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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
_____
«___» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення ефективності експлуатації головного двигуна МаК 6М43С судна «Morgenstond2» за рахунок модернізації системи охолодження

Виконав:
студент групи 61-ТЕМмаг-23з
_____ ***Іванов Є.М.***
(підпис)

Керівник роботи:
професор кафедри ЕМ, д.т.н., професор
(посада, науковий ступень, вчене звання)
_____ ***Грицук І.В.***
(підпис)

Первомайськ - 2024 р.

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

Факультет - Інженерно-економічний

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»
Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____
(підпис)
« ___» _____2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Іванову Євгену Миколайовичу

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності експлуатації головного двигуна МаК 6М43С судна «Morgenstond2» за рахунок модернізації системи охолодження».

Керівник роботи Грицук І.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 09.09.2024 року за № 52.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 25.11.2023 року.

3. Вихідні данні по роботі: Суднова енергетична установка судна *«Morgenstond2»*. Двигун протопип – судновий дизель *МаК 6М43С*.

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

Вступ. 1. Загальна характеристика судна і його енергетичної установки. 2. Аналіз сучасних тенденцій розвитку конструкцій систем охолодження дизелів та вибір напряму 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. 5. Розрахункове дослідження теплообмінного апарату суднового двигуна

6. Консультанти роботи

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

7. Дата видачі завдання «09»вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	При
1	Вступ. Підготовка та проробка літературних джерел	18.09.2024	
2	Написання першого розділу	02.10.2024	
3	Написання другого розділу	16.10.2024	
4	Виконання розрахунків та написання третього розділу	30.10.2024	
5	Підготовка і написання розділу охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	06.11.2024	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	15.11.2024	

Студент _____ (підпис) Іванов Є.М..

Керівник роботи _____ (підпис) Грицук І.В.

Анотація

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 виконані 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 °С і вище, дозволить повноцінно використовувати судно при здійсненні вантажних перевезень.

Крім того, проведений розрахунок показав, що необхідна площа поверхні теплообміну модернізованого теплообмінника дорівнює 108м2. З огляду на 10% запас по площі теплообміну запропоновано встановлення 2 теплообмінників Danfoss. Площа поверхні теплообміну кожного з теплообмінних апаратів дорівнює 54м2. Кількість пластин може бути збільшена з 98 до 265. Це дозволить зробить роботу суднового двигуна більш надійною, що в свою чергу приведе до скорочення витрат на обслуговування.

Ключові слова: дизельний двигун, шатун, надлишок повітря, розрахунок робочого циклу, індикаторна діаграма, шум, система впроскування.

Abstract

During the preparation and writing of this diploma project, the most significant design features of the modern marine engine of the MaK 6M43C model were analyzed. Based on the analysis, a number of measures were developed to improve the operating conditions of the cooling system of the engine under consideration, namely: the main trends in the development of modern diesel engines used as main engines were analyzed; the main trends in the development of modern engine cooling systems were analyzed; technological recommendations were developed for the dismantling and installation of modernized heat exchangers in ship conditions; a set of measures was developed to ensure the safety of personnel when performing maintenance and repair work on the fuel system units of the main engine.

The calculation results allow us to say that the proposed technical solutions are effective and lead to an improvement in the performance of the marine engine. Thus, the proposed modernization of the cooling system, which is caused by a change in the operating conditions of the vessel at sea water temperatures of + 35-36 ° C and above, will allow the vessel to be fully used for cargo transportation.

The calculation showed that the required heat exchange surface area of the modernized heat exchanger is 108m2. Given the 10% margin on the heat exchange area, it is proposed to install 2 Danfoss heat exchangers. The heat exchange surface area of each of the heat exchangers is 54m2. The number of plates can be increased from 98 to 265. This will make the operation of the ship's engine more reliable, which in turn will lead to a reduction in maintenance costs.

Keywords: diesel engine, connecting rod, excess air, calculation of the duty cycle, indicator diagram, noise, flushing system.

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 31

2.2 Аналіз систем охолодження забортною водою 37

2.3 Перспективи модернізації системи охолодження суднових дизелів 39

2.4 Система охолодження та її складові для суднових двигунів фірми МаК 48

2.5 Вибір напрямку модернізації двигуна 53

РОЗДІЛ 3. ЗМІСТ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА 55

3.1 Обґрунтування доцільності модернізації системи охолодження головного двигуна 55

3.2 Аналіз конструкції і основні характеристики пластинчатого теплообмінного апарату Danfoss системи охолоджуючої води двигуна МаК 6М43С 57

3.3 Розрахунок пластинчатого теплообмінника системи охолодження 67

3.4 Розрахунок пластинчатого теплообмінника системи охолодження за допомогою програмних методів розрахунку 73

3.5 Висновок про результати модернізації 76

3.6 Особливості технічної експлуатації теплообмінного апарату Danfos 77

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 85

4.1 Охорона праці 85

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях 96

ВИСНОВКИ 107

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 108

ДОДАТКИ 111

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
5. Розрахункове дослідження теплообмінного апарату суднового 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 підвищення ефективності експлуатації головного двигуна MaK 6M43C судна «Morgenstond2» за рахунок модернізації системи охолодження.

Задачі що вирішуються у дипломному проекті:

1. Аналіз стану проблеми подальшого розвитку сучасних суднових двигунів, і зокрема двигунів серії 6M43C, фірми MaK.

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 MaK 6M43C судна «Morgenstond2» в процесі модернізації.

Апробація результатів дослідження – автор прийняв участь в Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт", яка проводилася Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом (м. Харків) 22-23 жовтня 2024 р. з доповіддю «Удосконалення процесів експлуатації енергетичної установки судна «AIDAcosma» за рахунок використання газових палив в умовах інфраструктури порту» [25].

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ТЕПЛОВОЗА ТА ЙОГО ДВИГУНА 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 регістра	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 TEIJ 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 т/м³ при осадці по літню вантажну марку (6,35 м) на рівному кілю становить 8999 т. У прісній воді з густиною 1,000 т/м³ 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 хитавиці в діапазоні 11-20 секунд. Скулові килі стримують бортову хитавицю. 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 кондиціювання з індивідуальним контролем температури.

Протипожежні системи включають:

1. водяну пожежну систему з двома насосами 220 м³/год при тиску 1 МПа;
2. систему піногасіння з основною та аварійною станціями, магістральними трубопроводами та лафетними стволами;
3. систему вуглекислотного гасіння для машинного відділення та аварійних приміщень;
4. 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 ходу судна. Максимальний кут повороту руля становить 2 х 70° 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 оснащене 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 клюзові 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 Hatlapa, які оснащені системами дистанційного та місцевого керування. Кожна з них має тягове зусилля 80 кН. Лебідки автоматично підтягуватимуть судно до причалу, вибираючи слабину 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 клюзи 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 - інсенератор; 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.

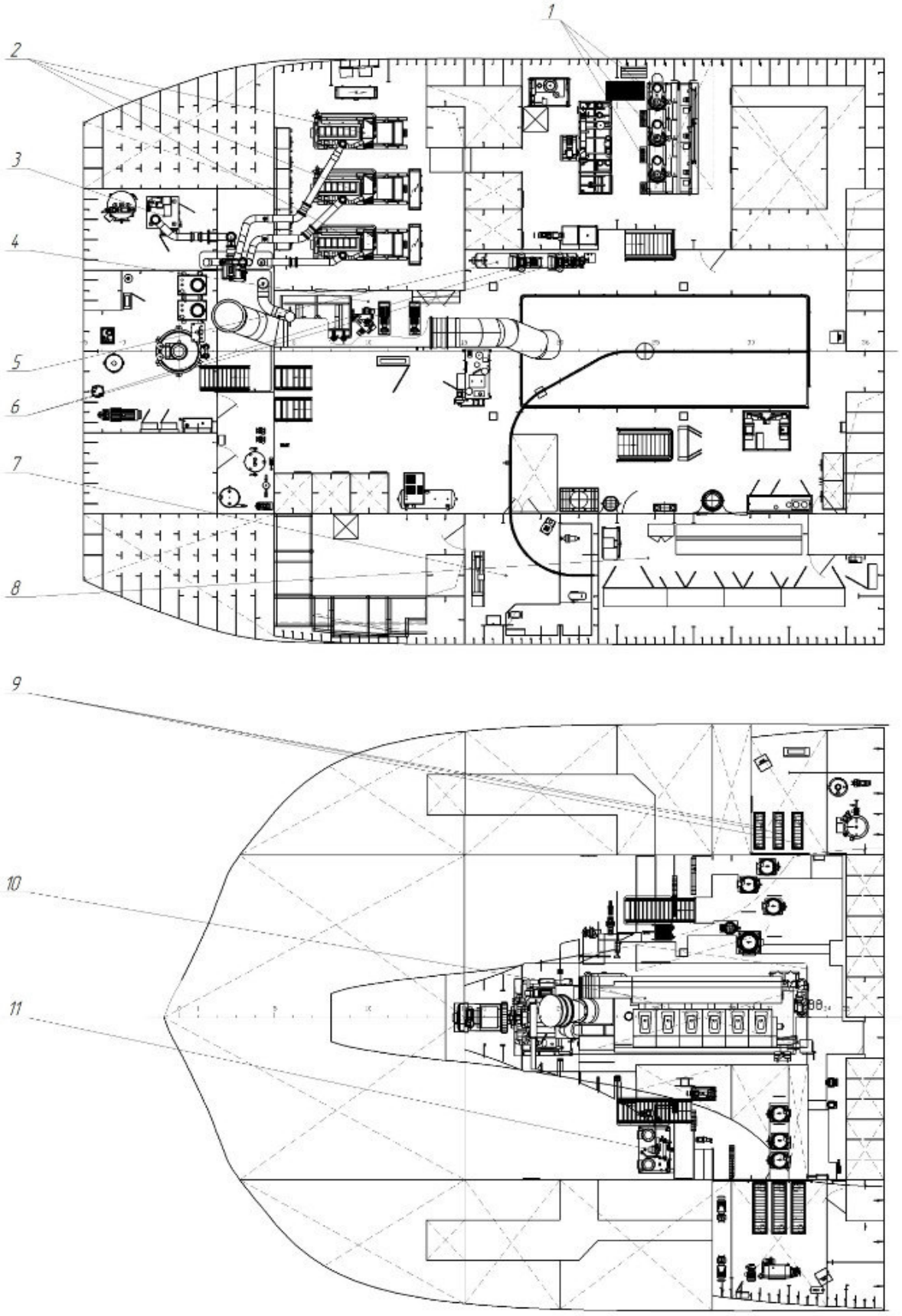


Рисунок 1.2 - Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна

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 ящикові 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) водой
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 MaK 6M43C, 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.

