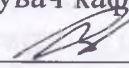


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри


« 09 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Удосконалення головного двигуна МаК 6М43С судна
«Morgenstond2» за рахунок модернізації елементів системи охолодження

Виконав:

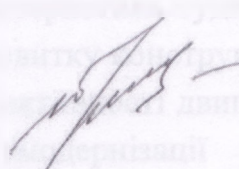
студент групи 63-ТЕМмаг-24

 Прокопчук О.І.
(підпис)

Керівник роботи:

професор кафедри ЕМ, д.т.н., професор

(посада, науковий ступень, вчене звання)

 Грицук І.В.
(підпис)

Первомайськ - 2025 р.

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

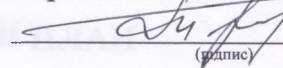
Кафедра «Енергетичне машинобудування»

Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми


(підпис)

« 15 » 09 2025 р.

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

Студенту Прокопчуку Олександрові Ігоровичу

1. Тема роботи: «Удосконалення головного двигуна МаК 6М43С судна «Morgenstond2» за рахунок модернізації елементів системи охолодження».

Керівник роботи Грицук І.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 09.09.2025 року за № 52.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 25.11.2025 року.

3. Вихідні данні по роботі: Технічна характеристика суднової енергетичної установки судна «Morgenstond2». Двигун прототип – головний судновий двигун МаК 6М43С.

4. Вступ. Загальна характеристика судна і його енергетичної установки. 2. Аналіз сучасних тенденцій розвитку конструкцій систем охолодження дизелів та вибір напрямку підвищення ефективності двигуна судна в умовах експлуатації. 3. Обґрунтування доцільності модернізації системи охолодження головного двигуна. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна «Morgenstond2». 2. Головний судновий двигун МаК 6М43С. 3. Принципова схема системи охолодження головного двигуна. 4. Теплообмінний апарат системи охолодження суднового двигуна.

6. Консультанти роботи

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

7. Дата видачі завдання «09» вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Підготовка та проробка літературних джерел	18.09.2025	
2	Написання першого розділу	02.10.2025	
3	Написання другого розділу	16.10.2025	
4	Виконання розрахунків та написання третього розділу	30.10.2025	
5	Підготовка і написання розділу охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	06.11.2025	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	15.11.2025	

Студент

О.І. Прокопчук
(підпис)

Прокопчук О.І.

Керівник
роботи

І.В. Грищук
(підпис)

Грищук І.В.

АНОТАЦІЯ

Представлена кваліфікаційна робота складається з 85 сторінки на яких розміщено 26 рисунків, 7 таблиць. При підготовці роботи було використано 26 джерел інформації.

У роботі розроблений комплекс заходів для удосконалення головного двигуна МаК 6М43С судна «Morgenstond2» за рахунок модернізації елементів системи охолодження. Виконано тепловий розрахунок теплообмінника системи охолодження стосовно до нових умов роботи судна. Виконано розробку заходів із забезпечення охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Результати кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на 12-тій науково-технічних конференціях: «Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура» (MAITRI 2025), «Суднова енергетика: стан та проблеми» у жовтні-листопаді 2025 року.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, система, теплообмінник

ABSTRACT

The introduced degree design includes 85 pages, 26 drawings, 7 tables. At design preparation it has been used 26 information source.

The work developed a set of measures to improve the main engine MaK 6M43C of the ship "Morgenstond2" by modernizing the elements of the cooling system. Thermal calculation of the heat exchanger of the cooling system was performed in relation to the new operating conditions of the ship. Measures to ensure labor protection and safety in emergency situations were developed.

The results of the qualification work were tested at the 12th scientific and technical conferences: "Modern automotive industry, transport and road infrastructure" (MAITRI 2025), "Ship power engineering: status and problems" in October-November 2025.

Keywords: internal combustion engine, system, heat exchanger

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА І ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	7
1.1 Загальні відомості про судно	7
1.2 Основні розмірення судна	9
1.3 Морехідні якості судна	10
1.4 Суднові системи	10
1.5 Суднові пристрої	..10
1.6 Характеристика елементів суднової енергетичної установки	..14
1.7 Характеристика головної енергетичної установки	..19
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛІВ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВИГУНА СУДНА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	28
2.1 Аналіз систем охолодження прісною водою	29
2.2 Аналіз систем охолодження забортною водою	34
2.3 Перспективи модернізації системи охолодження суднових дизелів	36
2.4 Система охолодження та її складові для суднових двигунів фірми МаК	40
2.5 Вибір напрямку модернізації двигуна	45
РОЗДІЛ 3. ЗМІСТ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА	46
3.1 Обґрунтування доцільності модернізації системи охолодження головного двигуна	46

3.2 Аналіз конструкції і основні характеристики пластинчатого теплообмінного апарату Danfoss системи охолоджуючої води двигуна МаК 6М43С	48
3.3 Розрахунок пластинчатого теплообмінника системи охолодження	56
3.4 Розрахунок пластинчатого теплообмінника системи охолодження за допомогою програмних методів розрахунку	62
3.5 Висновок про результати модернізації	66
3.6 Особливості технічної експлуатації теплообмінного апарату Danfos	67
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	74
4.1 Охорона праці	74
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	79
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	83
ДОДАТКИ	86
1. Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна «Morgenstond2».	
2. Головний судовий двигун МаК 6М43С	
3. Принципова схема системи охолодження головного двигуна	
4. Теплообмінний апарат системи охолодження судового двигуна	

ВСТУП

Проблема ефективного використання палива в процесі експлуатації дизельних двигунів набуває особливої ваги через обмеженість нафтових ресурсів, зростання витрат на видобуток та транспортування нафти, а також зростаюче споживання нафти в хімічній промисловості. У розвитку суднового дизелебудування акцент робиться на інтенсифікацію досліджень та реалізацію заходів для підвищення середнього ефективного тиску. Важливим завданням є створення суднових дизельних агрегатів з інтелектуальними системами управління, використовуючи комп'ютерні технології.

Низькооборотні двигуни (50-90 хв-1) займають лідируючі позиції серед пропульсивних установок морських суден завдяки високій економічності, великій потужності (до 80 000 кВт), низькому рівню зносу, високому моторесурсу і надійності. Ці характеристики гарантують не тільки стабільну роботу, але й ефективну передачу потужності на гребний гвинт, що сприяє високому пропульсивному ККД.

Використання «елементів адаптації» у сучасних поршневих двигунах дозволяє значно підвищити надійність і експлуатаційні характеристики, відкриваючи нові можливості для вдосконалення технічного рівня дизелів внутрішнього згоряння. Одна з найбільш перспективних стратегій для зниження витрат пального та одночасного збільшення моторесурсу — це вдосконалення систем охолодження, особливо для головних двигунів, що використовуються на флоті.

Типовим прикладом такого дизеля є модель MaK 6M43C, широко застосовувана на багатьох суднах, побудованих останніми роками, як, наприклад, судно «Morgenstond2», яке взято за основу у цьому дипломному проекті.

Системи охолодження є критичними для роботи дизеля, забезпечуючи стабільність та надійність в різних умовах експлуатації. Зміна умов експлуатації, наприклад, при перевезенні вантажів у нових кліматичних зонах,

вимагає адаптації конструкцій охолоджуючих систем. Важливо, щоб майбутні інженери-механіки мали чітке розуміння функціональних та конструктивних особливостей цих систем, що дозволить ефективно вирішувати задачі технічної експлуатації. Це є основою для підвищення ефективності транспортних дизелів через удосконалення конструкції їх складових частин.

Мета дипломного проекту: розробити комплекс заходів для удосконалення головного двигуна МаК 6М43С судна «Morgenstond2» за рахунок модернізації елементів системи охолодження.

Задачі що вирішуються у дипломному проекті:

1. Аналіз стану проблеми подальшого розвитку сучасних суднових двигунів, і зокрема двигунів серії 6М43С, фірми МаК.
2. Проведення комплексного аналізу для вибору найбільш ефективних методів удосконалення системи охолодження.
3. Розроблення технічних рішень та розрахункова перевірка їх ефективності, визначення шляхів втілення запропонованих рішень.
4. Розробка заходів з техніки безпеки при виконанні робіт та екологічної безпеки.

Об'єкт дослідження – головний дизель МаК 6М43С судна «Morgenstond2» в процесі модернізації.

Апробація результатів дослідження – автор прийняв участь в Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура» (МАІТРИ 2025), яка проводилася ХНАДУ (м. Харків) 30-31.10.2025 р. з доповіддю «Модернізація крейцкопфного механізму суднового малообертового дизеля» і XII Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми», яка проводилася НУК (м. Миколаїв) 5-7.11.2025 року з доповіддю «Удосконалення конструкції крейцкопфного механізму суднового малообертового дизеля». [25-26].

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА І ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальні відомості про судно

1.1.1 Тип судна

Судно «Morgenstond2» (IMO Number - 9367073), що було взяте у якості прототипу у даному дипломному проекті, універсальне, пристосоване для перевезення контейнерів (General cargo).

Район плавання – необмежений. Тип судна – одногвинтовий, двохпалубний з подвійними бортами, подвійним дном, з кормовим розташуванням машинного, насосного відділення, житлових і службових приміщень, з бульбовою формою носового краю й крейсерською кормою, зрізаною в надводній частині по типу транця, з надлишковим надводним бортом [1] (рис. 1.1). Стальна рубка розміщується в кормі та вміщує житлові приміщення, розраховані на 9 членів екіпажу.

Класифікація: Reg. 19 Finnish /Swedish 1A Lloyd's Register, RL 1A, LMC, UMC SMC, SOLAS II – 2, Ice Class 1A Tween-decker.

Побудовано судно на суднобудівному заводі Damen Shipyards Okean, Ukraine та здано в експлуатацію власнику в липні 2007 року. Загальний вигляд судна наведено на рис. 1.1, а основні характеристики в табл. 1.1.

1.1.2 Призначення судна

Судно «Morgenstond2» спеціально призначене для перевезення вантажів в контейнерах або в спеціальних ємностях. Конструкцією трюмів судна передбачена можливість перевезення стандартних 20 або 40 футових контейнерів. У трюмах мають місце спеціальні вертикальні направляючі,



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна

Таблиця 1.1 - Основні характеристики судна «Morgenstond2»

Класифікаційна ознака (характеристика)	Параметр
Тип судна	General cargo
Назва судна	Morgenstond2
Позивний сигнал судна	PHJP
Рік та місце побудови	2007 р, Damen Shipyards Okean, Ukraine
Прапор	NETHERLANDS
Порт реєстра	DELFZIJL
Судовласник	C.T.Drent Beheer B.V.
Дедвейт	12102 т
Валова місткість	8999 т
Вантажна ємність 1	6675 м ³
Вантажна ємність 2	10598 м ³
Місткість контейнерів:	684 TEU
- розміщені в трюмі:	312 TEU stackload 100 ton/TEJ, 135 ton/FEJ
- розташовані на палубі:	372 TEU stackload 50 ton/TEU, 65 ton/FEU
Швидкість судна	12,5 (14,5 / 14,3) вузлів

1.2 Основні розмірення судна

1.2.1 Розміри судна

Довжина найбільша	142,950 м;
Довжина між перпендикулярами	134,965 м;
Ширина найбільша	18,94 м;
Висота	10,95 м;
Осадка експлуатаційна максимальна	7,9 м.

1.2.2 Автономність плавання

Автономність судна по запасам палива, води, масла та провізії складає 25 діб. Дальність плавання 10000 морських миль.

1.2.3 Осадка та дедвейт

За жодних умов експлуатації судно не матиме диференту на ніс. Розрахунковий дедвейт у морській воді з густиною $1,025 \text{ т/м}^3$ при осадці по літню вантажну марку (6,35 м) на рівному кілю становить 8999 т. У прісній воді з густиною $1,000 \text{ т/м}^3$ при осадці 7,9 м на рівному кілю дедвейт судна дорівнює 12102 т.

Дедвейт включає вагу вантажу, палива, мастила, прісної води, екіпажу з багажем, провіанту, інвентарю, запасних частин відповідно до норм Класифікаційного товариства.

1.2.4 Корпус судна

Корпус судна виконаний зварною конструкцією з повздовжньою системою набору в середній частині, яка поєднується з поперечними рамними зв'язками подвійного дна, верхньої палуби, палубного стрингера, комінгсів люків. Форма корпусу передбачає відкритий люк (повна коробка з подвійною оболонкою), що може бути перетворений на одноетажний DWAT. У кінцевих частинах судна та машинному відділенні застосовано поперечну систему набору, яка використана

також для бортів, палуб бака, форпіку, районів машинного відділення та ахтерпіку. Корпус має округлену форму скули, транцеву корму і бульбовий ніс.

1.3 Морехідні якості судна

На рівному кілю, при осадці 7,9 м, свіжопофарбованому корпусі та повному завантаженні, судно розвиває швидкість до 12,5 вузлів за потужності головного двигуна 6000 кВт при 500 об/хв. Плавність ходи підтримується з періодом хитами в діапазоні 11-20 секунд. Скулові килі стримують бортову хитами. Для маневровості на малих швидкостях та під час швартування встановлено носовий підрулюючий пристрій STT1 "Eekels" з електродвигуном Leroy Somer на 730 кВт, типу "гвинт в трубі", керований дистанційно з містка.

1.4 Суднові системи

Для забезпечення комфортних умов на борту є системи прісної води, стічної і господарсько-побутової води, опалення, холодильна установка. Житлові приміщення оснащені високошвидкісною системою кондиціонування з індивідуальним контролем температури.

Протипожежні системи включають: водяну пожежну систему з двома насосами 220 м³/год при тиску 1 МПа; систему піногасіння з основною та аварійною станціями, магістральними трубопроводами та лафетними стволами; систему вуглекислотного гасіння для машинного відділення та аварійних приміщень; систему зрошення для охолодження трюмів і палуби.

1.5 Суднові пристрої

1.5.1 Рульовий пристрій

На судні передбачено підвісний руль типу «Fish Tail». Конструкція пера руля зварна, з порожнистою внутрішньою частиною. У верхній та нижній

частині пера руля розташовані зливні пробки. З'єднання балера з пером здійснюється за допомогою конічного кріплення зі шпонкою.

Для повороту руля в румпельному відділенні встановлена рульова машина Rolls-Royce FRYDENBÖ RV850-3. Рульовий механізм складається з двох гідравлічних приводних лопатей, змонтованих безпосередньо на балері, кожна з яких працює від двох насосних агрегатів, що забезпечують необхідний тиск масла для функціонування руля. Насоси можуть працювати спільно або окремо. При одночасній роботі агрегатів руль може змінювати своє положення з 35° одного борта на 30° іншого за 28 секунд на повному ході судна. Максимальний кут повороту руля становить $2 \times 70^\circ$ при швидкості судна нижче 8 вузлів.

Передбачено дистанційне електричне керування рульовою машиною з рубки. На посту в рубці розміщена апаратура автопілота. Електронні індикатори положення руля встановлені як у рубці, так і в румпельному відділенні, а електронні обмежувачі повороту пера руля вбудовані в систему керування машиною; додатково передбачено механічні обмежувачі у конструкції пера. Балер руля прямий, кований, з одним упорно-опорним підшипником у рульовій машині та одним опорним підшипником із бронзовою втулкою. Робоча шийка балера має облицювання з нержавіючої сталі, стійкої до морської води.

1.5.2 Якірний пристрій

Судно оснащено двома основними якірними пристроями та одним запасним якорем типу Холла, кожен із яких має масу 6000 кг. За запитом власника передбачено додатковий кормовий якір. Кожен якір обладнаний ланцюгом з розпірками, виготовленим зі сталі третьої категорії, діаметром 42 мм і довжиною 250 м. Ланцюги мають ручні гвинтові стопори для надійної фіксації.

На баку встановлено дві електричні якірно-швартовні лебідки, які забезпечують підйом якоря з глибини до 100 м зі швидкістю не менше 9 м/хв

після відриву від ґрунту. Для самоопускання якорів використовуються якірні ключові труби з верхніми кришками, що відкидаються.

Для навігації в гирлах річок судно додатково обладнане кормовим якорем, який має змичку типу U3 з контрфорсами, діаметром 30 мм, а також якірний канат довжиною 100 м і діаметром 39,5 мм.

1.5.3 Швартовний та буксирний пристрої

На кормі судна встановлено дві електричні швартовно-буксирні лебідки від компанії Natlара, які оснащені системами дистанційного та місцевого керування. Кожна з них має тягове зусилля 80 кН. Лебідки автоматично підтягуватимуть судно до причалу, вибираючи слабіну каната, або послаблюватимуть надмірне натягнення, якщо судно змінить своє положення біля причалу під час вантажних операцій чи приливів і відливів. На борту також є швартові кнехти та канати. На шлюпочній палубі розташовано дві корзини з дерев'яними решітками для зберігання тросів, а на палубі бака — одна корзина з решіткою. Буксирний кінець зберігається на дерев'яному барабані на баку. Швартові троси закріплені на кнехтах вісімкоподібно, щоб робочий кінець був зверху. Для передачі тросів із судна на берег використовуються універсальні ключи з поворотною обоймою і роульсами, що захищають трос від зношування. Зберігання тросів організоване на банкетах і в'юшках.

1.5.4 Рятувальне обладнання

Судно обладнане індивідуальним рятувальним спорядженням відповідно до вимог СОЛАС та кодексу LSA:

1. засоби індивідуального захисту шкіри;
2. морські рятувальні жилети;
3. гідротермічні костюми;
4. рятувальні круги;
5. суднові аптечки;

6. страхувальні жилети. З лівого борту розташована моторна рятувальна шлюпка вільного падіння, розрахована на 16 осіб, а також чергова склопластикова шлюпка з навісним двигуном на 7 осіб. На судні встановлено один рятувальний пліт на 20 осіб, який спускається кран-балкою, два надувні рятувальні плоти на 10 осіб у пластикових контейнерах з пристроєм для гідростатичного звільнення, а також два додаткові надувні плоти на 6 осіб. Кожен рятувальний пліт знаходиться в пластиковому контейнері.

1.5.5 Вантажні пристрої

Для виконання вантажних робіт на судні передбачені два електрогідравлічні крани, кожен із вантажопідйомністю 45 т. Вони можуть функціонувати в температурному діапазоні від +45°C до -20°C. Насосні станції гідравлічної системи та всі механізми розміщені всередині корпусу, що забезпечує можливість їх обслуговування. У гідросистемах встановлено підігрівачі та охолоджувачі масла. Крани розміщені вздовж лівого борту судна. Для виконання допоміжних вантажних операцій на судні передбачено ще один електрогідравлічний кран з вантажопідйомністю 8 т і вильотом 12-2 м, який також використовується для робіт із провізією та обслуговуванням люка в машинному відділенні. На палубі рубки першого ярусу розміщений кран для робіт із рятувальною черговою шлюпкою і плотом.

1.5.6 Носовий підрулюючий пристрій

Судно обладнано підрулюючим пристроєм типу «гвинт у трубі» STT1 "Eekels", що працює на основі електродвигуна Leroy Somer, розміщеним в носовій частині. Це рішення покликане підвищити маневреність під час швартування та в аналогічних портових операціях, а також за умов екстремальних навантажень.

Підрулюючий пристрій STT1 "Eekels" на базі електродвигуна Leroy Somer включає: гребний гвинт з регульованим кроком, що знаходиться в поперечній

трубі; матеріал гвинта — бронза; довжина тунелю — 1500 мм; діаметр гвинта — 1240 мм; діапазон потужності — 380-730 кВт; приблизна вага — 3000 кг; матеріал гребного вала — сталь; корпус — сталь литий; косозубе конічне зчеплення; пружна з'єднувальна муфта; електродвигун з фазним ротором; щит запуску та управління, розташований в приміщенні підрулюючого пристрою; панель управління на містку; а також сумісність з іншими системами судна, такими як ДП, управління судном або реєстратор даних рейсу VDR.

1.6 Характеристика елементів суднової енергетичної установки

1.6.1 Вимоги до суднової енергетичної установки (СЕУ)

Енергетична установка судна повинна гарантувати безпечне плавання та надійну роботу в усіх умовах експлуатації, включаючи тривалий диферент 5° і крен 15° , а також бортування і кільову хитавицю з амплітудою до 10° .

Механізми і пристрої повинні бути якомога простішими та зручними в експлуатації, обслуговуванні та ремонті, а також відповідати вимогам Правил Регістра щодо конструктивних і експлуатаційних характеристик.

Висока надійність роботи енергетичної установки судна з великим моторесурсом визначається: безвідмовністю двигуна і супутніх механізмів; тривалістю ефективної безперервної роботи з гарантованою відсутністю відмов і необхідності в ремонті; частотою планового обслуговування установки; ефективністю використання потужності головного двигуна; тривалістю експлуатаційного терміну; витратами на профілактику та ремонт. Головний двигун займає особливе місце в системі надійності, оскільки його безвідмовна робота критично важлива для безпеки плавання. Тому будь-які заходи для підвищення надійності двигуна, незважаючи на витрати, є виправданими.

Продуктивність резервних механізмів повинна бути достатньою для забезпечення потужності головного двигуна та агрегатів, що забезпечують можливість руху судна з контролюючою швидкістю. Розташування основних і допоміжних механізмів у машинному відділенні має забезпечувати зручний і

безпечний доступ до них під час експлуатації, розбирання та ремонту. Головний двигун та допоміжні механізми повинні встановлюватися на міцних фундаментах, які відповідають міжнародним стандартам. Машинне відділення має бути обладнане пристроями для підйому, переміщення та вивантаження важких частин і механізмів.

1.6.2 Основні складові СЕУ

Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна показано на рис. 1.2, де позиціями виділено: 1 – масляні сепаратори; 2 – дизель-генератори; 3 – інсеператор; 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

1.6.3 Валопровід та гребний гвинт

Валопровід та гвинт з регульованим кроком складаються з маточини гребного гвинта з лопатями і механізму зміни кроку, валопроводу, гідравлічного обладнання та дейдвудного пристрою з масляним змащенням.

Валопровід включає:

гребний вал (цільний фланець на кормовій частині і фланцева напівмуфта на носовій частині);

трубопровід для подачі масла до механізму зміни кроку;

гідрозамок.

Пристрій для обертання валу розташований на головному двигуні.

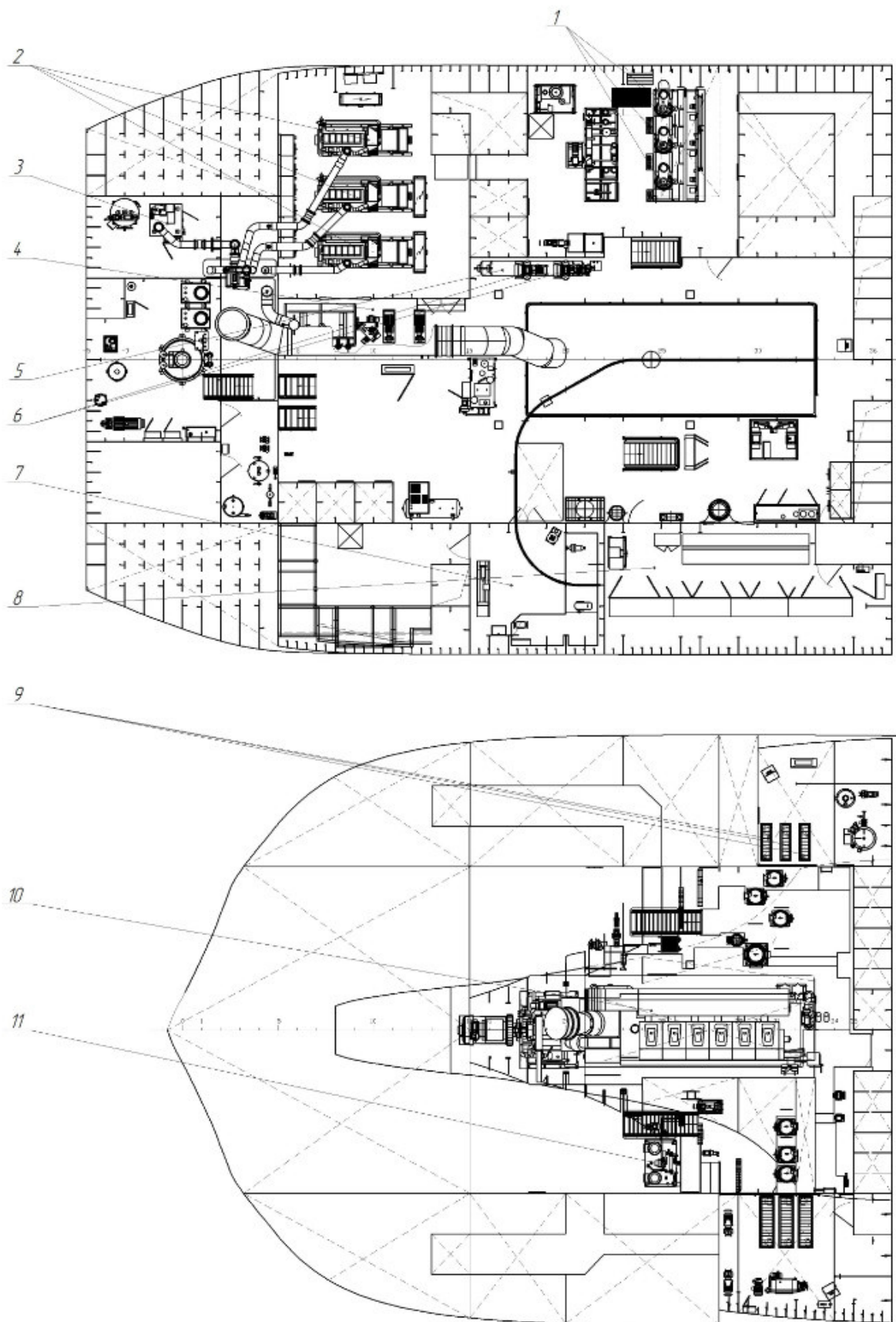


Рисунок 1.2 - Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна

Передбачено блокування, що запобігає можливості запуску ГД при включеному пристрої для повороту валу.

