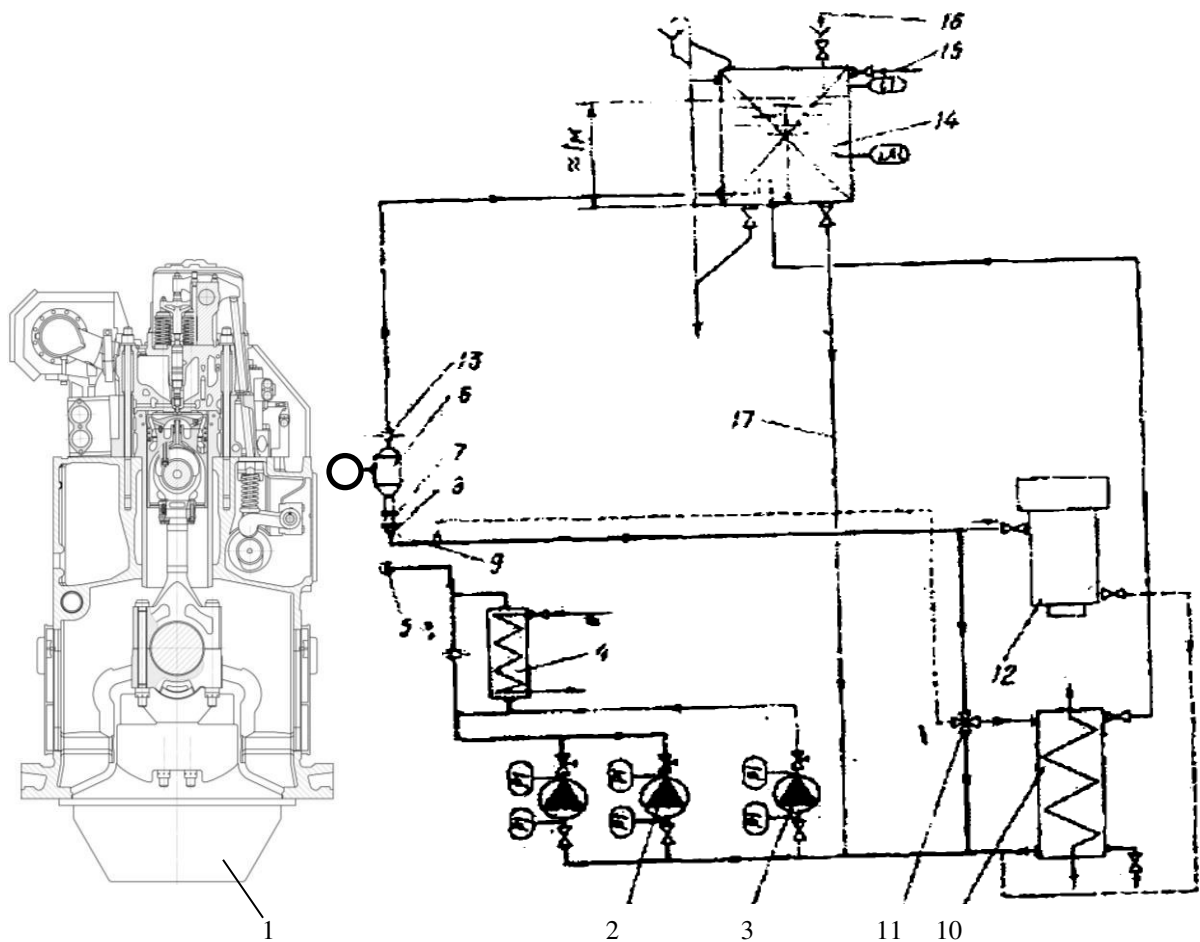


Рисунок 2.1 - Схема контуру охолодження циліндрів двигуна прісною водою: 1 - головний двигун; 2 - насоси; 3 - портовий насос; 4 - підігрівач; 5 - вхід в сорочки циліндрів; 6 - сепаратор для видалення повітря; 7 - стабілізатор потоку; 8 - діафрагма регулювання тиску; 9 - вихід води з двигуна; 10 - водоохолоджувач; 11 - термостат; 12 - випарник; 13 - діафрагма; 14 - розширювальна цистерна; 15 - поповнення системи водою; 16- введення присадок; 17 - урівноважуюча труба

За умов плавання у чистих акваторіях ревізію водяних порожнин проводять мінімум раз на рік через інспекційні лючки, на кришках яких зсередини змонтовано цинкові або магнієві протектори. Якщо руйнування анода перевищує 50%, його обов'язково замінюють. Якщо судно часто працює на мілководді або в забруднених річкових водах, очищення та розбирання охолоджувача виконують позачергово — при перших ознаках падіння ефективності теплообміну або зростанні гідравлічного опору.

У процесі експлуатації тиск у контурі морської води завжди тримають нижчим, ніж у контурі прісної води. Завдяки цьому у разі появи тріщин у

трубках прісна вода витікатиме назовні, а не солоня потраплятиме в двигун. Свищі та протікання виявляють за швидкістю падіння рівня в розширювальному баку. Для суден необмеженого району плавання нормативи вимагають встановлення двох паралельних охолоджувачів.

Розширювальний бак у прісному контурі виконує кілька функцій: забезпечує стабільний статичний підпір на всмоктувальній лінії насосів, слугує для сепарації та видалення повітря (пароповітряної суміші) і діє як буферна ємність для компенсації витоків. Бак монтують у найвищій точці машинного відділення і з'єднують із контуром кількома трубопроводами (зазвичай у двох-чотирьох точках), зокрема з усмоктувальним патрубком насоса та верхньою частиною холодильника. Часто лінії повітровідведення також йдуть від кришок циліндрів та випускного колектора. Догляд за розширювальним баком включає контроль його чистоти, очищення від відкладень та суворий облік об'ємів води, що доливається, для раннього виявлення прихованих витоків у системі. Для підживлення контуру рекомендується використовувати виключно дистильовану або деіонізовану воду, отриману з судового випарника. Використання питної води дозволене лише як виняток. Параметри якості теплоносія мають суворо відповідати нормативам: водневий показник рН в межах 6,5...8,0 (виміряний при 20 °С), вміст хлоридів — не більше 50 мг/л, сульфатів — до 50 мг/л, силікатів — до 25 мг/л (табл. 2.1).

Раніше у судноплавстві широко використовували водоемульсійні антикорозійні масла, які створювали захисну плівку на металі. Проте з появою високофорсованих двигунів, які потребують максимальної ефективності теплообміну, від оливних емульсій повністю відмовилися на користь хімічних інгібіторів. Головна причина відмови — при найменшому порушенні регламенту обслуговування на стінках сорочки відкладався товстий оливний шар, який діяв як теплоізолятор, викликаючи критичний перегрів і тріщини деталей дизеля.

Таблиця 2.1 — Специфікація нітритно-боратних інгібіторів корозії для хімічної обробки прісної води

Компанія-виробник	Торгова назва присадки	Агрегатний стан (форма поставки)	Мінімальна робоча концентрація (згідно з рекомендаціями постачальника)
Castrol Ltd. (Swindon Wiltshire, England)	Castrol Solvex WT4 Castrol Solvex WT2	Порошок Рідина	3 кг / 1000 л 20 л / 1000 л
Drew Ameroid Marine (Boonton, N.J. / USA)	DEWT NC Liquidewt Maxiguard	Порошок Рідина Рідина	3,2 кг / 1000 л 8 л / 1000 л 16 л / 1000 л
Unitor Rochem Marine Chemicals (Oslo, Norway)	Dieselguard NB Rocor NB Liquid	Порошок Рідина	3 кг / 1000 л 10 л / 1000 л
Vecom (Maassluis, Holland)	CWT Diesel QC2	Рідина	12 л / 1000 л

Сучасна хімічна водообробка за допомогою спеціальних інгібіторів ефективно уповільнює корозію, пом'якшує воду та повністю блокує утворення накипу на теплообмінних поверхнях.

2.2. Технологічні аспекти експлуатації контурів забортного охолодження

Контур забортної води містить ті ж самі теплообмінні апарати, що й прісноводний, але на двигунах із турбонаддувом він додатково включає охолоджувачі наддувочного повітря (інтеркулери).

Робота системи забортного охолодження (рис. 2.2) забезпечується основним, резервним, а також одним чи двома портовими насосами. За умови встановлення одного штатного насоса морської води, функцію його дублювання покладають на універсальний резервний насос прісної води. У такій конфігурації обов'язково встановлюють перемикачі та запірні пристрої, які унеможливають випадкове змішування прісної води з морською. Для суден із високим класом автоматизації наявність окремого виділеного резервного насоса забортної води є суворою вимогою Правил.

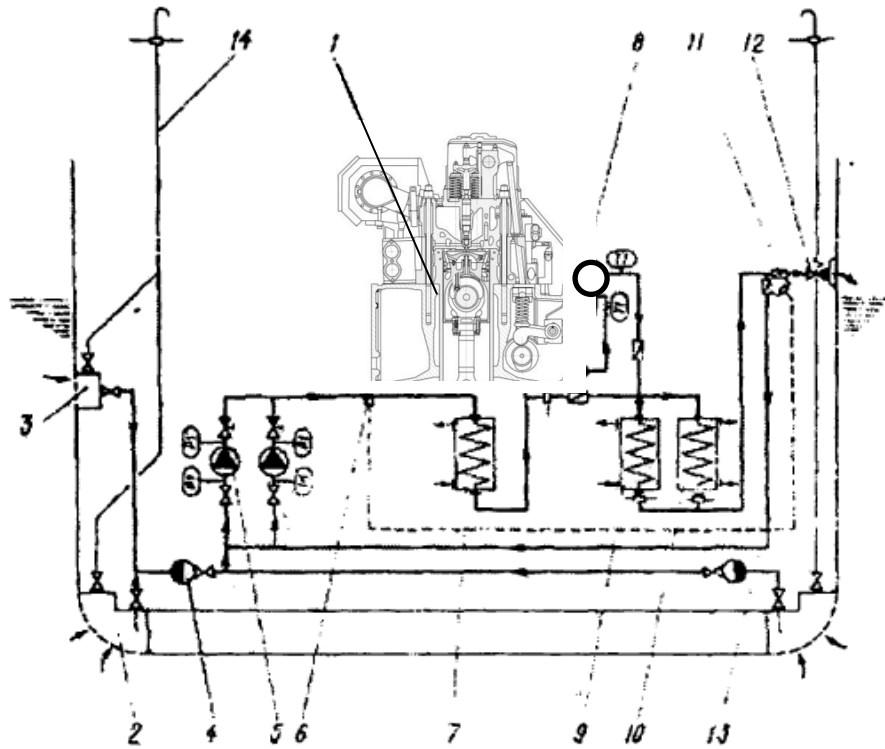


Рисунок 2.2 — Структурна схема системи охолодження забортною водою: 1 — головний двигун; 2 — донний кінгстонний вузол; 3 — бортовий кінгстонний вузол; 4 — сітчастий фільтр; 5 — циркуляційний насос забортової води; 6 — температурний сенсор; 7 — маслоохолоджувач; 8 — повітряохолоджувач наддуву; 9 — охолоджувач мастила поршнів; 10 — водоводяний холодильник прісної води циліндрів; 11 — автоматичний терморегулятор; 12 — магістраль скидання води за борт; 13 — лінія рециркуляції гарячої води; 14 — повітряна (вентиляційна) труба.

Відповідно до приписів Морського Регістру, судно обладнують двома зв'язаними між собою кінгстонами (бортовим та донним) у межах машинного відділення. На практиці найчастіше використовують триточечну схему: два бортових (лівого та правого борту) і один донний. Кран-кінгстон монтують безпосередньо на стінці кінгстонного ящика. З боку відкритої води ящик захищений знімними ґратами, які затримують велике сміття, здатне заклинити арматуру або забити вхід. Також до кінгстонних боксів підводять повітряні труби та лінії для продування стисненим повітрям або прогрівання парою.

На відміну від стандартних вентиляційних систем танків, повітряна труба кінгстонного ящика має спеціальний запірний клапан. Він призначений для швидкої локалізації протікання і запобігання затопленню машинного відділення у разі розриву труби. Безпосередньо за кінгстоном встановлюють

сітчастий фільтр грубого очищення, який захищає лопаті насосів та трубки холодильників від дрібного сміття. Конструкція фільтра обов'язково має передбачати можливість його очищення (перемикання на дублюючий фільтр) без зупинки охолоджувальних насосів.

Експлуатація цього вузла включає періодичне чищення сіток та продування ящиків, а під час навігації в льодах — їх постійний прогрів. Працюючи в льодових умовах, судновий інженер повинен ретельно відстежувати тиск за допомогою мановакуумметра на всмоктувальній лінії та перевіряти наявність води через контрольний краник на кришці фільтра. Якщо вакуум стрімко зростає, а вода з краника зникає — це перша ознака того, що фільтр забитий льодяною шугою. У такому разі потрібно негайно перейти на альтернативний кінгстон, перекрити запірну арматуру забитого фільтра та очистити його сорочку. Особливу пильність слід проявляти при русі в дрібнобитому льоду або під час переходів судна в баласті.

Для суден льодового класу передбачають можливість об'єднання контуру забортної води з баластною системою через баластний насос. Це дозволяє здійснювати охолодження внутрішніх середовищ без забору зовнішньої води: теплоносій просто перекачується між носовими та кормовими баластними танками. Оскільки стінки танків охолоджуються об лід навколишнього середовища, температура води в них залишається низькою, і продуктивності такої циркуляції цілком достатньо для утримання теплового балансу СЕУ. Знаючи параметри ємностей та продуктивність pomp, перекачування виконують циклічно в автоматичному або ручному режимі без ризику осушення та потреби постійних вимірів.

Також на судах льодового плавання часто монтують лінію рециркуляції забортної води. Практичний досвід підтверджує, що найвища ефективність боротьби з обмерзанням досягається тоді, коли трубопровід повернення гарячої забортної води (після холодильників) виводиться безпосередньо всередину кінгстонного ящика, розтоплюючи лід на вході.

2.3. Характер впливу параметрів навколишнього середовища на тепловий стан судових дизелів

Суднові пропульсивні установки експлуатуються в умовах постійної зміни кліматичних зон, що вимагає від них стабільної роботи як в арктичних широтах, так і в умовах тропіків. Оскільки коливання температури самої морської води є прогнозованими і мають чіткі фізичні межі, двигун зазвичай не зазнає миттєвих критичних теплових ударів ззовні. Проте тривалі кліматичні зміни параметрів повітря та води безпосередньо впливають на питому витрату палива, температуру вихлопних газів та загальний тепловий баланс дизеля.

Крім того, температура повітря на вході в ресивер, параметри компресії та максимальний тиск згоряння в циліндрах суттєво залежать від зовнішнього середовища. За умов екстремально низьких температур повітряного заряду виникає потреба в ручній або автоматичній корекції експлуатаційних параметрів двигуна.

Для захисту деталей від низькотемпературної корозії (особливо дзеркала циліндрових втулок під час пуску) виробники встановлюють жорсткі обмеження щодо мінімальної температури прогріву перед пуском. Штатний запуск рекомендується виконувати лише після того, як температура води в сорочці досягне мінімум 50 °C. Після пуску оберти двигуна дозволяється поступово підвищувати до рівня 90% від максимальної робочої частоти. Для подальшого виходу на режим повної потужності (від 90% до 100%) навантаження слід збільшувати дуже повільно — цей процес має тривати щонайменше 30 хвилин.

Запуск холодного двигуна (без попереднього прогріву) є форс-мажорним режимом. Він допускається лише у виняткових ситуаціях, коли виконати стандартні процедури неможливо. При цьому температура блоку перед пуском має бути не меншою за 20 °C. Після запуску оберти так само плавно піднімають до 90% від номіналу, але перш ніж перейти цей рубіж і вийти на 100% потужності, двигун обов'язково прогрівають на проміжних

обертах до досягнення водою позначки 50 °С (процес нарощування повного навантаження також розтягують мінімум на півгодини). Швидкість прогріву сорочки від 20 °С до 50 °С залежить від загального об'єму теплоносія в системі та поточного навантаження на циліндри. Наведені алгоритми актуальні за умови повної технічної справності всіх вузлів двигуна.