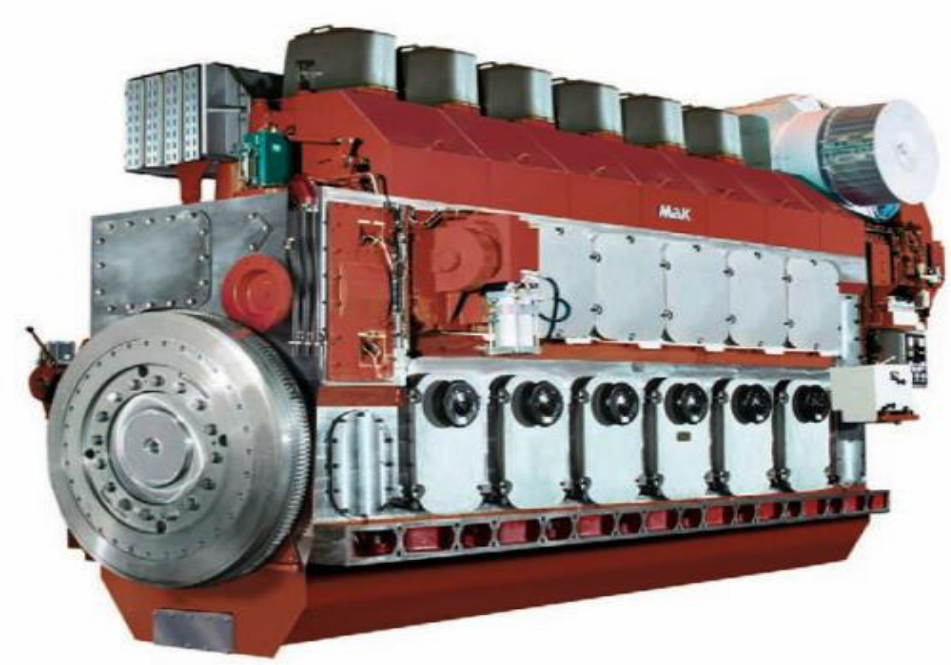


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд головного двигуна

Двигун можливо економічно та ефективно експлуатувати на важкому паливі в'язкістю до 700 мм^2/сек (сст) при 50 °C (7000 сек. по Редвуду I при 100°F). Він розрахований на роботу на найгіршому паливі, включаючи специфікацію CIMAC H/K 55.

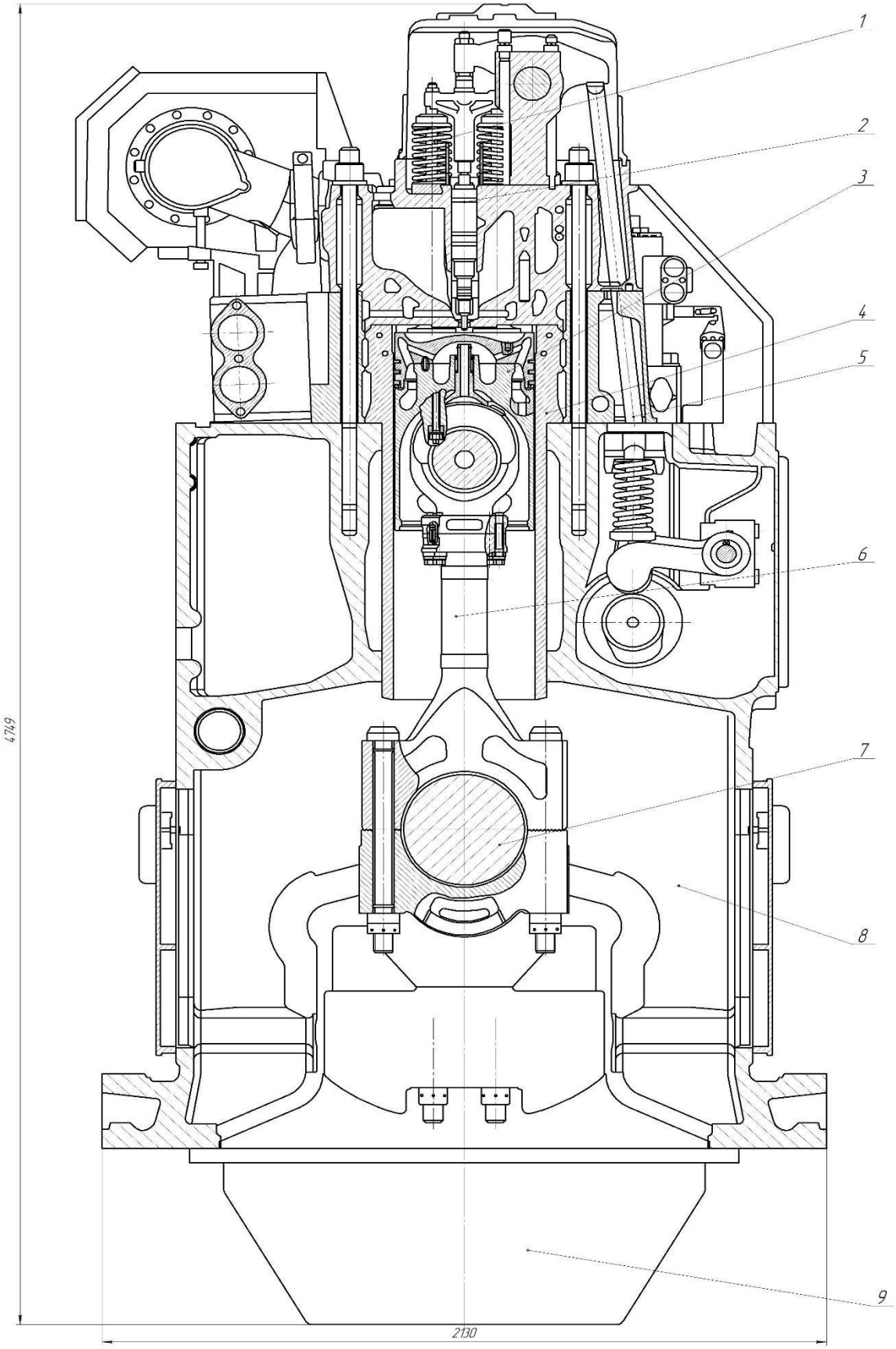


Рисунок 1.5 - Поперечний переріз головного двигуна: 1 – клапан; 2 – паливна форсунка; 3 – поршень; 4 – циліндр; 5 – штовхач коромисла; 6 – шатун; 7 – колінчастий вал; 8 – картер; 9 – піддон картера

Основною ідеєю конструкції двигуна MaK 6M43C 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.....MaK 6M43C;

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.);

Турбокомпрессор один …… імпульсний типу ABB TPL 71 C 33.

1.7.3 Конструкції середньообертових двигунів фірми МаК

Німецька компанія МаК (тепер відома як МаК-Caterpillar) займає провідні позиції серед виробників сучасних середньобертових 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 МаК 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 МаК 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 сталевої 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 °C.

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 суднового дизеля M43C, що був представлений на ринку в 1997 році, базується на досягненнях попередніх розробок, що зокрема включають більш довгий хід поршня. Двигун M43C 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 M43C 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 привода 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 МаК 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 відіграє важливу роль у відведенні тепла від різних механізмів, пристроїв і робочих середовищ через теплообмінники, а також у підтримці допустимих температур, які визначаються жароміцністю матеріалів, термостабільністю масла та оптимальними умовами для робочих процесів. У двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) обсяг тепла, яке відводиться в охолоджуючу рідину, коливається від 15 до 35% від тепла, що виділяється під час згоряння пального в циліндрах. В якості охолоджуючих рідин використовують прісну і забортну воду, масло та дизельне паливо.

Для суднових ДВЗ застосовуються як проточні, так і замкнуті системи охолодження. У проточній системі охолодження двигун використовує забортну воду, яка надходить через насос. Основними компонентами системи забортної води є кінгстоні ящики, фільтри, насоси, трубопроводи, арматура, а також пристрої для управління, сигналізації і контролю. За правилами Регістру система повинна мати один донний і один-два бортових кінгстона. У цій системі можливе використання двох насосів, з яких один є резервним для прісної та забортної води. Аварійне охолодження може здійснюватися за допомогою насосів холодильної установки або пожежної системи судна. Важливість системи охолодження для тривалої та надійної роботи двигуна не можна переоцінити, адже її несправність або недостатній догляд часто стають причинами поломок двигунів. Якщо охолоджувальна система була встановлена виробником двигуна, не рекомендується вносити в неї зміни, оскільки розміри і тепловіддача системи оптимально підібрані відповідно до тепловиділення основних елементів двигуна. Неправильні зміни можуть

погіршити термічний стан системи, що призведе до серйозних ушкоджень двигуна.

У суднових двигунах від 8 до 25% тепла, що виділяється при згорянні пального, передається на стінки циліндро-поршневої групи і в корпус турбонагнітача, які потребують охолодження, щоб уникнути перегріву. Втрати тепла також включають втрати на тертя, що перетворюються в тепло, яке підвищує температуру циркуляційного масла, яке також потребує охолодження. Задачі систем охолодження також включають відвід тепла від наддувочного повітря, що нагрівається під час стиснення в турбонагнітачі. Найменші втрати тепла (8-10%) характерні для великих двотактних двигунів.

В системах охолодження передбачено:

- охолодження прісною водою циліндрових втулок, кришок і турбонагнітачів дизелів;
- охолодження прісною водою або маслом головок поршнів;
- охолодження прісною водою або паливом форсунок дизеля;
- охолодження забортною водою робочих рідин, що циркулюють у системах дизелів;
- охолодження наддувочного повітря.

Забортною водою охолоджують холодильники (теплообмінники) прісної води двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), маслоохолоджувачі систем змащення редукторів, компресори, підшипники та інші елементи суднової енергетичної установки (СЕУ). Окрім того, система охолодження забортною водою може використовуватися для аварійного осушення машинного відділення і подачі забортної води споживачам, не пов'язаним із СЕУ. За вимогами Регістру кожне машинне відділення повинно мати не менше двох кінгстоні ящиків циркуляційної або охолоджуючої води для забезпечення прийому забортної води в будь-яких умовах експлуатації.