Передбачається дейдвудний пристрій вварної конструкції, з кормовим та носовим підшипниками на масляному змащенні та ущільненнями радіального типу. Як рушій на судні встановлено один гребний гвинт регульованого кроку:

- тип маточини – VBS 740;
- діаметр гребного гвинта – 5000 мм;
- частота обертання – 230 хв^{-1} ;
- обертання - проти годинникової стрілки;
- кількість лопатей – 4;
- тип лопатей – для праці в насадці;
- матеріал маточини й лопатей NiAl, бронза.

1.6.4 Дизель-генератори суднової електростанції

У машинному відділенні платформи планується встановлення трьох дизель-генераторів Mitsubishi Marine Diesel Engine, модель S6A3-MPTA, кожен з яких має потужність 430 кВт. На рисунку 1.3 (а та б) зображено зовнішній вигляд дизель-генератора та двигуна Mitsubishi S6A3. Основні технічні характеристики дизель-генератора вказані в таблиці 1.2.

Кожен з дизель-генераторів може функціонувати як "працюючий" або "резервний". "Резервний" дизель-генератор підтримується у прогрітому стані, готовому до запуску. Кожен дизель-генератор оснащений дизельним двигуном і безщітковим генератором змінного струму LEROY SOMER LSAM, модель 49/1S2, які закріплені на амортизаторах на спільній рамі. Запуск дизель-генераторів здійснюється пневматично з місцевого поста або автоматично за допомогою системи управління електростанцією. Охолодження приводних двигунів відбувається через ящиків охолоджувачі. Кожен дизельний двигун обладнаний масляними насосами, насосами та підігрівачами для охолоджуючої води. Дизель-генератори можуть працювати паралельно, а для їхньої синхронізації передбачена точна ручна та автоматична система синхронізації.



а



б

Рисунок 1.3 — Загальний вигляд дизель — генератора Mitsubishi Marine Diesel Engine Model: S6A3 (*а*) і дизеля Mitsubishi S6A3(*б*)

Таблиця 1.2 - Загальна технічна характеристика дизель-генератора

Параметр	Значення
Тип двигуна	4-тактний, з водяним охолодження, з турбонаддувом, з охолодженням (морською) водою
Розташування циліндрів	рядне
Система згорання	Безпосереднє впорскування
Кількість циліндрів	6
Кількість турбокомпресорів	1
Діаметр поршня / хід поршня	150 / 175
Загальний об'єм	18,5 л
Тип палива	Дизельне паливо
Ступінь стиску	14,5:1
Потужність стартермотора	24 В - 6 кВт
Система мащення	Примусове мащення шестеренчастим насосом
Основні розміри двигуна (LxBxH)	2036,5 x 926,5 x 1370,5

В якості аварійного джерела електроенергії встановлено аналогічний дизель - генератор Mitsubishi Marine Diesel Engine Model: S6A3 + LEROY SOMER LSAM Model: 49/1S2 потужністю 130 кВт, розташований в спеціальному приміщенні на шлюпкової палубі, зовнішній вигляд дизель-генератора наведено на рис. 1.3.

1.7 Характеристика головної енергетичної установки

Головна енергетична установка розташовується в кормовій частині судна і складається з одного головного дизельного двигуна.

1.7.1 Головний двигун

Основна енергетична установка розташована в кормовій частині судна. Як головний двигун використовується чотиритактний агрегат із газотурбінним наддувом типу МаК 6М43С, що забезпечує максимальну потужність 6000 кВт при частоті обертання колінчастого вала 500 об/хв.

Двигун жорстко закріплений на епоксидних клинах на металевій зварній фундаментній рамі. Блок циліндрів і станина становлять монолітне лиття. Пуск двигуна можливий виключно з машинного відділення. Конструктивно він має вертикальне рядне розташування циліндрів та пряме впорскування палива безпосередньо в циліндри. Зовнішній вигляд двигуна показано на рис. 1.4, а його поперечний переріз — на рис. 1.5.

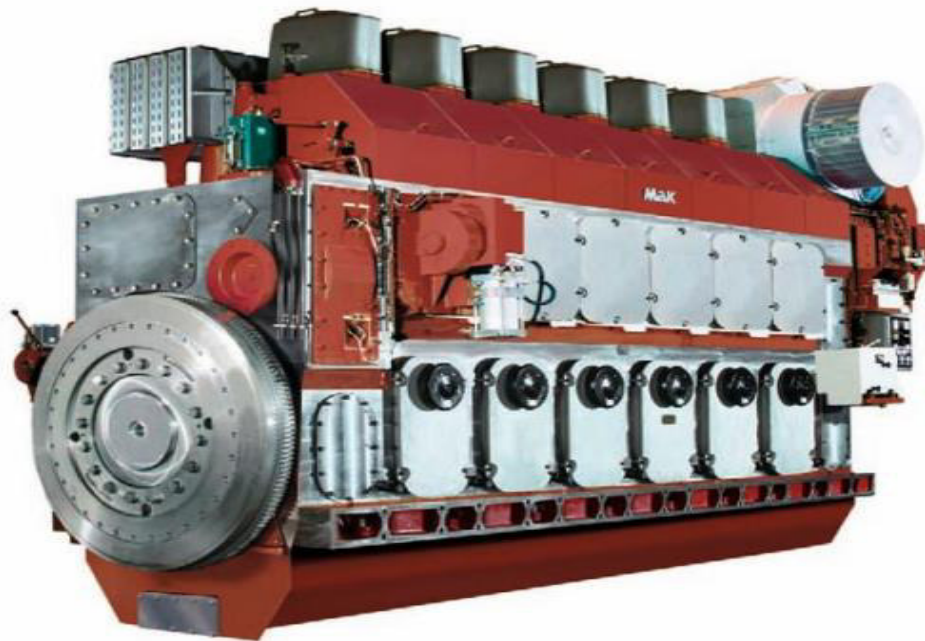


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд головного двигуна

Двигун можливо економічно та ефективно експлуатувати на важкому паливі в'язкістю до 700 мм²/сек (сст) при 50 °С (7000 сек. по Редвуду І при 100°F). Він розрахований на роботу на найгіршому паливі, включаючи специфікацію СІМАС Н/К 55.

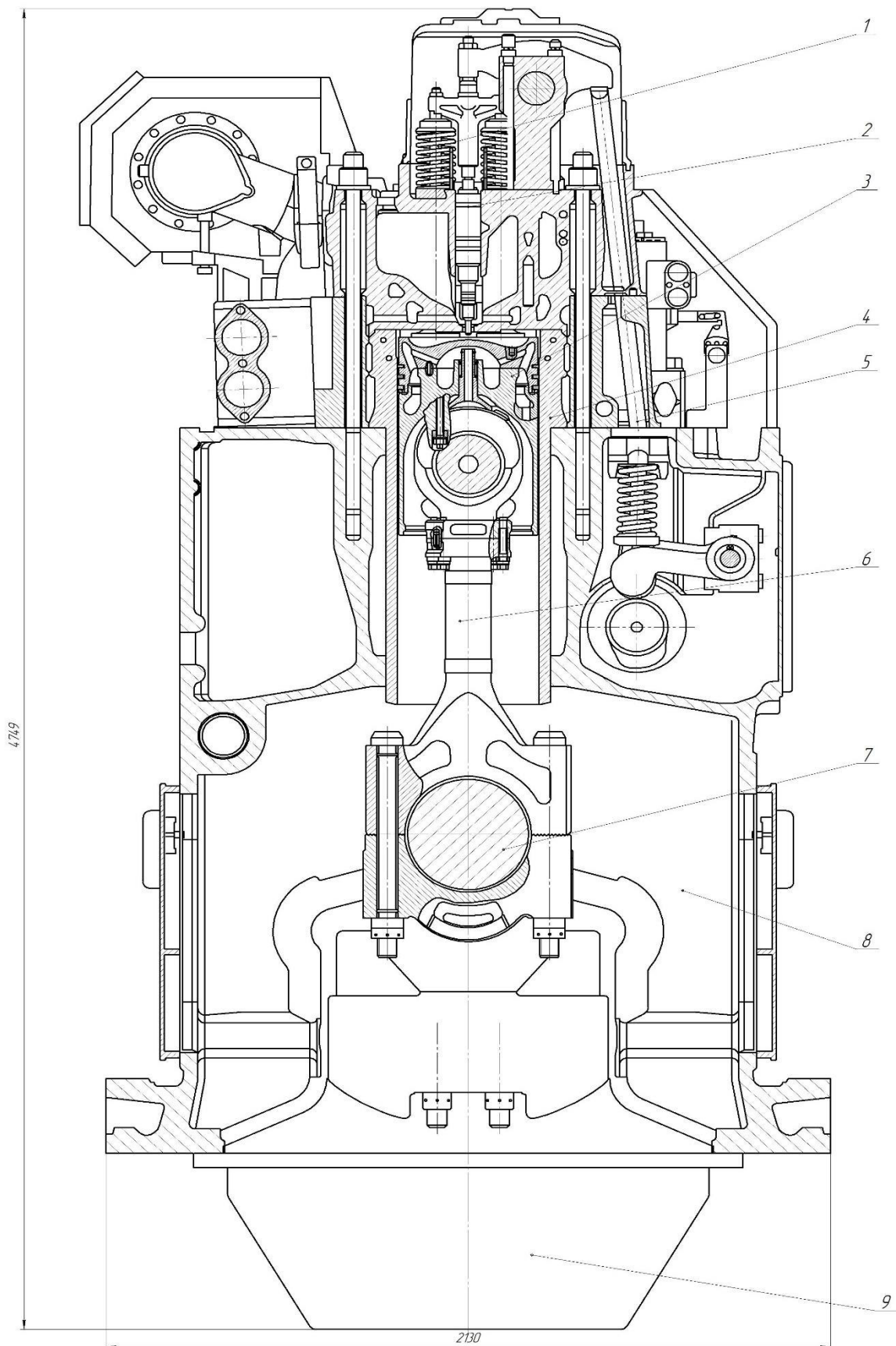


Рисунок 1.5 - Поперечний переріз головного двигуна: 1 – клапан;
 2 – паливна форсунка; 3 – поршень; 4 – циліндр; 5 – штовхач коромисла;
 6 – шатун; 7 – колінчастий вал; 8 – картер; 9 – піддон картера

Основною ідеєю конструкції двигуна МаК 6М43С є надійність і простота. Двигуни сімейства 6–9 циліндрів призначені для використання як головні суднові силові установки, що охоплюють діапазон потужностей від 3360 до 19000 кВт, працюючи на важкому паливі з в'язкістю до 700 сСт.

Проектування двигуна базується на можливості подальшого підвищення середнього ефективного тиску і потужності циліндрів та агрегатів, при цьому без зміни основних елементів конструкції, таких як підшипники, товщина стінок, діаметри валів і шестерень. Це дозволяє збільшувати потужність двигуна, зберігаючи його надійність та ефективність.

Принцип "простоти конструкції" виявляється у зменшенні кількості окремих вузлів. Завдяки високій інтеграції функцій в окремих компонентах, вдається скоротити на 40% кількість деталей, зокрема трубопроводів, що в свою чергу дозволяє знизити кількість з'єднань, мінімізуючи ймовірність помилок та спрощуючи монтаж і технічне обслуговування.

1.7.2 Технічні характеристики головного суднового двигуна

Основні характеристики головного двигуна:

Виробник.....	Caterpillar Marine Power Systems;
Тип.....	МаК 6М43С;
Кількість циліндрів і розміщення	6, рядне;
Діаметр циліндра.....	430 мм;
Хід поршня.....	610 мм;
Робочій об'єм одного циліндру.....	88,6 дм ³ ;
Середній ефективний тиск	2270 / 2640 кПа
Частота обертання колінчастого вала.....	500 / 514 хв ⁻¹
Середня швидкість поршня.....	10,2/10,5 м/с;
Максимальна потужність.....	6000 кВт;
Питома витрата палива при навантаженні: 100 % -	178 г/(кВт·год.);
85 % -	177 г/(кВт·год.); 75 % - 181 г/(кВт·год.); 50 % - 190 г/(кВт·год.);
Питома витрата мастила.....	0,8 г/(кВт·год.);

Турбокомпресор один імпульсний типу ABB TPL 71 C 33.

1.7.3 Конструкції середньообертових двигунів фірми MaK

Німецька компанія MaK (тепер відома як MaK-Caterpillar) займає провідні позиції серед виробників сучасних середньообертових дизельних двигунів. Особливий інтерес викликають її підходи до модернізації існуючих моделей та розробки нових поколінь високоефективних двигунів для великих навантажень.

Основним напрямом зменшення витрат пального, на думку фахівців компанії, є оптимізація процесу згоряння для наближення його до ізотермічного з постійним тиском, при цьому зберігаючи мінімальний рівень максимального тиску згоряння. Для цього вдається досягти високого ступеня стиснення, що можливо за рахунок збільшення ходу поршня при незмінному діаметрі циліндра. При цьому максимальний тиск згоряння підтримується в межах 7,0–7,5 МПа.

Інші виробники дизельних двигунів, що намагаються підвищити максимальний тиск згоряння, опинилися в ситуації, коли це збільшення веде до додаткових навантажень на шийки колінчастого вала, що потребує збільшення його розмірів і створює більші механічні втрати. У свою чергу, це може зменшити вигоду від підвищення термічного ККД.

Для підвищення надійності компонентів двигунів MaK використовує новітні матеріали. Наприклад, каркас дизеля (включаючи фундаментну раму, станину та блок циліндрів) виготовляється з чавуну з кулястим графітом, який має межу міцності до 500 Н/мм², що значно перевищує характеристики старих сплавів. Це забезпечує високу стійкість до втоми і збільшує опір розриву в 8 разів, що сприяє тривалій експлуатації.

Нова конструкція також гарантує, що осі циліндрів залишатимуться паралельними навіть під час тривалої роботи, що позитивно впливає на ефективність роботи поршнів і знижує витрату мастила.

Особливу увагу компанія MaK приділяє вдосконаленню колінчастого вала. При тиску згоряння 14,5 МПа колінчастий вал виготовляють з низьколегованої

сталі, а в разі подальшого підвищення тиску — з високолегованої сталі, що дозволяє зберігати необхідні параметри валу.

Підшипники колінчастого вала оснащені тонкостінними вкладишами, які мають корозійно-стійкий шар на основі олова, нанесений гальванічним методом, що компанія застосовує вже кілька років.

Шатун складається з трьох частин, а наявність рознімання в його верхній частині дає змогу безпосередньо виймати поршень без порушення геометрії підшипника шатунної шийки колінчатого вала. Рознімання розташоване так, що при знаходженні поршня в нижній мертвій точці воно точно спрямоване до люка в картері двигуна.

Циліндрові втулки виготовляються методом відцентрового лиття з чавуну з азотованою робочою поверхнею. Для підвищення стійкості до деформацій між втулкою та кришкою встановлено сталеве вогневе кільце, яке оснащене каналами для охолодження водою.

Поршень складається зі сталеві головки та алюмінієвого тронка, що забезпечує його надійну роботу. Усі ущільнювальні поршневі кільця розташовані в головці, при цьому верхнє кільце та робоча поверхня канавки хромовані. Відповідна форма камери згоряння, завдяки опуклості днища поршня, оптимізує процес сумішоутворення.

Циліндрові кришки також виготовляються з чавуну з кулястим графітом, що забезпечує їх високу міцність і здатність витримувати великий термічний та механічний вплив. У кришках розташовані впускні та випускні клапани, а повітряний канал сприяє утворенню обертового потоку повітря, що покращує змішування палива з повітрям.

Випускні клапани оснащені спеціальними корпусами та обертальними пристроями, що дозволяє уникнути використання традиційних крилаток на штоках. Наплавлення з жаростійкого сплаву на сідлах і штоках клапанів підвищує їх стійкість до високих температур, а їх охолодження водою дозволяє підтримувати температуру не вище 400 °С.

У процесі модернізації дизельних двигунів значні зміни були внесені в конструкцію паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Особлива увага приділена точному налаштуванню профілю кулачної шайби для оптимальної подачі пального під час згоряння.

Дизелі МаК оснащені системою імпульсного наддування, яка забезпечує кращу адаптацію до швидких змін навантаження, на відміну від постійного тиску, що використовують інші виробники. Ця система дозволяє досягати найнижчого споживання пального при навантаженнях 60-100%.

Концепція нових моделей двигунів, зокрема судового дизеля М43С, що був представлений на ринку в 1997 році, базується на досягненнях попередніх розробок, що зокрема включають більш довгий хід поршня. Двигун М43С здатний працювати як на дизельному, так і на важкому паливі, з високою ефективністю в експлуатації завдяки таким особливостям:

- Надійність експлуатації, забезпечена зменшенням корозії та механічного зношування, зниженням кількості з'єднань.
- Низькі витрати на обслуговування, досягаються за рахунок економії пального, можливості використання важкого палива та довговічності деталей.
- Оптимізація екологічних характеристик для відповідності міжнародним стандартам завдяки удосконаленій конструкції камери згоряння та системи наддування.

Окрім того, конструкція двигуна М43С передбачає максимальну простоту, зменшення кількості компонентів і з'єднань, що знижує можливість дефектів при монтажі та обслуговуванні.

1.7.4 Конструкція й технічні особливості двигуна

Несучий блок-картер має жорстку конструкцію та виготовлений з чавуну з кулястим графітом. Поперечні різьбові з'єднання між блоком і кришками підшипників, що використовують шпренгельні шпильки, надають додаткову міцність. Оскільки блок не передбачає охолоджувальної води, ризик корозії

відсутній. Циліндрова втулка охолоджується лише в місцях, де це необхідно, зокрема в верхній частині навколо камери згоряння. Канал для наддувочного повітря інтегровано в блок-картер, і повітря надходить через нього і водяну сорочку до впускних клапанів. Це дозволяє при роботах з кришкою циліндра уникати необхідності демонтажу трубопроводів, що знижує ймовірність їх пошкоджень або витоків.

Розподільний вал також інтегрований у блок-картер, а для зменшення тертя та зношування штовхачі клапанів і ПНВТ працюють через проміжні важелі, які можна регулювати за допомогою ексцентрика або електронного управління для зміни часу відкриття клапанів або моменту впорскування палива.

Маховик та приводна шестерня розподільного вала монтуються на колінчастому валу методом гарячого запресовування. Зубчасті колеса керуючого приводу мають точні міжосьові відстані, що спрощує монтаж, а їх усі елементи загартовані для підвищення міцності.

Поршень має сталеву верхню частину і чавунну нижню, що забезпечує надійну передачу сил при високому тиску до 19 МПа. Канавки для ущільнювальних кілець індукційно загартовуються, а їх форма і покриття забезпечують низький рівень зношування та економію масла. Циліндрова втулка має буртик, який підвищує її стійкість до деформації, а спеціальна вставка запобігає утворенню коксу, збільшуючи термін служби та знижуючи витрати масла.

Порожнини для монтажу керуючого приводу й демпфера крутильних коливань розташовані в блок-картері, що зменшує кількість вузлів і трудомісткість монтажу. Подальше спрощення конструкції досягнуте внаслідок заміни масляного трубопроводу на канавки в кришці, що усуває можливість протікань та пошкоджень.

Двигуни M43C характеризуються зручністю монтажу на судні завдяки легкодоступним трубопроводам для палива, масла та охолоджувальної води, які

підводяться з боку муфти. Паливні та масляні фільтри встановлюються безпосередньо на двигун.

ПНВТ автоматично визначають фазу роботи циліндра, що дозволяє ПНВТ відповідного циліндра виконувати функцію подачі пускового повітря. Вбудований золотниковий розподільник в насосі замінює традиційний розподільник для пускового повітря, що спрощує конструкцію.

Кришка циліндра, виготовлена з чавуну з кулястим графітом і має подвійну основу для підвищеної жорсткості, забезпечує ефективне охолодження камери згоряння та випускних клапанів, що знижує ризик високотемпературної корозії. Клапани з'єднані спільним коромислом для полегшення регулювання зазору.

Крім того, інтеграція підведення масла і води охолодження в одну систему дозволяє значно спростити монтаж трубопроводів. Штекерні з'єднання для підведення середовищ значно полегшують роботу. Кришка циліндра може бути змонтована та демонтована за менше ніж 30 хвилин.

При розробці двигуна M43C фірма MaK провела численні випробування та розрахунки, використовуючи метод кінцевих елементів для оцінки навантажень, що забезпечує надійність та довговічність конструкції, починаючи від простих вузлів до складних елементів, таких як кришка циліндра.

Двигун M43C призначений для роботи в тропічних умовах і на важкому паливі, тому він проходить спеціальні тропічні випробування. Для оцінки зношування циліндрових втулок і поршневих кілець використовується метод ізотопного вимірювання зношування, що дозволяє точно прогнозувати їх знос після 100 годин роботи.

Таким чином, всі інженерні рішення, реалізовані у двигуні M43C, орієнтовані на забезпечення надійності та простоти експлуатації.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛІВ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВИГУНА СУДНА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Система охолодження забезпечує відведення тепла від механізмів і робочих середовищ через теплообмінники та підтримує робочі температури, необхідні для надійної роботи двигуна і безпечного стану масла та матеріалів. У двигунах внутрішнього згоряння 15–35% теплової енергії, що утворюється під час згоряння палива, відводиться до охолоджуючої рідини (прісної або заборотної води, масла чи дизельного пального).

У суднових ДВЗ використовують проточні та замкнуті системи охолодження. У проточних схемах застосовується забортна вода, яка подається насосом через кінгстони та фільтри. Передбачаються два насоси (робочий і резервний), а також можливість аварійного охолодження за рахунок холодильних чи пожежних систем. Оскільки параметри заводської охолоджувальної системи узгоджені з тепловиділенням двигуна, зміни у її конструкції небажані — вони можуть спричинити перегрів та серйозні пошкодження.

Близько 8–25% тепла, що виділяється при згорянні палива, переходить до стінок циліндрів і турбонагнітача, а також нагріває циркуляційне масло, яке теж потребує охолодження. Додатково охолоджується наддувочне повітря після компресора.

Система охолодження виконує такі функції: охолодження втулок, кришок та турбонагнітача прісною водою; охолодження головок поршнів (водою або маслом); охолодження форсунок (водою або паливом); охолодження робочих рідин заборотною водою; охолодження наддувочного повітря.

Заборотною водою охолоджуються теплообмінники, маслоохолоджувачі,

підшипники, компресори та інші механізми суднової енергетичної установки. Вона також може використовуватися для аварійного осушення машинного відділення. За правилами Регістру, у машинному відділенні має бути щонайменше два кінгстони, а система охолодження повинна працювати при крені до 15° і диференті до 5° .

На сучасних судах найчастіше застосовується двоконтурне охолодження: прісна вода циркулює через двигун і охолоджується забортною водою у водоохолоджувачі. Температура води, що подається до двигуна, має бути не нижчою 55°C , щоб уникнути солевідкладень та різких температурних перепадів.

Температура охолодження впливає на ефективність і знос двигуна: підвищення температури зменшує індикаторний ККД, але водночас знижує втрати на тертя і трохи збільшує ефективний ККД. Впливає також утворення нагару та інтенсивність окиснення масла. Високотемпературне охолодження теоретично має переваги, але його практичне впровадження ускладнює конструкцію й може знизити надійність.