Попередній прогрів дизеля під час стоянки в порту виконують за такими правилами. Якщо час перебування біля причалу є відносно коротким (менше 4–5 діб), глушити контур охолодження не рекомендується. Двигун доцільно утримувати в розігрітому стані, щоб уникнути різких температурних коливань у масиві металу станини та блоку циліндрів, які викликають нерівномірні термічні стискання і, як наслідок, призводять до появи протікань у стиках та ущільненнях. Температуру теплоносія в сорочці підтримують на рівні не нижче 50 °С. Цього досягають або за рахунок перепуску гарячої води від працюючих допоміжних дизель-генераторів, або за допомогою автономних електричних підігрівачів, вбудованих у контур (або комбінацією обох методів). На рис. 2.3 схематично показано два варіанти конфігурації таких систем (варіанти А та В).

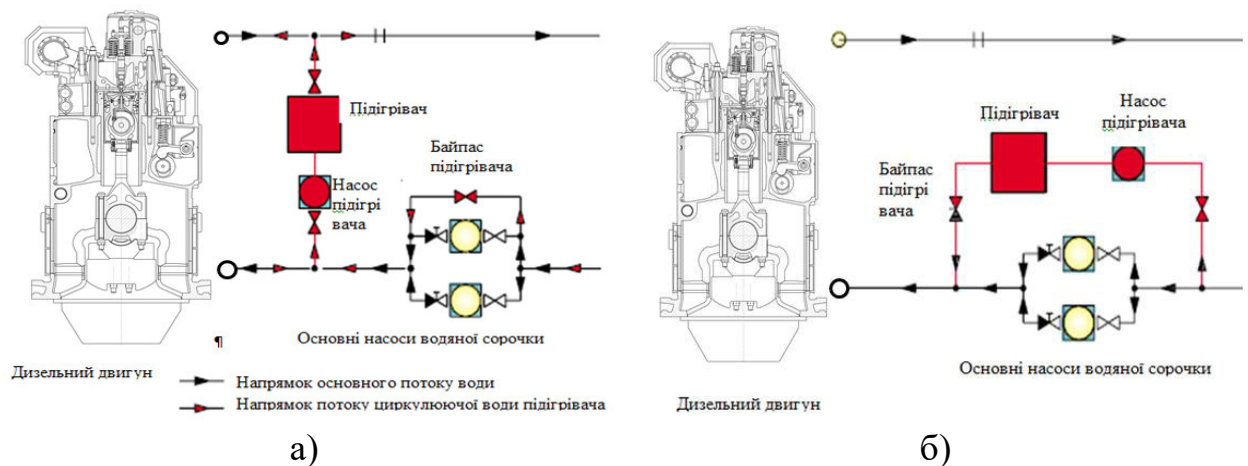


Рисунок 2.3 — Варіанти побудови контуру теплової підготовки води в сорочці охолодження двигуна: а) — конфігурація системи за варіантом А; б) — конфігурація системи за варіантом В.

У варіанті схеми А потік циркулюючої рідини ділиться на два рукави: один прямує безпосередньо через блок двигуна, інший — крізь зовнішню байпасну лінію. Як вказують вектори руху на схемі, гаряча вода від підігрівача

рухається всередині сорочки у напрямку, протилежному до штатного руху води при працюючому дизелі. Оскільки введення гарячого носія здійснюється у верхній зоні двигуна, такий метод забезпечує більш рівномірне та ефективне розсіювання тепла по всьому масиву металу під час стоянки.

У схемі варіанта В блок нагрівача та його циркуляційний насос увімкнені паралельно головним насосам прісної води. Рух теплоносія тут повністю збігається зі штатним напрямком циркуляції в робочому режимі системи.

В обох технічних рішеннях робота нагрівальних елементів автоматично регулюється за сигналами температурного датчика, встановленого на виході з бойлера. Що стосується підбору характеристик обладнання: при інтеграції підігрівача за схемами, показаними на рис. 2.3, об'ємна продуктивність його автономного насоса має становити приблизно 10% від потужності головного циркуляційного насоса системи. Практика експлуатації показує, що оптимальне падіння тиску всередині підігрівача має становити близько 20 кПа. Електричні схеми пуску основного та стоянкового насосів обов'язково обладнують взаємним блокуванням, щоб унеможливити їх одночасне увімкнення під час роботи двигуна. Потужність нагрівальних ТЕНів розраховують на основі заданого часу прогріву та необхідного дельсcross-температур.

Загалом стандартним завданням є підняття температури блока на 35 °С (з початкових 15 °С до робочих 50 °С). Якщо регламентний час прогріву встановлено на рівні 12 годин, потужність стоянкового підігрівача має становити приблизно 1% от номінальної потужності самого дизеля.

2.4. Специфіка архітектури та конструктивного виконання систем охолодження суднових дизелів MaK

Базова заводська комплектація контуру охолодження двигуна MaK 6M43C від концерну Caterpillar Marine Power Systems складається з таких обов'язкових елементів: блока охолодження наддувочного повітря

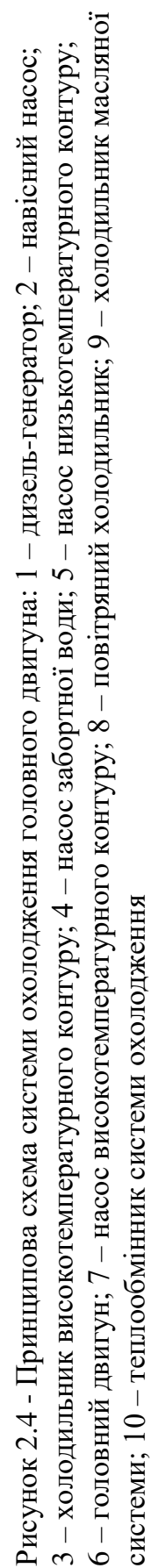
(інтеркулера); модуля електричного попереднього підігріву теплоносія (змонтованого безпосередньо на фундаментній рамі); високотемпературного (НТ) насоса прісної води з безпосереднім механічним приводом від вала двигуна; низькотемпературного (ЛТ) насоса прісної води, який також має механічний привід від дизеля.

За індивідуальним замовленням суднобудівника виробник укомплектовує силову установку додатковим обладнанням, куди входять: пластинчастий комбінований теплообмінник прісна/забортна вода (FW/SW); резервний НТ-насос гарячого контуру з автономним електроприводом; резервний ЛТ-насос холодного контуру з автономним електроприводом; насос прокачування морської води з електричним приводом; автоматизований триходовий терморегулюючий клапан.

Для детального розуміння процесів циркуляції на рис. 2.4 наведено уніфіковану принципову схему систем охолодження для судових двигунів Caterpillar МаК серій M20, M25, M32 та M43.

Контур охолодження МаК побудований за двоконтурним принципом із розділенням прісної води на дві лінії, які замикаються на кінцевий контур заборотної води через центральні теплообмінники. Об'єм теплоносія у закритих лініях має бути постійним; його втрати через природне випаровування компенсуються шляхом автоматичного або ручного доливання. Візуальний контроль та моніторинг рівня здійснюється за допомогою рівнемірних стекол на розширювальному баку системи.

Для суден морського флоту інженери Caterpillar пропонують кілька варіантів компонування. Один із них — винесення водо-водяного теплообмінника за межі корпусу двигуна. При такому монтажі вхідні та вихідні патрубки сорочки дизеля з'єднують із відповідними фланцями окремого термоблока. Насос, що приводиться в дію від двигуна, забезпечує постійний рух морської води крізь внутрішні трубні пучки цього холодильника.



Конфігурація, діаметр та матеріал трубопроводів забортного контуру мають вирішальне значення для безкавітаційної роботи. Якщо лінія всмоктування є занадто довгою або має складну геометрію з багатьма колінами, її діаметр обов'язково збільшують на один розмір порівняно з вхідним патрубком самого насоса. Мінімальний динамічний тиск морської води на вході в насос за будь-яких умов не повинен падати нижче 24 кПа. Для запобігання утворенню повітряних пробок всмоктувальну магістраль намагаються максимально змістити нижче поточної ватерлінії судна.

Безпосередньо за очисним фільтром на трубопроводі встановлюють незворотний клапан із гідроприводом. Його завдання — утримати стовп води в системі та не допустити її зливу за борт при зупинці насоса або під час розкриття фільтра для чищення. Між фільтром та цим клапаном врізають вентиляційний вентиль, через який видаляють повітряні кишені, що утворюються після технічного обслуговування системи та відкриття приймального клінкета. Якщо насосний агрегат з якихось причин змонтований вище лінії ватерлінії, перед його всмоктувальним патрубком роблять петлеподібне (S-подібне) коліно, яке утримує воду в робочій камері і запобігає сухому пуску.

Компанія Caterpillar Marine Power Systems пропонує три типи насосного обладнання для контурів охолодження: роторно-лопатеві насоси з гнучким гумовим імпером (крильчаткою); вихрові насоси; класичні відцентрові агрегати.

Насоси з гумовою крильчаткою мають відмінні показники самовсмоктування та швидкого заповнення камери, проте їхній ресурс різко зменшується при роботі у воді з високим вмістом піску чи інших абразивних часток. Вихрові насоси поступаються лопатевим за швидкістю первинного забору води, але здатні піднімати рідину з глибини до 1,5 метра. Для стабільної роботи вони потребують обов'язкового встановлення 8-подібного коліна на лінії всмоктування для постійного утримання затвора рідини (це коліно виготовляють виключно з корозійностійких сплавів без еластомерних

елементів). Відцентрові насоси проектують так, щоб їхній вхідний патрубок знаходився нижче лінії осадки судна порожнем. Потрапляння повітря у відцентровий насос призводить до миттєвого зриву потоку («втрати заповнення»), що загрожує швидким перегрівом та аварійною зупинкою двигуна через припинення циркуляції.

Очисні фільтри призначені для захисту лопатевих коліс насосів, внутрішніх поверхонь теплообмінників та інших елементів від сміття, яке може забити капіляри або створити наліт, що погіршує теплообмін. Якщо тверді частинки мають абразивну структуру, вони викликають прискорений ерозійний знос крильчаток та деталей із кольорових металів. Фільтрувальні блоки монтують нижче ватерлінії в безпосередній близькості до донного або бортового крана в місцях із легким та безпечним доступом для обслуговування навіть під час шторму.

Для роботи системи достатньо встановити фільтр «симплексного» (одиначного) типу, проте використання «дуплексних» (здвоєних) конструкцій суттєво підвищує рівень безпеки судна. Дуплексна архітектура дозволяє перенаправляти потік води на чисту гілку і обслуговувати забиту сітку без зупинки двигуна та переривання подачі води в холодильники. Осередки фільтрувальної сітки повинні затримувати всі сторонні об'єкти, розмір яких перевищує 1,6 мм.

Плаваюче сміття (водорості, пластикові пакети), дрібна риба або крижана крихта здатні миттєво забити фільтр. Головним індикатором критичного забруднення є стрімке зростання перепаду тиску на фільтрувальному елементі. Спеціальний диференційний датчик тиску (дифманометр) вчасно фіксує це відхилення і подає сигнал на місток або ЦПУ про зниження витрати охолоджуючої води. Датчик теплового захисту двигуна також здублює це сповіщення, але саме диференціальний моніторинг перепаду тиску дозволяє виявити проблему на ранній стадії та запобігти термічному перевантаженню всієї системи охолодження.

2.5. Математичне моделювання та теплотехнічний розрахунок параметрів системи охолодження

Аналіз теплового балансу суднового дизеля (на прикладі базової схеми, наведеної на рис. 2.4) показує, що лише частина енергії, яка виділяється внаслідок згоряння палива всередині циліндрів, перетворюється на корисну індикаторну роботу (до 47%). Із залишку теплоти приблизно 25% розсіюється у навколишнє середовище разом із вихлопними газами, а решта (у межах 25...28%) потребує примусового відведення за допомогою теплоносія задля запобігання критичному перегріву конструктивних елементів двигуна. Для забезпечення циркуляції рідини в найбільш навантажених деталях (втулках і кришках циліндрів, поршнях, корпусах випускних клапанів) передбачені спеціальні внутрішні порожнини або зарубашковий простір.

Для підтримання температурного режиму сучасних суднових дизелів використовують дві ключові конфігурації: проточну та замкнену. У першому випадку спеціалізований помповий агрегат забирає воду безпосередньо з кінгстона і прокачує її крізь охолоджувальні канали двигуна, після чого вона скидається за борт. У замкненому (двоконтурному) варіанті зарубашковим простором циркулює прісна вода, яка згодом віддає отримане тепло морській воді у проміжному теплообмінному апараті, після чого знову повертається в контур дизеля. Попри очевидну конструктивну простоту проточної схеми, їй притаманна низка критичних експлуатаційних недоліків (інтенсивне солевідкладення, корозія), через що на сучасних судах вона взагалі не застосовується.

Для виконання теплотехнічного розрахунку як вихідні дані прийнято режимні параметри силової установки [4]:

- Номінальна ефективна потужність головного двигуна МаК 6М43С: $N_e = 5400 \text{ кВт}$
- Частота обертання колінчастого вала: $n_d = 500 \text{ хв}^{-1}$
- Нижня теплота згоряння палива: $Q_p^H = 42000 \text{ кДж/кг}$.

Продуктивність нагнітального насоса, що обслуговує високотемпературний (прісноводний) контур, визначається за залежністю:

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

де: $K_m = 1,2 \dots 1,5$ — коефіцієнт експлуатаційного запасу подачі теплоносія (приймаємо $K_m = 1,3$); Q_{op} — сумарна кількість теплоти, що поглинається прісною водою від деталей дизеля у внутрішньому контурі, кДж/год; $C_m = 4,2$ кДж/(кг·°C) — питома теплоємність прісної води; $\rho_m = 969,3$ кг/м³ — густина прісної води при середній робочій температурі; $t_{2m} = 85$ °C — гранична температура гарячого теплоносія на виході з сорочки двигуна; $t_{1m} = 55$ °C — температура охолоджувальної води на вході в двигун.

Обсяг теплоти Q_{op} , який необхідно безперервно відводити від двигуна, розраховується на основі годинної витрати палива та його теплотворної здатності:

$$Q_{op} = a_m \cdot G_e \cdot N_e \cdot Q_p^H \quad (2.2)$$

де $a_m = 0,1$ — частка теплоти згоряння палива, що передається в охолоджувальний контур сорочок циліндрів; $G_e = 178$, г/(кВт·год) — питома витрата палива на номінальному режимі.

$$Q_{op} = 0,1 \cdot 0,178 \cdot 5400 \cdot 42000 = 4037040, \text{ кДж/г},$$

Підставивши знайдене значення теплового навантаження у рівняння (2.1), визначимо необхідну об'ємну подачу насоса високотемпературного контуру:

$$V_{HT} = \frac{1,3 \cdot 4037040}{4,2 \cdot 969,3 \cdot (85 - 55)} = 42,9 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.3)$$

Загальна місткість (вміст рідини) циркуляційної системи охолодження становить:

$$W_C = \frac{V_{HT} \cdot z}{K_m}, \text{ л}, \quad (2.4)$$

де $z = 20$ — кратність циркуляції (запас води) в робочих контурах.

$$W_C = \frac{42,9 \cdot 20}{1,3} = 660 \text{ л} = 0,66 \text{ м}^3, \quad (2.4)$$

Розрахунковий об'єм суднової стічної (дренажної) цистерни для зливу системи охолодження:

$$W_{\text{ст}} = n \cdot W_c = 1,0 \cdot 0,66 = 0,66 \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

де $n = 1,0$ — нормативна кількість повних замін об'єму теплоносія за період автономного рейсу судна.