Функціонування системи має бути гарантоване при тривалому крені до 15° і диференті до 5°. Сучасні морські судна зазвичай мають кінгстоно-розподільний канал, в який вода надходить з кінгстонів, а потім через

клінкетні засувки – в систему охолодження. Відведення води за борт відбувається через незворотно-запірні клапани, а щоб уникнути попадання нагрітої води в приймальні отвори, відливні та приймальні отвори розміщуються на різних частинах судна. Відливні отвори, як правило, розташовуються не менше ніж на 300 мм нижче ватерлінії найбільшої осадки. Розрахункова температура забортної води для суден необмеженого району плавання складає 32°С.

У дизельних установках використовуються двоконтурні системи охолодження прісною та забортною водою. Тепло від головних і допоміжних двигунів відводиться за допомогою постійно циркулюючої прісної води, яка охолоджується забортною водою у водоохолоджувачі. Режим охолодження визначається різницею температури прісної води на вході та виході з двигуна. Для уникнення підвищених термічних напружень в елементах двигуна рекомендується, щоб температура води, що надходить, не була нижчою за 55°С, оскільки безпосереднє охолодження забортною водою може викликати інтенсивне відкладення солі. Режим охолодження двигуна також впливає на його ефективність. Зі зростанням температури охолоджуючої води знижується індикаторний ККД двигуна, що зумовлено зменшенням коефіцієнта заповнення та швидкості наростання тиску. Проте через зниження в'язкості масла зменшуються втрати на тертя, що призводить до зростання механічного ККД. Внаслідок зміни температури води від 50 до 150 °С спостерігається незначне підвищення ефективного ККД дизеля.

Температура охолодження впливає на обсяг і характер утворення нагару, осадів і окислення масла. Підвищення температури прискорює окислення масла, тому зростання температури охолоджуючої води в двигуні часто супроводжується деяким поліпшенням його характеристик. Також спостерігається перерозподіл потоків вторинних енергоресурсів: кількість тепла, що відводиться вихлопними газами, зростає, тоді як охолоджуючою водою - зменшується. Незважаючи на деякі позитивні аспекти, найближчим часом не слід очікувати широкого застосування високотемпературного

охолодження суднових дизелів, оскільки це ускладнить конструкцію двигуна та охолоджувальної системи, а також вимагатиме забезпечення надійності під час експлуатації.

Враховуючи вищезазначене, температура води на виході з двигуна обмежена: у головних маловертких двигунах вона не повинна перевищувати 60-70°С, а в середньооборотних та допоміжних – 75-85°С. Значна частина тепла відводиться водою під час охолодження наддувочного повітря в маловертких двигунах, де вона може досягати 14% від тепла, що виділяється при згорянні пального. Тепло також відводиться в системі мастила (до 4%) і передається паливом під час охолодження форсунок. Удосконалення двигунів веде до перерозподілу енергетичних потоків: знижується частка теплоти, що відводиться охолоджувальною прісною водою, і зростає при охолодженні наддувочного повітря.

2.1 Аналіз систем охолодження прісною водою

Охолодження головних і допоміжних двигунів проводиться прісною водою. В системі циркулює постійна кількість води, яка після виходу з двигунів охолоджується у водоохолоджувачі циркулюючою через нього забортної водою і знову надходить у двигуни.

Тиск води в системі для кожної установки зазвичай вказується в інструкції і становить 150-280 кПа.

Підтримання необхідного тиску виключає утворення застійних зон в окремих ділянках зарубашечного простору дизеля.

В системах охолодження передбачається автоматична сигналізація по зниженню тиску нижче заданого значення, а на деяких дизелях - автоматичний захист, що зупиняє дизель при зниженні тиску води нижче допустимого межі.

Температура вхідної та вихідної води також вказується в інструкції і знаходиться в наступних межах: на вході 50-70 °С; на виході 60-85 °С. У двигунах нового покоління підвищують температурний режим до 80-85 °С, що

сприяє зниженню температурного перепаду в стінках і зменшення теплових втрат. Температура вихідної води зазвичай підтримується постійною. Підвищення або зниження температури води в порівнянні з рекомендованою може супроводжуватися збільшенням зносу втулок і поршневих кілець через погіршення умов змащення або корозійного зносу.

Передбачається автоматична сигналізація у випадку підвищення температури вихідної води вище заданого значення.

Продуктивність насоса охолодження повинна бути достатньою для забезпечення необхідного відведення тепла при заданому температурному перепаді.

Системи охолодження обладнають, крім сигналізації, пристроєм для спостереження за циркуляцією води.

Принципова схема системи охолодження двигунів показана на рис. 2.1. Допоміжні дизелі 7 охолоджуються від системи головного дизеля. Таке підключення здійснюється на більшості суднових дизельних установок. Коли головний дизель не працює, допоміжні дизелі охолоджуються своєю автономною системою від портового насоса 4, (водоохолоджувачі допоміжних дизелів на схемі не показані).

Схема передбачає підігрів головного дизеля від допоміжних дизелів через клапан 10. Автоматичні регулюючі клапани 6 встановлюють на системах всіх сучасних суднових дизельних установок.

Для системи охолодження дизелів застосовують відцентрові насоси. Ці насоси мають високий к.к.д., прості за конструкцією і забезпечують вільний прохід води під час спорожнення системи.

Передбачаються один робочий і один загальний резервний насос для прісної і забортної води. В автоматизованих установках обов'язкова установка окремого резервного насоса прісної води.

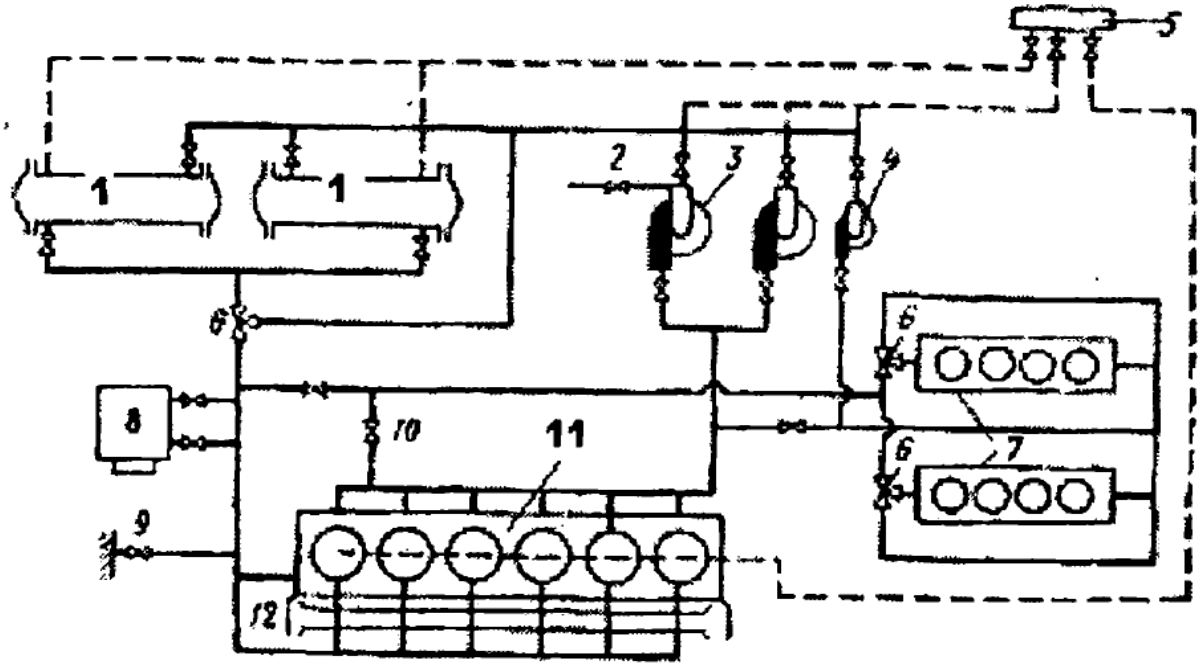


Рисунок 2.1 - Принципова схема системи охолодження прісної води:
1 - водоохолоджувачі; 2 - підведення забортної води для аварійного охолодження; 3 - охолоджуючі насоси; 4 - портовий охолоджуючий насос; 5 - розширювальна цистерна; 6 - автоматичні регулюючі клапани; 7 - допоміжні дизелі; 8 - опріснювач; 9 - відведення забортної води; 10 - клапан для підігріву головного дизеля від допоміжних дизелів; 11 - головний дизель; 12 - відведення води від повітроохолоджувачів.

Простота конструкції істотно полегшує експлуатацію відцентрових насосів, яка зводиться до спостереження за роботою, заміні сальникових ущільнень і профілактичних оглядів підшипників, крилаток, вала і муфти зчеплення.

Пуск насоса проводиться при відкритому всмоктуючому клапані і закритому або частково відкритому нагнітальному.

Після пуску нагнітальний клапан відкривається, і продуктивність доводиться до нормальної. Критеріями необхідної продуктивності служать тиск води в системі і температура води на вході і виході. Якщо насос тривалий час не працював, то до його пуску слід переконатися у відсутності повітря в

корпусі насоса, відкривши повітряний (пробний) кран. Крім того, слід повернути вал насоса вручну і переконатися в тому, що сальникове ущільнення не затискає його і немає інших причин, що перешкоджають обертанню насоса. Крім безпосереднього спостереження за роботою насоса, слід звертати увагу і на показання амперметра. Збільшення сили струму при інших рівних умовах зазвичай свідчить про збільшення потужності тертя в насосі або моторі, а зменшення - про поломку крилатки насоса.

На судах застосовуються пластинчасті або трубчасті водоохолоджувачі. Ремонт і профілактика водоохолоджувача зводиться до очищення порожнин забортної води від бруду, заміні протекторних пластин і вальцюванні або глушінні трубок.

При плаванні в чистій воді рекомендується оглядати порожнини забортної води не рідше одного разу на рік. Огляд зазвичай проводиться через оглядові люки, до яких з внутрішньої сторони прикріплені протекторні пластини. Пластини, роз'їдені більш ніж на 50%, повинні бути замінені. При плаванні в забрудненій воді і на мілководді рекомендується оглядати порожнини забортної води при збільшенні опору в охолоджувачі і при погіршенні теплообміну.

Відомо, що в процесі експлуатації тиск забортної води завжди нижче, ніж прісної і порушення щільності трубок охолоджувача визначається по збільшенню витоку прісної води. На суднах необмеженого району плавання в системі охолодження встановлюють два охолоджувача.