Тому температура води на виході з двигуна обмежена: у маловертких головних двигунах - $60\text{--}70^\circ\text{C}$, у середньооборотних та допоміжних - $75\text{--}85^\circ\text{C}$.

Удосконалення двигунів призводить до зміни теплових потоків: частка тепла, що відводиться прісною водою, поступово зменшується, а частка, що відводиться під час охолодження наддувочного повітря, збільшується.

2.1 Аналіз систем охолодження прісною водою

Охолодження головних і допоміжних дизелів здійснюється прісною водою, яка циркулює по замкненому контуру: після проходження через двигун вона охолоджується у водоохолоджувачі забортною водою й знову подається в систему. Робочий тиск у контурі, як правило, становить $150\text{--}280$ кПа, що запобігає застою рідини у рубашках циліндрів та забезпечує рівномірне тепловідведення.

Система оснащена автоматичною сигналізацією при падінні тиску нижче допустимого значення, а на деяких дизелях — також автоматичним відключенням двигуна. Температурні межі регламентуються інструкцією: 50–70 °С на вході та 60–85 °С на виході. У сучасних дизелях температура охолоджувальної води підвищена до 80–85 °С для зменшення теплових втрат і різниці температур у стінках циліндрів. Відхилення від рекомендованих значень призводить до корозійного або абразивного зносу втулок і поршневих кілець, тому система контролює перегрів води додатковою сигналізацією.

У системах охолодження застосовуються відцентрові насоси — прості, надійні й з високим ККД, що забезпечують безперешкодне спорожнення системи. На суднах передбачають один робочий і один резервний насос, а в автоматизованих енергетичних установках — окремий резервний насос саме для прісної води.

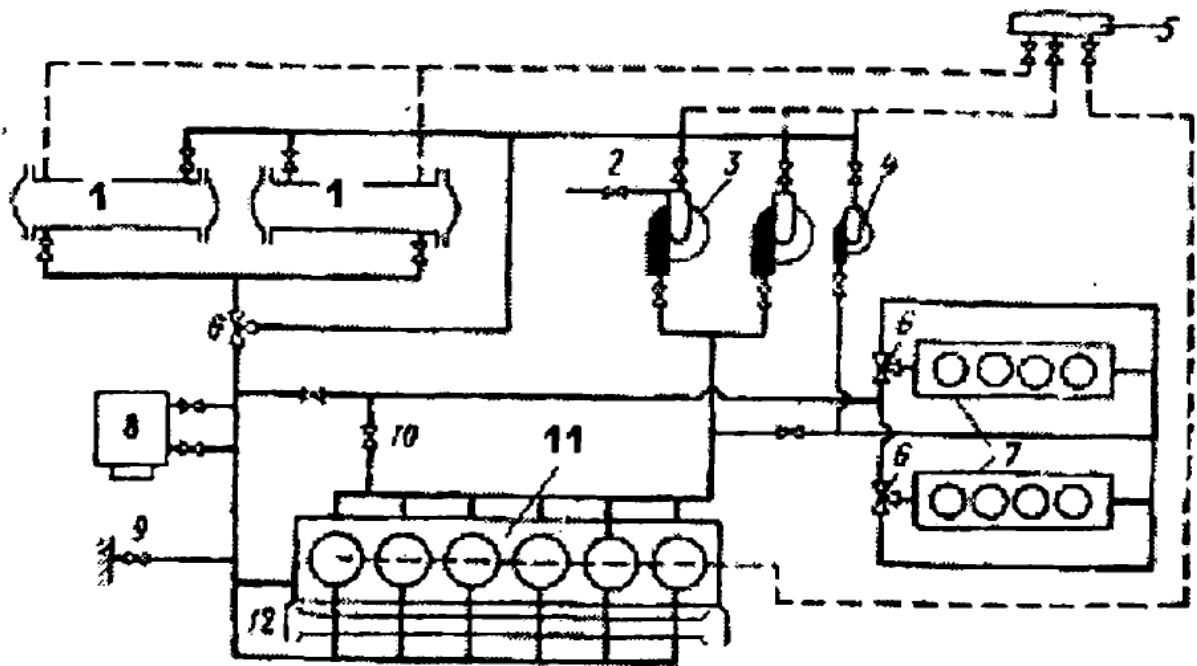


Рисунок 2.1 - Принципова схема системи охолодження прісної води:

- 1 - водоохолоджувачі; 2 - підведення заборотної води для аварійного охолодження; 3 - охолоджуючі насоси; 4 - портовий охолоджуючий насос; 5 - розширювальна цистерна; 6 - автоматичні регулюючі клапани; 7 - допоміжні дизелі; 8 - опріснювач; 9 - відведення заборотної води; 10 - клапан для підігріву головного дизеля від допоміжних дизелів;

11 - головний дизель; 12 - відведення води від повітроохолоджувачів.

Відцентрові насоси вирізняються простою конструкцією, тому їх обслуговування зазвичай обмежується контролем роботи, заміною сальників і періодичним оглядом підшипників, крильчатки, вала та муфти. Пуск насоса виконують при відкритому всмоктувальному клапані й закритому або частково відкритому нагнітальному; після запуску нагнітальний клапан відкривають і встановлюють необхідну продуктивність за тиском і температурою води у системі. Перед тривалим простоем запуск дозволено лише після видалення повітря з корпусу насоса та перевірки легкості обертання вала. Спостерігаючи за роботою насоса, слід контролювати показання амперметра: зростання струму свідчить про підвищення тертя в насосі або електродвигуні, зменшення — про можливе ушкодження крильчатки.

На судах застосовуються пластинчасті та трубчасті водоохолоджувачі. Їх обслуговування включає очищення від забруднень, заміну протекторних пластин та ремонт трубок. У чистій воді огляд рекомендується не рідше одного разу на рік, у забруднених районах — при зниженні теплообміну або збільшенні гідравлічного опору. Пошкодження трубок визначають за появою домішок прісної води у забортній, оскільки тиск останньої завжди нижчий.

У системі прісноводяного охолодження використовується розширювальна цистерна, яка забезпечує підпір на всмоктуванні насоса, видалення повітря та компенсацію робочих втрат рідини. Цистерну розміщують вище найвищої точки системи й під'єднують кількома трубопроводами — як правило, до всмоктувальної лінії насоса й верхньої частини охолоджувача, а в багатьох дизелях також до кришок циліндрів і колектора вихідної води.

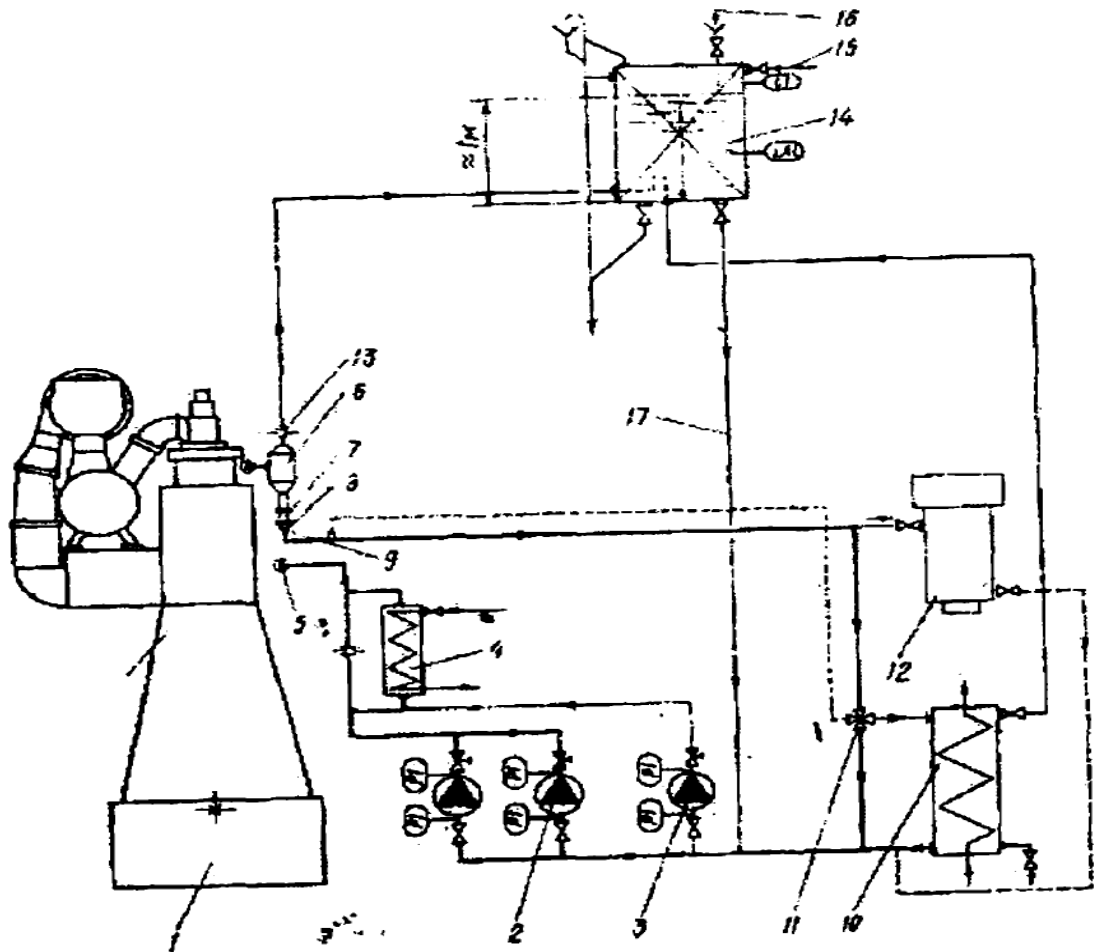


Рисунок 2.2 - Система прісної води охолодження циліндрів двигуна RTA:
 1 - головний двигун; 2 - насоси; 3 - портовий насос; 4 - підігрівач; 5 - вхід в сорочки циліндрів; 6 - сепаратор для видалення повітря; 7 - стабілізатор потоку; 8 - діафрагма регулювання тиску; 9 - вихід води з двигуна; 10 - водоохолоджувач; 11 - термостат; 12 - випарник; 13 - діафрагма; 14 - розширювальна цистерна; 15 - поповнення системи водою; 16- введення присадок; 17 - урівноважуюча труба.

Експлуатація цистерни зводиться до її очищення, обліку кількості води, що додається в систему, і спостереження за чистотою води. Облік води необхідний для своєчасного виявлення витоків води.

В системі охолодження рекомендується використовувати деіонізовану і дистильовану воду з опріснювача.

У виняткових випадках може використовуватися звичайна питна вода.

Показники якості води повинні укладатися в наступні межі: *pH* 6,5-8,0 (при 20 °С; хлориди 50 ppm (50 мг / літр); сульфати 50 ppm; силікати 25 ppm.

Таблиця 2.1 - Нітритного-боратні інгібітори корозії для обробки прісної охолоджуючої води

Фірма-виробник	Назва інгібітора	Форма поставки	Мін. дозування за рекомендаціями постачальника (*)
Castrol Ltd. Swindon Wiltshire, England	Castrol Solvex WT4	порошок	3 кг / 1000 л
	Castrol Solvex WT2	рідина	20 л / 1000 л
Drew Ameriod Marine Boonton, N.J./USA	DEWTNC	порошок	3,2 кг / 1000 л
	Liquidewt	рідина	8 л / 1000 л
	Maxiquard	рідина	16 л / 1000 л
Unitor Rochem Marine Chemicals Oslo, Norway	Dieselguard NB	порошок	3 кг / 1000 л
	Rocor NB	рідина	10 л / 1000 л
	Liquid		
Vecom Maassluis, Holland	CWT Diesel QC2	рідина	12 л / 1000 л

До недавнього часу застосовувалося додавання в воду антикорозійного масла, яке легко розчиняється у воді і утворює захисну плівку. Однак у зв'язку з форсировкой двигунів і необхідністю в гарантованому теплосніманні з охолоджуваних поверхонь, в сучасних двигунах відмовилися від застосування водоемульсійних масел і перейшли на хімічні інгібітори корозії. Причина переходу полягала в тому, що при недостатньо ретельному обслуговуванні систем охолодження на охолоджуваних поверхнях відкладався товстий шар масла, що загрожує тепловідводу і призводить до перегрівів.

За останні роки все більшого поширення знаходить метод обробки води хімічними засобами (інгібіторами), що сповільнюють корозійну дію води на метал і перешкоджають утворенню накипу, вони також пом'якшують воду і знижують утворення накипу.

2.2 Аналіз систем охолодження забортною водою

Система забортної води має ті ж теплообмінники, що і система прісної води, але в двигунах з наддувом доповнюється повітроохолоджувачами.

Система охолодження забортною водою (рис. 2.3) забезпечується робочим і резервним насосами і одним (іноді двома) портовим насосом. В системі охолодження забортною водою встановлюється один насос, а резервування забезпечується резервним насосом прісної води. При цьому повинні бути передбачені заходи, що не допускають змішування забортної і прісної води. В автоматизованих установках обов'язково є окремий резервний насос забортної води.

За Правилами Морського Регістру судноплавства система повинна мати два кінгстона, бортовий і донний, що розташовані в машинному відділенні і з'єднані між собою. На судах частіше встановлюють три кінгстона - два бортових і донний. Кінгстони встановлюють безпосередньо на кінгстонних ящиках (коробках), закритих з боку води запобіжними ґратами від попадання сторонніх предметів, здатних перекрити (зменшити) приплив води в систему або заклинити кінгстон у відкритому положенні. Крім того, кінгстонні коробки забезпечені повітряними трубами і трубами для продування стисненим повітрям і обігріву парою.

На відміну від повітряних труб танків і цистерн повітряна труба кінгстонної коробки забезпечується клапаном, призначення якого - перекрити надходження води в машинне відділення при пошкодженні повітряної труби. У безпосередній близькості від кінгстона встановлюється приймальний

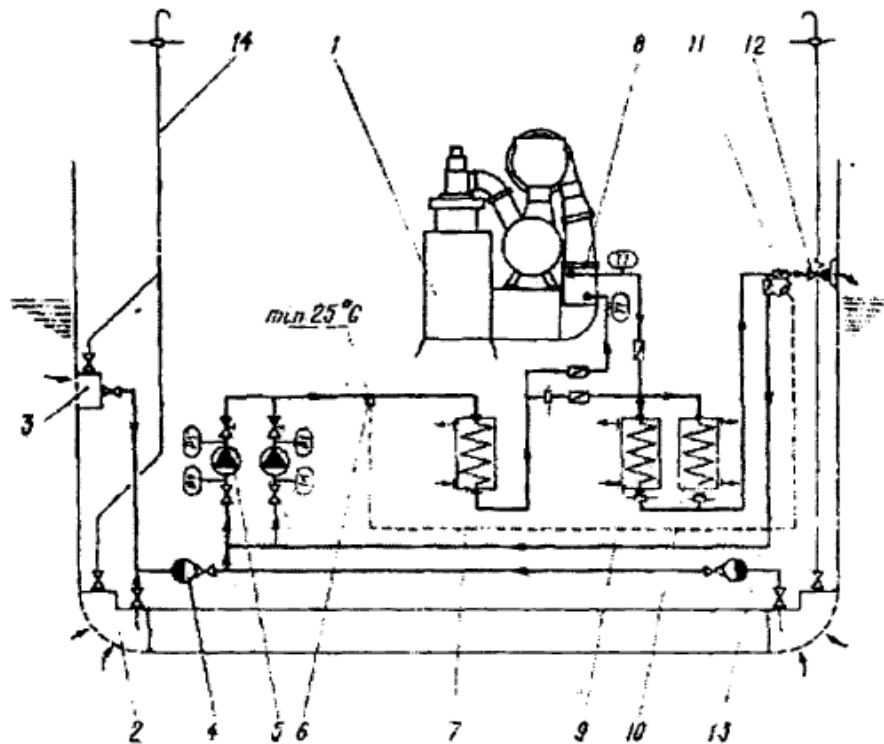


Рисунок 2.3 - Система охолодження заборотної води (двигун RTA):
 1 - двигун; 2 - донний кінгстон; 3 - бортовий кінгстон; 4 - фільтр; 5 - насос;
 6 - температурний датчик; 7 - маслоохолоджувач; 8 - повітроохолоджувач; 9
 - маслоохолоджувач поршнів; 10 - водоохолоджувач циліндрів;
 11 - термостат; 12 - відведення води за борт; 13 - рециркуляція; 14 - повітряна
 труба

сітчастий фільтр для запобігання системи (насоси, охолоджувачі) від забруднень, при цьому повинна бути передбачена можливість очищення фільтрів без припинення роботи охолоджуючих насосів. Експлуатація кінгстонних коробок і фільтрів зводиться до продування коробок і чищення фільтрів, а також до обігріву коробок в льодових умовах. У льодових умовах слід уважно стежити за показаннями мановакуумметра, встановленого на всмоктуючої магістралі насоса, і за виходом води з повітряного краника на кришці фільтра. Збільшення вакууму і припинення витікання води свідчить про засмічення фільтра льодом. При виявленні засмічення фільтра слід перейти на інший кінгстон і очистити фільтр від льоду, попередньо закривши кінгстон і

клапан після фільтра. Особливо уважно спостерігають за показаннями мановакуумметра і повітряного краника при плаванні в крижаній шугі, дрібному бітом льоду і при ході в баласті.

На багатьох судах, призначених для плавання в льодових умовах, система заборотної води з'єднується з баластної через баластний або портовий насос заборотної води. Це забезпечує охолодження води і масла шляхом перекачування води з носових танків в кормові і навпаки. Так як температура води в танках при плаванні в льоді низька, то продуктивність баластного і навіть портового насоса охолодження виявляється достатньою для охолодження робочих рідин, циркулюючих в системах охолодження. Знаючи продуктивність насоса і ємність кожного танка, можна виробляти поперемінно перекачку води з танка в танк без зупинки і без виміру кількості води в танках.

На судах, призначених для плавання в льодових умовах, іноді передбачається рециркуляція заборотної води.

Практика експлуатації систем з рециркуляцією показує, що найкращий ефект досягається при з'єднанні трубопроводу відходної заборотної води з кінгстонною коробкою.

2.3 Перспективи модернізації системи охолодження суднових дизелів

У рідинних системах охолодження під час відведення тепла виникають кавітаційно-корозійні пошкодження та утворення відкладень на поверхнях теплообміну. Із підвищенням форсування двигуна та навантаження інтенсивність цих процесів зростає, що негативно впливає на надійність і ефективність ДВЗ. Тому важливо застосовувати охолоджувальні рідини з покращеними експлуатаційними властивостями та контролювати їх якість у процесі роботи.

Функціонування рідинних систем охолодження визначається двома групами параметрів: режимними (температура охолоджувальної рідини, перепад температур, тепловий потік і кількість відведеного тепла) та водно-

хімічними.

Перехід на високотемпературний режим можливий за умови підвищення тиску у внутрішньому контурі охолодження. Один із варіантів реалізації передбачає підтримання стабільного тиску за рахунок впливу на охолоджуючу рідину стисненим повітрям.

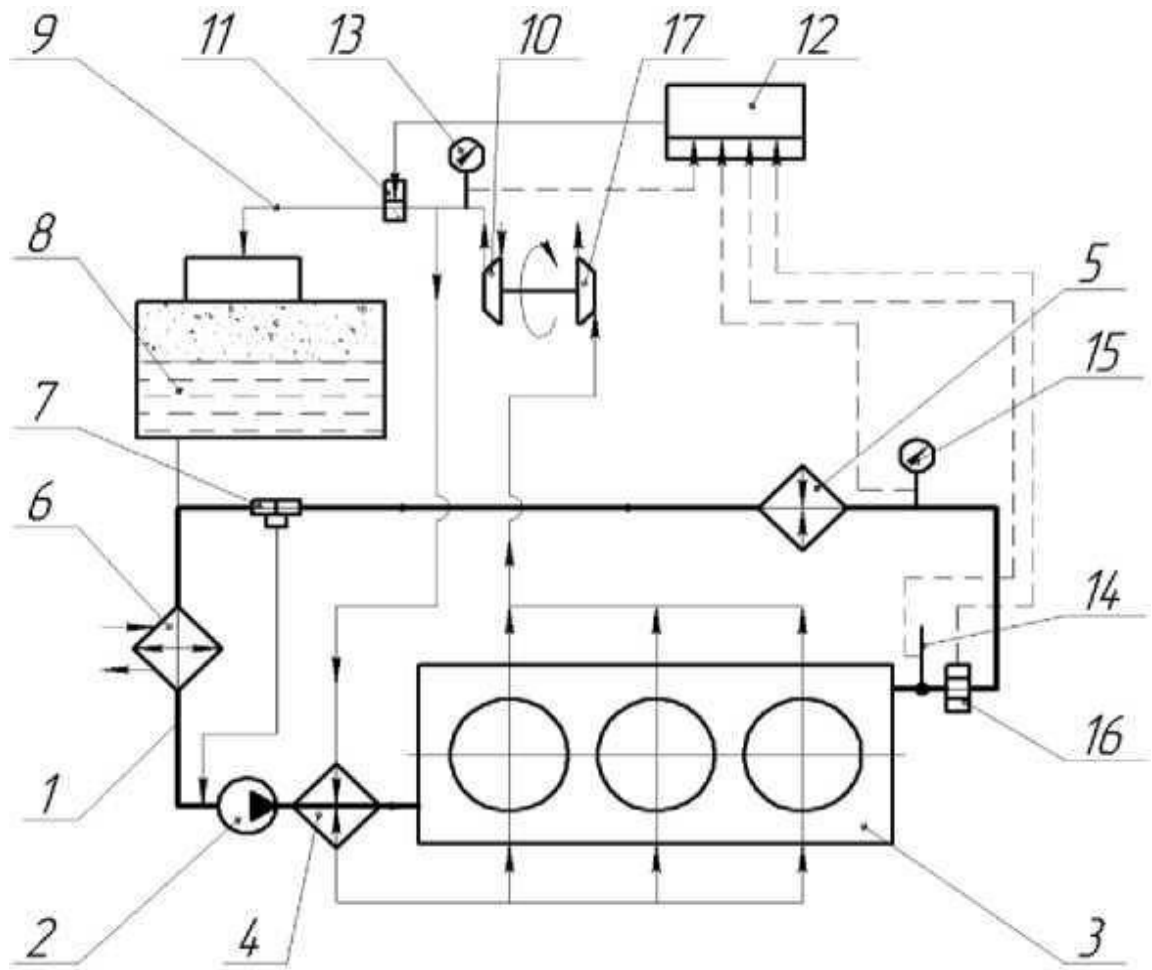


Рисунок 2.4 - Схема системи охолодження з регулюванням тиску у внутрішньому контурі:

1 - внутрішній контур СО; 2 - циркуляційний насос; 3 - сорочка охолодження поршневої частини; 4 - охолоджувач наддувочного повітря; 5 - водомасляний охолоджувач; 6 - водо-водяний охолоджувач; 7 - термостат; 8 - розширювальний бак; 9 - повітряна магістраль; 10 - компресор; 11 - редукційний клапан; 12 - блок управління; 13 - датчик тиску наддуву;

14 - датчик температури охолоджуючої рідини на виході двигуна; 15 - датчик тиску в системі охолодження; 16 - оптичний датчик присутності в охолоджуючої рідини парової фази; 17 - турбіна

При запуску двигуна і в період його прогріву температурний рівень забезпечується термостатом 8. Після прогріву двигуна і його роботи на режимах, близьких до максимальної потужності, температура охолоджуючої рідини наближається до температури кипіння, про що на блок 12 управління надходить сигнал від датчика 14. При появі в порожнинах охолодження пристінкового бульбашкового кипіння на блок управління 12 від оптичного датчика 16 надходить сигнал про наявність парової фази. На підставі отриманої інформації блок управління виробляє керуючий сигнал, що подається на клапан 11, через який стиснене повітря від компресора 10 надходить в герметичний розширювальний бак 8, що забезпечує підвищення тиску в системі охолодження і виключає можливість переходу бульбашкового кипіння в плівкове.