Місткість розширювального (витратного) бака системи:

$$W_{\text{вир}} = 0,15 \cdot W_c \quad (2.6)$$

$$W_{\text{вир}} = 0,15 \cdot 0,66 = 0,099 \text{ м}^3 \approx 100 \text{ л}$$

Сумарний об'єм цистерни запасного теплоносія розраховується з урахуванням масового запасу палива на борту:

$$W_{\text{зап}} = K_z \cdot G_{\text{пал}} \quad (2.7)$$

$$W_{\text{зап}} = 0,05 \cdot 140 = 7,0 \text{ т} \quad (2.8)$$

де $K_z = 0,05$ — нормативний коефіцієнт запасу; $G_{\text{пал}} = 140 \text{ т}$ — повний бортовий запас дизельного палива.

Необхідна площа поверхні теплообміну для масляного холодильника дорівнює:

$$F_{\text{MX}} = \frac{Q_{\text{OP}}}{3,6 \cdot K \cdot \Delta t_{\text{cp}}}, \text{ м}^2, \quad (2.8)$$

де $K = 400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ — усереднений коефіцієнт теплопередачі; Δt_{cp} — середній температурний напір в апараті.

$$F_{\text{MX}} = \frac{4037040}{3,6 \cdot 400 \cdot 35} = 80,1 \text{ м}^2$$

Розрахункова температура заборотної води на вході в холодильник вибирається відповідно до планового району експлуатації судна за даними табл. 2.2. Необхідна продуктивність насоса забортного контуру для стабільного охолодження робочих середовищ обчислюється за формулою:

$$V_{\text{зб}} = K_z \cdot \frac{Q_m \cdot 10^{-3}}{C_e \cdot \rho_e \cdot (t_{2z} - t_{1z})}, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (2.9)$$

де: $K_z = 1,5$ — коефіцієнт запасу подачі заборотної помпи; $c_{\text{мв}} = 4,174 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ — питома теплоємність морської води; $\rho_{\text{мв}} = 0,97 \text{ т}/\text{м}^3$ (або $970 \text{ кг}/\text{м}^3$) — середня густина морської води.

Таблиця 2.2 — Розрахункові температурні параметри заборного середовища

Географічний район навігації	Стандартна температура води, °С
Карибський морський басейн	31 (макс. 36)
Акваторія Мексиканської затоки	29
Необмежений район плавання (Світовий океан)	24
Судна змішаного (річка-море) типу	27

$$V_{36} = \frac{1,5 \cdot 4037040}{4,174 \cdot 970 \cdot (37 - 32)} = 299,1 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Для подальшого проектування та перевірочних розрахунків, згідно з технічним регламентом заводу-виробника двигуна, номінальну об'ємну витрату в низькотемпературному контурі («холодної» морської води) приймаємо на рівні $L_{\text{хв}} = 300 \text{ м}^3/\text{год}$.

2.6. Конструктивний та теплотехнічний розрахунок пластинчастого теплообмінника системи охолодження

Теплообмінний апарат низькотемпературного контуру судна функціонує за класичною одноходовою протиточною схемою, яку наочно представлено на рис. 2.5.

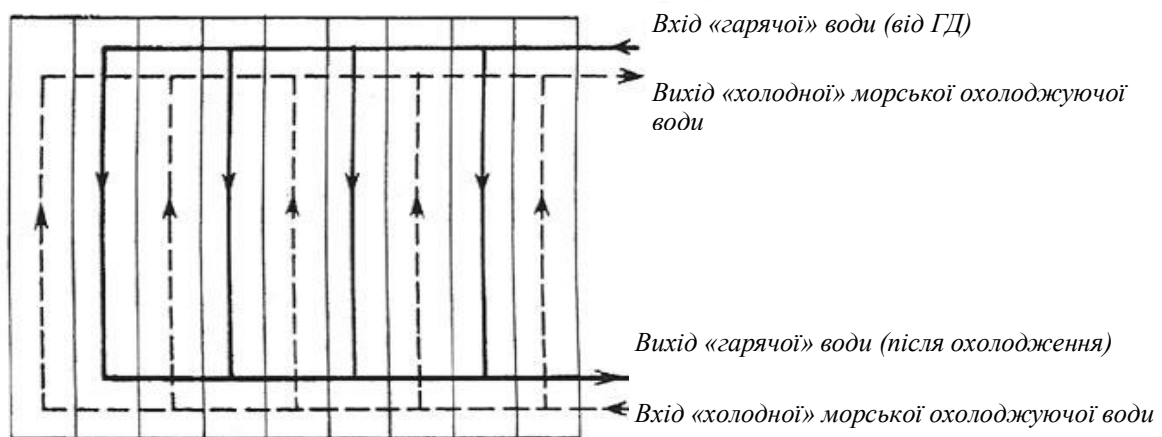


Рисунок 2.5 — Схема руху потоків в одноходовому пластинчастому теплообміннику

Вихідні параметри для виконання перевірного інженерного розрахунку апарата (згідно зі специфікацією *cooling water system* [2]) згруповано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 — Технічні умови та базові дані для розрахунку теплообмінника

№	Конструктивний або режимний параметр	Позначення	Значення
1	Початкова температура гарячого теплоносія	$t_{ГВ1}$	45,2°C
2	Кінцева температура гарячого теплоносія	$t_{ГВ2}$	38 °C
3	Питома теплоємність гарячої води	$c_{ГВ}$	4,177 кДж/(кг·°C)
4	Фізична густина гарячої води	$\rho_{ГВ}$	990,5 кг/м ³
5	Номінальна об'ємна витрата гарячої води	$L_{ГВ}$	140 м ³ /год
6	Температура морської води на вході в апарат	$t_{ХВ1}$	32 °C
7	Температура морської води на виході з апарата	$t_{ХВ2}$	37°C
8	Питома теплоємність морської води	$c_{ХВ}$	4,174 кДж/(кг·°C)
9	Фізична густина морської води	$\rho_{ХВ}$	969 кг/м ³

Для виконання динамічних розрахунків визначимо масову витрату гарячого теплоносія, перевівши об'ємні одиниці в систему СІ:

$$G_{ГВ} = (L \cdot \rho_{ГВ}) / 3600 \quad (2.11)$$

$$G_{ГВ} = 140 \cdot 990,5 / 3600 = 38,52 \text{ кг/с}$$

Поточне теплове навантаження на пластинчастий апарат становить:

$$Q = G_{ГВ} \cdot c_{ГВ}(t_{ГВ2} - t_{ГВ1}) \quad (2.12)$$

$$Q = 38,52 \cdot 4,177 \cdot (45,2 - 38) = 1158,5 \text{ кВт}$$

З метою забезпечення надійності при роботі на граничних режимах (відповідно до документації *heat balance 6M43C – 900 kW/cyl* [2, 4]), для подальшого проектування приймаємо розрахункову теплову потужність із запасом — $Q_{рас} = 1175 \text{ кВт}$.

Реальна масова витрата охолоджувального середовища (морської води), що проходить крізь внутрішні канали між пластинами, розраховується з рівняння теплового балансу з урахуванням коефіцієнта втрат:

$$G_{\text{хв}} = Q / c_{\text{хв}}(t_{\text{хв}2} - t_{\text{хв}1}) \eta \quad (2.13)$$

де $\eta = 0,93$ — коефіцієнт, який враховує розсіювання тепла у навколишнє середовище.

$$G_{\text{хв}} = 1175 / 4,174 \cdot (37 - 32) \cdot 0,93 = 59,7 \text{ кг / с}$$

При розрахунку проточних каналів пластинчастих апаратів за критерієм мінімального гідравлічного опору приймаємо оптимальну швидкість руху рідинних потоків $\omega_{\text{омв}} = 0,4 \text{ м/с}$. За цією умовою знайдемо необхідну кількість міжпластинчастих каналів для гарячого контуру:

$$m_{\text{хв}} = G_{\text{ГВ}} / \omega_{\text{омв}} \cdot f_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{ГВ}} \quad (2.14)$$

де $f_{\text{к}} = 0,00243 \text{ м}^2$ — площа живого перерізу одного окремого каналу між суміжними пластинами.

$$m_{\text{хв}} = 38,52 / 0,4 \cdot 0,00243 \cdot 990,5 = 40,01 \approx 40 \text{ каналів}$$

Враховуючи симетричне компонування пакета пластин досліджуваного холодильника, кількість каналів для обох середовищ є однаковою ($m_{\text{хв}} = m_{\text{ГВ}} = m = 40$).

Сумарна площа живого перерізу пакетів пластин для проходу гарячої та холодної води відповідно становить:

$$f_{\text{ГВ}} = f_{\text{хв}} = f_{\text{хв}} \cdot m_{\text{ГВ}} \quad (2.15)$$

$$f_{\text{ГВ}} = f_{\text{хв}} = 0,00243 \cdot 40,01 = 0,097$$

Дійсні (фактичні) швидкості руху робочих середовищ у каналах дорівнюють:

- для гарячої прісної води:

$$\omega_{\text{ГВ}} = G_{\text{ГВ}} / f_{\text{ГВ}} \cdot \rho_{\text{ГВ}} = 38,52 / 0,097 \cdot 990,5 = 0,4 \text{ м/с}$$

- для забортної морської води:

$$\omega_{\text{хв}} = G_{\text{хв}} / f_{\text{хв}} \cdot \rho_{\text{хв}} = 59,7 / 0,097 \cdot 994 = 0,62 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт інтенсивності тепловіддачі α_1 від гарячого теплоносія до металевої стінки пластини обчислюється за напівемпіричною залежністю:

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \bar{t}_{\text{св}} - 0,63 \cdot \bar{t}_{\text{св}}^2) \cdot \omega_{\text{ГВ}}^{0,73} \quad (2.16)$$

де $\alpha_1 = 0,9$ — конструктивний коефіцієнт профілю пластини; $\bar{t}_{2\theta} = (45,2 + 38)/2 = 41,6$ °C — середня температура прісної води.

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot 0,9 \cdot (23000 + 283 \cdot 41,6 - 0,63 \cdot 41,6^2) \cdot 0,4^{0,73} = 18004,27$$

Аналогічно визначимо коефіцієнт тепловіддачі α_2 з протилежного боку пластини до морської води, де середня температура дорівнює $\bar{t}_{x\theta} = (32+37)/2 = 34,5$ °C:

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \bar{t}_{x\theta} - 0,63 \cdot \bar{t}_{x\theta}^2) \cdot \omega_{XB}^{0,73} \quad (2.17)$$

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot 0,9 \cdot (23000 + 283 \cdot 34,5 - 0,63 \cdot 34,5^2) \cdot 0,62^{0,73} = 23562,6$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі k пластинчастого пакета з урахуванням експлуатаційного забруднення стінок становить:

$$k = \beta / ((1 / \alpha_1) + (1 / \alpha_2) + (\delta_{cm} / \lambda_{cm})) \quad (2.18)$$

де: $\beta = 0,81$ — коефіцієнт термічного опору відкладень (накипу, замулювання); $\delta_{cm} = 0,0006$ м — товщина металевієї пластини; $\lambda_{cm} = 18,2$ Вт/(м·°C) — коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі марки AISI 316.

$$k = 0,81 / (1 / 18004,27) + (1 / 20053,3) + (0,0006 / 18,2) = 5785,7$$

Необхідна площа активної поверхні теплообміну дорівнює:

$$F_{\text{необх}} = Q \cdot 10^3 / k \cdot \Delta t, \quad (2.19)$$

де $\Delta t_{\text{лог}}$ — середній логарифмічний температурний напір протитоку:

$$\Delta t_{\text{лог}} = (\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln (\Delta t_6 / \Delta t_m) \quad (2.20)$$

$\Delta t_m = t_{\text{ГВ}2} - t_{\text{ХВ}1} = 38 - 32 = 6$ °C — мінімальний температурний перепад;

$\Delta t_6 = t_{\text{ГВ}1} - t_{\text{ХВ}2} = 45,2 - 37 = 8,2$ °C — максимальний температурний перепад.

$$\Delta t_x = (8,2 - 6,0) / \ln (8,2 / 6,0) = 7,05$$

$$F_{\text{необх}} = 1175 \cdot 10^3 / (6195,4 \cdot 7,05) = 26,9 \text{ м}^2$$

Визначимо кількість ходів середовищ X в апараті:

$$X = F_{\text{необх}} / (2 \cdot m \cdot f_{\text{пл}}) \quad (2.21)$$

де $f_{\text{пл}} = 1,4 \text{ м}^2$ — корисна площа однієї стандартної пластини теплообмінника.

$$X = (26,9+1,4) / (2 \cdot 40,01 \cdot 1,4) = 0,24$$

Отримане значення округлюється до найближчого більшого цілого числа, тобто приймаємо кількість ходів $X = 1$ (одноходовий теплообмінник). В апаратах такої конфігурації всі чотири приєднувальні штуцери вхідних та вихідних магістралей змонтовані на фронтальній нерухомій плиті.

Дійсна (фактична) площа теплообмінної поверхні зібраного пакета становить:

$$F_{\text{дійсн}} = (2 \cdot m \cdot X - 1) \cdot f_{\text{пл}} \quad (2.22)$$

$$F_{\text{дійсн}} = (2 \cdot 40 \cdot 1 - 1) \cdot 1,4 = 110,6 \text{ м}^2$$

За умови паралельного підключення двох ідентичних теплообмінних апаратів, робоча площа кожного з них має бути не меншою за:

$$F_{\text{то}} = F_{\text{дійсн}} / 2 = 110,6 / 2 = 55,3 \text{ м}^2 \quad (2.23)$$

Зведені технічні характеристики розрахованого пластинчастого теплообмінника представлено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 — Фінальна технічна характеристика пластинчастого теплообмінника

Найменування конструктивного параметра	Розраховане нормативне значення
Робоче середовище (гарячий / холодний контур)	прісна вода / морська вода
Гранична температура робочого середовища	45,2°C
Загальна фактична площа теплообміну пакета	110,6 м ²
Пропускна здатність по контурах (гв / хв)	140 / 200 м ³ /год
Максимальний робочий тиск у корпусі	3,0 МПа
Матеріал ущільнювальних прокладок	EPDM
Конструкційний матеріал та товщина пластин	AISI 316 – 0,5 мм
Умовний діаметр підвідних патрубків	DN 150
Внутрішнє компонування каналів	одноходове
Загальна кількість пластин у пакеті	81 шт.

За результатами аналітичного проектування конструкції пластинчастого апарата було оцінено вплив сезонних коливань температури забортного середовища на параметри теплообміну. Метою моделювання було визначення можливості модернізації існуючих судових систем шляхом

доукомплектування пакетів додатковими пластинами у разі переходу судна в тропічні регіони плавання.

Було встановлено, що підвищення початкової температури морської води на вході призводить до нелінійного зростання потреби в масовій витраті «холодного» теплоносія (рис. 2.6). У реальних умовах експлуатації це вимагатиме форсування режимів роботи або повної заміни забортних насосів СЕУ на більш продуктивні, що знижує загальну надійність і ресурс суднового обладнання.



Рисунок 2.6 — Залежність масової витрати охолоджувального середовища від коливань температури морської води на вході в теплообмінник

Критичним лімітуючим фактором у цьому процесі є температура теплоносія на виході з апарата. Будь-яке перевищення цього параметра автоматично викликає ланцюгову реакцію — зростання температурного рівня у високотемпературному прісному контурі дизеля, що зміщує робочу точку за межі безпечного експлуатаційного діапазону.