В системі охолодження дизеля прісною водою встановлюється расширювальна цистерна, яка служить для створення підпору на всмоктуючій стороні насосів, видалення повітря з системи і поповнення витоків, що мають місце в умовах експлуатації.

Цистерну встановлюють вище верхньої точки системи охолодження і з'єднують з нею трубопроводами в двох, трьох і іноді чотирьох місцях. Характерними ділянками є всмоктуючий трубопровід у насоса і верхня порожнина водоохолоджувача. На багатьох дизелях цистерна з'єднується

трубопроводами з верхніми порожнинами кришок циліндрів, а іноді і з колектором виходної охолоджуючої води.

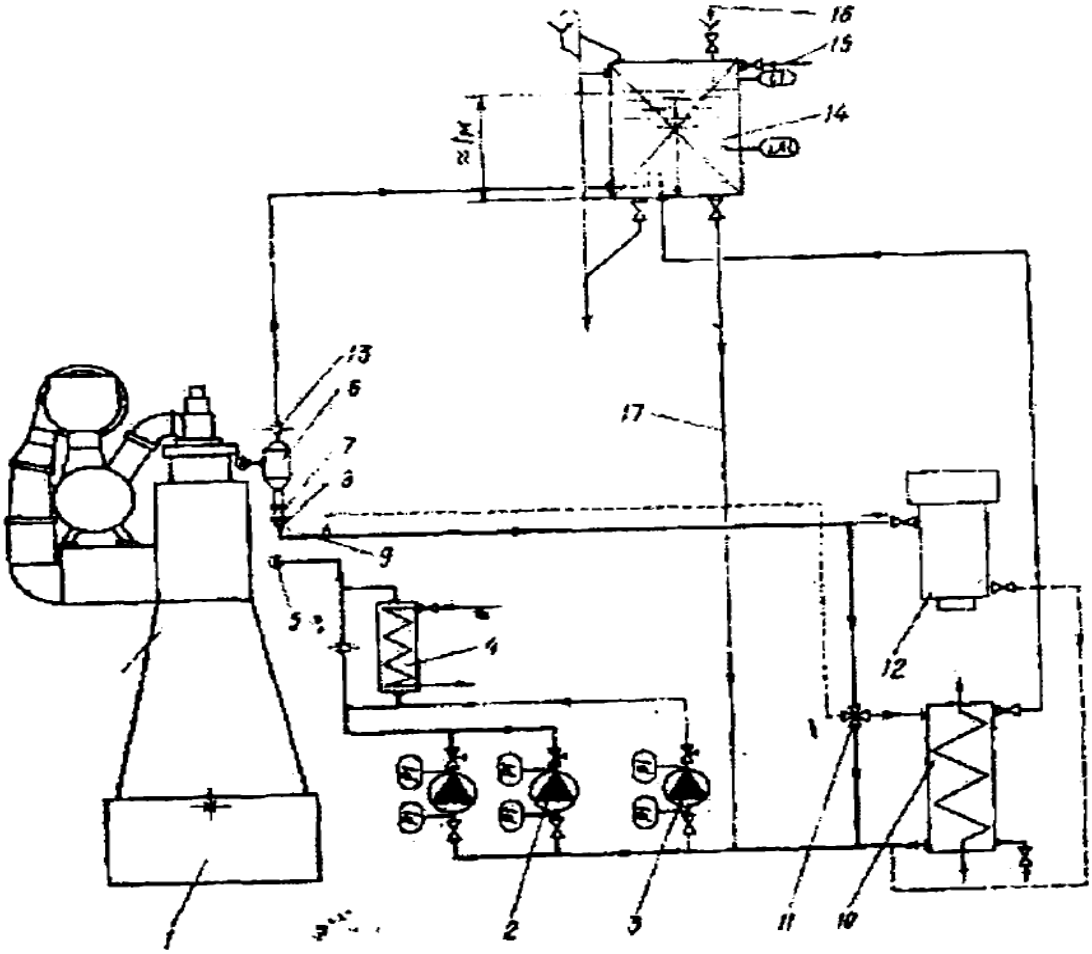


Рисунок 2.2 - Система прісної води охолодження циліндрів двигуна RTA: 1 - головний двигун; 2 - насоси; 3 - портовий насос; 4 - підігрівач; 5 - вхід в сорочки циліндрів; 6 - сепаратор для видалення повітря; 7 - стабілізатор потоку; 8 - діафрагма регулювання тиску; 9 - вихід води з двигуна; 10 - водоохолоджувач; 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 °C; 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 Castrol Solvex WT2	порошок рідина	3 кг / 1000 л 20 л / 1000 л
Drew Ameriod Marine Boonton, N.J./USA	DEWTNC Liquidewt Maxiquard	порошок рідина рідина	3,2 кг / 1000 л 8 л / 1000 л 16 л / 1000 л
Unitor Rochem Marine Chemicals Oslo, Norway	Dieselguard NB Rocor NB Liquid	порошок рідина	3 кг / 1000 л 10 л / 1000 л
Vecom Maassluis, Holland	CWT Diesel QC2	рідина	12 л / 1000 л

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 теплозніманні 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 забортної 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 гратами 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

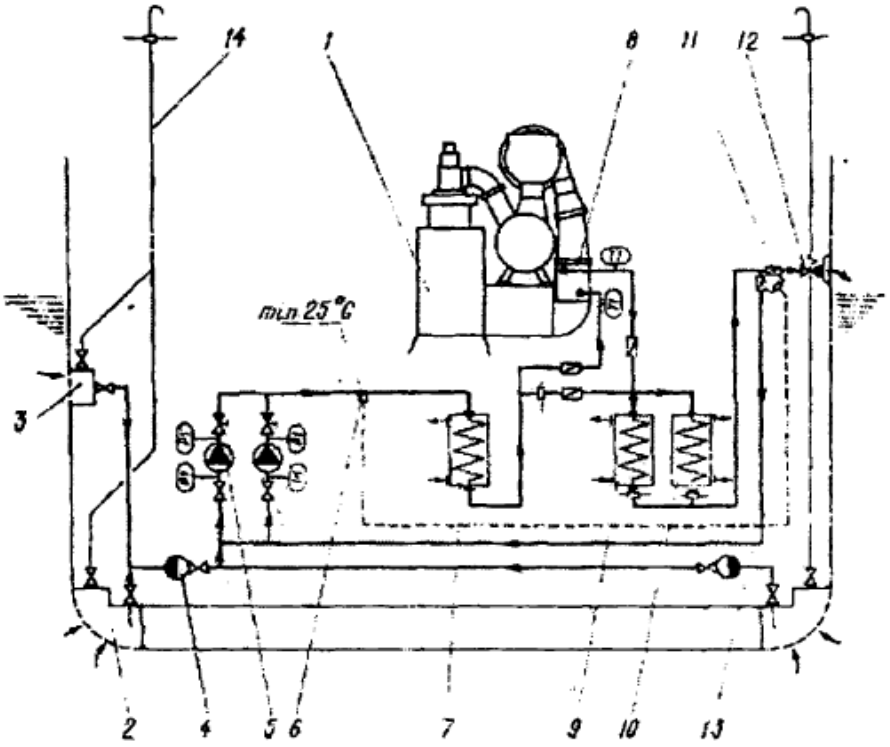


Рисунок 2.3 - Система охолодження забортної води (двигун RTA): 1 - двигун; 2 - донний кінгстон; 3 - бортовий кінгстон; 4 - фільтр; 5 - насос; 6 - температурний датчик; 7 - маслоохолоджувач; 8 - повітроохолоджувач; 9 - маслоохолоджувач поршнів; 10 - водоохолоджувач циліндрів; 11 - термостат; 12 - відведення 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 шузі, дрібному бітом льоду і при ході в баласті.

На багатьох судах, призначених для плавання в льодових умовах, система забортної води з'єднується з баластної через баластний або портовий насос забортної 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 забортної води.

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

2.3 Перспективи модернізації системи охолодження суднових дизелів

Процеси тепловідведення в рідинних системах охолодження (СО) супроводжуються кавітаційно-корозійними руйнуваннями елементів систем і утворенням відкладень на охолоджуваних поверхнях. З підвищенням рівня форсування двигуна і зростанням теплових і механічних навантажень інтенсивність зазначених процесів зростає. Ці процеси вкрай негативно позначаються на надійності і ефективності ДВС. Для запобігання порушенню режимів охолодження необхідно вдосконалювати експлуатаційні властивості

охолоджуючих рідин і забезпечувати їх необхідну якість в процесі експлуатації.

Перспективи вдосконалення рідинних СО суднових дизелів пов'язані з рішенням взаємопов'язаних завдань, таких як:

1) визначення параметрів охолодження, що роблять найбільш істотний вплив на надійність і ефективність роботи двигуна;

2) обґрунтований вибір параметрів охолодження для різних швидкісних і навантажувальних режимів двигуна;

3) вдосконалення систем автоматичного регулювання теплового стану ДВС, і пов'язаного управління параметрами систем охолодження і наддуву;

4) розробка механізмів, які забезпечують автоматичний контроль і регулювання параметрів охолодження і наддуву.

В роботі [17] показано, що функціонування рідинних СО ДВС характеризується двома групами параметрів: режимними і водно-хімічними.

До першої групи належать температура охолоджуючої рідини $T_{ор}$ перепад температур в контурі охолодження ΔT, що визначає щільність теплового потоку $q_{охол}$ через охолоджувані поверхні і кількість відведеної через систему охолодження теплоти $Q_{охол}$. Перспективними для суднових ДВС є високотемпературні системи охолодження (ВСО), в яких температура охолоджуючої рідини перевищує 100 °С. Дослідження впливу ВСО на показники робочого циклу дизеля [18] показали, що при незначному зниженні індикаторного ККД за рахунок зростання механічного ККД має місце підвищення ефективного ККД і перерозподіл теплових потоків: збільшуються втрати з відпрацьованими газами і зменшується частка втрат з охолоджувальною рідиною.