Основною характеристикою водно-хімічного режиму, що визначає інтенсивність кавітаційно-корозійних руйнувань, є водневий показник рН охолоджуючої рідини. Найбільш ефективним способом регулювання водневого показника охолоджуючих рідин ДВС є введення присадок в систему охолодження. Перспективним напрямком модернізації є автоматичне забезпечення необхідних властивостей охолоджувальної рідини за рахунок корекції концентрації містяться в ній присадок (рис. 2.5) [25]. Охолоджуюча рідина відводиться від сорочки 5 охолодження поршневої частини двигуна по трубопроводу 19. Термостат 8 направляє рідину або на всмоктування циркуляційного насоса 4 (при непрогрітому двигуні), або в водо-водяний охолоджувач 3 (при прогрітому двигуні). Охлаждающая рідина, що подається циркуляційним насосом 4, проходить через охолоджувач 6 наддувочного повітря і водомасляний охолоджувач 7, потім по трубопроводу 1 повертається

в сорочку 5 охолодження поршневої частини. Усмоктувальна магістраль 10 насоса 4 з'єднана з розширювальним баком 9, до якого приєднана ємність 11, заповнена концентратом присадки. Подача присадки в контур 1 охолодження здійснюється через голчастий клапан 12, який відкривається і закривається за сигналом, що надходить від блоку 13 управління. Керуючий вплив виробляється блоком управління на підставі інформації, отриманої від

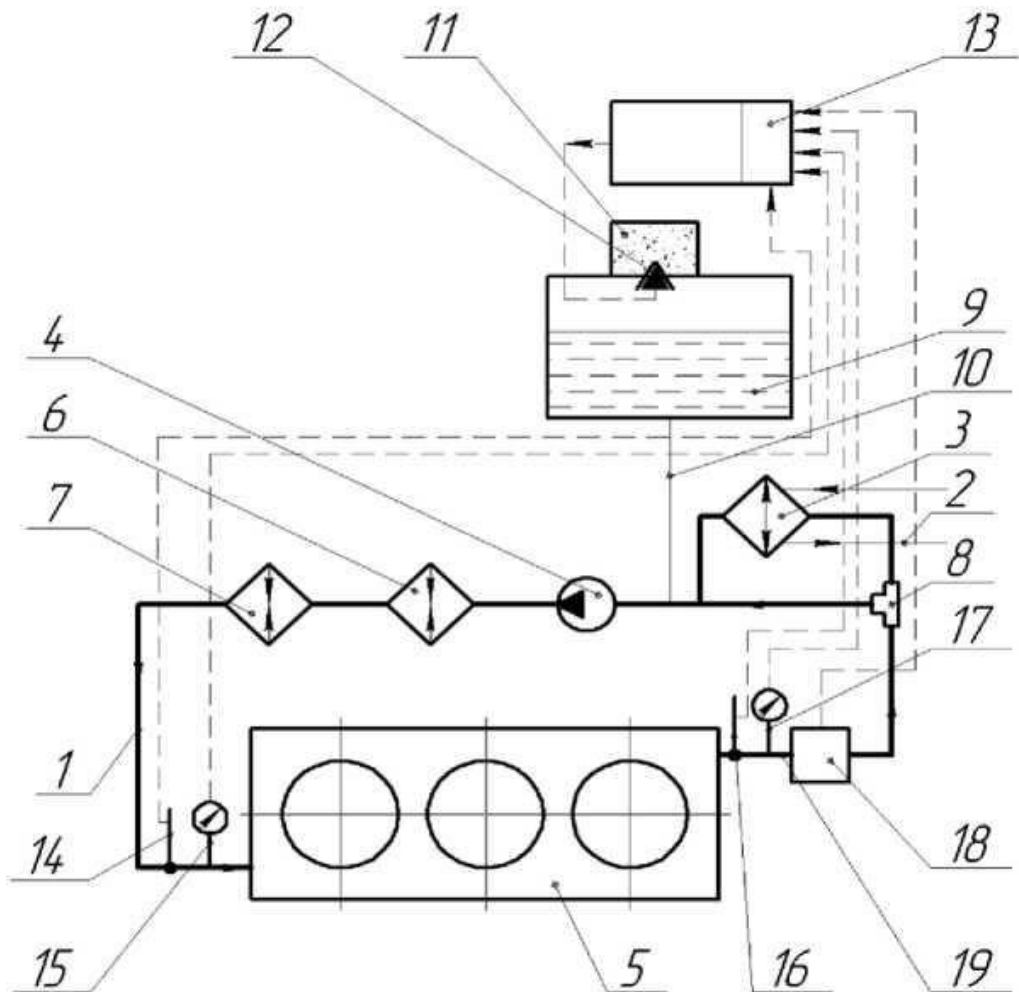


Рисунок 2.5 - Система охолодження з автоматичною корекцією властивостей охолоджуючої рідини:

1 - замкнутий контур; 2 - розімкнутий контур; 3 - водо-водяний охолоджувач; 4 - циркуляційний насос; 5 - сорочка охолодження; 6 - охолоджувач надувочного повітря; 7 - водомасляний охолоджувач; 8 - термостат; 9 - розширювальний бак; 10 - усмоктувальна магістраль насоса;

11 - ємність з концентратом присадки; 12 - голчастий клапан; 13 - блок управління; 14, 16 - датчики температури; 15, 17 - датчики тиску; 18 - аналізатор хімічних властивостей охолоджуючої рідини; 19 - відвідний трубопровод

аналізатора 18 хімічних властивостей теплоносія, і перепаду тисків на вході в двигун і виході з нього, що визначається датчиками 15 і 17, при цьому враховується температура охолоджуючої рідини на вході в двигун і виході з нього, обумовлена датчиками 14 і 16. У аналізаторі 18 хімічних властивостей визначаються такі властивості рідини, що характеризують її хімічну агресивність і схильність до накипформування, як водневий показник, жорсткість, кисне- та солевміст.

Перепад тиску в сорочці охолодження дозволяє оцінити ступінь деструкції макромолекул водорозчинних полімерів і міцелярних утворень поверхнево-активних речовин, що входять до складу присадок. Керуючий вплив на дозуючий голчастий клапан 12 виробляється в результаті порівняння інформації, що надійшла в блок 13 управління від датчиків, і закладених в його пам'ять необхідних значень показників якості охолоджуючої рідини. В якості аналізатора хімічних властивостей охолоджуючої рідини можна використовувати прилади «Мультитест ИПЛ-513» або «Мультитест КСЛ-101», що дозволяють визначати водневий показник (рН) рідини, жорсткість, загальний солевміст.

2.4 Система охолодження та її складові для суднових двигунів фірми MaK

Стандартна компоновка системи охолодження двигуна MaK 6M43C фірми (Caterpillar Marine Power Systems) включає в себе:охолоджувач наддувочного повітря; система електричного попереднього підігріву охолоджуючої

води (встановлюється на основній рамі); насос охолоджуючої рідини НТ (з приводом від двигуна); насос охолоджуючої води LT (з приводом від двигуна).

За вимогою замовника фірма може доукомплектувати двигун додатковим обладнанням системи охолодження, яке включає в себе: пластинчастий охолоджувач FW / SW; насос охолоджуючої води НТ (з електричним приводом); насос охолоджуючої води LT (з електричним приводом); насос охолодження морської води (з електричним приводом); клапан управління температурою.

Для подання принципу роботи системи охолодження дизельного суднового двигуна і його складових частин наведена принципова схема системи охолодження суднових двигунів фірми (Caterpillar Marine Power Systems) MaK серії M20, M25, M32, M43 на рисунку 2.8.

Система охолодження двигунів MaK складається з двох замкнутих контурів прісної води і контуру забортної води (яка через водо-водяні холодильники охолоджує замкнуті контури). В замкнутому контурі системи охолодження двигуна, об'єм охолоджуючої води повинен підтримуватися постійно шляхом доливання, в залежності від втрати на випаровування.

Фірма (Caterpillar Marine Power Systems) для своїх двигунів які використовуються на морському флоті пропонує декілька схем систем охолодження. Охолодження води з сорочки двигуна в теплообміннику який встановлений окремо від двигуна. Для монтажу зовнішнього теплообмінника необхідно з'єднати впуск і випуск сорочки двигуна з сорочкою теплообмінника. Як показано на рисунку 2.6, двигун приводить в обертання насос, який забезпечує циркуляцію охолоджуючої морської води через трубки теплообмінника. Розташування, розмір і матеріал, з якого виготовлені трубопроводи морської води, мають велике значення. Якщо подаючий трубопровід має велику довжину або численні відводи і вигини, то слід виготовляти його з труби на один розмір більше впускного отвору насоса.

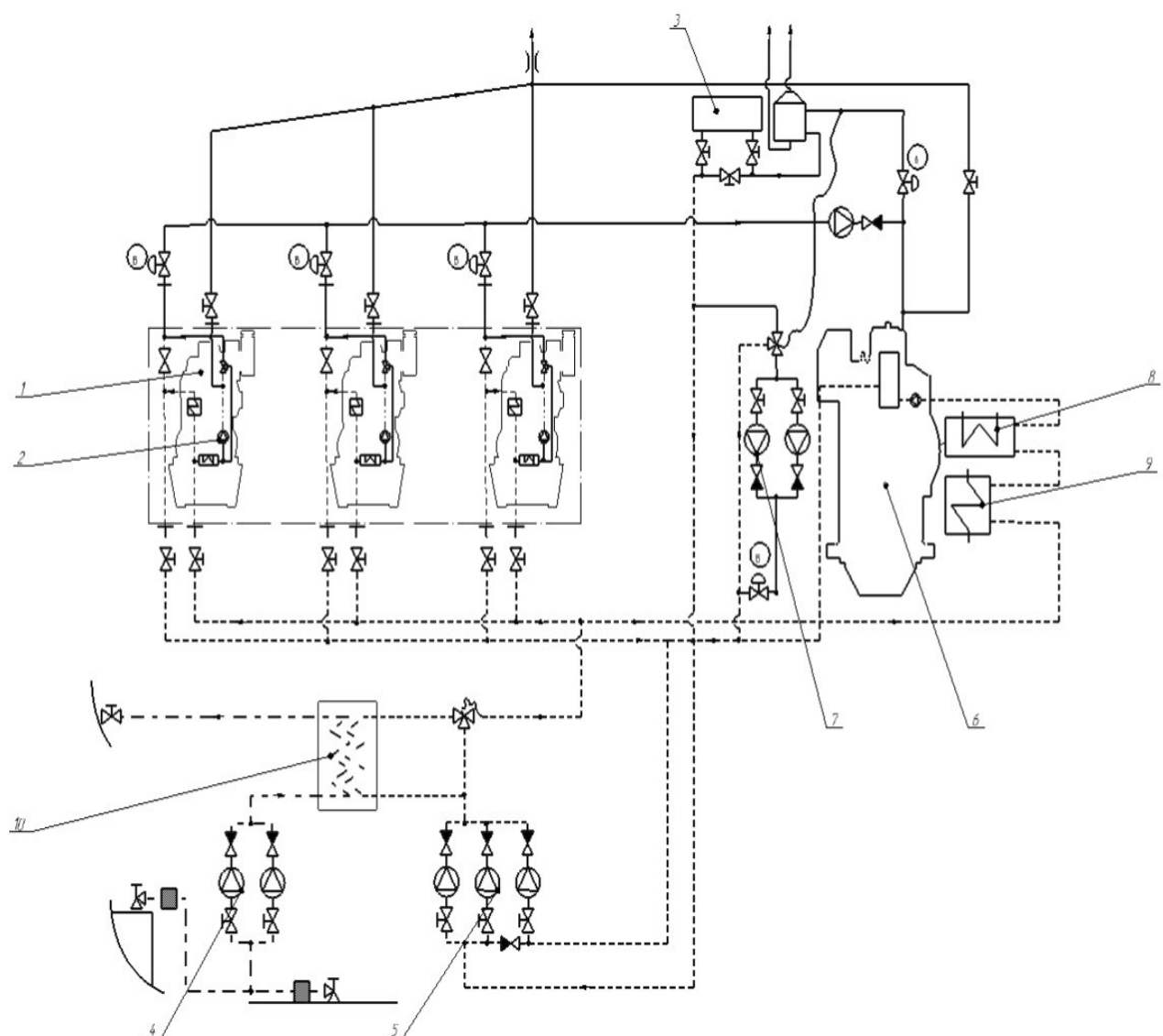


Рисунок 2.6 - Принципова схема системи охолодження головного двигуна:

1 – дизель-генератор; 2 – навісний насос; 3 – теплообмінник високотемпературного контуру; 4 – насос заборотної води; 5 – насос низькотемпературного контуру; 6 – головний двигун; 7 – насос високотемпературного контуру; 8 – повітряний холодильник; 9 – теплообмінник масляної системи; 10 – теплообмінник системи охолодження

На трубопроводі відразу за фільтром встановлено зворотній клапан з гідроприводом, завданням якого є запобігання витіканню води з трубопроводу при непрацюючому насосі або під час очищення фільтра. Між фільтром і зворотним клапаном встановлений вентиляційний клапан, через який можна стравлювати повітря, що потрапило в магістраль після очищення фільтра і відкриття впускного крана.

Якщо насос встановлений вище ватерлінії, то слід передбачити коліно перед насосом, яке не дозволить воді витікати з камери заповнення насоса.

Фірма Caterpillar Marine Power Systems пропонує споживачам три типи насосів системи охолодження:

- Лопатеві (з гумовою крильчаткою);
- Вихрові;
- Відцентрові.

Лопатеві насоси з гумовою крильчаткою мають прекрасні характеристики заповнення, але обмежений термін служби в воді, яка містить абразивні частки.

Вихрові насоси мають гірші характеристики заповнення, ніж лопатеві насоси, але тим не менше, їх висота всмоктування становить до 1,5 м. Насоси цього типу повинні мати 8-подібне коліно, щоб завжди бути заповненими водою. Коліно виготовляється з корозійностійкого металу без застосування еластомерів.

Відцентрові насоси треба встановлювати так, щоб впуск знаходився на рівні лінії осадки не завантаженого судна. Якщо в відцентровий насос потрапить повітря, вельми вірогідна втрата заповнення насоса і зупинка (або пошкодження) двигуна через відсутність води для його охолодження.

Фільтри призначені для захисту насоса морської води, теплообмінника і інших компонентів системи охолодження від попадання сторонніх часток, які можуть закупорити прохід або утворити шар на поверхні теплообмінника, що перешкоджає теплообміну. Якщо сторонні частинки є абразивними, то вони викликають швидкий знос крильчатки насоса або деталей, виготовлених з

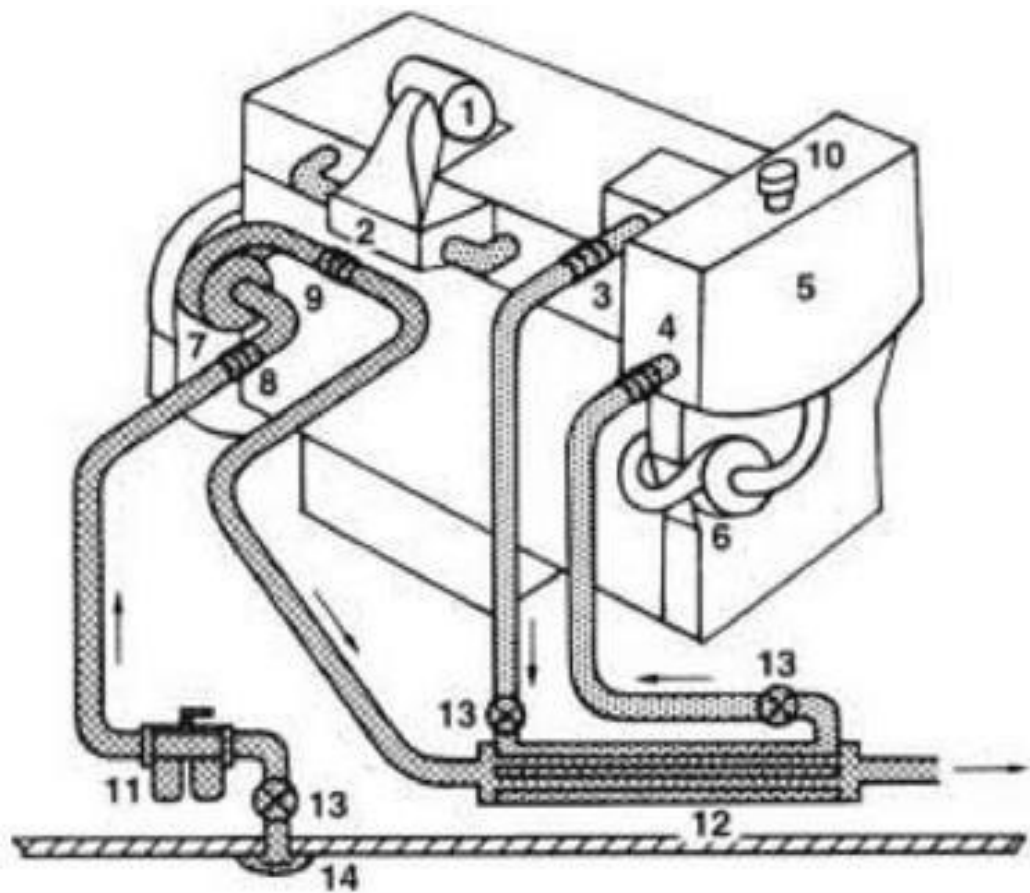


Рисунок 2.7 - Система з послідовним охолодженням і теплообмінником:
 1 - турбокомпресор; 2 - охолоджувач наддувочного повітря з охолодженням від двигуна; 3 - випускний штуцер сорочки охолодження двигуна;
 4 - впускний штуцер сорочки охолодження двигуна; 5 - розширювальний бачок (встановлюється не обов'язково на двигуні); 6 - водяний насос сорочки охолодження; 7 - допоміжний насос морської води; 8 - впускний штуцер насоса морської води; 9 - випускний штуцер насоса морської води;
 10 - пароповітряний клапан; 11 - здвоєний одно поточний фільтр;
 12 - теплообмінник; 13 - відсічний клапан; 14 - забор морської води.

м'яких металів. Фільтр встановлений нижче ватерлінії судна і якомога ближче до водозабірника (поруч з краном морської води). До місця установки фільтра забезпечений легкий доступ для очищення його навіть в штормову погоду. Фільтр "симплексного" (одиначного) типу достатній для роботи системи охолодження, але "дуплексні" (здвоєні) фільтри надають системі набагато більший рівень безпеки, оскільки дозволяють проводити очищення фільтра без припинення подачі морської води до системи охолодження (теплообмінного апарату), без зупинки двигуна. Фільтруючий матеріал (сітка) не повинен пропускати об'єкти крупніше 1,6 мм.

2.5 Вибір напрямку модернізації двигуна

Охолодження суднових двигунів може виконуватися за різними схемами, проте найпоширенішою є центральна система охолодження. Її переваги: лише один теплообмінник працює на морській воді, інші — на прісній, тому можуть виготовлятися з дешевших матеріалів; зменшується корозія трубопроводів; скорочується обсяг технічного обслуговування теплообмінників; підвищується ефективність використання тепла.

Недоліки центральної системи — необхідність трьох груп насосів (морської води, центрального контуру та водяної сорочки) і вища початкова вартість.

У центральній системі морську воду пропускають лише через один теплообмінник, тоді як решта охолоджувачів працюють на прісній воді. Щоб уникнути перегріву, температура води в центральному контурі зазвичай не повинна перевищувати 36 °С, що відповідає максимальній температурі морської води 32 °С.

РОЗДІЛ 3

ЗМІСТ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА

3.1 Обґрунтування доцільності модернізації системи охолодження головного двигуна

З метою обґрунтування висунутих припущень у розділі 2.5 дипломного проекту, виконуємо аналіз конструктивних особливостей теплообмінного апарату системи охолодження суднового двигуна і розрахунок площі теплообміну теплообмінного апарату для запропонованого рішення з урахуванням зміни умов експлуатації судна. Обґрунтування, наведене вище, показало, що для забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини при зміні регіону плавання (зміні температури морської води) головного двигуна потрібно в системі охолодження передбачити можливість встановлення додаткових пластин у пластинчастому теплообміннику або теплообмінних апаратів.

Щоб запобігти занадто високій температурі в системі охолодження, розрахункова температура охолоджуючої рідини в центральній системі охолодження повинна бути не більше $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.8), що відповідає максимальній температурі морської води $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1 – 3, 16] в регіоні плавання.

Рекомендація виробника по збереженню температури охолоджуючої води на вході в повітроохолоджувач основного двигуна - це застосування якнайнижчої температури в центральній системі охолодження. Це означає, що температура охолоджуючої води в центральному регулюючому клапані води, тобто різниця не повинна перевищувати $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Крім цього, для зовнішніх з'єднань труб системи виробник встановлює максимальні швидкості охолоджуючої води на рівні:

- водяна сорочка 3,0 м / с
- центральна система охолоджуючої води 3,0 м / с
- забортної вода 3,0 м / с

Тобто, одного збільшення швидкості циркуляції рідини в системі охолодження при збільшенні температури морської води вище $+32^{\circ}\text{C}$ може не вистачити для забезпечення температури в центральній системі $+36^{\circ}\text{C}$. Тоді, як правило, для підтримання температури охолоджуючої рідини у системі у встановлених межах зменшують потужність головного двигуна, що неодмінно призводить до зменшення швидкості. Таке зменшення швидкості буде небезпечним при знаходженні судна в районах, де можуть діяти пірати. Тому, швидкість судна повинна підтримуватись достатньою для забезпечення безпеки судна, вантажу і екіпажу.

У відповідності до завдання на дипломні проектування в проєкті розглянуто варіант зміни регіону плавання з Північного моря в район Перської затоки.

Температура води саме на відкритій воді у Перській затоці (ОАЕ) коливається у діапазоні від $+15^{\circ}\text{C}$ взимку до $+38^{\circ}\text{C}$ влітку. З травня по вересень температура води в Перській затоці піднімається до $+35-36^{\circ}\text{C}$ і вище (можливо до 40°C) [1 – 3].

Для забезпечення нормальних умов експлуатації СЕУ відповідно до вимог заводу-виготовлювача виникає необхідність при зміні регіону плавання передбачати можливість стабільної підтримки температури в центральній системі охолодження на рівні не вище 36°C при значних коливаннях температури морської води з максимально допустимих $+32^{\circ}\text{C}$ до $+35-36^{\circ}\text{C}$ і вище.

На підставі вищевикладеного, виникає необхідність збільшити площу теплообмінних апаратів СЕУ для забезпечення підтримки оптимальної температури в системі охолодження відповідно до вимог заводу-виготовлювача.

Досвід виробників довів, що на задовільний ресурс і продуктивність системи охолодження впливає стан вище наведених складових, то в роботі доцільно обмежитись саме розглядом тільки вказаних питань.

Для визначення напрямку модернізації можливо виконати розрахунок пластинчастого теплообмінника для можливого встановлення в систему охолодження суднового двигуна.

3.2 Аналіз конструкції і основні характеристики пластинчастого теплообмінного апарату Danfoss системи охолоджуючої води двигуна MaK 6M43C

Теплообмінник системи охолодження наведено на рис. 3.1. Це розбірний пластинчастий теплообмінний апарат, що складається з рами та пакета пластин (рис. 3.2). Рама включає нерухому плиту 1, притискну плиту 2 та задню стійку 7, об'єднану з верхньою 3 і нижньою 4 напрямними. Теплообмінники випускаються з рамами різної довжини, що дозволяє змінювати кількість встановлених пластин.

Між нерухомою і притискною плитами розміщується пакет пластин 5 з гумовими ущільнювачами. Притискна плита стискає пакет за допомогою різьбових стяжок 6, забезпечуючи герметичність внутрішніх каналів.

Пластини виготовляють методом штампування, переважно з нержавіючої сталі AISI 316, після чого проводять електрохімічне полірування. Ця сталь стійка до загальної корозії, проте в умовах високих температур чи підвищеного вмісту хлоридів можлива локальна корозія (наприклад, пітінг). Типовий хімічний склад сталі AISI 316: С — 0,08%, Cr — 16–18%, Ni — 10–14%, Мо — 2–3%. Наявність молібдену підвищує опір пітінговій корозії.

Товщина пластин залежить від робочого тиску та зазвичай становить 0,4–1,0 мм: для тиску до 10 атм застосовують пластини 0,4 мм, до 16 атм — 0,5 мм, а до 25 атм — 0,6 мм.