Виконаний теплотехнічний розрахунок доводить, що обрані пластинчасті теплообмінники повністю задовольняють усім вимогам СЕУ і здатні забезпечити стабільну роботу двигуна МаК 6М43С як в одиночному, так і в паралельному режимах роботи залежно від кліматичних умов району плавання.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РЕМОНТУ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА MaK 6M43C НА СУДНІ «OSLO FJORD 1»

3.1. Практичні аспекти експлуатації та конструктивні особливості елементів водоохолоджувального контуру

Помпові агрегати забортного контуру традиційно монтують у найнижчих точках машинного простору. Таке просторове розташування гарантує безперебійне заливання водяних контурів і стабільну роботу насосів навіть в умовах тривалого нахилу судна (за умов крену до 15° та диференту до 5°). Прийом морської води здійснюється через донний або бортовий кінгстонні ящики, які інтегровані в єдину магістраль за допомогою перепускних трубопроводів, від яких відгалужуються всмоктувальні лінії насосів. Зовнішні приймальні отвори захищені щільними решітками. Щоб уникнути надмірного гідравлічного опору, площа живого перерізу цих отворів має щонайменше у 2,5 рази перевищувати внутрішній прохідний переріз самих кінгстонів або клінкетних засувок. Конструкція приймальних боксів розраховується так, щоб швидкість вхідного потоку на решітках не перевищувала 0,5 м/с.

Для боротьби з обмерзанням та біообростанням кожен кінгстонний ящик оснащується системою очищення. Вона виконана у вигляді перфорованої трубної секції, через яку подається стиснене повітря, прісна вода або гостра пара під тиском до 0,49 МПа. Повітряні кишені, що утворюються у верхніх точках, стравлюються через повітряні клапани. Внутрішній огляд та дефектація приймальних боксів виконуються під час докування судна через герметичні горловини (лази). Для нейтралізації гальванічної корозії у водяних порожнинах обов'язково встановлюють жертвні цинкові аноди (протектори). Загальну архітектуру очисного пристрою забортної води представлено на рис. 3.1. Ресурсні показники судових фільтрів до моменту першого

заводського ремонту становлять від 2,5 до 10 років (або 12...60 тис. годин нальоту), а граничний термін експлуатації до списання варіюється в межах 5...25 років (що еквівалентно 25...120 тис. годин роботи).

Комплекс водяного охолодження судна об'єднує групу спеціалізованих теплообмінних апаратів: водомасляні (для стабілізації температури циркуляційного мастила дизеля), водо-водяні (для обслуговування замкненого контуру прісної води сорочок) та водоповітряні (для охолодження повітряного заряду після турбокомпресора).

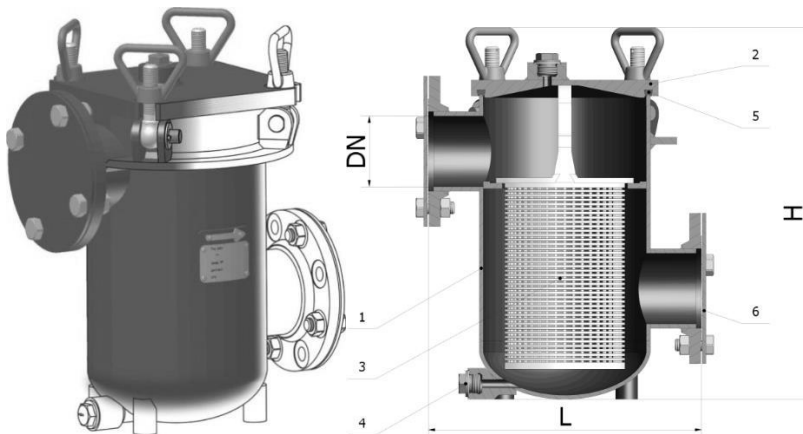


Рисунок 3.1 — Конструкція суднового фільтра забортної води: 1 — литий корпус; 2 — знімна кришка; 3 — сітчастий фільтрувальний патрон (елемент); 4 — дренажна спускна пробка; 5 — ущільнювальна прокладка; 6 — запірна заглушка.



Рисунок 3.2 — Автоматичний терморегулятор суднового охолоджувального контуру

Паралельно головній магістралі охолодження підключаються локальні теплообмінники, що забезпечують температурний режим газотурбінних нагнітачів, реверс-редукторних передач, форсуночного вузла та іншого допоміжного обладнання.

У сучасній суднобудівній практиці використовуються апарати трубчастого або пластинчастого типів. Регламентне обслуговування та ремонт цих пристроїв полягає в механічному або хімічному очищенні внутрішніх каналів від мулу та накипу, дефектації й заміні анодних пластин, а для трубчастих моделей — у глушінні або перевальцюванні пошкоджених трубок. За умов навігації в чистих океанських районах розкриття та ревізію водяних порожнин проводять за графіком не рідше одного разу на рік.

Ці роботи виконуються через інспекційні люки, на внутрішній поверхні яких зафіксовані цинкові протектори. Якщо знос анода за масою перевищує 50%, його негайно замінюють новим. Під час руху мілководдям чи у забруднених річкових акваторіях огляд теплообмінників проводять позачергово, орієнтуючись на стрімке зростання гідравлічного опору та падіння ефективності теплопередачі. Оскільки робочий тиск у контурі заборотної води завжди свідомо тримають нижчим, ніж у прісноводній системі, герметичність трубних пучків легко контролювати за інтенсивністю витоків (втрати рівня) прісної води. На судах необмеженого району плавання для забезпечення живучості СЕУ завжди встановлюють дубльовану пару охолоджувачів.

На сучасному флоті найбільше визнання здобули розбірні пластинчасті теплообмінні апарати (РПТО), які є найбільш ефективним інженерним рішенням у сфері суднової теплотехніки. Їхня конструкція та принцип дії відзначаються високою практичністю. При стисканні пакета гофрованих пластин утворюється мережа каналів, якими циркулюють робочі середовища. Усі теплообмінні пластини в пакеті є ідентичними, але при збиранні кожна наступна повертається відносно попередньої на 180 градусів. Таке взаємне розташування формує сувору черговість «гарячих» і «холодних» каналів.

Рідини найчастіше рухаються назустріч одна одній (у протитоці), завдяки чому гарячий теплоносіє ефективно віддає енергію через тонку металеву стінку. Щоб запобігти внутрішнім перетіканням та змішуванню середовищ, у зонах портів передбачено подвійне гумове ущільнення з контрольною канавкою. Блочно-модульна архітектура апарата дозволяє швидко модернізувати його (змінювати потужність шляхом додавання чи вилучення пластин) або проводити оперативний ремонт у разі пошкодження окремого ущільнення чи пластини.

До базових конструктивних вузлів РПТО належать:

- Пакет теплообмінних пластин. Їхня кількість, геометрія рифлення та матеріальне виконання розраховуються під конкретну теплову програму.

Залежно від хімічної агресивності середовищ, пластини штампують із хромонікелевих або хромонікельмолібденових нержавіючих сталей, а для контурів із прямою циркуляцією морської води — з високоміцного титану.

- Ущільнювальні прокладки. По периметру кожної пластини випресовано спеціальний фігурний паз для еластомерного ущільнення. Прокладки ізолюють канали, блокуючи витоки за борт та внутрішнє змішування рідин. Матеріалом для них слугує нітрильний каучук (NBR), етиленпропіленовий еластомер (EPDM) або фторкаучук (Viton), залежно від температурного режиму та робочого тиску.

- Опорна рама. Складається з масивної нерухомої плити, рухомої притискної плити, верхньої і нижньої напрямних консолей та задньої стійки. Набір шпильок забезпечує рівномірне стягування пакета пластин між плитами до досягнення розрахункового монтажного розміру.

Суміжні пластини формують щілинні канали, в яких попеременно рухаються гріюче та охолоджувальне середовища. Стабілізація теплового стану суднового дизеля полягає у прецизійному підтриманні постійної температури прісної води на виході з двигуна на всіх експлуатаційних режимах, що реалізується за допомогою автоматичних терморегуляторів.

Автоматичний регулятор температури (термостат) працює в парі з байпасним (обвідним) трубопроводом. Залежно від поточного теплового стану, клапан терморегулятора ділить потік: направляє потрібну частину гарячої води з сорочок двигуна до холодильника, а решту пускає в обхід. У змішувальному вузлі (або розширювальному баку) охолоджена та гаряча вода поєднуються, після чого теплоносії із оптимальною температурою знову подається помпою в сорочки циліндрів.

Залежно від проекту СЕУ, терморегулюючі клапани можуть здійснювати контроль на потоці всмоктування (керований впуск) або на потоці зливу (керований випуск). За умови однакових налаштувань чутливих елементів конфігурація системи не впливає на кінцеву температуру сорочок. При будь-якій схемі датчик термостата завжди омивається водою, що

виходить із двигуна, і саме цей параметр визначає положення виконавчого органу клапана. Схеми з керованим впуском вважаються більш стабільними, оскільки змішування гарячого байпасного потоку з охолодженою водою відбувається в буферній ємності безпосередньо перед насосом, що мінімізує температурні коливання в контурі.

Терморегулятори здійснюють кількісне або якісне регулювання потоків методами «розділення» або «змішування» і однаково успішно експлуатуються як у прісних, так і в солоноводних контурах (рис. 3.2). Виконавчі клапани налаштовані так, щоб температура на вході в охолоджувач наддувочного повітря та маслоохолоджувачі ні за яких умов не падала нижче 10 °C (для уникнення температурного шоку та випадання конденсату).

Графік планового технічного обслуговування вимагає демонтажу терморегулятора та повної перевірки працездатності його термоелементів кожні 7000 годин нальоту. Параметри спрацьовування задаються заводом-виробником під час виготовлення; будь-яке відновлення чи ремонт внутрішніх елементів (термостатів) у суднових умовах неможливі. У разі виявлення дефектів весь комплект термоелементів замінюють повністю. При повній відмові автоматики передбачено режим ручного керування: для примусового зниження температури необхідно повернути регульовальний важіль за годинниковою стрілкою. Проте такий режим є суто аварійним і тривала експлуатація на ньому заборонена.

Для демонтажу, дефектації або заміни компонентів терморегулятора виконують такий алгоритм дій: повністю осушують пов'язані ділянки трубопроводів; віддають гайки та відкручують фланцеві з'єднання підвідних магістралей; обережними обертальними рухами виймають корпус регулятора з посадочного місця; проводять ретельне промивання деталей з наступним продуванням стисненим повітрям; протирають внутрішні поверхні та перевіряють корпус на наявність пітингової або виразкової корозії.

Для верифікації працездатності термоелемента: пристрій занурюють у калібрувальну водяну ванну, температура якої на 15 °C перевищує номінальну

робочу точку, зазначену в паспорті; візуально контролюють рух штока — клапан повинен відкриватися плавно, без ривків, заїдань чи перекосів.

Під час зворотного збирання та монтажу терморегулятора на штатне місце всі гумові ущільнювальні кільця замінюють новими, а після запуску контуру систему ретельно перевіряють на герметичність під робочим тиском.

3.2. Регламент та загальні заходи з технічного обслуговування системи охолодження

Моніторинг стану охолоджувальних контурів та хімічний аналіз теплоносія проводяться за чітким часовим графіком. Усі результати вимірювань обов'язково заносять до машинного журналу для відстеження динаміки та тенденцій зміни параметрів води. За першої можливості (під час стоянок) внутрішні порожнини системи проглядають на наявність намулу, шламів та твердих відкладень.

Обов'язковій інспекції підлягають трубні секції, зарубашкові простори верхньої частини циліндрових втулок, кришки циліндрів та зони посадочних сидел випускних клапанів.

Поява шламових відкладень зазвичай зумовлена: проникненням сторонніх забруднень у водяний тракт; деградацією цинкових гальванічних покриттів, присутніх у системі.

Практичний досвід показує, що використання оцинкованих труб у контурах прісної води часто призводить до зворотного ефекту: цинк активно кородує з утворенням великої кількості пластівчастого шламу, навіть за умови належного інгібування рідини. Окрім того, регулярне промивання контурів кислотними розчинами повністю руйнує цей захисний шар. Через це застосування оцинкованого прокату в прісноводних лініях СЕУ не рекомендується.

Відбір проб теплоносія для аналізу здійснюють щотижня виключно на працюючому двигуні. Воду беруть безпосередньо з робочого циркуляційного контуру (заборонено брати проби з розширювального бака чи застійних

дренажних ліній). Хімічний стан води контролюють за допомогою суднової міні-лабораторії, яка постачається виробником антикорозійних присадок.

Обов'язковому контролю підлягають такі індикатори:

- Концентрація інгібітора. Падіння вмісту присадки нижче ліміту, встановленого хімлабораторією, різко підвищує ризик корозійного руйнування металу. Якщо виробник вказує робочий діапазон «від-до», концентрацію завжди намагаються утримувати біля верхньої межі.

- Водневий показник рН. При температурі 20 °С цей параметр має перебувати в межах 8,5...10.

Різде падіння рівня рН, що часто супроводжується зростанням концентрації сульфатів, однозначно свідчить про прорив вихлопних газів у водяну сорочку через дефекти ущільнень або тріщини в кришці циліндра. Тимчасово підняти рН можна додаванням свіжої порції присадки, але у разі значних відхилень теплоносії підлягає повній заміні.

- Вміст хлоридів. Гранична норма становить 50 мг/л (ppm). У форс-мажорних обставинах допускається короточасне зростання до 100 мг/л, але слід орієнтуватися на нормативи постачальника хімії. Збільшення концентрації хлористих солей сигналізує про внутрішні протікання заборотної води через трубні пучки чи пластини холодильників. Таке підсолювання необхідно локалізувати та усунути за першої інженерної можливості.

Періодичність планового контролю: щотижня — експрес-аналіз на борту судна; щоквартально — відбір та відправка проби для розширеного лабораторного аналізу на берег (контроль вмісту заліза, сульфатів, активних речовин та загальної мінералізації); щороку — повне спорожнення контуру, промивання та заповнення свіжою водою з введенням повної дози інгібіторів.

Кожні 4–5 років експлуатації (або після тривалої консервації судна), спираючись на дані дефектації, проводять комплексне генеральне очищення системи від оливних шламів, продуктів корозії та кальцієвого накипу з наступним заповненням кондиційною хімічно обробленою водою.

Компенсація втрат (витоків) здійснюється виключно чистим дистилятом. Після будь-яких ремонтних робіт (наприклад, після перебирання окремого циліндра чи заміни втулки) нову порцію інгібіторів вводять негайно. Концентрацію хімії перевіряють після кожного масштабного оновлення води в системі.

Загальні інженерні рекомендації: Первинне очищення та промивання системи є обов'язковими передумовами перед першим введенням інгібітора в новий або відремонтований контур. Це гарантує формування однорідної захисної пасиваційної плівки на металі та оптимізує теплообмін. Очищення включає стадію лужного знежирення (видалення оливних конгломератів) та стадію кислотного травлення (руйнування іржі та водного каменю).

Реагенти для очищення: Спеціалізовані хімічні сполуки купують у сертифікованих брендів, які здійснюють повне технічний супровід та лабораторний моніторинг контурів (див. табл. 2.1).

Інструкцій постачальників хімії слід дотримуватися беззастережно. Робочі розчини не повинні руйнувати структуру еластомерів, прокладок та торцевих ущільнень насосів. Перед застосуванням необхідно підтвердити сумісність хімії з усіма конструкційними матеріалами СЕУ. Заборонено засипати чи заливати концентровані очисні засоби безпосередньо в контур — їх попередньо повністю розчиняють у буферній ємності з водою. Для видалення замаслених відкладень використовують водні емульсії або слабкі лужні розчини. Застосування легкозаймистих рідин (бензин, гас) для промивання замкнених контурів суворо заборонено з міркувань пожежної безпеки.