Перехід на високотемпературне охолодження можливий за рахунок підвищення тиску у внутрішньому контурі СО, в цьому випадку може бути реалізований принцип підтримання сталості заданого статичного тиску шляхом впливу на охолоджуючу рідину за допомогою стиснутого повітря. Схема такої системи представлена на рис. 2.4 [19]. При запуску двигуна і в

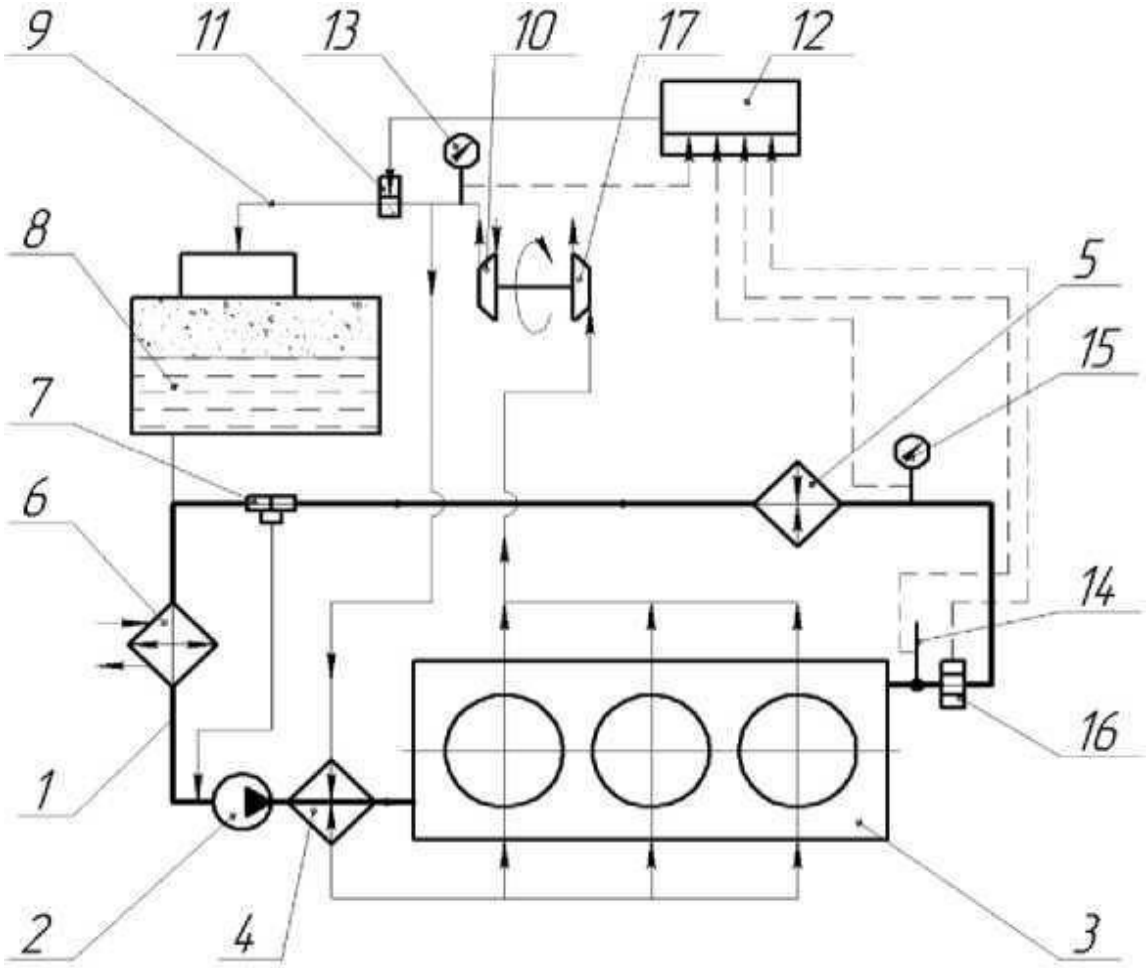


Рисунок 2.4 - Схема системи охолодження з регулюванням тиску у внутрішньому контурі:

1 - внутрішній контур СО; 2 - циркуляційний насос; 3 - сорочка охолодження поршневий 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

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 pH 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 поршневий 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 поршневий частини. Усмоктувальна магістраль 10 насоса 4 з'єднана з розширювальним баком 9, до якого приєднана ємність 11, заповнена концентратом присадки. Подачапрісадкі 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

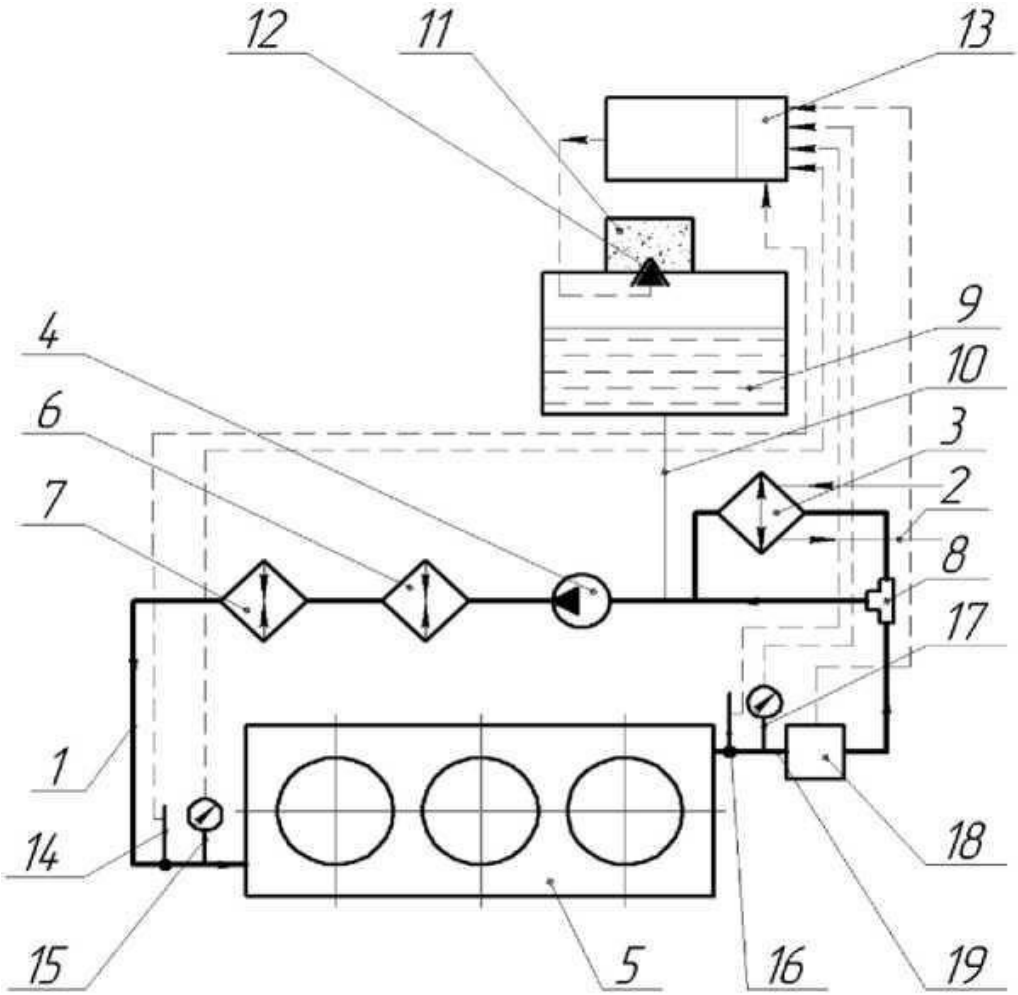


Рисунок 2.5 - Система охолодження з автоматичною корекцією властивостей охолоджуючої рідини:

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 (pH) рідини, жорсткість, загальний солевміст.

Саме таким чином, в запропонованій системі охолодження забезпечується безперервний і оперативний контроль якості охолоджуючої рідини і, при необхідності, автоматичне відновлення її експлуатаційних властивостей. У порівнянні з існуючими системами охолодження пропонована система полегшує обслуговування двигунів внутрішнього згоряння і підвищує їх надежность.В якості блоку управління в запропонованих системах можна використовувати програмований мікропроцесор, наприклад ATMega8 або PIC16F1823, що дозволить регулювати тиск в системі охолодження в залежності від режиму роботи двигуна по закладеної в блок управління програмою і надходження присадки в систему охолодження в залежності від фізико-хімічних властивостей охолоджуючої жідкості.

Проведені дослідження, а також експлуатаційні випробування показали, що пропоновані технічні рішення дозволяють за рахунок модернізації системи

охолодження і вдосконалення автоматичного регулювання параметрів охолодження і наддуву забезпечити підвищення надійності і економічності суднових дизелів.

В системах охолодження циліндрів суднових ДВЗ від температури охолоджуючої води в зарубашечного просторі значною мірою залежить температура стінки, яка, в свою чергу, впливає на перебіг робочого процесу в циліндрі, величину роботи тертя в циліндропоршневої групі і інтенсивність її зносу [8, 9]. Для двигунів малої та середньої потужності, а також для швидкохідних двигунів з підвищенням температури охолоджуючої води ефективна потужність збільшується. Це збільшення залежить від типу двигуна і сорту циліндричного мастила. Збільшення потужності пов’язане зі зменшенням втрат на тертя. При повному навантаженні збільшення температури охолоджуючої води незначно змінює питома витрата палива, а на часткових навантаженнях виявляється зона оптимальної температури, при якій питома витрата палива мінімальна. Підвищення температури води, що охолоджує, до певних меж зменшує знос циліндропоршневої групи. Верхня межа температури визначається умовами безпечної роботи двигуна. У зв'язку із застосуванням сірчистого і високов'язкого сортів палива намічається тенденція до підвищення температурного режиму в системі охолодження циліндрів і форсунок у потужних малообороторних двигунів до 62-85 °С. Тому система терморегулювання головних суднових дизелів повинна підтримувати постійної (в межах заданої нерівномірності) температуру охолоджуючої води до 65-80 °С при різних навантаженнях і температурах забортної води. Найбільш прийнятною для таких двигунів в даний час вважається температура води на виході з двигуна 85 °С, при якій забезпечується нормальний режим охолодження.

Одним з основних питань, що виникають при використанні того чи іншого варіанту системи охолодження, є питання про температурний стан і надійність роботи деталей циліндропоршневої групи.