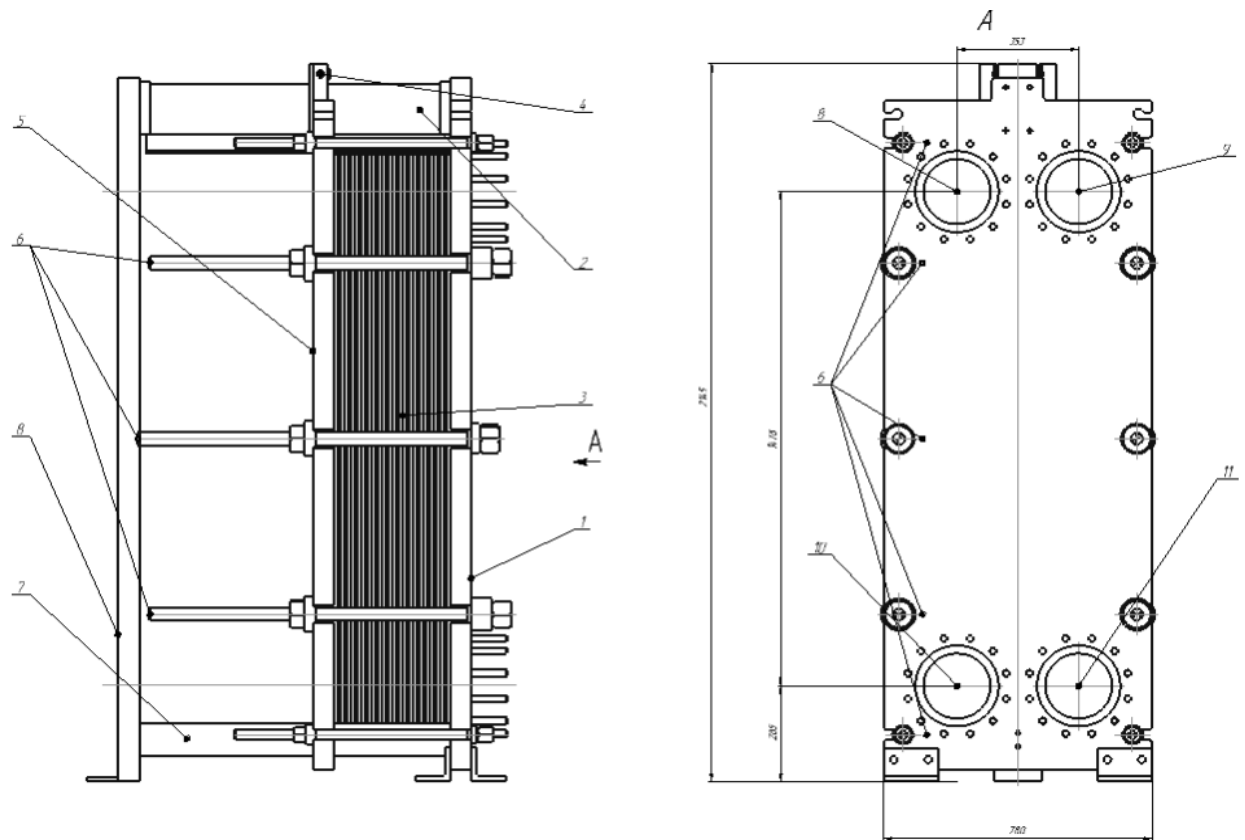


Рисунок 3.1 – Теплообмінний апарат системи охолодження:

1 – нерухома плита; 2 – несуча консоль; 3 – пластини; 4 – роликовий пристрій; 5 – рухома плита; 6 – стяжна шпилька; 7 – напрям-ляюча консоль; 8 – вхід «гарячої» води (від ГД); 9 – вихід «холодної» охолоджуючої води; 10 – вихід «гарячої» води (після охолодження); 11 – вхід «холодної» охолоджуючої води

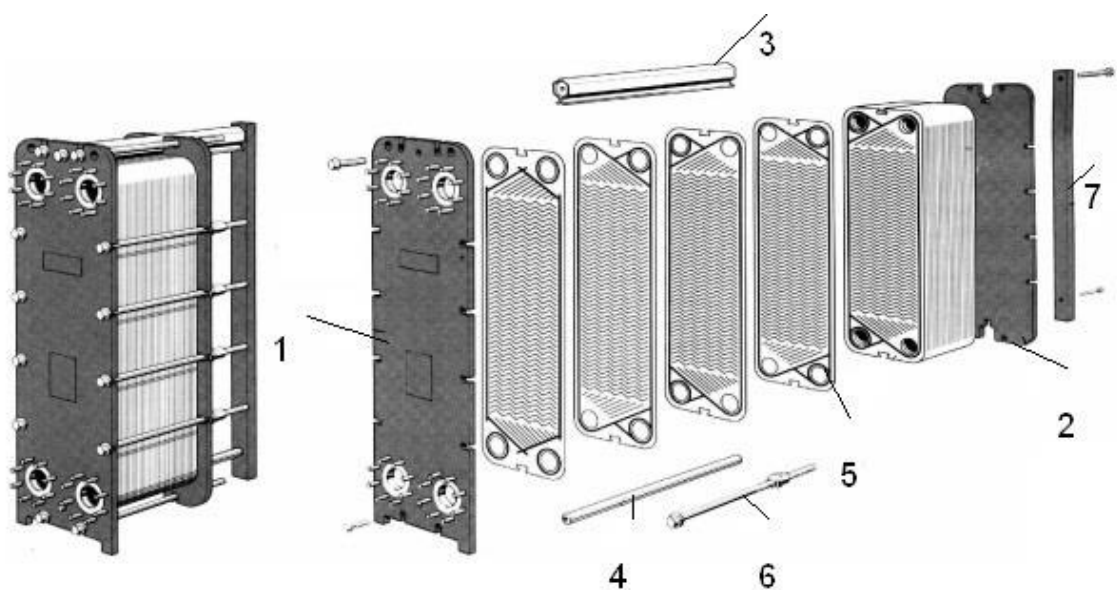


Рисунок 3.2 - Пластинчастий теплообмінник

Для робочих середовищ, які є більш агресивними щодо сталі AISI 316, використовують дорожчі матеріали — наприклад 254 SMO, титан або хастеллой. Якщо середовище менш агресивне, застосовують сталь AISI 304.

Теплообмінна пластина (рис. 3.3) характеризується високою тепловіддачею завдяки оптимальній геометрії каналу. Принцип *Off-Set* дозволяє формувати симетричні або асиметричні канали для проходу теплоносія. Рельєф розподільчої зони забезпечує рівномірний розподіл потоку, а ущільнення кріпляться за кліпсовою системою, що спрощує монтаж і центрування. Подвійне ущільнення з кантом витoku виключає змішування робочих середовищ у зоні отворів. Спеціальна окантовка пластини забезпечує жорсткість пакета і надійну фіксацію ущільнень під тиском під час роботи теплообмінника

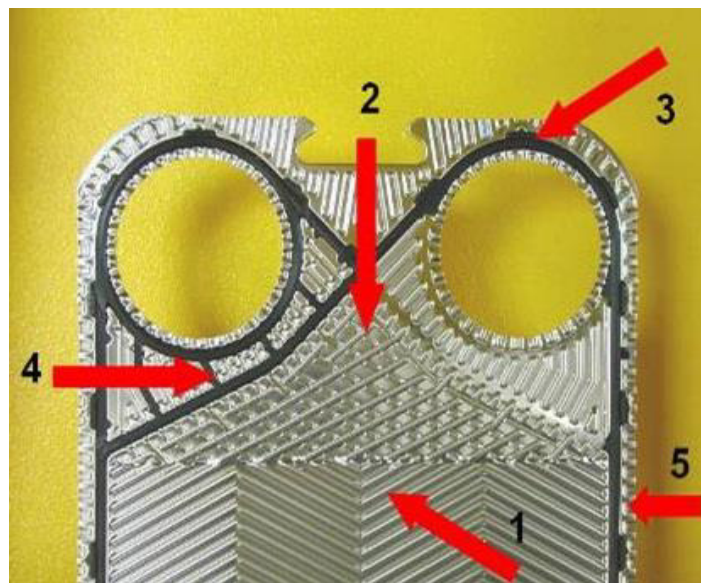


Рисунок 3.3 - Теплообмінна пластина

Рифлення пластин може бути різним. Як правило розрізняють "термічно жорстке рифлення" з кутом 30° (характеризується більш високим коефіцієнтом теплопередачі, але і великими втратами тиску) і "термічно м'яке рифлення" з кутом 60° (характеризується більш низьким коефіцієнтом теплопередачі, але і меншими втратами тиску). Підібрана така комбінація

пластин, щоб забезпечити необхідну теплопередачу, але при цьому вкластися в задані втрати тиску.

Комбінуючи пластини в пластинчастому теплообміннику можна організувати протікання рідин в трьох різних типах каналів, які і утворюють дані пластини:

«М'який» канал це пластини з кутом рифлення 60° . Мала турбулізація течії рідини, малий коефіцієнт теплопередачі, малий гідравлічний опір.

«Середній» канал це пластина з кутами рифлення 60° і 30° . Середня турбулізація течії рідини, середній коефіцієнт теплопередачі, середній гідравлічний опір.

«Жорсткий» канал це пластини з кутом рифлення 30° . Висока турбулізація течії рідини, високий коефіцієнт теплопередачі, високий гідравлічний опір. Пластинчастий теплообмінник розрахований і працює на турбулентному режимі. В цьому і полягає його відмінність і більш висока ефективність ніж у кожухотрубного теплообмінника (принцип "труба в трубі"), де рух рідини ламінарний. Для одного і того ж завдання площа теплообміну пластинчастого теплообмінника буде менше в 3-4 рази, ніж у кожухотрубного теплообмінника. Прокладки забезпечують герметичність теплообмінника щодо навколишнього середовища і не допускають змішування рідин які беруть участь в процесі теплообміну. Прокладки виготовляються зі спеціальних полімерів, які забезпечують необхідні температурні параметри або хімічну стійкість. Як правило, застосовується матеріал EPDM, який представляє собою етилен-пропіленовий полімер. Він застосовується в основному для гарячої води і пари. Однак на нього можуть згубно діяти різні жири і масла. Робочий діапазон температур для гуми EPDM становить від -35°C до $+160^\circ\text{C}$.

Зазвичай використовуються одноходові пластинчасті теплообмінники. Вони відрізняються 100% протитоком двох середовищ. Всі входні і вихідні патрубки кріпляться до нерухомої притискної плити. Цей тип - найпростіший в обслуговуванні.

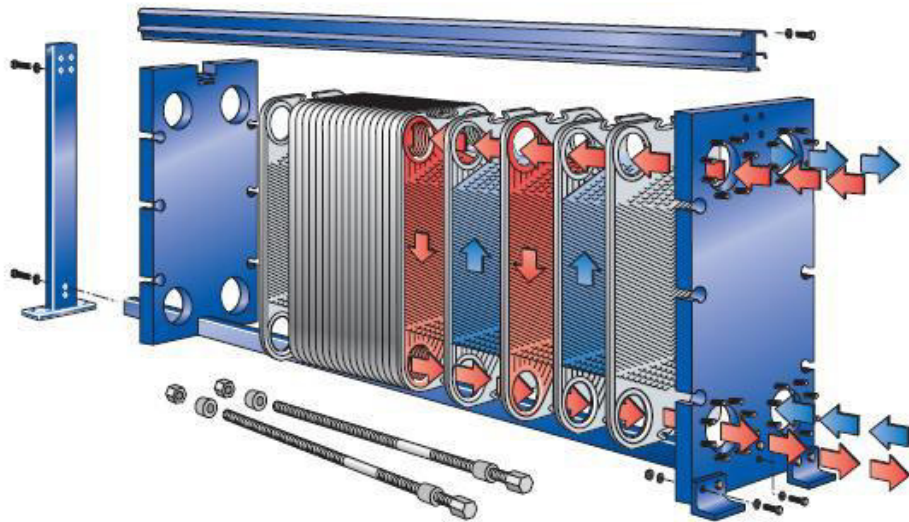
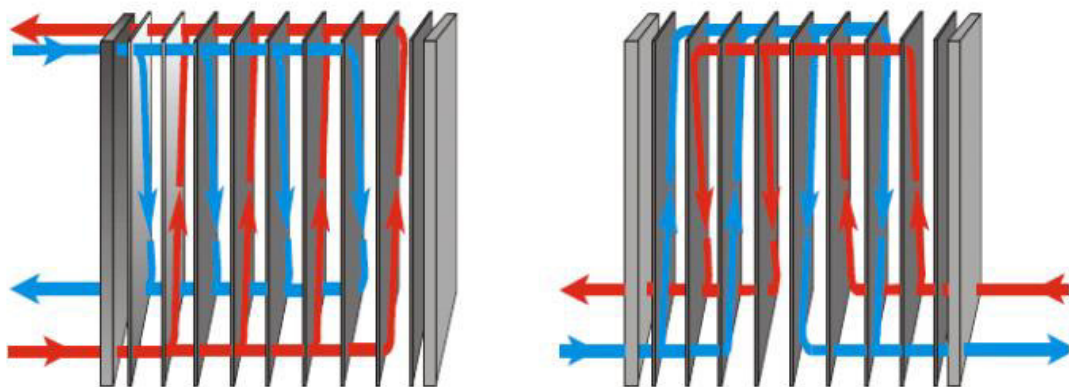


Рисунок 3.4 - Компоновка теплообмінного пластинчастого апарату

При невеликому перепаді температур між технологічними рідинами необхідний багатоходовий теплообмінник. При цьому приєднання теплообмінника до мережі здійснюється як до рухомої, так і до нерухомої плит (рис. 3.5).



а)

б)

Рисунок 3.5 - Схема роботи одноходового (а) і двоходового (б) пластинчастого теплообмінника

Багатоходова конструкція теплообмінника передбачає організацію додаткових каналів і підключень, наприклад приєднувальні порти на рухомій притискній плиті. Глухі проходи в поворотною пластині для двохходового теплообмінника і перша поворотна пластина для триходового теплообмінника забезпечені отворами діаметром 3 мм (для малих теплообмінників) і 6 мм (для великих).

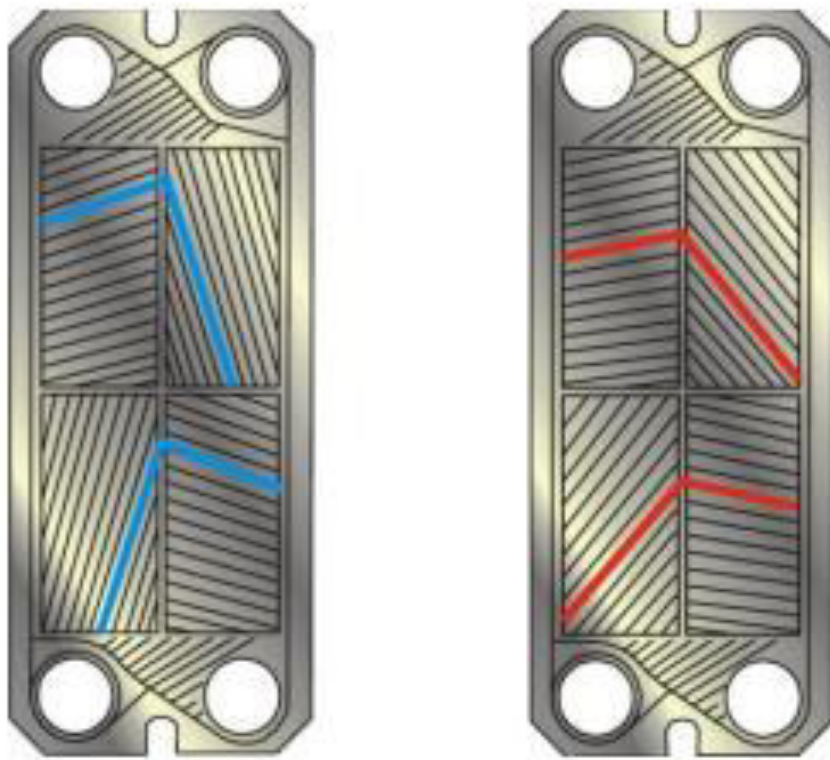
У багатоходових теплообмінниках, що працюють на малій різниці температур теплоносіїв, ці отвори можуть бути відкриті за допомогою гвинтів. В цьому випадку виникне невелика бай пасування теплообмінника.

Великі багатоходові пластинчасті теплообмінники, наприклад, X051, X060 для запобігання деформації заглушених проходів, вимагають встановлення розділювальних плит після кожної поворотної пластини.

Особливості типового ряду пластин C, L, X. При незбалансованих витратах і лімітованих втратах, рекомендується використовувати пластини X. Гофровані пластини X мають ущільнення по периметру. На великих типах теплообмінників, починаючи з моделі X051 є кільцеві ущільнення навколо двох з чотирьох отворів портів, що означає доступ до поверхні теплообміну тільки одного з двох потоків середовищ.

Кожна наступна пластина має ущільнення навколо двох інших отворів портів. Таким чином, створюється система каналів, в якій дві середовища проходять кожна через свій контур по черзі. Перетікання рідини між контурами неможливо завдяки подвійним ущільненням навколо отворів портів. Особливістю унікального дизайну пластини є те, що вона має два різних кута для кожного типорозміру пластини (рис. 3.6).

Пластини з візерунком "ялинка" є у виконанні з гострим або тупим кутом, що дає шість різних варіантів конфігурації каналів.



а)

б)

Рисунок 3.6 - Пластини з гострим (а) і тупим кутом (б)

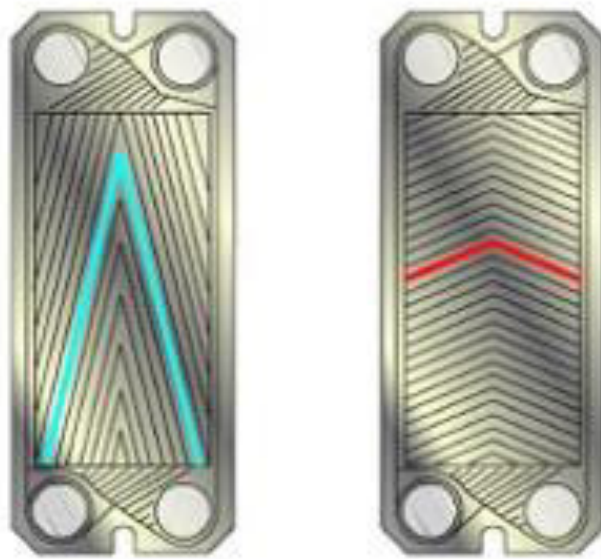
Пластини з тупим кутом збільшують опір потоку, а пластини з гострим кутом зменшують перепад тиску. Пластинчастий теплообмінник ХГС може бути виконаний з асиметричними каналами для досягнення максимальної ефективності теплопередачі і економічності.

Пластини Х і L відрізняються від звичайних пластин, тому що ущільнення радіальних каналів лежить в нейтральній площині пластини. Кожна пластина клеїться нормальним ущільненням повної товщини і прокладається по каналу по периметру пластини з одного боку. На останню і першу пластину, клеяться ущільнення половинної товщини. У зібраному теплообміннику є:

- два ущільнення половинної товщини перше і останнє,
- інші ущільнення складають комплект з нормальних повної товщини для прохідних пластин.

Пластини типу L, С. Гофровані пластини мають ущільнення по всій зовнішній межі поверхні. Також є ущільнення навколо двох або чотирьох

портів, що означає, що тільки один або два потоки рідин мають доступ до поверхні нагрівання. На наступній плиті ущільнення розташовані навколо двох інших портів. Так, канална система утворюється там, де два потоки рідини проходять кожен інший канал відповідно. Протікання між двома рідинами виключено, завдяки подвійним прокладкам навколо портів. Перепад тиску і теплообмін залежать від таких факторів, як кут стрілки на зразку пластини (рис. 3.7).



а)

б)

Рисунок 3.7 - Пластини типу *L* і *C* з гострим (а) і тупим кутом (б)

Пластини з тупим кутом знижують швидкість проходження потоку, а пластини з гострим кутом зменшують перепад тиску.

Маркування пластин. Загальні дані про маркування. На кожній пластині штампується шестизначний номер. Цей номер використовується для контролю матеріалу.

Перша цифра - рік випуску. Друга цифра - Тип матеріалу. Останні 4 цифри - серійний номер (Приклад – 811031). Пластина виготовлена на AISI 316 / 1.4401 в 2008 році. 1031 - номер, що відноситься до певного матеріалу / сертифікату.

Ідентифікація пластин. Пластини можуть ідентифікуватися наступним чином, наприклад:

- з *діагональним приєднанням типу X*. Пластини типу X ідентифікуються за відштампованою кодовою буквою. Цю букву можна знайти справа від вирізу для верхньої направляючої, коли пластина звернена до нерухомої плити.

- *пластини типу C* ідентифікуються за шевронами, які звернені або вгору, або вниз. Ущільнення на пластині повинні бути звернені до нерухомої плити.

- *пластини L* ідентифікуються по букві "O". Цю букву можна знайти внизу або вгорі справа від вирізу для верхньої направляючої, коли пластина звернена до нерухомої плити.

Ущільнення. Ущільнення для пластин формуються з єдиного полотна. Ущільнення вибирається з урахуванням реального впливу робочої температури, хімічного складу, тиску теплоносія і інших параметрів. Для запобігання перетікання теплоносія між контурами, пластини розділені подвійним ущільненням в області патрубків. У разі розриву або пошкодження прокладки, теплоносій почне витікати.

Маркування ущільнень. Ущільнення маркуються при формуванні. Маркування складається з кольору матеріалу, року / місяця і номера прокладки, також на ущільненні є маркування типу теплообмінника для якого вона призначена і тип каналу. Ущільнення для діагональних теплообмінників з кліпсовою приєднанням поділяються на типи і при установці повинні чергуватися А-В-А-В тощо: Channel A - нормальне ущільнення, Channel B - нормальне ущільнення, Channel A Half - початкове або кінцеве ущільнення, Channel B Half - початкове або кінцеве ущільнення і може складатися з трьох частин, наприклад, як для теплообмінника XGC-X051 дві частини призначені для укладання в зоні портів і одна частина у вигляді шнурка, укладається уздовж прямої частини каналу.

3.3 Розрахунок пластинчатого теплообмінника системи охолодження

Теплообмінник в даному випадку працює за схемою, наведеною на рис. 3.8.

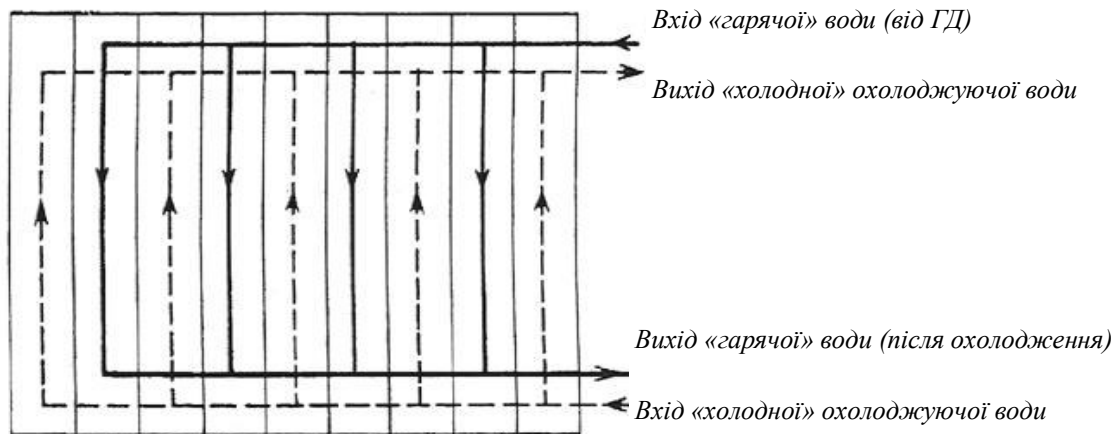


Рисунок 3.8 – Схема роботи одноходового пластинчастого теплообмінника

Вихідні дані для виконання розрахунку:

- Початкова температура «гарячої» води $t_{ГВ1} = 45,2^{\circ}\text{C}$;
- Кінцева температура «гарячої» води $t_{ГВ2} = 38^{\circ}\text{C}$;
- Питома теплоємність «гарячої» води $c_{ГВ} = 4,177 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$;
- Густина «гарячої» води $\rho_{ГВ} = 990,5 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- Об’ємна витрата «гарячої» води $L_{ГВ} = 140 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Початкова температура «холодної» охолоджуючої води $t_{ХВ1} = 32^{\circ}\text{C}$;
- Кінцева температура «холодної» охолоджуючої води $t_{ХВ2} = 37^{\circ}\text{C}$;
- Питома теплоємність «холодної» води $c_{ХВ} = 4,174 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$;
- Густина «холодної» води $\rho_{ХВ} = 994 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- Об’ємна витрата «холодної» води $L_{ХВ} = 200 \text{ м}^3/\text{год}$.