3.2.1. Хімічні характеристики та вимоги до складу теплоносія

При підготовці води для заливання в систему приділяють особливу увагу її мінеральному складу, оскільки він безпосередньо впливає на надійність роботи ДВЗ. Вода є універсальним розчинником, тому в ній завжди присутні солі, луги, кислотні залишки, а також розчинені гази (кисень O_2 , азот

N_2 , вуглекислота CO_2). Наявність у рідині розчинених солей кальцію та магнію визначає її жорсткість. Загальноприйнятою одиницею вимірювання є міліграм-еквівалент солей на один літр води (мг-екв/л). Один такий еквівалент відповідає наявності в літрі води 20,04 мг іонів Ca або 12,16 мг іонів Mg.

Тимчасова (карбонатна) жорсткість обумовлена присутністю розчинних бікарбонатів кальцію $Ca(HCO_3)_2$ та магнію $Mg(HCO_3)_2$. При термічному нагріванні ці сполуки нестабільні й розпадаються на практично нерозчинні карбонати, що випадають в осад (накип), та вільний вуглекислий газ, який видаляється в атмосферу. Постійна (некарбонатна) жорсткість залежить від наявності солей, які залишаються у розчиненому стані навіть при кип'ятінні, якщо їхня концентрація не перевищує межу насичення. До цієї групи належать сульфати й хлориди кальцію та магнію ($CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$). Загальна жорсткість води визначається як сума її карбонатної та некарбонатної складових.

Мінімальний вміст мінеральних солей має дощова (атмосферна) та дистильована вода.

Розчинені гази є головними винуватцями активації процесів корозії, тоді як тверді солі утворюють на теплопередаючих поверхнях шар накипу, який має вкрай низький коефіцієнт теплопровідності. Через це водний камінь викликає локальний перегрів металу деталей ЦПГ, перевитрату палива й мастила, падіння ефективної потужності дизеля, прискорений механічний знос та появу термічних тріщин через значні внутрішні напруження. Попадання нафтопродуктів у водяний тракт є надзвичайно небезпечним: олива не лише погіршує теплопровідність накипу, а й провокує інтенсивне спінювання рідини з її подальшим викидом через дихальні труби розширювального бака.

За відсутності дистилату для заповнення внутрішніх контурів як компроміс дозволяється використовувати річкову або озерну воду після її попередньої підготовки. Пом'якшення води здійснюють методом хімічного осадження або пропусканням крізь іонообмінні фільтри. Найпростішим бортовим методом є тривале кип'ятіння (не менше 30 хвилин) з наступним

відстоюванням та фільтрацією через дрібну сітку. Якщо пом'якшити воду неможливо, до неї додають спеціалізовані антинакипіни. На старіших типах суден як антинакипіни використовували мильні розчини, емульсоли типу Е-2, хромпик $K_2Cr_2O_7$ чи оливи типу Shell Dromus Oil В. Ці реагенти не лише блокують ріст кристалів накипу, а й суттєво гальмують кавітаційну ерозію металу.

Дозування хромпіку залежить від вихідних параметрів рідини: за умов загальної жорсткості до 5,5 мг-екв/л вводять 3 г речовини на літр води, а при жорсткості 5,5...9 мг-екв/л — 10 г/л. Хромпик є високотоксичною сполукою, тому робота з ним вимагає обов'язкового використання засобів індивідуального захисту (гумових рукавичок, респіратора або протигаза). Для двигунів із чавунними блоками часто застосовують трикомпонентну суміш: на 1 м³ води беруть 1,5 кг хромпіку, 2 кг нітрату натрію та 0,3 кг каустичної соди.

Для мінімізації електрохімічної (гальванічної) корозії у водяних порожнинах СЕУ монтують жертвні цинкові аноди. Протектори фіксують виключно за допомогою сталевих шпильок або болтів; використання кріплення з кольорових металів (латунь, бронза) суворо заборонено через ризик втрати електричного контакту. У міру розчинення анодні пластини замінюють новими під час планових перевірок.

3.2.2. Технологія видалення накипу та очищення водяних порожнин

Руйнування та видалення твердого накипу з внутрішніх поверхонь двигуна найчастіше проводять за допомогою розчинів соляної кислоти (HCl). При взаємодії кислоти з карбонатами виділяється вуглекислий газ, який розпушує структуру водного каменю та відшаровує його від металу, а частина сполук переходить у розчинну форму і вимивається під час наступного промивання. Оскільки соляна кислота є надзвичайно агресивною до чорних і кольорових металів, до робочого розчину обов'язково додають інгібітори корозії — пасиватори (типу КС, «Антра», Ж-1 тощо). Пасиватори не впливають на швидкість розчинення накипу, але створюють захисний бар'єр

на чистій поверхні металу, суттєво зменшуючи виділення токсичного кислотного туману та вибухонебезпечного водню.

Концентрація пасиватора становить 0,5...1,0 кг на кожні 100 літрів готового розчину. Наприклад, для приготування 200 л робочого розчину на основі соляної кислоти з питомою вагою 1,15 використовують таку пропорцію: на 100 л розчину припадає 14,7 л кислоти та 85,3 л дистильованої води. Відповідно, для отримання 200 л суміші необхідно відміряти 29,4 л кислотного концентрату, 170,6 л води та 1 кг сухого або рідкого пасиватора.

У точній кількості кислоти спочатку повністю розчиняють присадки-пасиватори. У дерев'яну або пластикову ємність (бочку) заливають розрахований об'єм води, і вже в неї тонкою цівкою поступово вливають кислоту (навпаки робити суворо заборонено!). Готову суміш підігрівають до температури 70...80 °C та ретельно перемішують для інтенсифікації реакції. Перед початком хімічного травлення з двигуна знімають усі компоненти, які можуть постраждати від дії кислоти: датчики, контрольно-вимірювальні прилади, зливні крани, нарізні пробки та цинкові аноди, а також від'єднують суміжні трубопроводи. Усі відкриті отвори в блоці циліндрів, крім найвищого, глушать дерев'яними або пластиковими пробками. Через верхній патрубок за допомогою лійки систему заповнюють розчином. Під час травлення верхній отвір залишають відкритим для вільного виходу газів та пари. Якщо процедура проводиться безпосередньо в машинному відділенні, вмикають вентиляцію на максимальну потужність. Час травлення залежить від товщини та щільності шару відкладень.

Якщо через добу після заливання розчину виділення газу та утворення піни триває, процес травлення вважається незавершеним. У такому разі відпрацьовану рідину зливають і заповнюють контур свіжим розчином. Момент повного припинення газування та піноутворення свідчить про успішне завершення очищення. Після цього хімічний розчин повністю видаляють із двигуна, а сорочки промивають чистою прісною водою до нейтрального стану. Наявність залишків соляної кислоти у промивній воді

контролюють за допомогою хімічного індикатора (метилоранжу). Промивання ведуть доти, доки індикатор при взаємодії зі стоком повністю перестане забарвлюватися в рожево-червоний колір. Графік проведення очищення залежить від експлуатаційного температурного режиму та жорсткості води; видалення накипу рекомендується проводити, коли товщина шару досягає 1 мм.

При експлуатації двоконтурних (замкнених) систем накип також утворюється, хоча і значно повільніше, ніж у проточних контурах. Для видалення відкладень із закритих систем прісної води зазвичай застосовують безпечніші лужні розчини. Робочу суміш готують у пропорції: 1 кг кальцинованої соди та 0,5 л гасу на кожні 10 літрів води. Загальний об'єм розчину має повністю покривати весь контур охолодження. Після заповнення системи лужною сумішшю запускають двигун, який прогрівають на малих обертах протягом 10...15 хвилин. Після цього дизель зупиняють, а розчин залишають всередині сорочок на 10...12 годин для розм'якшення відкладень. Після закінчення цього часу двигун знову запускають на малі оберти на 5...10 хвилин, після чого глушать і негайно, поки рідина гаряча, зливають весь об'єм разом із брудом.

Для фінального очищення контур заповнюють чистою прісною водою, прокручують двигун протягом 15...20 хвилин, після чого воду повністю зливають. Після завершення промивання систему заповнюють штатним дистиллятом із додаванням повного пакета антикорозійних присадок згідно з інструкцією виробника.

Водо-водяні та маслоохолоджувачі промивають за аналогічною лужною технологією. Після демонтажу та розбирання теплообмінника пакет пластин або трубний пучок занурюють у мийну ванну на 10...15 минут. Після розм'якшення бруду та накипу поверхні очищають м'якими щітками та ретельно промивають прісною водою. Зібраний теплообмінний апарат перед підключенням обов'язково піддають гідравлічним випробуванням

(опресуванню) для перевірки герметичності та унеможливлення перетікання солоної води у внутрішній прісний контур.

3.3. Особливості архітектури та технічні параметри розбірних охолоджувальних апаратів двигуна МаК 6М43С

Загальну компоновку та взаємне розташування елементів суднового охолоджувального апарата представлено на рис. 3.3.

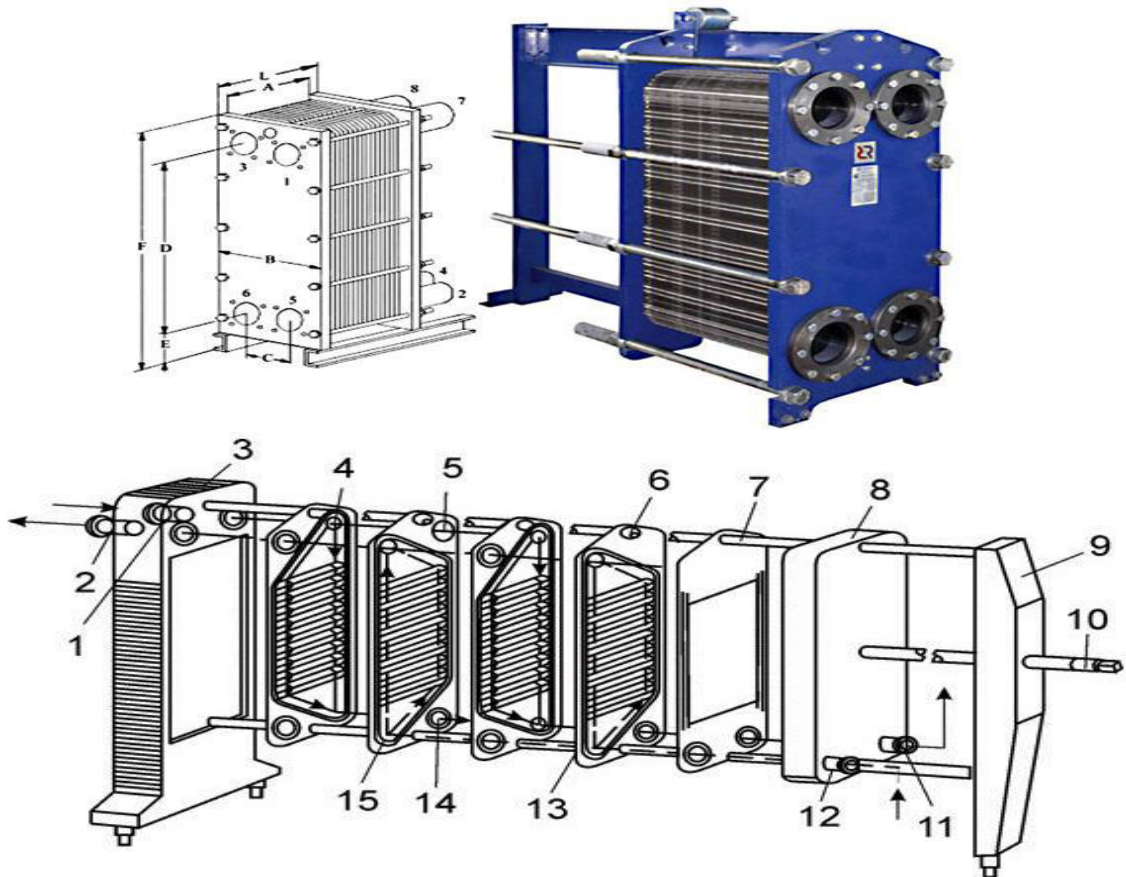


Рисунок 3.3 — Загальний вигляд та конструктивні елементи розбірного пластинчастого теплообмінника: 1, 11 — вхідний та вихідний фланцеві патрубки контуру гріючого середовища (прісної води); 2, 12 — вхідний та вихідний патрубки охолоджувального середовища (морської води); 3 — фронтальна нерухома опорна плита; 4, 14 — отвори (порти) для потоку рідин; 5 — мале ущільнювальне кільце порту; 6 — робоча штампована теплообмінна пластина; 7 — верхня несуча напрямна консоль; 8 — задня рухома притискна плита; 9 — задня опорна стійка; 10 — різьбова стяжна шпилька; 13 — велика профільна прокладка контуру пластини; 15 — нижня напрямна консоль.

Модельний ряд цих теплообмінних агрегатів представлений високоефективним і потужним обладнанням значних габаритів. Залежно від

умов монтажу в машинному відділенні, апарати випускаються в різних модифікаціях рами: від полегшеної версії FM до посиленого важкого виконання FS. У пристроях використовуються три базові типи пластин: T20M, T20B та T20P. Стандартним інженерним рішенням для контурів охолодження двигунів MaK є рама типу FG; у технічній документації ці блоки зазвичай фігурують під узагальненою назвою «центральні охолоджувачі системи».

Зміна теплової потужності та робочої площі в таких апаратах реалізується суто геометричним шляхом — зміною кількості ідентичних пластин у пакеті.

При виробництві компонентів використовуються високотехнологічні матеріали. Для ущільнювальних прокладок застосовують еластomers марки NBRP (гранична робоча температура до 120 °C) або кополімер EPDM (витримує тривале термічне навантаження до 150 °C). Несуча консоль (Carrying Bar) виготовляється виключно з алюмінієвих сплавів, а інтеграція апарата в судновий трубопровід реалізується за допомогою високоміцних нержавіючих фланців класу FLANGE SS.

Завдяки високій надійності, бездоганній якості збирання та відмінним теплотехнічним показникам ці апарати є найбільш затребуваними на сучасному ринку суднового обладнання. Конструктивно пристрій (рис.3.3) складається з пакета тонких гофрованих металевих пластин, у кутах яких виконано порти для роздільного проходження двох рідких середовищ. Процес теплопередачі реалізується безпосередньо через стінки цих пластин.

Пластинчастий пакет затиснутий між передньою опорною та задньою притисною плитами за допомогою потужних стяжних болтів. Профільні прокладки ізолюють проточні канали та спрямовують потоки в потрібному напрямку. Шевронне рифлення пластин інтенсифікує завихрення рідини, що різко підвищує коефіцієнт тепловіддачі та зменшує шкідливий вплив динамічних перепадів тиску на конструкцію.

Кількість пластин, їхній профіль та габаритні розміри підбираються під конкретні параметри: об'ємну витрату, фізико-хімічні властивості рідин,

допустимі втрати напору та заданий температурний графік (рис. 3.5). Гофрована геометрія поверхонь забезпечує високу турбулентність навіть при ламінарних режимах руху та надає пакету необхідної просторової жорсткості.

У верхній точці всі пластини та рухома плита підвішені на несучій штанзі, а знизу фіксуються прямою консолю; обидва ці елементи закріплені на задній опорній стійці. Пластини штампують із шевронним (ялинковим) малюнком рифлення. При чергуванні пластин із протилежним нахилом гофрів у процесі збирання всередині апарата утворюється тривимірна мережа каналів із гвинтовим рухом потоків. Це забезпечує високу теплотехнічну ефективність та ефект гідродинамічного самоочищення стінок від бруду.

Для адаптації до різних технологічних умов (наприклад, для роботи з сильнозабрудненими рідинами чи в'язкими оливами) виробник пропонує пластини з різними конфігураціями профілю, зокрема типу L та H (рис. 3.4, 3.5).