Залежно від умов в порожнині охолодження можлива наявність двох

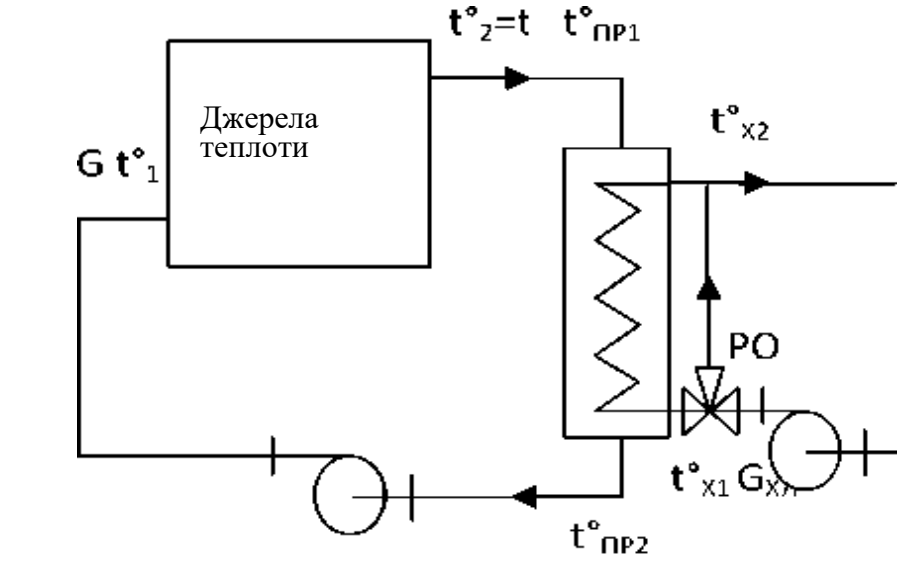
різних за характером процесів теплообміну: без зміни агрегатного стану і зі зміною агрегатного стану (в тому числі при загальмованому і при розвиненому поверхневому кипінні). Найбільш часто зустрічаються на практиці процес теплообміну без зміни агрегатного стану. Тут в порожнині охолодження двигуна підтримується тиск, що запобігає можливість паровиделеніе на поверхні охолодження. Температура рідини при цьому тиску виявляється вище температури в пристінному шарі.

Підвищення рівня підтримки температури охолоджуючої води залежить від конструктивних особливостей двигуна, сорту застосовуваного масла і сорти палива. Так, в менш форсованих двигунах з товстостінними деталями (наприклад, великогабаритних) слід очікувати менший вплив режиму охолодження на температуру стінок, ніж в малогабаритних форсованих.

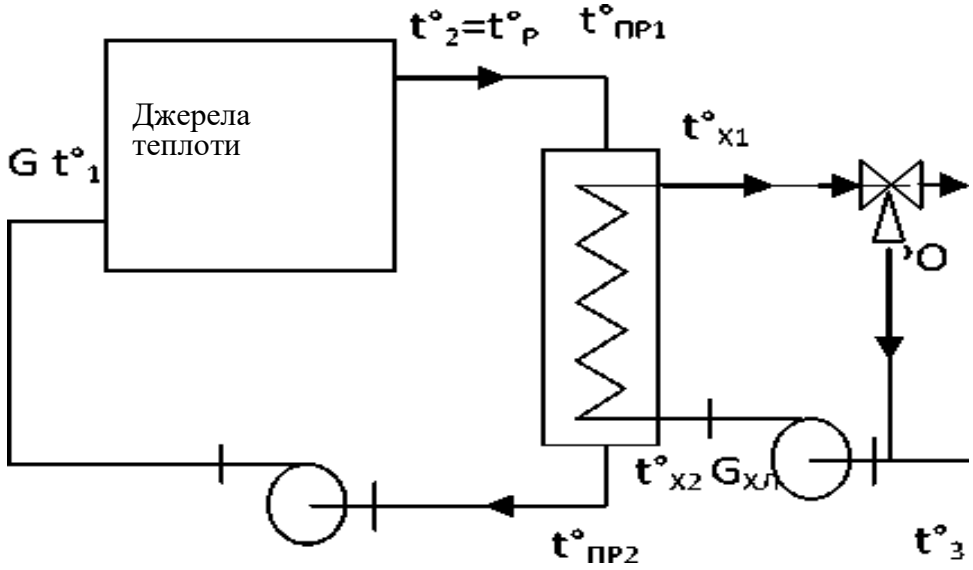
В якості досліджуваних систем охолодження СДВЗ розглядаються спрощені схеми, наведені на рис. 2.6.

Розглянемо існуючі в даний час способи регулювання температури охолоджуючого середовища. Застосовують два способи регулювання: перший - зміною кількості прокачується води через систему, другий - зміною температури. Перший з них в суднових енергетичних установках на сьогоднішній день самостійно не застосовується [9]. Це пояснюється тим, що при малих кількостях води, а, отже, і малих її швидкостях можливе порушення циркуляції потоку в зарубашечного просторі двигунів і, як наслідок, поява місцевих перегрівів стінок з утворенням парових мішків.

Принцип зміни умов відведення тепла шляхом зміни температури води на вході в систему t ° і може бути реалізований наступними конструктивними способами (рис. 2.7): перепуском у внутрішньому контурі, дросселированием, обводом і перепуском в контурі забортної води. З метою спростити схеми всі можливі джерела тепла в системі зведені до одного двигуну (джерела тепла).



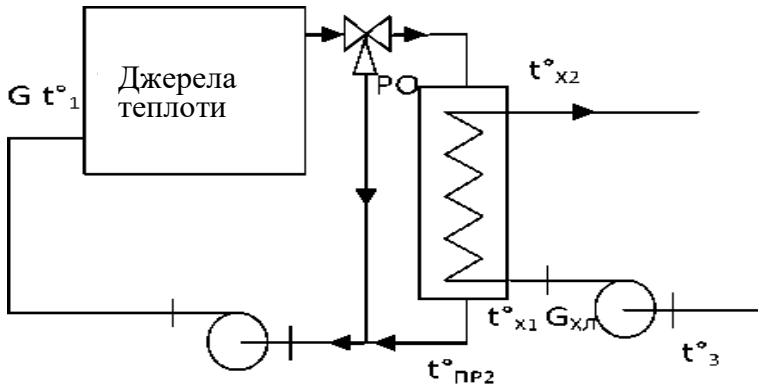
а)



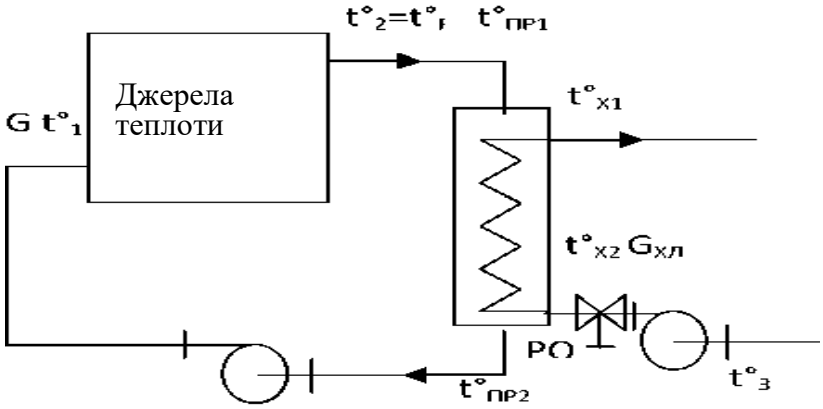
б)

Рисунок 2.6 - Схеми способу регулювання за принципом зміни температури води на вході в двигун: зміною кількості прокачується води через систему (а), зміною температури (б)

З наведених схем видно, що робота, виконувана приводними двигунами насосів в системі охолодження СДВЗ, залишається практично незмінною на всьому діапазоні регулювання. Також відомо, що потужність, споживана привідним електродвигуном, прямо пропорційна кубу частоти обертання цього двигуна [9].



а)



б)

Рисунок 2.7 - Схеми способу регулювання за принципом зміни температури води на вході в двигун: перепуском у внутрішньому контурі, дросселированием (а), обводом і перепуском в контурі забортної води (б)

2.4 Система охолодження та її складові для суднових двигунів фірми МаК

Стандартна компоновка системи охолодження двигуна МаК 6М43С фірми (Caterpillar Marine Power Systems) включає в себе:

- охолоджувач надувочного 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) МаК серії М20, М25, М32, М43 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. Перевірка рівня циркулюючої охолоджуючої води відбувається в розширювальному баку.

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 2.9, 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. Тиск морської води на впуску в насос має бути в будь-якому випадку не нижче 24 кПа. Як можна більша частина подаючого трубопроводу з впускного боку насоса повинна знаходитися нижче ватерлінії судна і не мати повітряних