Переведемо масову витрату гарячої води в об’ємну

$$G_{ГВ} = L \cdot \rho_{ГВ} / 3600 \quad (3.1)$$

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

Визначаємо теплове навантаження теплообмінника:

$$Q = G_{ГВ} \cdot c_{ГВ}(t_{ГВ2} - t_{ГВ1}) \quad (3.2)$$

$$Q = 38,52 \cdot 4,177 \cdot (45,2 - 32) = 2123,85 \text{ кВт}$$

де Q – кількість теплоти, що віддається від «гарячої» до «холодної» води;

Максимальну витрату «холодної» води, що проходить за каналами між пластинами теплообмінника, можна визначити з рівняння:

$$Q = G_{ХВ} \cdot c_{ХВ}(t_{ХВ2} - t_{ХВ1}) = Q = G_{ХВ} \cdot c_{ХВ}(t_{ХВ2} - t_{ХВ1}) \eta \quad (3.3)$$

де $G_{ХВ}$ – об'ємна витрата «холодної» охолоджуючої води;

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

де $\eta = 0,93$ – коефіцієнт, що враховує теплові втрати.

$$G_{ХВ} = 2123,85 / 4,174 \cdot (37 - 32) \cdot 0,93 \cdot 10^3 = 109 \text{ кг / сек}$$

При виконанні розрахунку пластинчатого теплообмінника приймаємо оптимальну швидкість теплоносіїв в каналах $\omega_{opt} = 0,4 \text{ м/с}$.

За значенням оптимальної швидкості знаходимо необхідну кількість каналів «холодної» охолоджуючої води $m_{ХВ}$:

$$m_{ХВ} = G_{ГВ} / \omega_{opt} \cdot f_k \cdot \rho_{ГВ} \quad (3.4)$$

де $f_k = 0,00243 \text{ м}^2$ – площа живого перерізу одного міжпластинчастого каналу теплообмінника, що розглядається.

$$m_{\text{XB}} = 38,52 / 0,4 \cdot 0,00243 \cdot 990,5 = 40,01 \text{ кг / сек}$$

Компонування розглядаємого теплообмінника (охолодника) симетричне, тобто $m_{\text{XB}} = m_{\text{ГВ}} = m$.

Загальний живий переріз каналів в пакеті по ходу «гарячої» води і «холодної» охолоджуючої води:

$$f_{\text{ГВ}} = f_{\text{XB}} = f_{\text{XB}} \cdot m_{\text{ГВ}} \quad (3.5)$$

$$f_{\text{ГВ}} = f_{\text{XB}} = 0,00243 \cdot 40,01 = 0,0097$$

Знаходимо фактичні швидкості «гарячої» і «холодної» охолоджуючої води:

$$\omega_{\text{ГВ}} = G_{\text{ГВ}} / f_{\text{ГВ}} \cdot \rho_{\text{ГВ}} = 38,52 / 0,0097 \cdot 990,5 = 0,4 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\text{XB}} = G_{\text{XB}} / f_{\text{XB}} \cdot \rho_{\text{XB}} = 109 / 0,097 \cdot 994 = 1,13 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_1 від «гарячої» води до стінки пластини визначається за формулою, Вт/(м²·°C):

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \bar{t}_{\text{св}} - 0,63 \cdot \bar{t}_{\text{св}}^2) \cdot \omega_{\text{ГВ}}^{0,73} \quad (3.6)$$

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

де $A = 0,9$ – коефіцієнт, залежний від типу пластин, для типу обраних пластин;

$$\bar{t}_{\text{св}} = (45,2 + 38)/2 = 41,6 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ – середня температура «гарячої» води.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 від стінки пластини до «холодної» води визначається за формулою, Вт/(м²·°C):

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \bar{t}_{\text{хв}} - 0,63 \cdot \bar{t}_{\text{хв}}^2) \cdot \omega_{\text{хв}}^{0,73} \quad (3.7)$$

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot 0,9 \cdot (23000 + 283 \cdot 34,5 - 0,63 \cdot 34,5^2) \cdot 1,13^{0,73} = 36430,2$$

$$\text{де } \bar{t}_{\text{хв}} = (32+37)/2 = 34,5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ – середня температура «холодної» води.}$$

Коефіцієнт теплопередачі складатиме:

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

$$0,81 / (1 / 18004,27) + (1 / 36430,2) + (0,0006 / 18,2) = 1317,1 \quad (3.8)$$

де $\beta = 0,81$ – коефіцієнт, що враховує зменшення коефіцієнта теплопередачі через термічний опір забруднень на пластині;

$$\delta_{\text{сп}} = 0,0006 \text{ м – товщина пластини;}$$

$$\lambda_{\text{сп}} = 18,2 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)} \text{ – коефіцієнт теплопровідності пластини.}$$

Необхідна поверхня теплопередачі визначається з виразу, м²:

$$F_{mp} = Q / k \cdot \Delta t, \quad (3.9)$$

де Δt – середньологаріфмічний температурний напір, °C:

$$\Delta t = (\Delta t_{\delta} - \Delta t_M) / \ln (\Delta t_{\delta} / \Delta t_M) \quad (3.10)$$

$$\text{де} \quad \Delta t_M = t_{ГВ2} - t_{ГВ1} = 38 - 32 = 6$$

$$\Delta t_{\delta} = t_{ГВ1} - t_{ХВ2} = 45,2 - 41 = 4,2$$

$$\Delta t_{\delta} = (4,2 - 6) / \ln (4,2 / 6) = 5,046$$

$$F_{тр} = 2123,85 / (1317,1 \cdot 5,046) = 319,6 \text{ м}^2$$

Кількість ходів в теплообміннику X :

$$X = (F_{тр} - f_{пл}) / (2 \cdot m \cdot f_{пл}) \quad (3.11)$$

$$X = (319,6 - 1,4) / (6 \cdot 40,01 \cdot 1,4) = 0,94$$

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

Число ходів заокруглюється до цілої величини, в нашому випадку $X = 1$.

У одноходових теплообмінниках чотири штуцери для підведення і відведення гріючого середовища, що охолоджується або нагрівається, розташовуються на одній нерухомій плиті.

Дійсна поверхня теплообміну, м^2 :

$$F = (2,25 \cdot m \cdot X - 1) \cdot f_{пл} \quad (3.12)$$

$$F = (2,25 \cdot 40,01 \cdot 1 - 1) \cdot 1,2 = 108 \text{ м}^2$$

Фактична площа теплообміну для одного теплообмінного апарату, м²:

$$F_{то} = 108 / 2 = 54 \text{ м}^2 \quad (3.13)$$

Отримані результати зведемо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика пластинчастого теплообмінника

Параметр	Значення
1	2
Робоче середовище	вода
Максимальна робоча температура, °C	+150
Максимальна площа теплообміну, м ²	108
Витрата гарячої води, м ² / год	140
Максимальний робочий тиск, МПа	3,0
Матеріал прокладок	EPDM
Матеріал пластин	AISI 316 – 0.5 mm
Діаметр патрубків	300''
Кількість ходів	одноходовий
Кількість пластин	98

3.4 Розрахунок пластинчастого теплообмінника системи охолодження за допомогою програмних методів розрахунку

Алгоритм основного способу розрахунку пластинчастого теплообмінника реалізує розрахунок, що базується на критеріальному рівнянні Нуссельта $Nu = f(A, Re^x, Pr^y)$ при турбулентному режимі і протиточній схемі руху середовищ. Розрахунок проводиться на $t_{нр}$ - розрахункову температуру зовнішнього повітря

для проектування роботи пластинчастого теплообмінника. В цілях корекції необхідної теплової продуктивності пластинчастого теплообмінника для застосування за призначенням при різних температурах зовнішнього повітря, була отримана формула і побудований графік коефіцієнта корекції температурного напору в температурному полі графіків отримання тепла від джерела тепла.

Н початку розрахунку у програмному середовищі від фірми Ридан (v.5/235), що дозволяє проводити розрахунок і підбір теплообмінного обладнання, у редакторі середовищ були проведені розрахунки основних теплофізичних характеристик від зміни температури в пластинчастому теплообміннику, а саме гутини рідини і питомої теплоємності. Результати проведених розрахунків показані на рис. 3.9-3.10.

В процесі проведення розрахункових досліджень результати розрахунків виводяться у вигляді формул і пояснень до них на екран і на друк. Робочі столи програмного середовища показані на рис. 3.11.

В процесі дослідження проводився розрахунок ряду теплообмінників для виконання необхідних змін в умовах експлуатації суднового теплообмінного обладнання. Дослідження ставили за мету дослідити можливість заміни існуючого обладнання на обладнання інших виробників аналогічних за призначенням пластинчастих теплообмінників або модернізації існуючого теплообмінного обладнання шляхом встановлення додаткових пластин. Результати показані на рис. 3.12

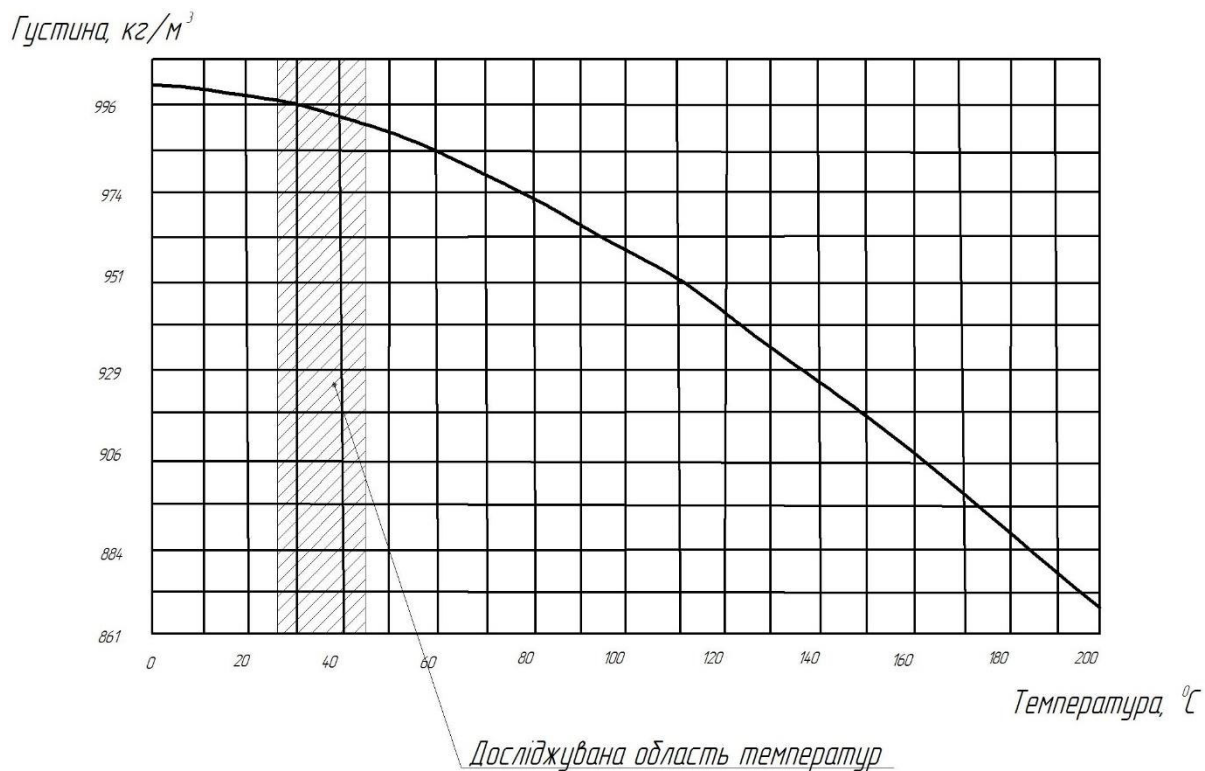


Рисунок 3.9 - Результати розрахунків густини $\text{кг}/\text{м}^3$ середовища пластинчастого теплообмінника від зміни температури

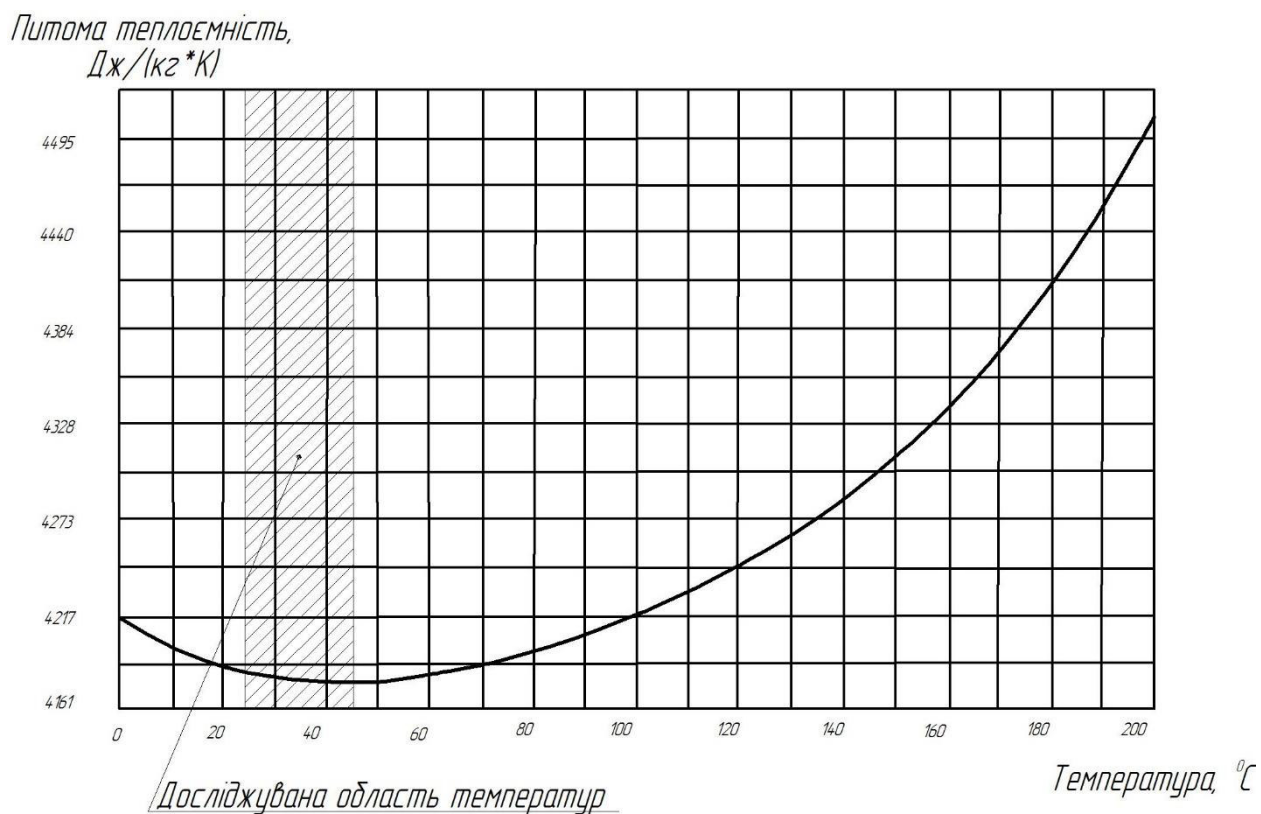


Рисунок 3.10 - Результати розрахунків питомої теплоємності, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ середовища пластинчастого теплообмінника від зміни температури

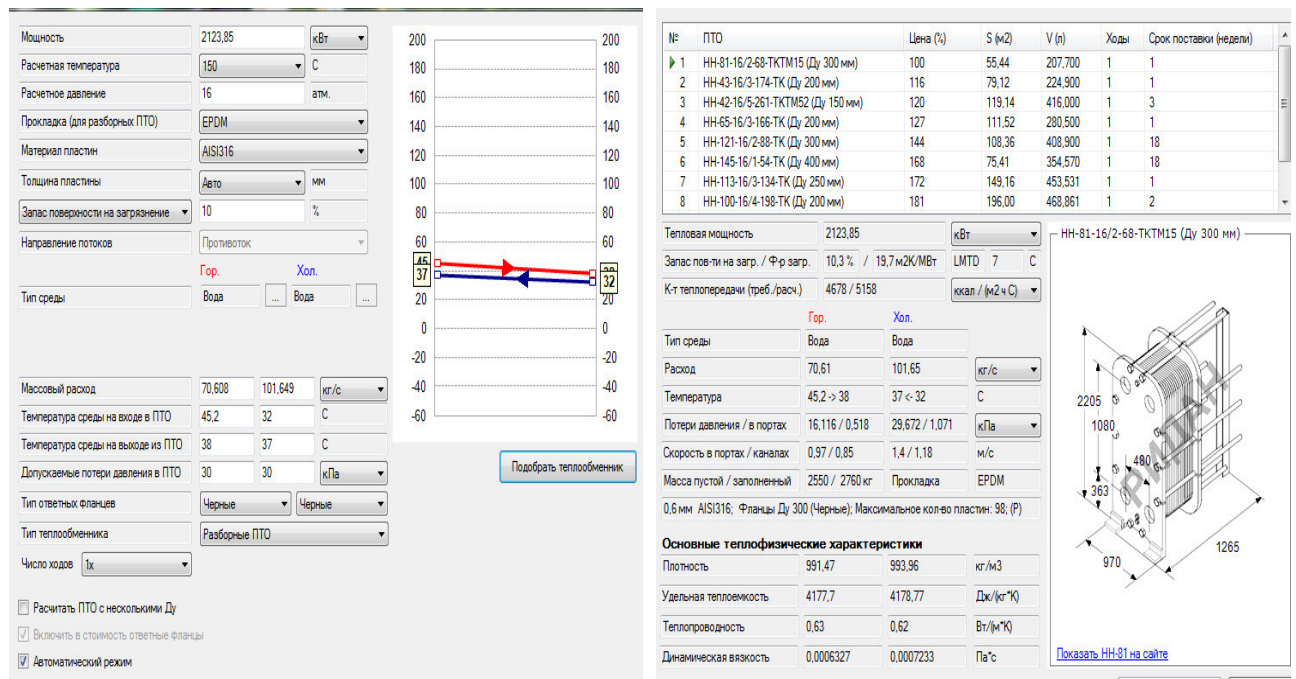


Рисунок 3.11 - Робочий стіл виконання стандартного розрахунку процесів роботи пластинчастого теплообмінника при заданих умовах

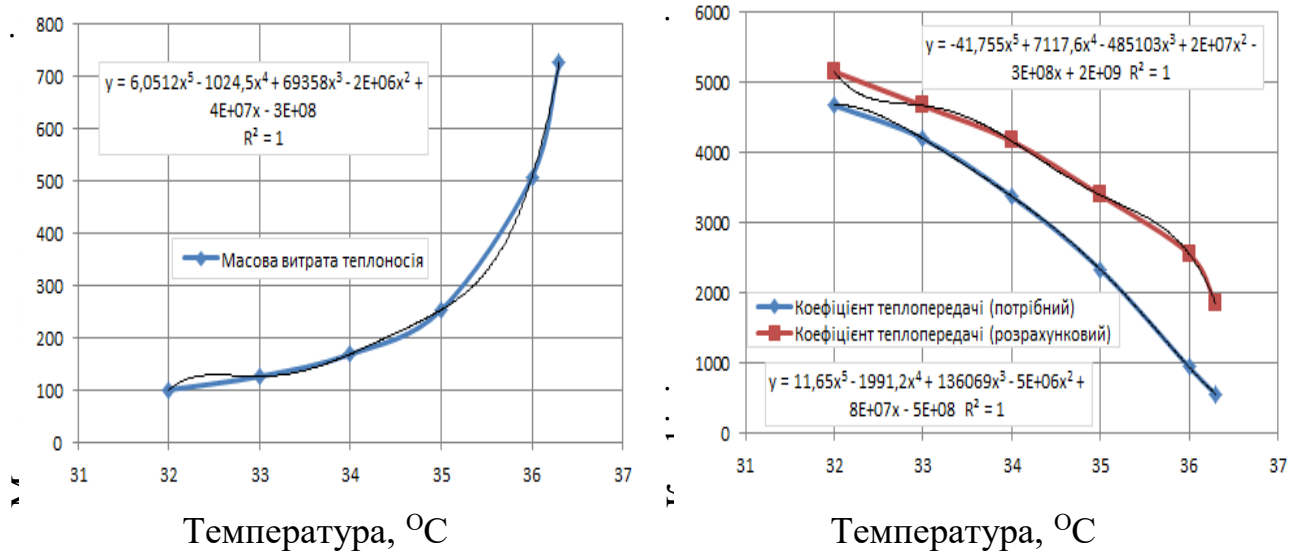


Рисунок 3.12 – Результати проведеного дослідження на основі стандартного розрахунку процесів роботи пластинчастого теплообмінника при заданих умовах з різними температурами забортної води на вході в теплообмінник

В розрахункових дослідженнях досліджувались теплообмінники фірм «Alfa Laval», «Sondex», «Ecoflex». Для дослідження з теплообмінників кожної марки були обрані по два пластинчастих теплообмінника з найменшими втратами тиску по гріючому і нагріваючому середовищах і найменшою вартістю.

3.5 Висновок про результати модернізації

З проведеного аналізу встановлено, що теплообмінники «Alfa Laval» мають найменші втрати тиску, але кілька більш високу вартість, ніж теплообмінники інших типів. Теплообмінники «Sondex» мають також невеликі втрати тиску, проте їх вартість значно вище теплообмінників «Alfa Laval». Теплообмінники «Ecoflex» стоять в середньому в 2 рази дорожче теплообмінників інших типів.

Оптимальним варіантом для розрахункових умов є модернізований теплообмінник «Danfoss», в якому втрати тиску незначно перевищують мінімальні, при цьому вартість його модернізації шляхом встановлення додаткових пластин – мінімальна. Таким чином можна вважати мету дослідження виконаною.

Розрахунок показав, що необхідна площа поверхні теплообміну дорівнює 108 м^2 . З огляду на 10% запас по площі теплообміну запропоновано встановлення 2 теплообмінників фірми Danfos. Площа поверхні теплообміну кожного з теплообмінних апаратів в базовому варіанті дорівнює 54 м^2 .

Розрахунок пластинчастих теплообмінників повністю відповідає теплотехнічним вимогам системи в якій вони будуть працювати паралельно або по одинці в залежності від регіону плавання судна.

Отримані остаточні результати зведемо в табл. 3.13.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика пластинчастого теплообмінника

Параметр	Значення для базового варіанта	Значення, визначене з використанням програми розрахунку
Робоче середовище	вода	вода
Максимальна робоча температура, °C	+150	+150
Максимальна площа теплообміну, м ²	108	108
Витрата гарячої води, м ³ / год	140	140
Максимальний робочий тиск, МПа	3,0	3,0
Матеріал прокладок	EPDM	EPDM
Матеріал пластин	AISI 316 – 0.5 mm	AISI 316 – 0.5 mm
Діаметр патрубків	210’’	210’’
Кількість ходів	одноходовий	одноходовий
Кількість пластин	98	98
Втрати тиску, кПа		29,672/1,071

3.6 Особливості технічної експлуатації теплообмінного апарату Danfos

Технічне обслуговування пластинчастого теплообмінного апарату системи охолоджуючої води повинен проводити персонал який має дозвіл на проведення таких робіт. Охолоджуюча рідина яка використовується в системі охолодження повинна бути оброблена згідно з рекомендаціями, для попередження корозії та утворення відкладень. При виникненні ризику замерзання злийте охолоджуючу рідину з усіх каналів.

Старіння, розтріскування та вихід з ладу ущільнень (прокладок) теплообмінного апарату, рисунок 3.13. можуть бути причиною витоків

охолоджуючої рідини. Також можливе виникнення забруднення пластин яке знижує теплопередаючу здатність та збільшує опір пластин.



Рисунок 3.13 - Ущільнення пластин теплообмінного апарату

Позапланові відключення пластинчатого теплообмінного апарату дорогі і непотрібні. Забруднення викликає зниження продуктивності, старіння та знищення прокладок. Пластини повинні очищатися і перевірятися на регулярній основі. Стяжні болти слід змащувати дисульфідом молібдену або аналогічним мастилом, особливо ту частину різьби, яка працює при відкриванні та закриванні апарату.

Розбирання пластинчастого теплообмінного апарату виконується у наступній послідовності:

- переконайтеся в тому, що блок не під тиском і порожній;
- дочекайтеся, поки теплообмінник охолоне;
- від'єднайте всі труби від рухомої плити;
- зняти болти з різьбових стяжок;
- послабте гайки кріплення пластин по черзі, так, щоб рухома кришка могла рухатися паралельно пластині рами.