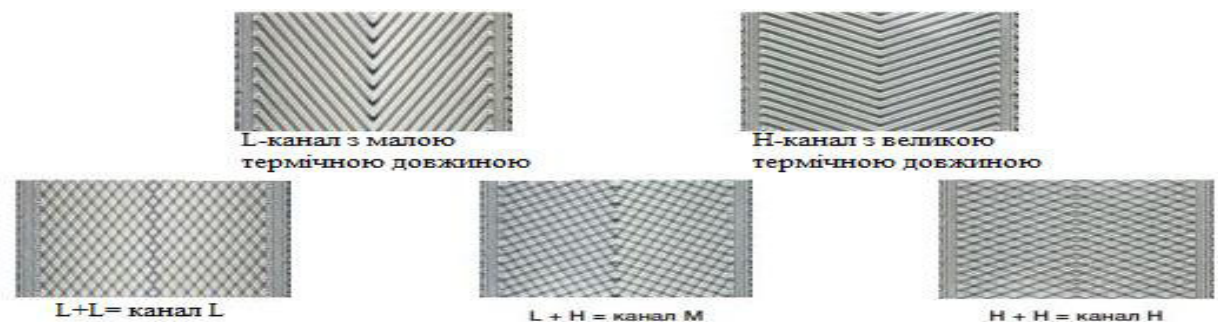


Рисунок 3.4 — Варіанти профілювання та конфігурації теплообмінних пластин



Рисунок 3.5 — Варіанти конфігурації міжпластинчастих каналів

Внутрішнє перетікання або змішування середовищ повністю виключене завдяки наявності подвійного контуру прокладок навколо входних портів із

виходом у дренажні канали. Шевронний візерунок «ялинка» може мати гострий або тупий кут нахилу гофрів, що дозволяє створювати різні типи каналів (рис. 3.6). Пластини з тупим кутом (жорсткі) збільшують турбулентність та опір потоку, тоді як пластини з гострим кутом (м'які) мають менший гідравлічний опір і знижують перепад тиску в апараті.

Розподільний майданчик 4 (рис. 3.6) має оригінальний «шоколадний» профіль рифлення, який є передовим інженерним рішенням. Така геометрія забезпечує ідеально рівномірний розподіл рідини по всій ширині пластини, усуваючи застійні зони та оптимізуючи корисну площу теплопередачі.

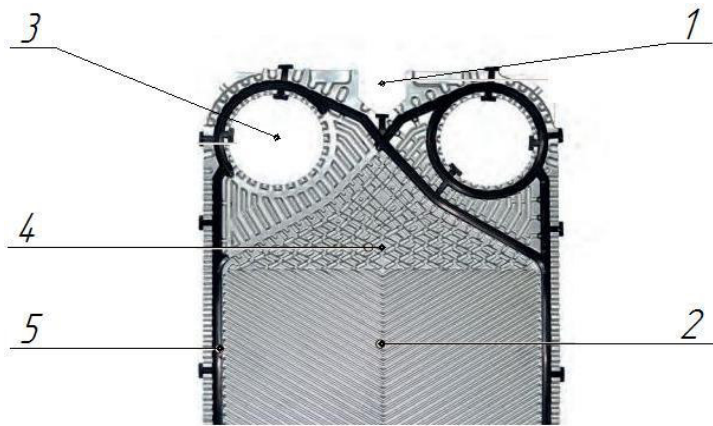


Рисунок 3.6 — Геометричні зони теплообмінної пластини: 1 — верхній технологічний виріз під несучу консоль; 2 — активна гофрована теплопередаюча поверхня; 3 — кутовий порт (вхідний/випускний отвір); 4 — розподільний майданчик («шоколадний» профіль); 5 — ущільнювальна еластомерна прокладка.



Рисунок 3.7 — Профілі ущільнювальних прокладок різних поколінь

Ущільнювальні елементи. Грамотно розрахований профіль прокладки гарантує тривалу герметичність при помірних зусиллях затягування, що унеможливорює деформацію ущільнювального паза та пошкодження самої гуми. Виробник використовує прокладки зі спеціальним виступаючим робочим профілем.

Лінійка ущільнень із додатковим гребенем є новим поколінням комплектуючих. Вони є модернізованою версією класичних прокладок. Купол такого ущільнення має менш гостру форму, а на його вершині виконано

додатковий овальний гребінь. Така геометрія потребує менше сировини при виробництві, забезпечує високу щільність стику та мінімізує ризик виштовхування прокладки або втрати герметичності через випадковий перекіс плит під час збирання.

Прокладки (рис. 3.7) виготовляють з різних еластомерів, серед яких найпопулярнішими є нітрил (NBR) та каучук на основі сополімеру етилену, пропілену та дієнового мономеру (EPDM).

За наявності мінімального температурного напору між робочими середовищами виникає потреба в реалізації багатоходової схеми циркуляції. У такому разі вхідні та вихідні патрубки підключають одночасно як до передньої нерухомої, так і до задньої рухомої притискних плит (рис. 3.8).

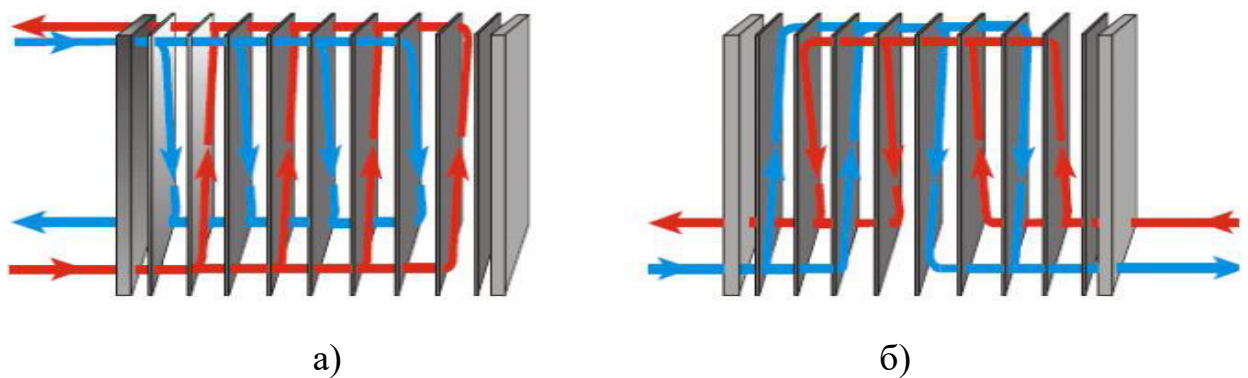


Рисунок 3.8 — Схеми циркуляції середовищ в апаратах: а) — одноходова схема; б) — багатоходова (двоходова) схема.

3.4. Розробка комплексу заходів з технічного обслуговування та ремонту теплообмінних апаратів

Оскільки періодичність сервісного обслуговування суднових холодильників залежить від багатьох експлуатаційних факторів (температурного графіка, ступеня забруднення акваторії, робочого тиску), точний графік робіт визначається старшим механіком судна на основі поточного стану обладнання. Проте нормативні інструкції рекомендують проводити загальний технічний огляд апаратів щонайменше один раз на рік.

Контроль теплотехнічної продуктивності після проведення хімічного чи механічного очищення виконують не рідше одного разу на 5 років, а ревізію,

очищення та змащування різьбових поверхонь стяжних шпильок проводять щоквартально (раз на 3 місяці).

До виконання ремонтних та сервісних робіт на центральних охолоджувачах допускається лише кваліфікований персонал, який має відповідні сертифікати та допуски. Вода в робочих контурах має піддаватися обов'язковій хімічній обробці для блокування процесів накипоутворення та корозії металу. Якщо виникає загроза замерзання судна під час стоянки в порту чи при виведенні з експлуатації, рідину з усіх порожнин апаратів зливають повністю. Причинами появи витоків найчастіше є природне термічне старіння, розтріскування або втрата еластичності еластомерних прокладок.

Поступове замулювання та обростання пластин суттєво знижує коефіцієнт теплопередачі та викликає зростання гідравлічного опору пакета. Позапланові відмови та зупинки охолоджувальних апаратів є неприпустимими через високу вартість простою судна. Забруднення поверхонь провокує термічне перевантаження, прискорене старіння та руйнування гуми. Тому пластини потребують регулярного очищення та дефектації. Різьбові частини стяжних болтів та шпильок змащують дисульфідом молібдену (MoS_2) або аналогічними високотемпературними мастилами, приділяючи особливу увагу робочим ділянкам різьби, що навантажуються при затягуванні пакета.

Розбирання розбірного охолоджувача виконують у такій послідовності: перевіряють, що апарат повністю відсічений від магістралей, тиск скинутий до нуля, а внутрішні порожнини осушені; очікують повного охолодження корпусу до температури машинного відділення; від'єднують елементи трубопроводів від задньої рухомої притискної плити; ретельно очищають та змащують стяжні шпильки; послаблюють затяжні гайки хрестоподібно і поочередно, контролюючи паралельність руху притискної плити відносно нерухомої станини (для уникнення перекосу та заклинювання).

Якщо під час розсування плит виявлено злиплі пластини, їх обережно відокремлюють за допомогою пластикового або дерев'яного інструменту, намагаючись утримати гумову прокладку в її посадочному пазу. Пластини в

пакеті підтримують одна одну попарно. У разі виявлення дефектної пластини, яку неможливо відновити чи замінити аналогічною, з пакета вилучають не лише її, а й суміжну (парну) пластину. Слід враховувати, що зміна кількості пластин пропорційно змінює загальну монтажну товщину пакета. Спеціалізовані пластини (перша й остання в пакеті, а також поворотні секції в багатоходових моделях) замінюють виключно на ідентичні за кодом деталі.

Інтенсивне забруднення поверхонь часто є наслідком надто низької швидкості потоку рідини крізь апарат. За наявності технічної можливості об'ємну витрату доцільно збільшити для активації процесу гідродинамічного самоочищення стінок. Збільшення подачі також є доцільним при перших ознаках падіння теплової потужності або зростанні втрат тиску. Повне розбирання та ручне очищення апарата є обов'язковими, якщо відкладення кристалізувалися, зафіксовано сильне замулювання портів або на поверхні металу утворився прикипільний оливний шар.

Правила проведення механічного чищення пластин: суворо заборонено використовувати металеві мочалки або щітки з вуглецевої сталі; не допускається використання інструментів із нержавіючої сталі при обслуговуванні титанових пластин; первинне видалення бруду проводять потужним водяним струменем за допомогою капронових або нейлонових щіток; рухи інструменту мають бути обережними, щоб не пошкодити еластомерні прокладки; вапняні та оксидні відкладення видаляють м'якими губками, використовуючи 2...5% розчин азотної кислоти (HNO_3), при цьому застосування соляної або сірчаної кислот суворо заборонено; замаслені ділянки зачищають бензином за допомогою м'якої дрантя, після чого пластину ретельно промивають великою кількістю прісної води.

Для полегшення збирання виробник додає до документації схему набору, де вказано літерний код кожної пластини та її точне місце в пакеті. При складанні контролюють правильність орієнтації елементів: кромки пластин мають утворювати чітку симетричну сотову структуру. Пакет стискають до досягнення розрахункового монтажного розміру А, який

визначається як внутрішня відстань у міліметрах між рухомою та нерухомою плитами.

Безрозбірне хімічне очищення (CIP — *Cleaning in Place*) є найбільш прогресивним методом видалення відкладень. При цьому спеціалізовані мийні розчини циркулюють через апарат за допомогою промивної станції. Після завершення процедури контури обов'язково дренують для уникнення підштампової корозії через залишки хімії. Підготовка апарата до CIP включає такі етапи: повністю осушують обидва робочі контури (якщо самопливний дренаж неможливий, залишки рідини витісняють за допомогою насоса промивної станції); промивають обидва контури теплою прісною водою (із температурою близько 40 °C) доти, доки стік не стане абсолютно прозорим і очищеним від технологічних рідин та механічних включень; зливають промивну воду та підключають шланги хімічного насоса.

Для максимальної ефективності хімічне промивання проводять за принципом протитечії — напрямок руху мийного розчину має бути протилежним до штатного напрямку руху рідин під час експлуатації. При обслуговуванні багатоходових апаратів напрямок циркуляції хімії змінюють на протилежний щонайменше двічі за час проведення сесії. Після хімічної обробки апарат ретельно промивають чистою прісною водою до повної нейтралізації залишків кислот або лугів.

Якщо робоче середовище містить волокнисті домішки або тверді включення, регулярне промивання зворотним потоком чистої води (беквош) є ефективним засобом боротьби із засміченням портів.

Загальний регламент проведення гідродинамічного реверсного промивання: Перевіряють, що конфігурація суднового трубопроводу та положення запірної арматури дозволяють перевести апарат у реверсний режим роботи. Промивають канали зворотним струмом води за принципом протитечії, вимиваючи сміття, що застрягло на вході в пакет.

Для усунення зовнішніх витоків монтажний розмір по ширині в декількох площинах вимірюють у кількох точках по периметру плит і

порівнюють отримані дані з паспортними значеннями. Для локалізації незначних протікань гайки шпильок підтягують. При цьому контролюють, щоб пакет не був перетягнутий, а розмір по ширині в декількох площинах залишався в межах допустимого теоретичного допуску ($\pm 3\%$)..

Також перевіряють паралельність плит для виключення перекосів. Якщо апарат протікає, місце витoku маркують крейдою на сухому корпусі безпосередньо під робочим тиском, оскільки після зупинки системи та осушення контурів знайти дефектний стик або тріщину буде практично неможливо.

Для раннього виявлення негерметичності корпус апарата регулярно оглядають з усіх боків, включаючи верхні та нижні зони пакета пластин. Місце протікання фіксують максимально точно, підраховуючи кількість пластин від нерухомої станини. За можливості інспектують і ті з'єднання, які на момент огляду не перебувають під повним робочим тиском. До типових зон витоків належать: контрольні дренажні канавки (простір між кільцевим та діагональним контурами прокладки), периферійні прокладки, внутрішні дефекти тіла пластин та фланцеві штуцери.

Поява внутрішніх витоків (перетікання з контуру в контур) зазвичай викликана утворенням наскрізних нориць або тріщин у пластинах внаслідок пітингової корозії чи механічного пошкодження. Для локалізації такого дефекту від'єднують один із нижніх патрубків на боці зливу, подають гідравлічний тиск у суміжний контур і візуально фіксують появу крапель із відчиненого порту. Вимірявши відстань від опорної плити до зони протікання, обчислюють пошкоджену пластину, виймають її та піддають дефектації. Пошкоджені елементи замінюють новими з аварійного комплекту запасних частин (ЗІП).

Якщо текти зафіксовано в районі приєднувальних патрубків, причинами можуть бути: тріщини в зварних швах металу або деструкція фланцевого ущільнення (на внутрішній поверхні плити такий дефект легко виявити візуально); некоректне встановлення або зміщення першої прокладки пакета.

Якщо проблема криється у неправильному центруванні кільцевого ущільнення порту, її усувають перевстановленням прокладки у штатний паз.

Типові несправності ущільнювальних елементів: зміщення або вихід прокладки з посадочного паза пластини; механічний розрив чи руйнування гуми, викликані надмірним і нерівномірним стягуванням пакета плит; розбухання та втрата форми еластомеру внаслідок тривалого хімічного впливу агресивних середовищ або критичного перевищення робочої температури; защемлення або закусування прокладки між точками металевого контакту суміжних пластин через неправильну орієнтацію при збиранні; хімічна деградація матеріалу під дією невідповідних мийних засобів, що призводить до розчинення, розм'якшення або, навпаки, повної втрати еластичності та затвердіння гуми; теплове старіння еластомеру з повною втратою пружних властивостей.

Наслідки перевищення робочого тиску: Експлуатація апаратів в умовах тиску, що перевищує розрахункові паспортні значення, неминуче призводить до руйнування ущільнювального контуру. Характер деформацій залежить від моделі пристрою, але найчастіше спостерігається виштовхування (видавлювання) гумових прокладок назовні, що добре помітно по периметру пакета. Незалежно від наявності поточних витоків, такий стан є аварійним і вимагає негайного вжиття інженерних заходів. Надмірний тиск має бути знижений до штатних меж.