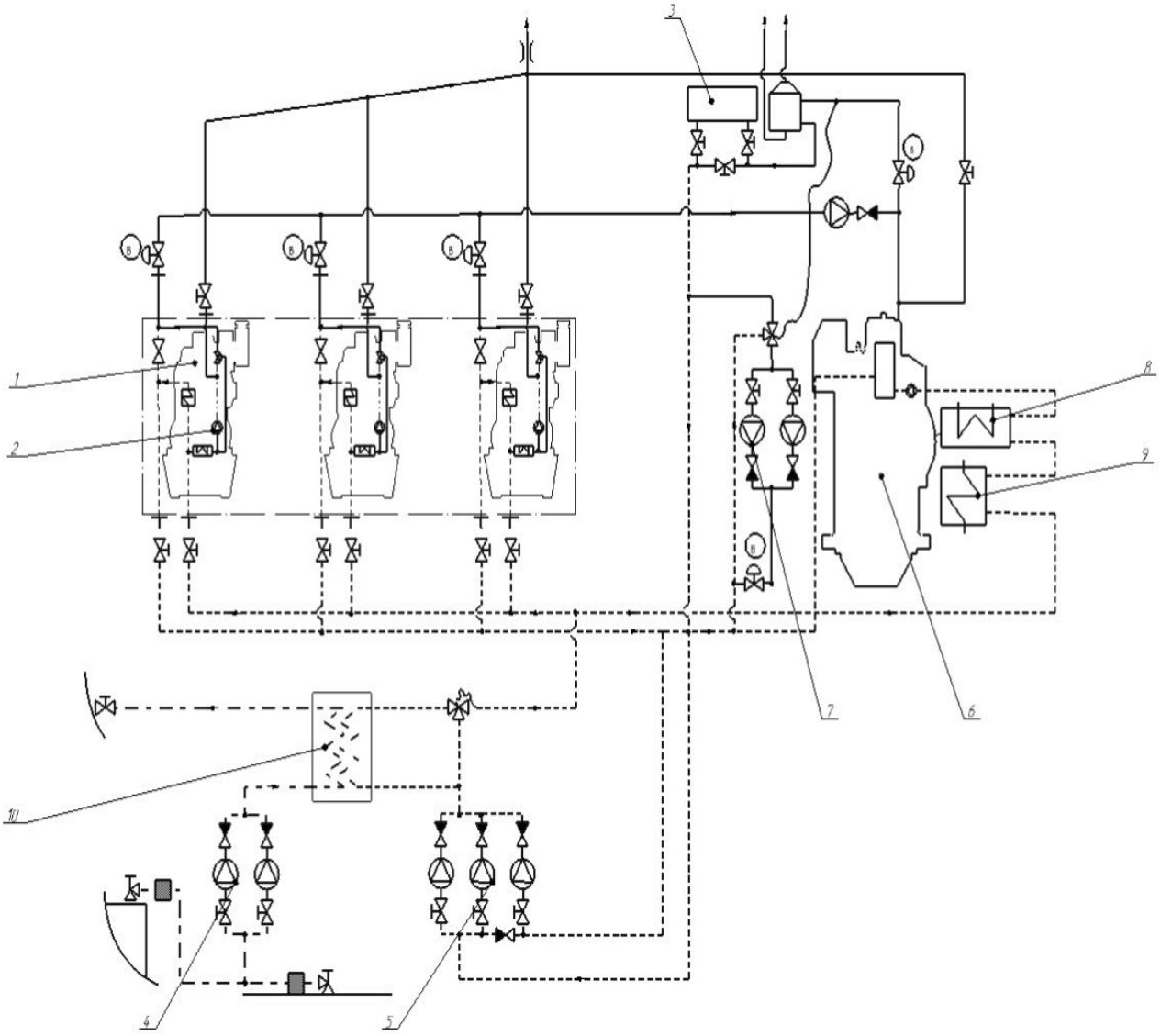


Рисунок 2.8 - Принципова схема системи охолодження головного двигуна:

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

пробок. 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 витекти 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

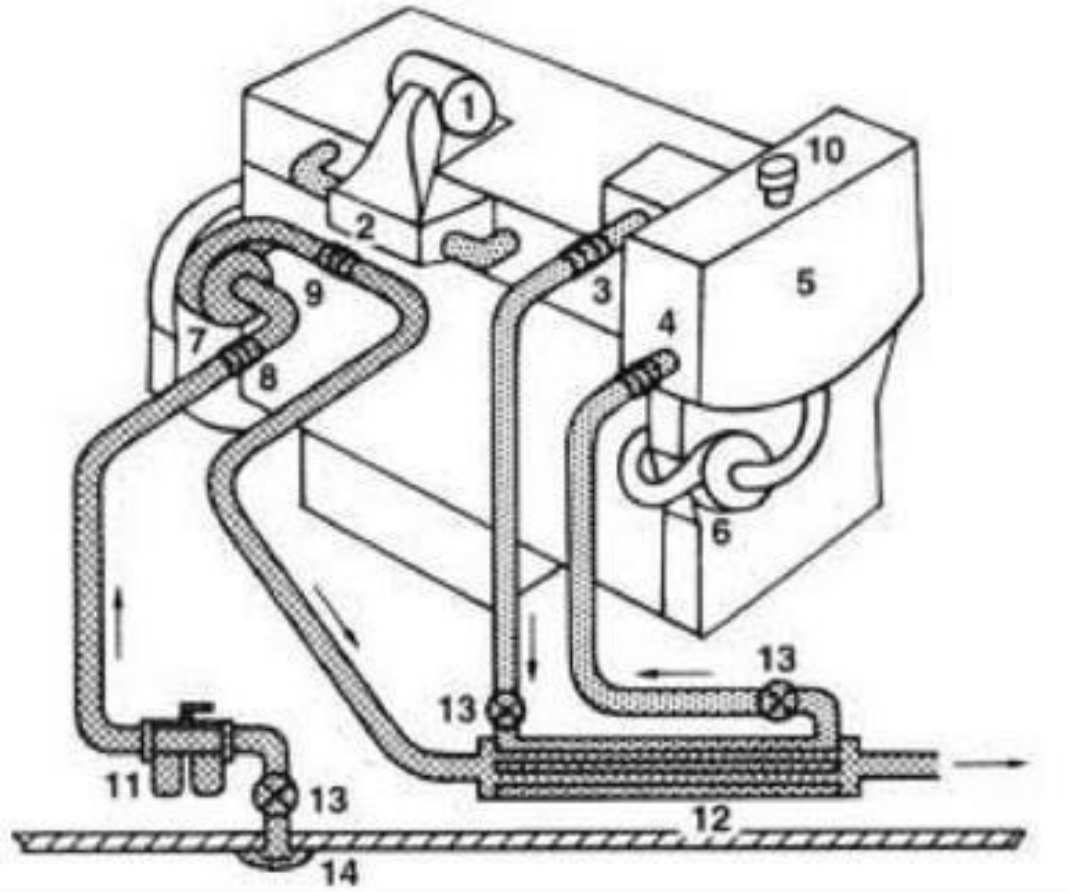


Рисунок 2.9 - Система з послідовним охолодженням і теплообмінником: 1 - турбокомпресор; 2 - охолоджувач наддувочного повітря з охолодженням від двигуна; 3 - випускний штуцер сорочки охолодження двигуна; 4 - впускний штуцер сорочки охолодження двигуна; 5 - розширювальний бачок (встановлюється не обов'язково 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" (одиночного) 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.

Мальки риб, плаваюче сміття (пластикові пакети, рослини і таке інше) або шматки льоду можуть швидко закупорити фільтр. При цьому різко зростає перепад тиску на фільтрі, що служить сигналом для його очищення. Датчик перепаду тиску вчасно подає сигнал про закупорювання фільтру і відповідному зниженні витрати охолоджуючої рідини. Датчик перегріву двигуна також може подати сигнал оповіщення, але диференційно-манометричний датчик дозволяє виявити зниження витрати води набагато раніше і запобігти перегріву системи охолодження.

2.5 Вибір напрямку модернізації двигуна

Охолодження води на суднових двигунах може бути організовано в декількох конфігураціях. Найбільш розповсюдженим варіантом системи є центральна система охолодження. Основними перевагами центральної системи охолодження є: наявність тільки одного теплообмінника, що охолоджується морською водою (тобто, тільки один теплообмінник, що підлягає капітальному ремонту); всі інші теплообмінники охолоджуються прісною водою і, отже, можуть бути зроблені з менш дорогих матеріалів; необхідно встановити кілька некорозійних труб; зниження обслуговування кулерів і компонентів; збільшення використання тепла.

Недоліками центральної системи охолодження є: наявність трьох комплектів насосів охолоджуючої води (морська вода, центральна водяна система і водяна сорочка); більш висока початкова вартість.

Інформація про альтернативні варіанти охолодження морської води представлені в розділах 2.1 - 2.3.

Центральна система охолоджуючої води характеризується наявністю тільки одного теплообмінника, що охолоджує морську воду і іншими кулерами, включаючи охолоджувач водяного охолодження, що охолоджуються центральним охолодженням води.

Для того, щоб запобігти занадто високої температури в системі, розрахункова температура охолоджуючої води в центральній системі охолоджуючої води повинна бути зазвичай (не більше) 36 °C, що відповідає максимальній температурі морської води 32 ° C [1 – 3, 16].

РОЗДІЛ 3

ЗМІСТ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА

3.1 Обґрунтування доцільності модернізації системи охолодження головного двигуна

З метою обгрунтування 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. Обгрунтування, 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 високої температури в системі охолодження, розрахункова температура охолоджуючої рідини в центральній системі охолодження повинна бути не більше 36 °С (рис. 2.8), що відповідає максимальній температурі морської води 32 °С [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 система охолодження. Це означає, що температура охолоджуючої води в центральному регулюючому клапані води, тобто різниця не повинна перевищувати 10 °С.

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 ° С може не вистачити для забезпечення температури в центральній системі +36 °С. 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 проекті 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 °С взимку до + 38 °С влітку. З травня по вересень температура води в Перській затоці піднімається до + 35-36 ° С і вище (можливо до 40 °С) [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 °С при значних коливаннях температури морської води з максимально допустимих +32 ° С до + 35-36 ° С 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 пластинчатого теплообмінного апарату Danfoss системи охолоджуючої води двигуна МаК 6М43С

Теплообмінний апарат системи охолодження показаний на рис. 3.1.

Конструктивно розбірний пластинчастий теплообмінник, складається з рами і пакета пластин як показано на рисунку 3.2. Рама складається з нерухомої плити 1 і притискної плити 2, задньої стійки 7 яка з'єднана з нерухомою плитою верхньої направляючої 3 і нижньої напрямної 4. Рами розбірних теплообмінників випускаються різної довжини для забезпечення установки в неї різної кількості пластин. Між нерухомою і притискною плитами знаходиться розрахункова кількість пластин 5 з гумовими прокладками ущільнювачів. Пакет притиснутий до нерухомої плити притискною плитою різьбовими стяжками 6. Ступінь стиснення достатній для ущільнення і герметизації внутрішніх порожнин теплообмінника.

Пластини виготовляються штампуванням, зазвичай з нержавіючої сталі аустенітного класу AISI 316, після штампування проводиться електрохімічне полірування пластини. Сталь AISI 316 (як і всі нержавіючі сталі) несхильні до загальних видів корозії, проте при роботі з високо агресивними середовищами (високі температури, високий вміст хлоридів та інші) можуть протікати місцеві види корозії, наприклад пітінгова корозія.

Хімічний склад нержавіючої сталі AISI 316: Вуглець 0,08%, Хром

16-18%, Нікель 10 -14%, Молібден 2-3%, це основна сталь для виробництва пластин теплообмінників. Наявність молібдену знижує рівень пітінгової корозії. Товщина пластини (0,4 ... 1,0 мм) залежить від максимального робочого тиску. На тиск до 10 атм. використовуються пластини товщиною

0,4 мм, на тиск до 16 атм. - пластини товщиною 0,5 мм, на тиск до 25 атм. - пластини товщиною 0,6 мм.