Якщо дві або більше пластин злиплися разом, то їх слід обережно розділити, так, щоб ущільнення залишилися на колишньому місці. Пластини підтримують один одного попарно. Якщо пластина пошкоджена, і її неможливо відремонтувати або замінити такою ж, то потрібно також витягти з теплообмінника і сусідню пластину. Якщо змінилося число пластин, то

зміниться товщина пакета пластин. Спеціальні пластини, наприклад, перша і остання пластина і поворотні пластини в багатоходових теплообмінниках, повинні бути замінені ідентичними пластинами. Забруднення теплообмінної пластини часто викликано занадто малим потоком рідини через теплообмінник. Якщо можливо, слід збільшити потік для зменшення забруднення. Потік через теплообмінник також слід збільшувати у разі, коли є ознаки зменшення продуктивності або втрати тиску. Розбирання і очищення теплообмінника необхідні у випадку, коли відкладення кристалізуються або сильно забруднюють пластини, або якщо теплообмінні поверхні обпалені.

Операції з чищення теплообмінного апарату:

- не використовувати сталеву мочалку або щітки з вуглецевої сталі.;
- не використовувати нержавіючу сталь при чищенні титанових пластин;
- спочатку теплообмінну поверхню очищають сильним струменем води і щіткою з нейлону або аналогічного матеріалу;
- чистку проводити так, щоб не пошкодити ущільнення;
- відкладення оксиду або вапна знімають м'якою щіткою і розчином азотної кислоти концентрацією 2...5% (не застосовувати соляну або сірчану кислоту);
- поверхні з жировими відкладеннями очищають бензином та м'якою щіткою, після очищення ретельно обмивають водою.

Для кожного теплообмінника за запитом може бути наданий порядок складання, на якому наведено літерний код кожної пластини разом з її положенням в теплообміннику. Переконайтеся в тому, що пакет пластин зібрані правильно. Кромки пластин повинні утворювати стільникову структуру. Пакет пластин повинен бути стиснутий до певної товщини. Цей розмір дорівнює внутрішній довжині в міліметрах між нерухомою і рухомою плитою.

Безрозбірне очищення є найкращим методом для видалення забруднень пластинчастих теплообмінних апаратів, коли агресивні агенти циркулюють по ним, очищаючи пластини. Необхідно забезпечити дренаж щоб уникнути корозії через залишкові рідини.

Щоб підготувати пристрій для очищення, виконайте процедури, перераховані нижче:

- злийте обидва контури пристрою. якщо це неможливо, то видаліть рідину за допомогою промивочної станції.

- промивайте теплою водою (приблизно 40 °C) обидва контури доти поки стоки не стануть чистими (без механічних включень та технологічної рідини);

- злийте воду і підключіть насос.

Для ретельного очищення промивку необхідно проводити за принципом протитечії, тобто забезпечити струм промивної рідини в сторону, протилежного звичайному течією технологічної рідини в даному контурі. При очищенні багатходових пластинчастих теплообмінних апаратів необхідно змінити напрямок потоку принаймні двічі за час чищення. Для ефективної роботи обладнання забезпечте регулярну промивку та обслуговування пластинчастих теплообмінних апаратів. Після хімічної обробки слід ретельно промити теплообмінник чистою водою.

Дуже часто, коли в технологічній рідині присутні волокна або тверді включення, промивка зворотним струмом чистої води може бути дієвим засобом боротьби із забрудненням.

Загальні положення методу промивки пластинчастих теплообмінних апаратів (ПТА):

1. Переконайтеся, що система трубопроводів, запірна арматура і клапани дозволяють організувати роботу таким чином, щоб ПТА міг працювати в "реверсному режимі";

2. Промити ПТА водою в бік, протилежний звичайній течії технологічної рідини в даному контурі (за принципом протитечії).

Для усунення протікань необхідно виміряти розмір A в декількох точках як це показано на рис. 3.14. Порівняти його з теоретичним значенням. Для усунення незначних витоків, потрібно сильніше затягнути гайки. При цьому переконайтеся, що пакети пластин не затягнуті занадто сильно і розмір A відповідає допустимому теоретичному значенню ($A \pm 3\%$).

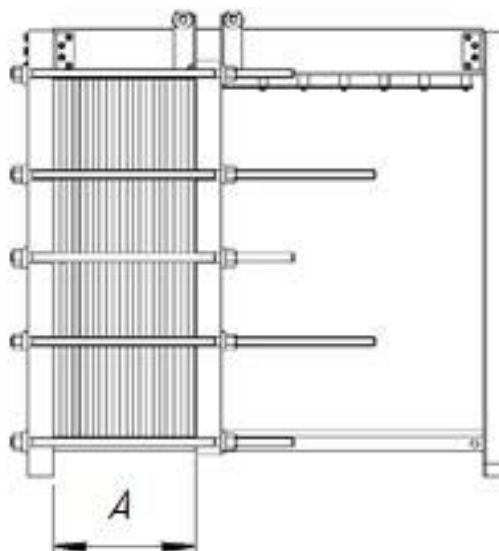


Рисунок 3.14- Затягування пакету пластин

Перевірити, щоб притискні плити, паралельні і не перекошені. Якщо ПТА протікає, важливо точно визначити місце протікання і позначити його перш, ніж пристрій буде демонтовано, в іншому випадку, після спорожнення теплообмінника, стане практично неможливо визначити місце витоку і виявити його причину.

Для локалізації протікань потрібно регулярно перевіряти пристрій з усіх боків, в тому числі верх і низ пакета пластин. Максимально точно позначте місце витоку, перерахувавши кількість пластин до нього. Якщо це можливо, з'єднання, які не знаходяться під тиском також повинні бути перевірені на предмет протікань. Можливі місця протікання це: канавка для контролю герметичності (зона між кільцевою та діагональною прокладками); зовнішні прокладки; протікання у середині пластини; протікання на з'єднаннях.

Якщо протікання виникли у середині ПТА, то причина їх виникнення це: отвір або тріщини в пластині, викликані корозією або механічним пошкодженням. Для локалізації цього типу протікання, необхідно відключити одне з нижніх з'єднань, подати тиск на другий бік та спостерігати, звідки з'являться краплі рідини. Виміряйте відстань від рами до місця витоку для

визначення пошкодженої пластини. Вийміть пластини і візуально перевірте їх. Замініть пошкоджені пластини новими.

Якщо протікання виникли на з'єднанні це може бути викликано наступними причинами: тріщини в металі або ущільненні, якщо це відбувається на внутрішній стороні плити, то легко визначити протікання візуально; також протікання можливе, якщо ущільнення на першій пластині встановлено некоректно. Якщо протікання виникає через неправильне центрування кільцевого ущільнення, то воно може бути усунене шляхом установки ущільнення в правильному положенні.

Проблеми з ущільненнями: прокладка неправильно розташована в канавках для ущільнень; прокладка зруйнована (розірвана), це викликано деформацією гумового матеріалу, наприклад, надмірне стягування пакета пластин (потрібно перевірити розмір А (див. рис. 3.14)); набухання матеріалу прокладки у зв'язку з хімічним впливом або через вплив високих температур; прокладки зажаті між точками дотику пластин через неправильне розташування прокладки в пазі; на прокладку впливає агресивне середовище, це може призвести до розчинення прокладки, її збільшення або затвердіння; прокладка втратила свою еластичність через теплове старіння.

Перевищення тиску

Робота пластинчастого теплообмінника при тиску, що перевищує розрахунковий, неминуче спричиняє проблеми з ущільненнями — найчастіше прокладки виштовхуються між пластинами і стають помітними по периметру пакета. Навіть за відсутності протікань необхідно усунути причину: тиск у системі слід знизити до нормативного. Регулювальні та дросельні клапани мають бути встановлені на вході теплообмінника.

Стрибки тиску також небезпечні, тому небажано різко запускати підсилювальні та циркуляційні насоси, а також застосовувати швидкодіючі соленоїдні клапани. Для запобігання перевантаженням рекомендовано використовувати клапани з електроприводами та розширювальні баки.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорону праці на морському транспорті регулює Закон України «Про охорону праці», який гарантує конституційне право працівників на безпечні умови праці та встановлює єдиний порядок взаємодії між роботодавцем і працівником у питаннях безпеки, виробничої гігієни й профілактики травматизму. Охорона праці охоплює комплекс правових, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності моряків. Важливим чинником підвищення рівня безпеки є сучасні технології, механізація й автоматизація виробничих процесів.

Нормативно-технічну базу з охорони праці в машинно-котельному відділенні судна формують спеціальні документи, серед яких:

- правила експлуатації суднових енергоустановок і електроустановок;
- правила безпечної роботи котлів, судин під тиском та суднових дизелів;
- правила техніки безпеки під час експлуатації тепломеханічного й електротехнічного обладнання.

До міжнародних документів, що визначають вимоги безпеки, належать:

- IMO 2000 та IMO 2011 — нормативи щодо обмеження викидів суден;
- MARPOL — конвенція із запобігання забрудненню морського середовища;
- SOLAS — конвенція про безпеку людського життя на морі;
- ISM Code — Міжнародний кодекс управління безпечною експлуатацією суден, який зобов'язує компанії впроваджувати систему управління безпекою, забезпечувати належну кваліфікацію капітана та екіпажу відповідно до національних і міжнародних стандартів.

Окрім міжнародних актів, на кожному судні застосовуються локальні інструкції з охорони праці, розроблені роботодавцем.

Таблиця 4.1 – Потенційні небезпеки й шкідливі фактори на судні

Види потенційно можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів	Наявність факторів
1	2
1. Фізичні виробничі фактори:	
1.1. Шкідливі:	
– шум;	+
– вібрація;	+
– підвищене виділення тепла;	+
– підвищена вологість;	+
– наявність електромагнітних полів;	+
– наявність електростатичних полів;	-
– підвищена загазованість.	-
1.2. Небезпечні:	
– небезпека вибуху;	-
– небезпека виникнення пожежі;	+
– небезпека ураження електрострумом;	+
– відкрито рухаються й обертаються частини машин.	+
2. Хімічні виробничі фактори:	
2.1. Шкідливі:	
– токсичні речовини: пари ртуті, пари свинцю і його сполук та ін.;	-
– подразнюючі речовини: пральні засоби, кислоти, луги, розчинники, кислі гази.	+
2.2. Небезпечні:	
– канцерогенні речовини.	+
3. Біологічні виробничі фактори:	
3.1. Небезпечні:	

- мікроби, віруси, бактерії.	-
3.2. Шкідливі:	

Продовження табл. 4.1

1	2
- комахи;	-
- гриби, найпростіші;	-
- інші мікроорганізми.	-
4. Психофізіологічні шкідливі виробничі фактори:	
- малорухомість роботи,	+
- фізична втома,	+
- нервові напруження	+
- напруга аналізаторів – зорового, слухового, тактильного,	+
- напруга рук, ніг, спини.	+

поля, шум, вібрація, ультразвук, інфразвук, що іонізують випромінювання, електричний струм і т.д.); технічні фактори (конструкції, які руйнуються, рухливі частини устаткування й т.д.); хімічні фактори (шкідливі речовини й т.п.); біологічні фактори (мікроорганізми й т.п.); психофізіологічні фактори (нервові стомлення й т.п.).

Дані фактори створюють: устаткування й засоби за допомогою, яких людина обробляє об'єкт, сам об'єкт, а також умови праці. Основними джерелами небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації валогенераторної установки на судах СТМ є електричні машини й системи автоматичного керування. Розглянемо дані фактори докладніше.

Одним з таких факторів є живлення 380 В трифазним змінним струмом для електродвигунів і 220 В однофазним змінним струмом для системи автоматизації.

Для дотримання умов мікроклімату передбачені системи вентиляції й опалення. Сприятливими для роботи є умови при відносній вологості в 40...60

% і температурі 18...22 °С. У робочих умовах, однією з найважливіших умов є освітленість робочого місця, нормованим значенням освітленості вважається освітленість в 200 лк. Відповідно до вимог ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78 робоче місце повинне забезпечувати максимально можливу зручність проведення робіт у положенні сидячи й стоячи. Кут зору для охопту інформаційного поля повинен бути не більше 120°. Робоча зона повинна бути не менш 1 м.

Пожежна безпека забезпечується комплексною системою, що включає попередження займання, протипожежний захист і організаційно-технічні дії екіпажа.

Запобігання пожежі — це сукупність технічних і організаційних рішень, спрямованих на усунення можливості загоряння. На судах для цього використовують негорючі та слабкозаймисті матеріали, блискавкозахист, електрообладнання відповідної вибухо- та пожежобезпечної категорії, а також автоматичні вимикачі й запобіжники, що відключають аварійні ділянки.

Система водяного пожежогасіння

Для ліквідації пожежі застосовується стаціонарна система пожежогасіння водою, що працює компактним чи розпиленням струменем. До її складу входять: пожежні насоси, трубопроводи, арматура, контрольно-вимірювальні прилади, рукави та стволи. Вода з пожежної магістралі може також подаватися на установку пінного та спринклерного пожежогасіння.

Один із пожежних насосів, за наявності резервного, може використовуватися для допоміжних завдань — зрошення трапів і виходів із МКВ, очищення палуб і надбудов, ланцюгів і клюзів, заповнення та осушення баластових цистерн. Заборонено використовувати систему пожежогасіння для осушення приміщень, де зберігалися нафтопродукти чи залишки горючих рідин.

На судах встановлюються два або більше стаціонарних пожежних насосів, що працюють паралельно. На великих судах передбачено також аварійний пожежний насос із дизельним приводом і запасом палива

щонайменше на 10 годин. Основні насоси розміщуються в машинному відділенні, аварійний — в окремому ізольованому приміщенні та використовується у разі відмови основних. Він оснащується системою самоусмоктування та дистанційним і місцевим запуском (на танкерах — з відкритої палуби).

Продуктивність аварійного насоса повинна забезпечувати роботу двох найбільших пожежних стволів одночасно.

$$Q=k \cdot m^2,$$

де k — коефіцієнт, рівний 0,008...0,016, залежить від призначення й терміну служби судна;

Сумарну подачу стаціонарних пожежних насосів можна визначити по наступній формулі морського Регістра, (м³/год):

$$m = 1,68 \sqrt{L(B + H)} + 25 = 1,68 \sqrt{142,95(18,94 + 10,95)} + 25 = 109,8 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де L, B, H — основні розміри корпусу судна, м.

$$\text{Тоді } Q = 0,01 \cdot 109,8^2 \approx 120,6 \text{ мм.}$$

Пожежні ріжки, шафи для пожежних рукавів і місця пожежних постів офарблюються в червоний колір.

Нормативно-правові засади охорони морського навколишнього середовища

Міжнародна система екологічної безпеки у морській сфері почала активно формуватися після Міжнародної конференції 1978 року з безпеки танкерів та запобігання забрудненню нафтою. Її рішення спрямували увагу на вдосконалення конструкції суден, підвищення стандартів їх експлуатації та посилення заходів профілактики забруднення морів.

За підсумками конференції були ухвалені два ключові документи:

Протокол 1978 року до Міжнародної конвенції MARPOL 1973 року щодо запобігання забрудненню з суден; Протокол 1978 року до Міжнародної конвенції SOLAS 1974 року про охорону людського життя на морі.

Обидва протоколи стали основою сучасних міжнародних вимог до екологічної та технічної безпеки судноплавства.

В Україні нормативна база у цій сфері регулюється насамперед Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р.), який визначає державну політику збереження екосистем, у тому числі морських вод.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Боротьба з пожежами на суднах

Судна містять значну кількість горючих матеріалів та електрообладнання, тому дотримання пожежної безпеки й уміння діяти під час пожежі є обов'язковими для всього екіпажу. Відповідальність за організацію ефективної системи протипожежного захисту покладається на капітана.

На кожному судні впроваджується Програма попередження пожеж, яка включає навчання та інструктажі екіпажу, регулярні перевірки, технічне обслуговування та контроль виконання вимог безпеки.

Основні вимоги пожежної безпеки на судні: визначення та обладнання місць для паління; контроль використання електроприладів та нагрівальних пристроїв; виконання робіт із застосуванням механізмів і електроінструментів лише з дозволу відповідальних осіб; зберігання легкозаймистих матеріалів тільки у спеціальних приміщеннях; передача відходів та обтиральних матеріалів у спеціальні контейнери з подальшим здаванням на берег; проведення робіт з відкритим вогнем (зварювання, різання) - виключно за письмовим дозволом капітана під наглядом старшого механіка; остійна справність систем пожежогасіння, виявлення та сигналізації.

Кожен член екіпажу повинен знати типи пожеж, небезпечні фактори горіння, властивості вогнегасних речовин та правила користування

протипожежним обладнанням.

Дії під час пожежі

Головна мета - збереження життя людей та локалізація вогню з максимальним збереженням остійності судна. Алгоритм дій: оголошення пожежної тривоги; за можливості — огляд аварійного району; організація евакуації та гасіння пожежі доступними засобами; оперативний вибір способу гасіння залежно від типу й масштабу загоряння.

Рішучі та швидкі дії критично важливі, оскільки зволікання швидко призводить до розповсюдження вогню та великих втрат.

Озброєне втручання та піратська небезпека (коротко)

У разі збройних нападів та загрози терористичних дій судна керуються нормами Римської конвенції, SOLAS, Кодексу з охорони суден і портових споруд (ISPS Code) та нормами міжнародного морського права. Найнебезпечнішими районами залишаються райони Південно-Східної Азії, Малаккська протока та акваторії Західної Африки.

Для протидії актам морського насильства діють: Женевська конвенція 1958 р.; Конвенція ООН з морського права 1982 р.; Конвенція про боротьбу з незаконними актами проти безпеки мореплавства (1988); резолюції Міжнародної морської організації.

Резолюція Ради Безпеки ООН №1816 (2008) дозволила міжнародним силам переслідувати піратів у територіальних водах Сомалі, що стало підставою для операцій EU NAVFOR «Аталанта» та CTF-151.

Способи запобігання піратських нападів

Найефективніший спосіб запобігти піратському нападу — підвищені пильність та демонстрація готовності до оборони. При вході в небезпечний район екіпаж діє за затвердженим планом, що передбачає: раннє виявлення підозрілих плавзасобів на максимально можливій відстані та їх візуальний контроль із використанням прожекторів, сигналізації, звукових і світлових сигналів; спроби перешкодити наближенню піратських човнів і висадці на борт; обмеження доступу до складів, майна та особистих речей у разі проникнення на

судно; пріоритет — особиста безпека екіпажу та пасажирів.

Застосування вогнепальної зброї екіпажем небажане, оскільки це може призвести до ескалації насильства та проблем з владою портових держав. Використання зброї допускається лише за наявності офіційного дозволу держави прапора та порту заходу. Натомість ефективним психологічним стримувальним чинником є готовність застосувати світлові сигнали, водяні струмені, сигнальні ракети.

Сучасні охоронні засоби, що можуть підвищити безпеку: прилади нічного бачення, системи оповіщення, колючий дріт із сигналізацією, балончики зі слезозогінним газом.

Запобіжні дії у порту та на якорі уникати стоянок у небезпечних районах; забезпечувати повне освітлення палуби і постійну присутність наглядових осіб; тримати у готовності пожежні та водометні рукави; суворо контролювати доступ на судно, заборонити сторонні контакти.

Дії при виявленні піратів негайна тривога та виконання плану безпеки; визначення курсу підозрілих суден за допомогою радару та прожекторів; вихід у відкрите море на максимально можливій швидкості; передача сигналів небезпеки береговим службам та судам у районі; використання водометів, сигнальних ракет, засобів осліплення.

Якщо пірати проникли на борт екіпаж відходить у задалегідь підготовлене укриття; передається сигнал тривоги та запит допомоги; уникати фізичного протистояння, щоб не допустити жертв.

Після нападу. Капітан терміново повідомляє місцеві або найближчі компетентні органи та складає докладний рапорт із зазначенням: кількості нападників, опису зовнішності, озброєння, типу човнів, координат, реакції портових служб. Інформація надсилається також судовласнику, державі прапора та до ІМО.

ВИСНОВКИ

У ході підготовки та написання даного дипломного проекту було проаналізовано найбільш суттєві конструктивні особливості сучасного суднового двигуна моделі MaK 6M43C. На підставі поведеного аналізу розроблено ряд заходів щодо поліпшення умов роботи системи охолодження розглянутого двигуна, а саме: проаналізовано основні тенденції розвитку сучасних дизелів, що використовуються у якості головних; проаналізовано основні тенденції розвитку сучасних систем охолодження двигуна; розроблені технологічні рекомендації щодо демонтажу і монтажу модернізованих теплообмінників в суднових умовах; розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпеки персоналу при виконанні робіт по обслуговуванню та ремонту агрегатів паливної системи головного двигуна.

Результаті розрахунку дозволяють говорити, що запропоновані технічні рішення є ефективними і ведуть до покращення показників суднового двигуна. Так, запропонована модернізація системи охолодження, що викликана зміною умов експлуатації судна при температурі морської води до $+ 35-36^{\circ}\text{C}$ і вище, дозволить повноцінно використовувати судно при здійсненні вантажних перевезень.

Крім того, проведений розрахунок показав, що необхідна площа поверхні теплообміну модернізованого теплообмінника дорівнює 108m^2 . З огляду на 10% запас по площі теплообміну запропоновано встановлення 2 теплообмінників Danfoss. Площа поверхні теплообміну кожного з теплообмінних апаратів дорівнює 54m^2 . Кількість пластин може бути збільшена з 98 до 265. Це дозволить зробити роботу суднового двигуна більш надійною, що в свою чергу приведе до скорочення витрат на обслуговування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. https://www.marinetraffic.com/ru/ais/details/ships/shipid:229623/mmsi:244457000/imo:9367073/vessel:MORGENSTOND_II.
2. Engine operating instructions. Type M43C. – 2005 - 1713 с.
3. <https://www.vesselfinder.com/ru/vessels/MORGENSTOND-II-IMO-9367073-MMSI-244457000>. 05.03.2018 – 5 с.
4. Двигуни внутрішнього згоряння. Будова і принцип дії поршневих і комбінованих двигунів / Алексєєв В.П., Воронін В.Ф., Грехов Л.В. та ін. М.: Машинобудування, 1990. – – 289 с. : іл.
5. Двигуни внутрішнього згоряння: теорія поршневих і комбінованих двигунів. Навчальний посібник для вищих технічних навчальних закладів зі спеціальності Двигуни внутрішнього згоряння / Вирубов Д.М., Іващенко Н.А., Івін В.І. та ін.; За редакцією Орліна А.С., Круглова М.Г. – 4-е вид., перероблене і доповнене – М.: Видавництво «Машиностроение», 1983. – – 372 с. : іл.
6. Самсонов В.І., Худов Н.М., Мірющенко А.А. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. Москва: – Транспорт. – 1981.
7. Дизелів. Довідник. 3-тє видання, перероблене і доповнене. Під редакцією В. А. Ваншайдта, Н. Н. Іванченко, Л. К. Коллерова – Ленінград: Машинобудування, Ленінградська філія, 1977. – 479 с. : іл.
8. Возницький І.В. Сучасні суднові середньообертові двигуни. Санкт-Петербург: Ізд. Державна медична академія ім. С. О. Макарова. 2006. – 142 с.
9. Гаврилов В.С., Камкін С.В., Шмельов В.П. Технічна експлуатація судових дизельних установок. Підручник для ВНЗ. Ед. 3-є, перераб. і доп. М.: Транспорт, 1985. – – 288 с. : іл.
10. Белоусов Є.В. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. Термічний, кінематичний, динамічний і міцнісний розрахунок двигунів внутрішнього згоряння. Методичний посібник для виконання курсового проекту. Херсон: ізд. ХДМІ – 2008 рік. – 138 с. : іл.
11. Возницький І.В., Іванов Л.А. Профілактика аварій судових двигунів

внутрішнього згоряння. М., Транспортне Публ., 1971. – 190 с. : іл.

12. Гаврилов В.С., Камкін С.В., Шмельов В.П. Технічна експлуатація суднових дизельних установок. Підручник для ВНЗ. Ед. 3-е, перераб. і доп. М.: Транспорт, 1985. – 288 с. : іл.

13. Кахте І.О., Ковтур Р.І., Новіков Г.М. Охорона праці на морському транспорті. М., Транспортне Інф., 1975. – 263 с. : іл.

14. Юдицький Ф.П. Охорона навколишнього середовища при експлуатації суден.- Ленінград: Судостроение Укр., 1978. – 85 с. : іл.

15. http://worldseatemp.com/ru/Persian_Gulf/

16. Безюков О. К., Жуков В. А., Тарасов М. А. Комплексний підхід до вибору конструкції та параметрів систем охолодження транспортних двигунів внутрішнього згоряння. - 2003. - № 2. - С. 70-73.