Усі регулюючі та дросельні клапани системи мають бути змонтовані виключно на входних лініях теплообмінника. Гідравлічні удари в судових магістралях також є причиною руйнування внутрішніх елементів. Категорично заборонено відсікати окремі ділянки системи запірною арматурою без урахування теплового розширення замкненої в них рідини. Слід уникати занадто швидкого пуску відцентрових насосів підвищення тиску та відмовитися від використання швидкодійних відсічних клапанів (соленоїдних вентилів без демпферів). Для запобігання гідроударам у контури інтегрують клапани з повільними електроприводами та розширювальні буферні баки.

Якщо фіксується падіння ефективності роботи апарата (високі втрати напору або незадовільне знімання тепла), першочергово перевіряють чистоту підвідних трубопроводів та оглядають пластинчастий пакет на наявність окалини, черепашок або замулювання. За потреби апарат розкривають і ретельно прочищають. Також перевіряють технічний стан та ступінь забруднення фільтрів грубого очищення, встановлених перед теплообмінником. Варто пам'ятати, що погіршення показників теплообміну може бути викликане проблемами в інших вузлах СЕУ, наприклад, невідповідністю параметрів теплоносія проектним даним, помилками при виборі продуктивності насосів чи некоректною роботою автоматичних регулюючих клапанів.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах

Основоположним правовим актом у сфері захисту інтересів працівників в Україні є Закон «Про охорону праці», який закладає базові засади реалізації конституційних права громадян на збереження життя та здоров'я під час професійної діяльності. Цей закон регулює взаємовідносини між судовласником та членами екіпажу у сфері промислової безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці.

Під час виконання будь-яких робіт у межах машино-котельного відділення (МКВ) судна інженерна служба керується вимогами спеціалізованої нормативно-технічної документації [7–9]: Правила технічної експлуатації судових енергетичних установок (ПТЕ СЕУ); Правила технічної експлуатації судового електрообладнання (ПТЕ СЕО); Правила будови та безпечної експлуатації судин під тиском, а також парових і водогрійних котлів; Правила техніки безпеки при експлуатації тепломеханічного та електричного обладнання на судах.

Правове регулювання безпеки життєдіяльності на морському транспорті має дворівневу структуру, що охоплює внутрішнє законодавство України (Кодекс законів про працю (КЗпП), Закон «Про охорону праці», підзаконні акти) та норми міжнародного морського права (Конвенції ІМО). До ключових міжнародних документів, ратифікованих Україною, належать Конвенція з охорони людського життя на морі SOLAS-74/78, Конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення ваhti STCW-78/95 (ПДНВ), Міжнародний кодекс з управління безпекою МКУБ (ISM Code) та Конвенція щодо запобігання забрудненню з суден MARPOL-73/78.

4.2. Комплексний аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у МКВ

Судно, як складна інженерна споруда з великою кількістю енергетичного обладнання, систем під тиском та високообертових механізмів, класифікується як об'єкт підвищеної небезпеки. Перелік потенційних загроз для екіпажу в МКВ згруповано в табл. 4.2 [7–8].

Таблиця 4.2 — Класифікація потенційних небезпек та шкідливих чинників у МКВ

Клас виробничих факторів	Конкретні прояви та види виробничих загроз	Наявність
1. Фізичні чинники	<i>Шкідливі:</i> шум, механічна вібрація, електромагнітні поля, надмірні тепловиділення, підвищена відносна вологість повітря. <i>Небезпечні:</i> ризик виникнення пожежі, небезпека ураження електричним струмом, наявність відкритих рухомих та обертових вузлів машин.	+ +
2. Хімічні чинники	<i>Шкідливі:</i> речовини подразнюючої дії (кислотні та лужні розчини, хімічні розчинники, кислі гази). <i>Небезпечні:</i> речовини з канцерогенними властивостями (нафтопродукти, бензопірен у вихлопних газах).	+ +

Джерелами цих факторів є технічні засоби та загальні умови праці. Зокрема, при експлуатації валогенераторних комплексів суден типу СТМ основними джерелами небезпек виступають електричні машини та блоки систем автоматичного керування (САК). Основну загрозу становлять трифазні силові мережі змінного струму напругою 380 В (для електродвигунів) та однофазні лінії напругою 220 В (для контурів автоматики).

Електричні машини під час роботи генерують постійну вібрацію, що може призвести до розвитку професійного захворювання — вібраційної хвороби. Згідно з діючими нормами, граничний рівень звукового тиску в МВ залежно від октавної смуги має перебувати в межах 92...108 дБ, а обладнання

повинно безвідмовно працювати в умовах вібрацій із частотою 3...50 Гц та амплітудою до 1 мм.

Для стабілізації параметрів мікроклімату в МКВ функціонують системи примусової вентиляції та опалення. Оптимальними є умови, коли температура повітря становить 18...22 °С при відносній вологості 40...60%. Особлива увага приділяється штучному освітленню робочих зон (норматив — 200 лк). Ергономічні вимоги зобов'язують проектувати робочі місця так, щоб кут огляду інформаційного поля не перевищував 120°, а ширина вільних проходів у робочій зоні становила не менше 1 м. Математичне моделювання режимів дозволяє оптимізувати параметри валогенератора, що суттєво знижує навантаження на персонал.

До основних токсичних домішок в атмосфері машинного простору належать пари вуглеводнів, сірчаний та сірчистий ангідриди. Перевищення їхньої гранично допустимої концентрації (ГДК) викликає гострі отруєння. Основним засобом захисту є загальнообмінна вентиляція та ЗІЗ органів дихання. Надмірне зростання температури повітря призводить до швидкого теплового виснаження та перегріву організму, що знижує концентрацію уваги і провокує травматизм. Для унеможливлення конденсації вологи на металевих конструкціях температура огорожувальних поверхонь має бути не більше ніж на 6 °С нижчою за температуру повітря в приміщенні та перевищувати точку роси.

Через відсутність природного світла в МКВ застосовують штучне освітлення. Оптимальний розподіл світлового потоку досягається поєднанням загальної та локальної систем освітлення. При переході на аварійне освітлення рівень інсоляції проходів та трапів має бути не менше 5 лк. Загальні суднове нормативи вимагають утримувати рівень освітленості на палубі МВ не менше 20 лк, а на приладових щитах — 75 лк.

Протипожежний захист. Головним принципом боротьби за живучість судна при пожежі є негайна локалізація вогнища та введення вогнегасних засобів, що забезпечується стаціонарними системами пожежогасіння.

Вуглекислотні установки (CO_2) є найбільш поширеними засобами ліквідації пожеж у машинних приміщеннях методом об'ємного гасіння. Перед пуском газу приміщення повністю герметизують. Оскільки вуглекислий газ у 1,5 рази важчий за повітря, він швидко затікає під пайоли (плити) машинних та котельних відділень, витісняючи кисень із важкодоступних місць.

На суднах діоксид вуглецю зберігається в рідкому стані у сталевих 40-літрових балонах під тиском близько 12,5 МПа (кожен містить 25 кг газу). Балони монтують вертикально у спеціальних станціях пожежогасіння, повністю ізольованих від житлових блоків, оскільки висока концентрація CO_2 в повітрі (вище 22%) є смертельною для людини. При відкритті пускових клапанів рідина миттєво розширюється і переходить у газоподібний стан, збільшуючись в об'ємі понад 500 разів. Газ обволікає палаючі предмети, знижуючи концентрацію кисню в зоні горіння. Повного припинення горіння вдається досягти при концентрації CO_2 в атмосфері приміщення на рівні 22...23%.

4.3. Розрахунок параметрів припливно-витяжної вентиляції МКВ

Конфігурація вентиляційної системи вибирається на основі архітектури судна, його призначення, району навігації та сумарної потужності СЕУ. Кратність повітрообміну n , год⁻¹ показує частоту повного оновлення повітря в приміщенні за одну годину і обчислюється за рівнянням:

$$n = L/V, \quad (4.1)$$

де L — об'ємна витрата припливного повітря, м³/год; $V = 19000$ м³/год — повний об'єм приміщення машинного відділення.

Необхідна годинна подача повітря за умовою асиміляції надлишкового тепла становить:

$$L = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T), \quad (4.2)$$

де $Q_{\text{заг}}$ — сумарні тепловиділення від обладнання МКВ, Вт; $c = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) — питома теплоємність повітря; $\gamma = 1,3$ кг/м³ — густина повітря при

20 °С; ΔT — нормативний температурний перепад між зовнішнім та внутрішнім повітрям МВ $\Delta T_{\text{літо}} = 12^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{зима}} = 27^\circ\text{C}$).

Кількість конвекційного тепла, що надходить у простір МВ від корпусу головного двигуна, розраховується за залежністю:

$$Q_T = K_T \cdot N_e \cdot B \cdot q_e = 0,02 \cdot 42500 \cdot 5400 \cdot 0,162 = 743580 \text{ кДж/год}, \quad (4.3)$$

де $K_T = 0,02$ — коефіцієнт теплових втрат двигуна; $N_e = 5400$ кВт — потужність дизеля; $B = 42500$ кДж/кг — нижча теплотворність палива; $g_e = 0,162$ кг/(кВт·год) — питома витрата палива.

Переведемо годинне тепловиділення в одиниці потужності (Вт):

$$Q_{\text{заг}} = 743580 \cdot 103/3600 = 206550 \text{ Вт}$$

Об'єм повітря, що видаляється витяжною вентиляцією, дорівнює різниці між загальним припливом та об'ємом повітря, яке споживається двигуном для горіння:

$$L_{\text{Вит}}' = L_B - L_D, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (4.4)$$

Годинне споживання повітря судовим дизелем при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 2,4$:

$$L_D = 14,6 \cdot 0,162 \cdot 2,4 \cdot 5400 = 30652,99 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (4.5)$$

Підставивши значення тепловиділень ($Q_{\text{заг}} = 206550$ Вт) у формулу (4.2), визначимо необхідний приплив повітря для різних сезонів:

- для літнього періоду:

$$L_{\text{літо}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 743580 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 12) \approx 47193,5 \text{ м}^3/\text{год}.$$

- для зимового періоду:

$$L_{\text{зима}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 743580 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 27) \approx 20974,87 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Знайдемо об'єм повітря, що видаляється витяжною вентиляцією за формулою (4.4):

- літній режим: $L'_g = 47193,5 - 30652,99 = 16540,5 \text{ м}^3/\text{год};$
- зимовий режим: $L'_g = 20974,87 - 30652,99 = -9678,12 \text{ м}^3/\text{год}.$

(негативне значення свідчить, що взимку двигун споживає повітря більше, ніж потрібно для асиміляції тепла; витяжні вентилятори вимикають, а приплив йде під надлишковим тиском).

Розрахункова кратність вентиляції для літнього періоду становить:

$$n_{\text{літо}} = L_{\text{літо}} / V = 16540,5 / 19000 \approx 0,87 \text{ год}^{-1}.$$

Потужність штатних вентиляторів марки SMC8–100 є цілком достатньою для підтримання метеорологічних параметрів на оптимальному рівні. При спільній роботі з повітряним опаленням система надійно утримує вологість у межах 40...60% у літній та зимовий періоди експлуатації.

4.4. Техніка безпеки при виконанні ремонтних робіт елементів системи охолодження

До виконання розбирально-складальних операцій та ремонту суднових насосних установок і теплообмінників допускаються особи з числа машинної команди, які пройшли спеціалізовану підготовку та первинний інструктаж. Будь-які роботи з демонтажу РПТО та pomp починають лише після повної ізоляції їхніх електродвигунів від джерел електроживлення.

Під час проведення ремонту персонал зобов'язаний суворо дотримуватися таких правил:

- застосовувати виключно справний слюсарний та вимірювальний інструмент відповідних типорозмірів;
- задіяти для демонтажу важких вузлів лише сертифіковані суднової талі, вантажопідйомні пристрої та стропи, що мають чітке маркування та не прострочені терміни випробувань;
- під час очищення внутрішніх порожнин та сорочок циліндрів рідким каустиком чи кислотними розчинами обов'язково використовувати комплекти ЗІЗ: прогумовані фартухи, довгі захисні рукавиці та щільні окуляри;
- повністю відсікати ремонтвані ділянки трубопроводів від діючих магістралей за допомогою глухих інвентарних заглушок;
- на органах керування автоматикою, пультах та головному електрощиті в обов'язковому порядку вивішувати заборонні плакати стандартного зразка: «Не вмикати! Працюють люди!».

Виконання будь-яких налаштувань, підтягування нарізних з'єднань чи ремонтних операцій на обладнанні, що перебуває під тиском або в роботі, категорично заборонено. При ремонті РПТО та великих pomp переміщення вузлів, маса яких перевищує 20 кг, має здійснюватися суто за допомогою засобів механізації (кран-балок, талей). Маса вантажу не повинна перевищувати номінальну вантажопідйомність механізмів, а підйом та кантування слід виконувати плавно, рівномірно, без ривків.

При виконанні операцій на висоті персонал зобов'язаний застосовувати перевірені запобіжні пояси зі страховочними лініями. Мобільні драбини перед розгортанням підлягають обов'язковому огляду. Під час ремонту вживають заходів для унеможливлення випадкового падіння інструменту в трюмні простори МВ. Усі члени ремонтної бригади повинні знати місця розташування та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння. Виконання вогневих (зварювальних) робіт дозволяється лише після отримання спеціального суднового дозволу (*Hot Work Permit*), повного очищення робочої зони від горючих матеріалів та виставлення пожежного поста.

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проекті на основі детального аналізу архітектури та робочих процесів середньообертового дизеля MaK 6M43C, який експлуатується на борту судна «OSLO FJORD 1», було сформовано й обґрунтовано комплекс інженерно-технічних рішень щодо оптимізації експлуатації, сервісного обслуговування та організації ремонту вузлів охолоджувального контуру.

Основну увагу в дослідженні приділено специфіці використання, дефектації та відновлення ключового елемента системи — розбірного пластинчастого теплообмінника. Разом із цим виконано теплотехнічний і конструктивний розрахунок головних робочих компонентів відцентрового насосного агрегату. Впровадження запропонованого регламенту ТО та планово-попереджувальних ремонтів дозволяє підтримувати високий рівень експлуатаційної надійності СЕУ, максимізувати ресурс обладнання та повністю нівелювати ризик раптових відмов чи позапланових зупинок пропульсивної установки.

З огляду на отримані результати, усі вихідні завдання, закладені в технічному завданні до дипломної роботи, вирішено в повному обсязі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9349291>.
2. Engine operating instructions. Type M43C. – 2005 - 1713 с.
3. <https://www.marinetraffic.com/ru/ais/details/ships/shipid:362412/imo:9349291/mmsi:304868000/vessel:BBC%20ANSAS>
4. **Woodyard, D.** (2009). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines* (9th ed.). Butterworth-Heinemann. – 892 p.
5. **Kuiken, K.** (2012). *Diesel Engines for Ship Propulsion and Power Plants* (Vol. 1 & 2). Target Global Energy BV. – 720 p.
6. **Christensen, S. G.** (2002). *Medium and High Speed Marine Diesel Engines*. Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST). – 248 p.
7. **Taylor, D. A.** (2011). *Introduction to Marine Engineering* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. – 416 p.
8. **Heywood, J. B.** (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education. – 1056 p.
9. **Mollenhauer, K., & Tschöke, H.** (2010). *Handbook of Diesel Engines*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 636 p.
10. **McGeorge, H.** (2002). *Marine Auxiliary Machinery* (7th ed.). Butterworth-Heinemann. – 544 p.
11. **Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C.** (2008). *Pump Handbook* (4th ed.). McGraw-Hill Education. – 1632 p.
12. **Rowen, A. L., Harrington, R. L., & Woodward, J. B.** (1992). *Marine Engineering*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME). – 968 p.
13. **Gülich, J. F.** (2014). *Centrifugal Pumps* (3rd ed.). Springer International Publishing. – 1060 p.

14. **International Maritime Organization.** (2020). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. IMO Consolidated Edition.
15. **Watson, N., & Janota, M. S.** (1982). *Turbocharging the Internal Combustion Engine*. Macmillan International Higher Education. – 608 p.
16. **Pang, H., Ng, C., & Brace, C. J.** (2014). A comprehensive review of advanced engine cooling systems for transport internal combustion engines: Architecture, parameters, and optimization. *Applied Thermal Engineering*, 64(1-2), 234-248.
17. **Taraza, D., & Henein, N. A.** (2016). Structural and thermal analysis for the improvement of liquid cooling systems in transport diesel engines. *SAE International Journal of Engines*, 9(3), 1512-1525.
18. **Tariq, S., & Khan, M. A.** (2018). Integrated optimization of cooling system parameters for marine power plants to maximize thermal efficiency. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 10(4), 481-495.
19. **Wang, Y., & Zhang, Q.** (2020). Advanced control strategies and modern concepts for temperature regulation in marine diesel engine cooling systems. *Marine Engineering & Technology*, 19(2), 112-123.

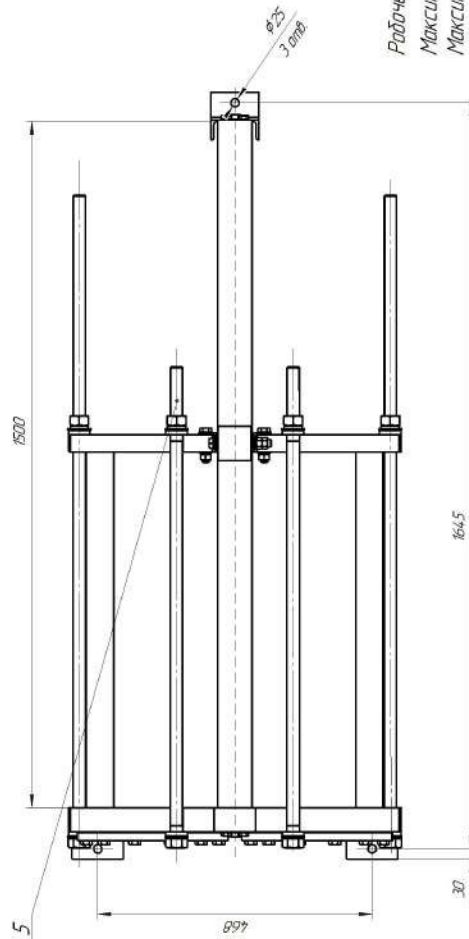
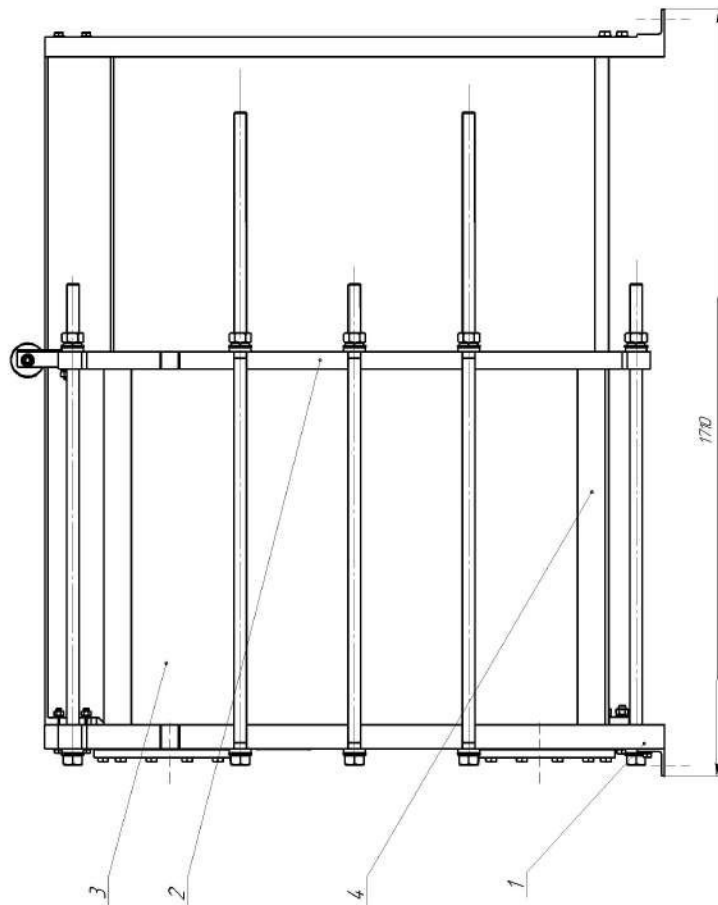
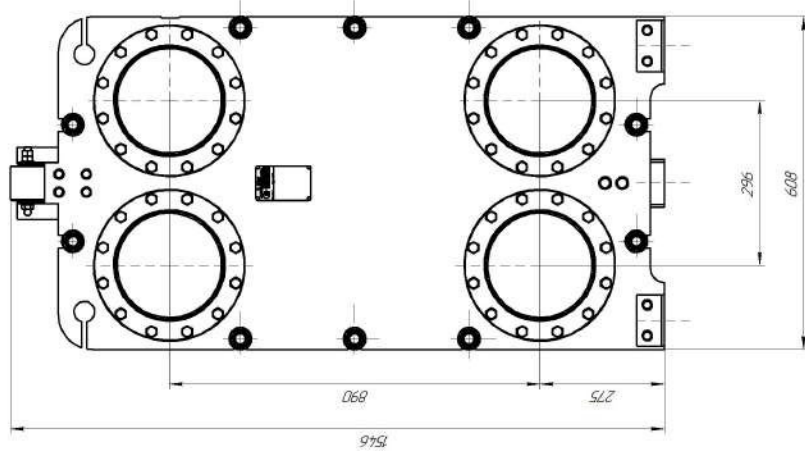


№№ №№№№	№№№ №№№	№№№ №№№	№№№ №№№

					ПННН НУК 14.2.126.1101			
Март	Апр	М	В	Апр	М	Апр	М	Апр
Розподіл	Поповнення				Н		1101	
Розподіл	Розподіл Н.С.				Головний судновий відділ Мак 6М43С			
Розподіл	Розподіл Н.С.				Апр			
Розподіл	Розподіл Н.С.				Апр			
Розподіл	Розподіл Н.С.				ПННН НУК			

622137 41





Технічні характеристики

Робоче середовище	вода / морська вода
Максимальна робоча температура	45,2
Максимальна площа теплообміну	314 м ²
Витрата теплоносія	140 / 200 м ³ / год
Максимальний робочий тиск	3,0 МПа
Матеріал прокладок	EPDM
Матеріал пластин	AISI 316-0,5mm
Діаметр патрубків	150
Кількість хвостів	Одноточковий
Кількість пластин	165

Технічні умови

Призначення партії, наявність і виконання фланцевих з'єднань відповідно розрахунки теплообмінника

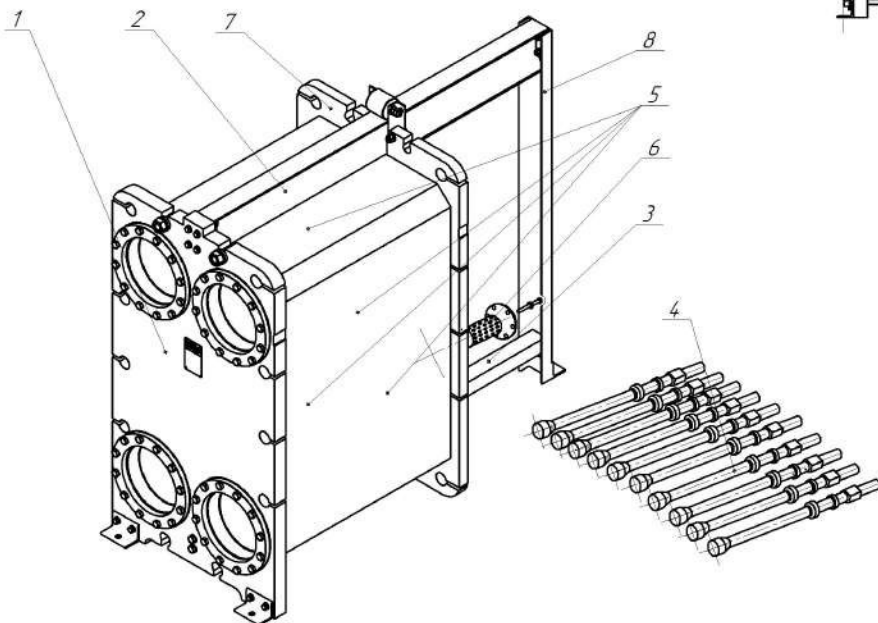
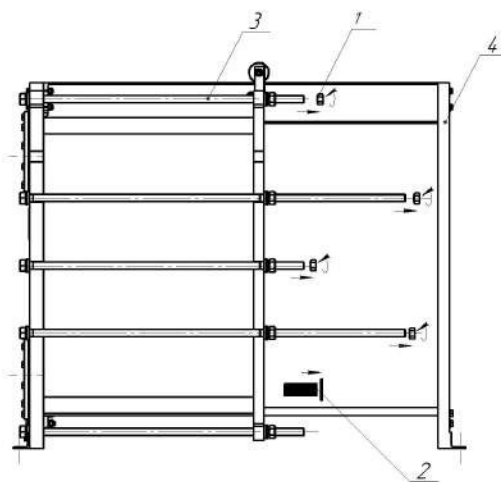
Пози	Наименование	Кол	Примеч
1	Металлический корпус	1	
2	Ручка корпуса	1	
3	Пластины, шлифованные	255	
4	Металлическая стойка	1	☐ 80x80
5	Стежки шлифовки	80	N36

ПНН НЭК 14.2.126.1103			
Пластина-основы		Лист	Листов
пленкообразующий		Н	15
системы окисления		Лист	Листов
			ПНН НЭК

РАЗБИРАЮЩАЯ ТЕПЛОБЫТНИКА

1. Перед розбиранням відключити теплообмінник від системи та виміряти і записати розміри стисненого пакета пластин.
2. Відділити долти на заперки кришки фільтру.
3. Зняти кришку та виміряти довжину дружок очистки.
4. Відключити всі гойки на днітках крапки максимально по 25 мм, регулюючи ліфу та праблу сторону за допомогою ключа, призначеного для запобігання для відключення годек-стиснення. Потім витягти ліфчик 2 верхні і 2 нижні днітки. Всі інші стійки днітки відключити безпозначеними крапками.
5. Після того, як було знято всі днітки, демонтують задню стійку.
6. Обережно демонтують пластину, одну за одною, зберігаючи послідовність.

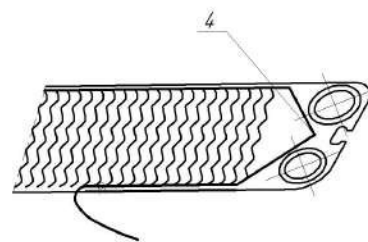
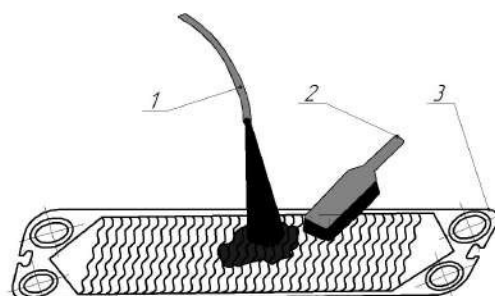
№	Назва	Кількість
1	Гайка М36	10
2	Фільтр друкарі очистки	1
3	Шпильки-стяжки	10
4	Притисковий фланець	1
5	Пластили теплоізоляційна	185



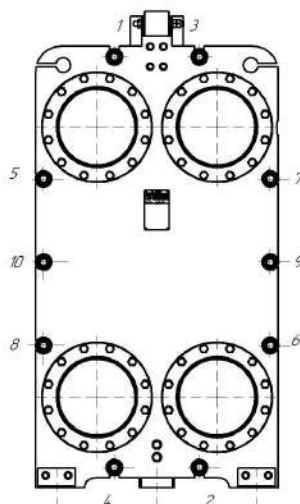
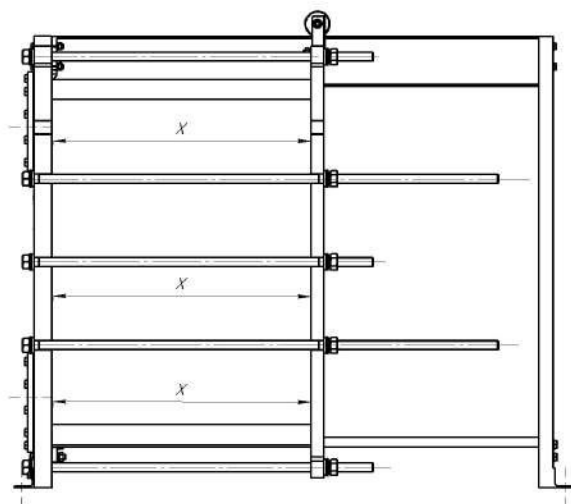
№	Назва	Кількість
1	Передня пилта	1
2	Верхня шина	1
3	Напругний стрижень □ 80x80	1
4	Шпильки-стяжки з гайками М36 (комплект)	10
5	Листовина теплоізоляційна	165
6	Фільтр зрубої очистки	1
7	Притисковий фланець (задня пилта)	1
8	Кінцева стійка	1

ОЧИЩЕНИЯ ПЛАСТИН ТЕПЛООБМЕНИКА

1. Ручне очищення зовнішньої поверхні м'якою пластини м'якою неметалевою щіткою із застосуванням води і милового засобу: – мила засоби не повинні бути агресивними або корозійними по відношенню до пластин або прокладок; – мила засоби завжди використовувати згідно з вказівками техніки безпеки і вказівкам постачальника.
2. Під час очищення щіткою слід покласти пластину на рівну поверхню, щоб не погнути її.
3. При сильному забрудненні теплообмінника слід перед початком збірки відділити дві сторони частинки з поверхні ушліщення прокладок, будь-які сторони вичищення може неможливо вездути до пошкодження ушліщення. Не забувати перерізувати поверхні ушліщення наклепих прокладок як заводу, так і зберіу.
3. Під час технічного обслуговування теплообмінника слід звертати увагу на стан прокладок пластин. У разі відставання прокладок від пластин, потрібно зачистити її або підклеїти. У невеликій кількості відвалил прокладок можна закріплювати клеєм. Про правильні прийоми критичної операції, видалення клеєвих прокладок і встановлення нових прокладок проаналізується у слухі АРУ.



№	Назва	Кількість
1	Лобової вади	1
2	М'яка (неметалева) шліпка	1
3	Пластина теплоізоляційна	1
4	Покривка пластини теплоізоляційна	1



ЗБИРАННЯ ТЕПЛОБІМІННИКА

1. Зворотнє зображення виконується у зворотньому порядку
2. Стыкаємо пакет пластин невеликими кроками, переходячи по діагоналі від одного згинця до іншого. Додаємо до кінцевого розміру $X + 10\%$ з'являючи центральні згинти у названому порядку кроками 25 мм або менше.
3. Потім вставляємо інші згинти.
4. З'являємо всі стыки до розміру пакета $X + 5\%$ кроками по 6 мм або менше.
5. Навешті підставляємо всі згинти кроками по 3 мм до розміру X .
6. Важливо, щоб передня плита і притиснений фланець залишалися паралельними під час операції стиснення.
7. Вставляємо фільтр грубої очистки назові та прикручуємо заповні кришки фільтрів.

					ПІННІ НУК 14.2.4.126.11.04		
					Технічне обслуговування		
					металообробки		
					(основні операції)		
					Діаг.		
					Мікрос.		
					Мікрометр.		
					Н		
					Т		
					Діаг.		
					Діагност.		
					Т		
					ПІННІ НУК		