17. Безюков О. К. Удосконалення системи рідинного охолодження транспортних двигунів внутрішнього згоряння. Двигуни внутрішнього згоряння / О. К. Безюков, В. А. Жуков, Е. Н. Ніколенко // Всеукраїнський науково-технічний. журнал. - 2013. - № 1. - С. 56-61.

18. Патова ситуація. 2459093 РФ, МПК Ф01П 5/10. Система охолодження двигуна внутрішнього згоряння / О. К. Безюков, В. А. Жуков. - Опубл. 20.08.2012. - Вісник. № 23. - 7 п.

19. Безюков О. К., Жуков В. А. Комплексна оптимізація параметрів охолодження суднових енергетичних установок. - 2012. - № 1 (13). - С. 51-60.

20. Безюков О. К., Жуков В. А., Тимофєєв В. Н. Современная концепція регулювання охолодження судових дизелів / О. К. Безюков, В. А. Жуков, В. Н. Тимофєєв // Вестник Государственного університету морського і річного флота імени адмірала С. О. Макарова. - 2015. - № 3 (31). - С. 93-103.

21. Жуков В. А., Курін М. С. Модернізація системи наддуву газових турбін переробленого дизеля / В. А. Жуков, М. С. Курін // Вісник машинобудування. - 2007. - № 3. - С. 17-19.

22. Мошенцев Ю. Л., Гогоренко А. А., Мінчев Д. С. Можливості регулювання температури охолоджувачів в альтернативній системі

охолодження дизельних двигунів магістральних тепловозів / Ю. В. Савченко - 2012. - № 10. - С. 92-97.

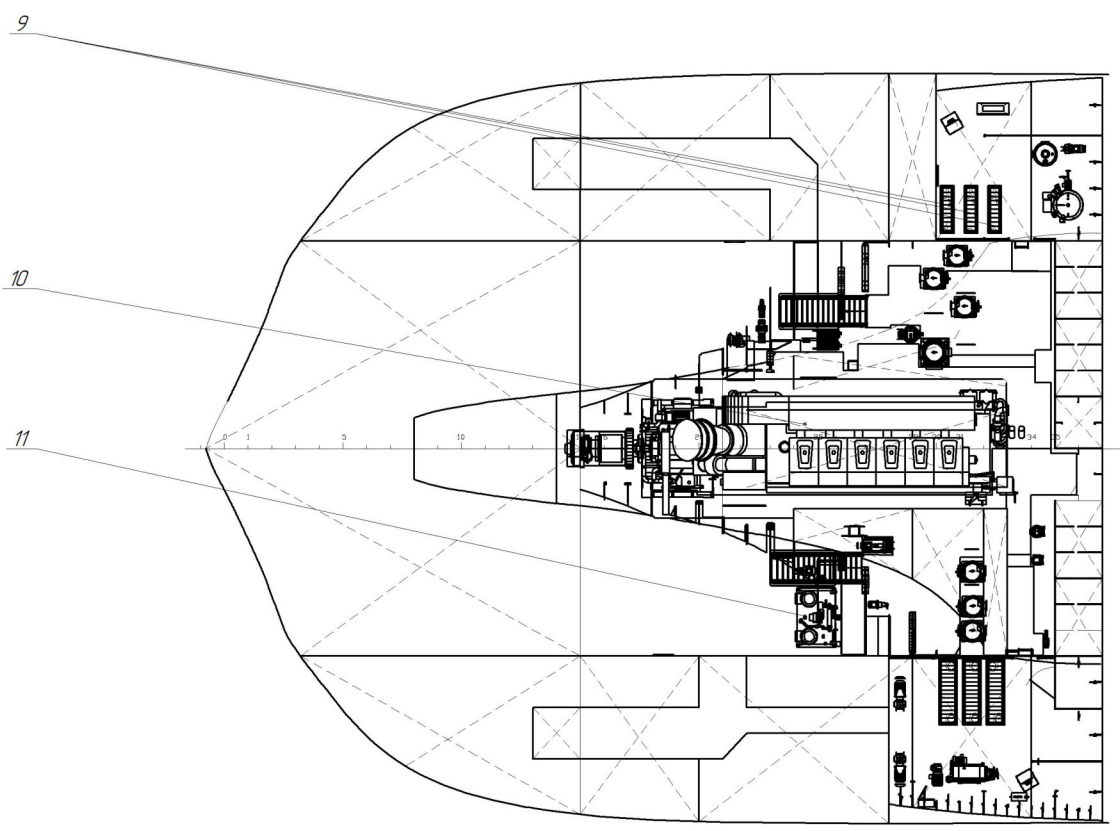
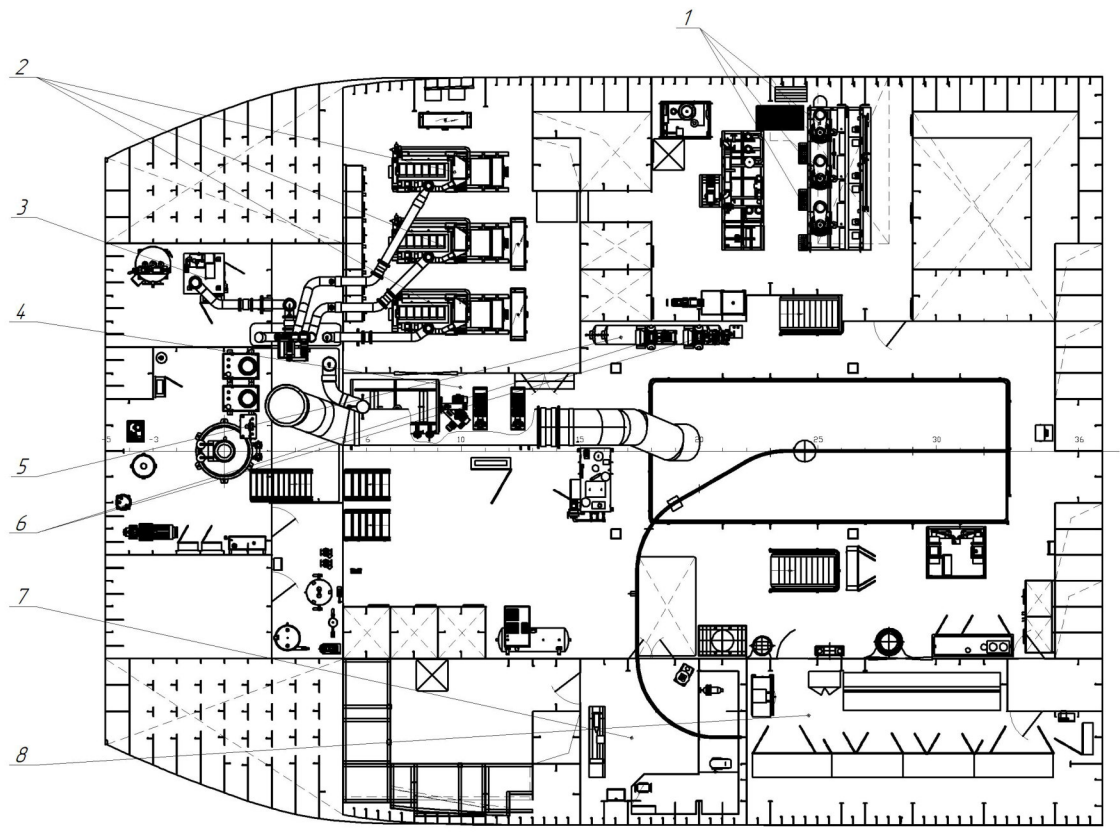
23. Патент 2472950 UA, МПК Ф02Б 37/16 Ф02Б 37/18 Ф02/Б 37/22 Ф02Д 23/00. Система турбонаддува двигуна внутрішнього згоряння / В. А. Жуков, М. С. Курінь. - Опубл. 20.01.2013. - Вісник. № 2. - 7 п.

24. Патент 2453714 UA, IPC F01P 5/10. Система охолодження двигуна внутрішнього згоряння / Жуков В. А. - Опубл. 20.06.2012. - Вісник. № 17. – 7 п.

25. Удосконалення конструкції крейцкопфного механізму суднового малообертового дизеля / Самарін О.Є., Кальченко В.В., Нікітін В.Д., Ковальчук О.В., Ляшук А.В., Прокопчук О.І. - Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура» (МАІТРИ 2025), 30-31.10.2025 р., Харків, ХНАДУ, 2025.

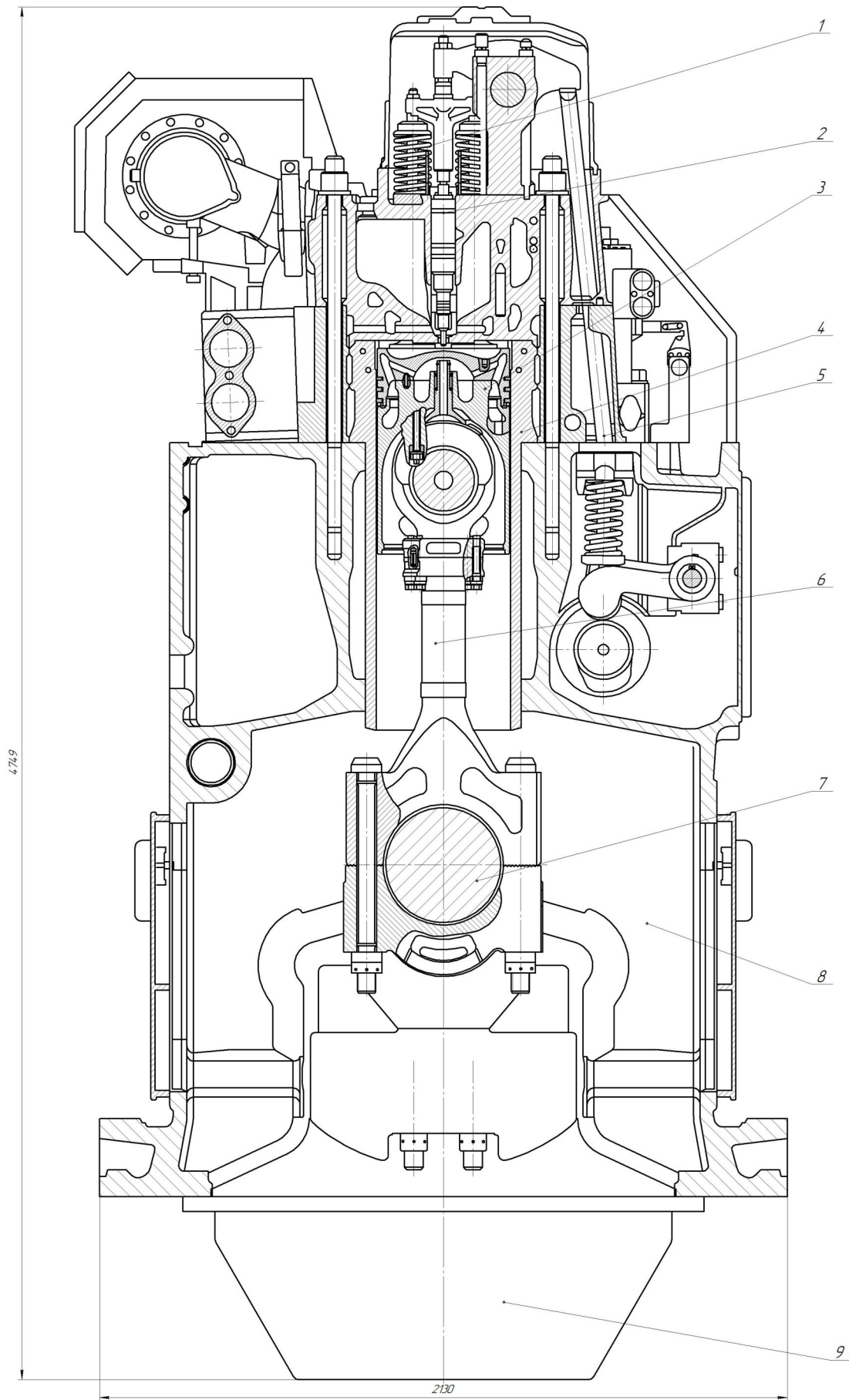
26. Модернізація крейцкопфного механізму суднового малообертового дизеля / Самарін О.Є., Кальченко В.В., Нікітін В.Д., Ковальчук О.В., Ляшук А.В., Прокопчук О.І. - Наукові праці XII Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми», яка проводилася НУК (м. Миколаїв) 5-7.11.2025 року, Миколаїв, НУК, 2025.

Додатки



Поз	Найменування	Кіл	Примітка
1	Масляні сепаратори	3	
2	Дизель-генератори	3	
3	Інженератор	1	
4	Дільниця підготовки палива	1	
5	Повітряні ресивери	1	
6	Повітряні компресори	3	
7	Суднова майстерня	1	
8	Центральний пост керування	1	
9	Масляні охолоджувачі	3	
10	Головний двигун	1	
11	Дільниця ремонту паливної апаратури	1	

ПНН НУК 1316124.08.02			
Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна «Horgenstand»			
Лист	Листів	1	1
Авт	Маса	Розроб	
Н			
Лист	Листів	1	1
Копіювати	Формат	A1	

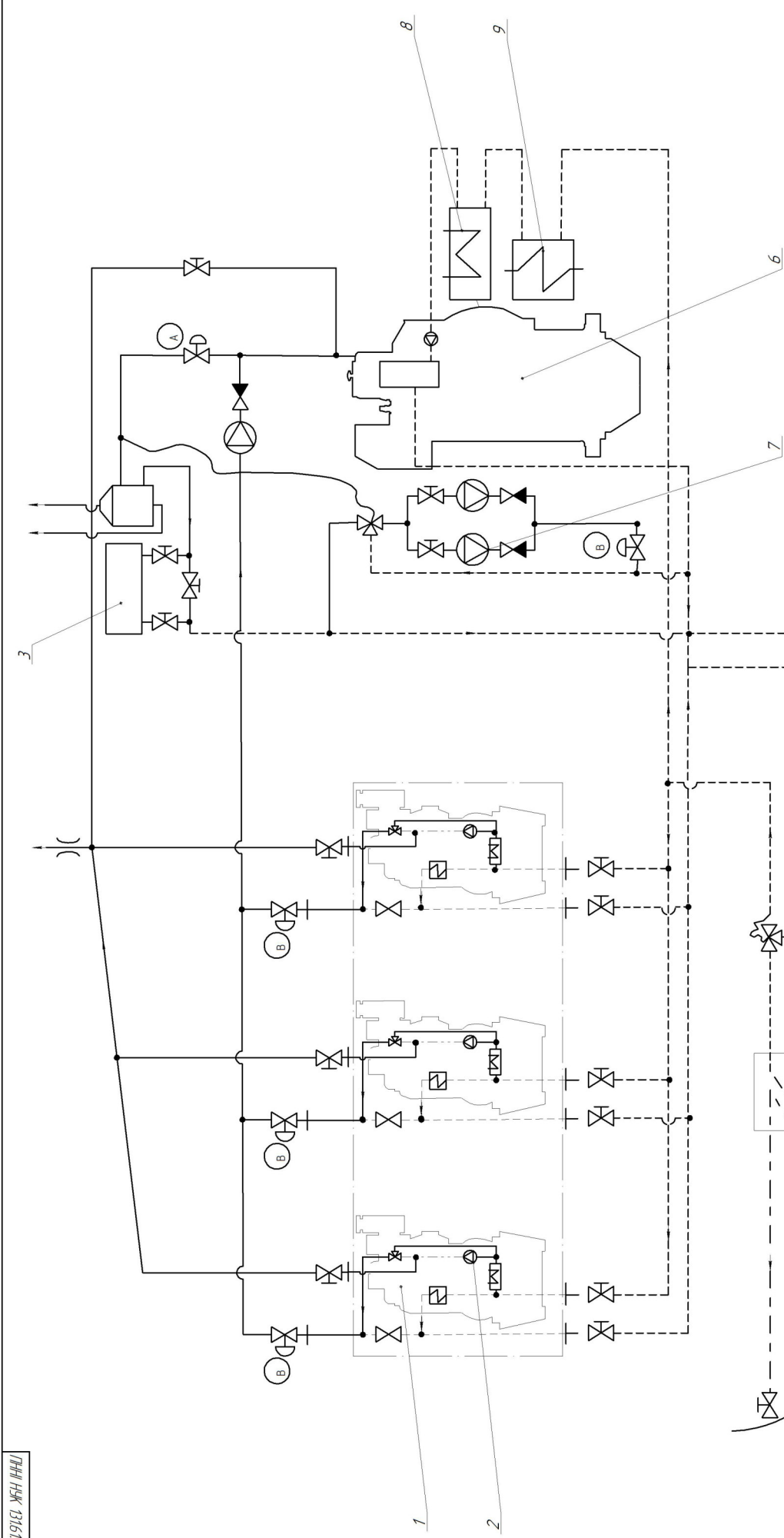


Поз	Найменування	Кіл	Примітка
1	Клапан	12	
2	Паливна форсунка	6	
3	Поршень	6	
4	Циліндр	6	
5	Штовхач каромисла	12	
6	Шатун	6	
7	Колінчастий вал	1	
8	Картер	1	
9	Піддон картера	1	

Технічна характеристика

Кількість циліндрів, од	6
Потужність двигуна	6000
Витрата палива при 176 хб^{-1} , г/кВт	177
Діаметр циліндра, мм	430
Хід поршня, мм	610
Витрата масла на потужність циліндрів, г/(кВт год)	0,9, 14

ПНН НУК 1316124.08.02					
Головний судновий двигун МАК 6М43С					
Висл	Лист	№ докум	Лист	Висл	Лист
Розроб	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Проєкт	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Нормат	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Стат	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Копія					
Формат А1					



Поз	Наименование	Кол	Примечание
1	Двигатель-генератор	3	
2	Надписный насос	3	
3	Теплообменник дискоконтентуражного контуру	1	
4	Насос заборной воды	2	
5	Насос низкотемпературного контуру	3	
6	Главный двигатель	1	
7	Насос дискоконтентуражного контуру	2	
8	Подпиточный холодильник	1	
9	Теплообменник масляной системы	1	
10	Теплообменник системы охлаждения	1	

ПНН НУЖ 1316124.08.03									
Принципиальная схема системы охлаждения главного двигателя									
Изм.	№	Дат.	Изм.	№	Дат.	Изм.	№	Дат.	Изм.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

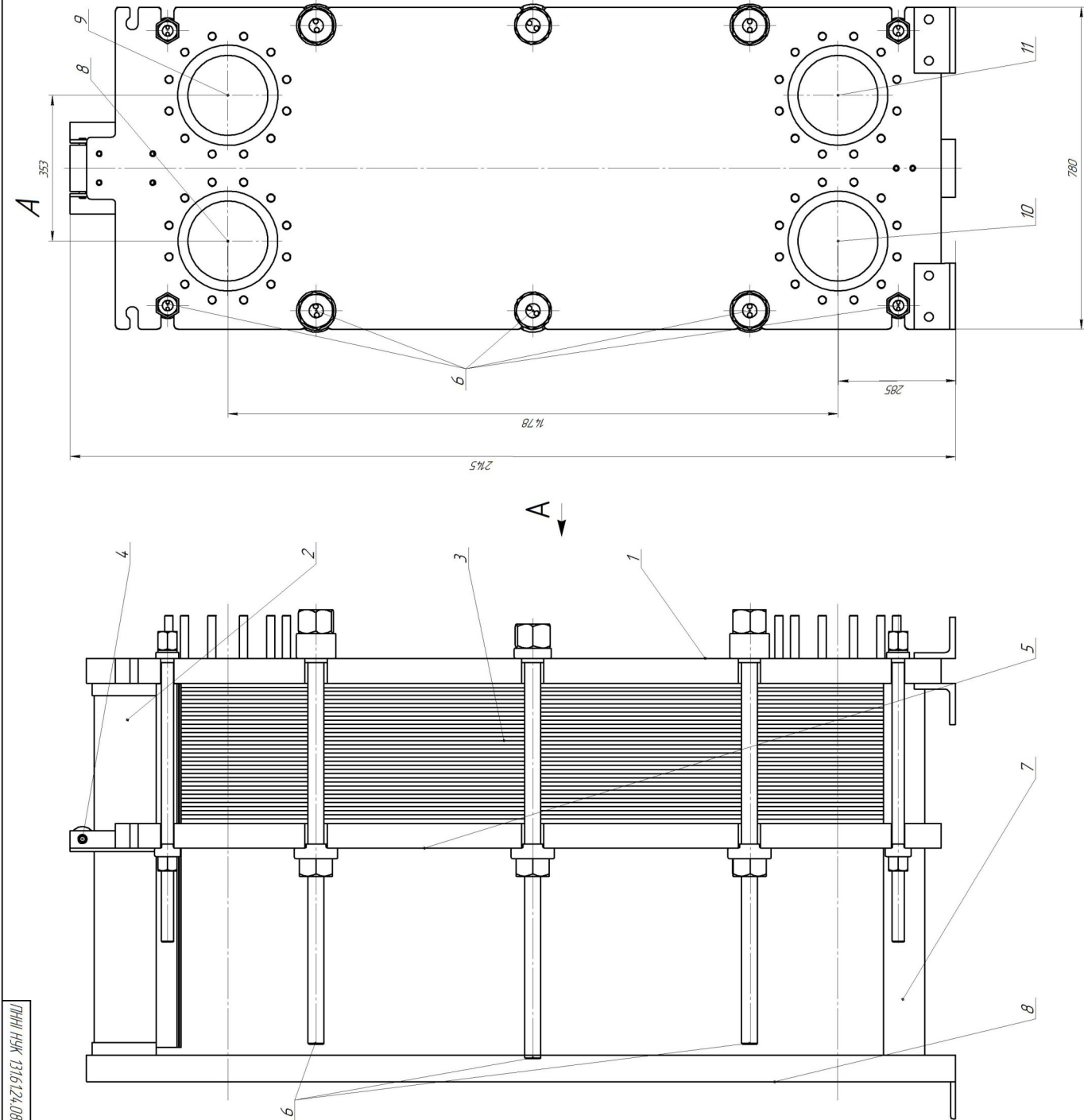
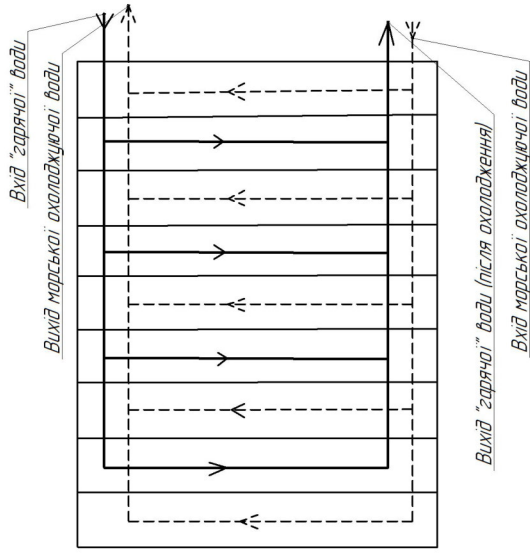


Схема роботи одноконтурного пластинчастого теплообмінника



Технічні характеристики пластинчастого теплообмінника

№	Параметр	Значення	Значення параметрів, визначені в результаті оптимізаційного дослідження
1	Робоче середовище	вода	вода
2	Максимальна робоча температура, °C	+150	+150
3	Максимальна площа теплообмінника, м²	108	108
4	Витрата води, м³ / год	140 / 200	140 / 200
5	Максимальні робочі тиски, МПа	3,0	3,0
6	Матеріал прокладок	EPDM	EPDM
7	Матеріал пластин	AISI 316-05 тт	AISI 316-05 тт
8	Діаметр патрунджі	300"	300"
9	Кількість ходів	одноконтурний	одноконтурний
10	Кількість пластин	98	98
11	Втрата тиску, МПа		29,672/1071

№	Найменування	К-ть	Примітка
1	Нерудна плита	1	
2	Нерудна консоль	1	
3	Пластили	-	
4	Розкладні пристрої	1	
5	Рухлива плита	10	
6	Спінюча шпилька	1	
7	Направляюча консоль	1	
8	Вхід «гарячої» води (від ТП)	1	
9	Вхід «охолоджуючої» води (після охолодження)	1	
10	Вхід «гарячої» води (після охолодження)	1	
11	Вхід «охолоджуючої» води	1	

ПНН НУЖ 1316124.08.04			
Лист № 001	Лист № 002	Лист № 003	Лист № 004
Технічний опис системи охолодження суднового двигуна			
Лист № 001			