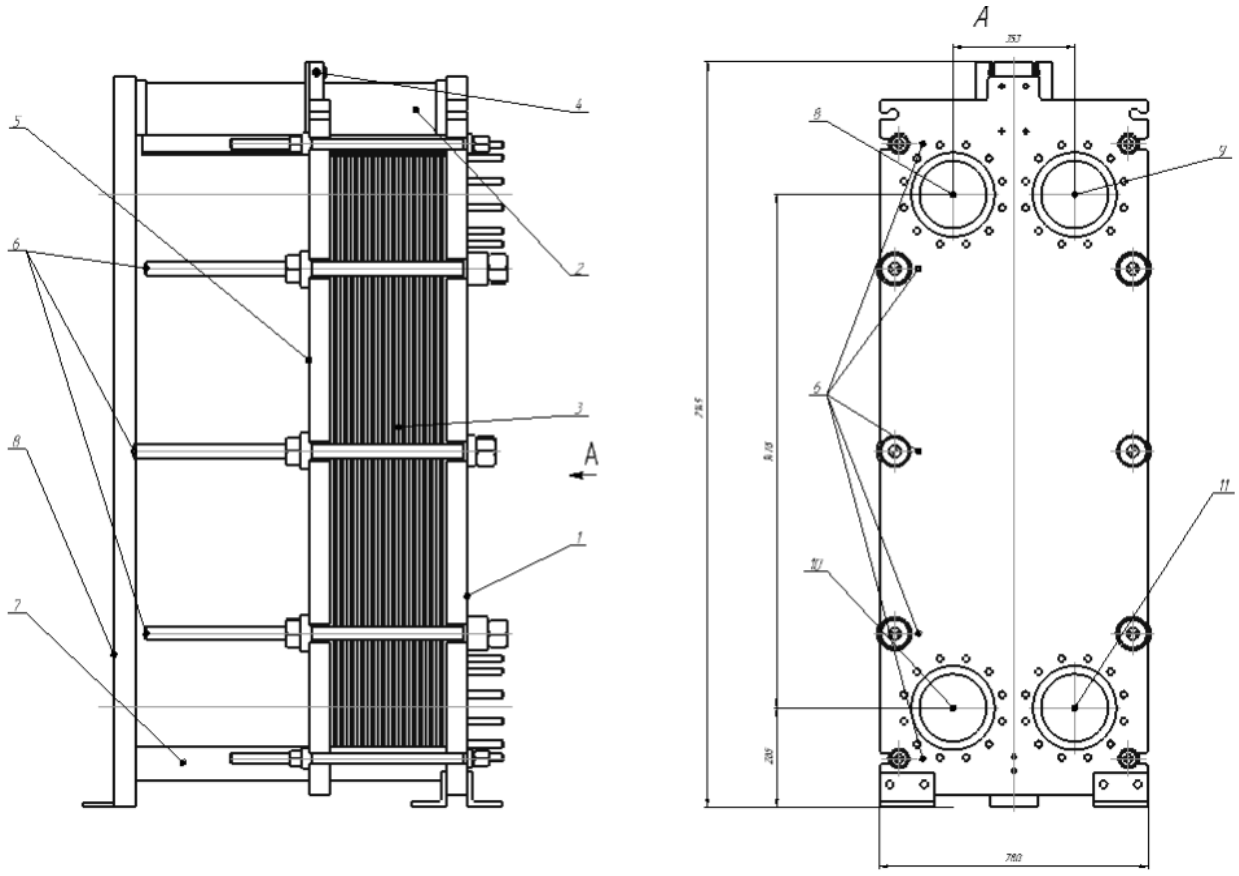


Рисунок 3.1 – Теплообмінний апарат системи охолодження:

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

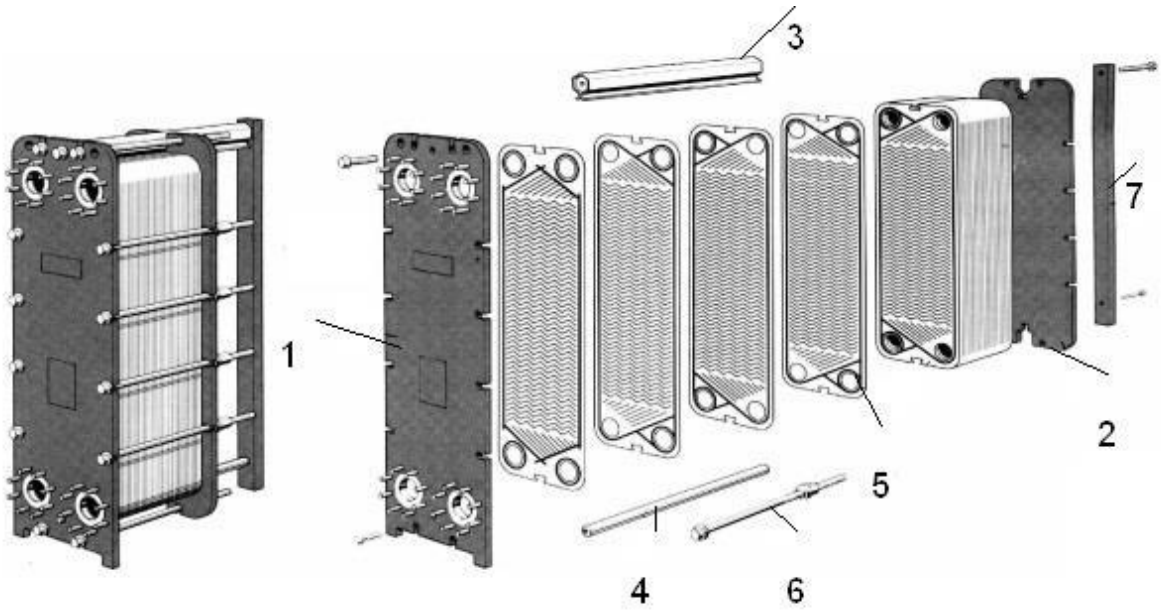


Рисунок 3.2 - Пластинчастий теплообмінник

Для агресивних середовищ (по відношенню до сталі AISI 316) застосовують більш дорогі матеріали, наприклад, 254 SMO, ТИТАН, хастеллой. Для менш агресивних середовищ (по відношенню до сталі AISI 316) застосовують сталь AISI 304.

Теплообмінна пластина рисунок 3.3, має високоефективну теплопередачу за рахунок термодинамічно оптимальної конструкції Принцип «Off-Set» забезпечує можливість створення як симетричних так і асиметричних каналів 1. Спеціальний рельєф розподільчої площадки оптимально розподіляє теплоносій 2. Просте кріплення ущільнень до пластин за допомогою кліпсової системи. Ущільнення зі спеціальними зажимами для оптимального центрування і фіксації пакету пластин 3. Подвійне ущільнення з кантом витоку повністю запобігає можливість змішування середовищ в області прохідних отворів 4. Спеціальний окантовочний рельєф пластин забезпечує необхідну жорсткість пакета пластин, а також стабільну фіксацію ущільнень при поданніна них тиску в процесі експлуатації теплообмінників 5.

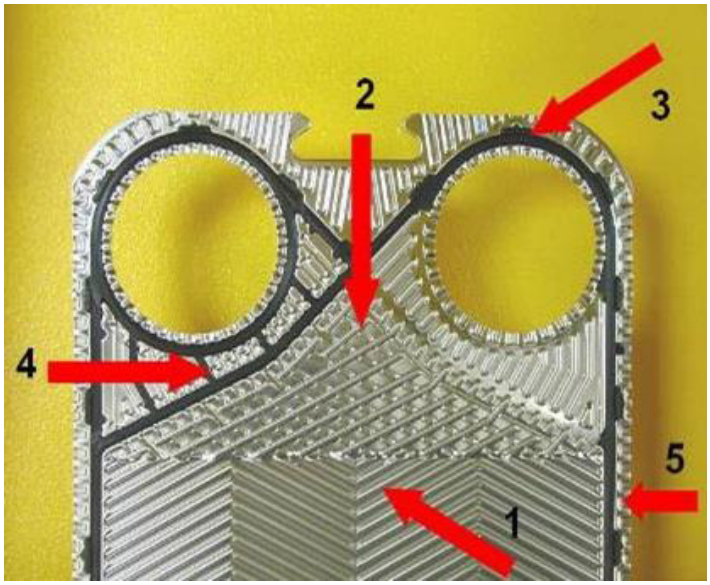


Рисунок 3.3 - Теплообмінна пластина

Рифлення пластин може бути різним. Як правило розрізняють "термічно жорстке рифлення" з кутом 30 °С (характеризується більш високим коефіцієнтом теплопередачі, але і великими втратами тиску) і "термічно м'яке рифлення" з кутом 60 °С (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 ° С до +160 °С.

Кріпляться прокладки на пластині двома способами:

1) Клейовий. Пластина фіксується в спеціальній канавці за допомогою клею, щоб при складанні не зіскочила ненароком з пластини.

2) Кліпсовий. Конструкція прокладки має кліпси по периметру, за допомогою яких вона закріплюється на пластині.

Пластини розбірного пластинчастого теплообмінника встановлюються одна за одною з поворотом на 180 °С. Ця компоновка створює теплообмінний пакет з чотирма колекторами для підведення і відведення рідин як це показано на рисунку 3.4. Перша і остання пластини не беруть участі в процесі теплообміну, задня пластина виконується зазвичай без портів. Ущільнення портів нерухомою плити теплообмінника здійснюється або спеціальними кільцями, що встановлюються між першою пластиною і нерухомою плитою, або спеціальною прокладкою першої пластини.

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

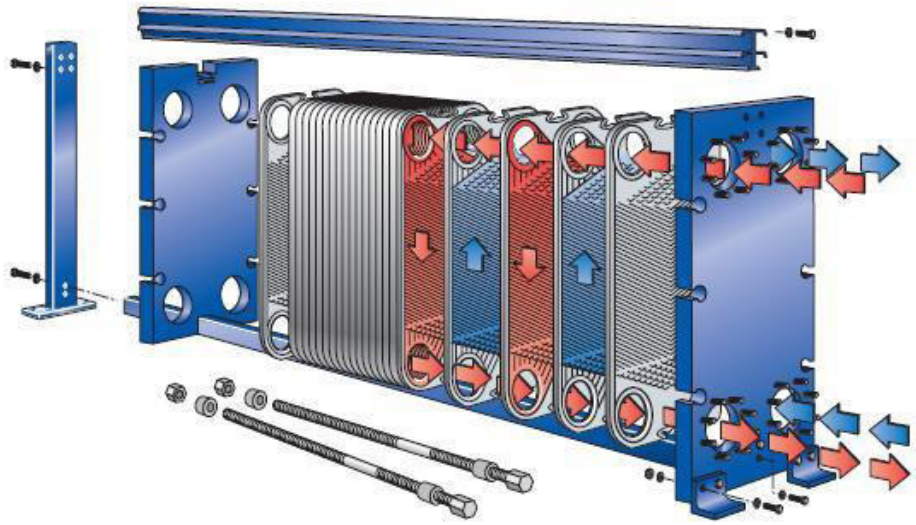
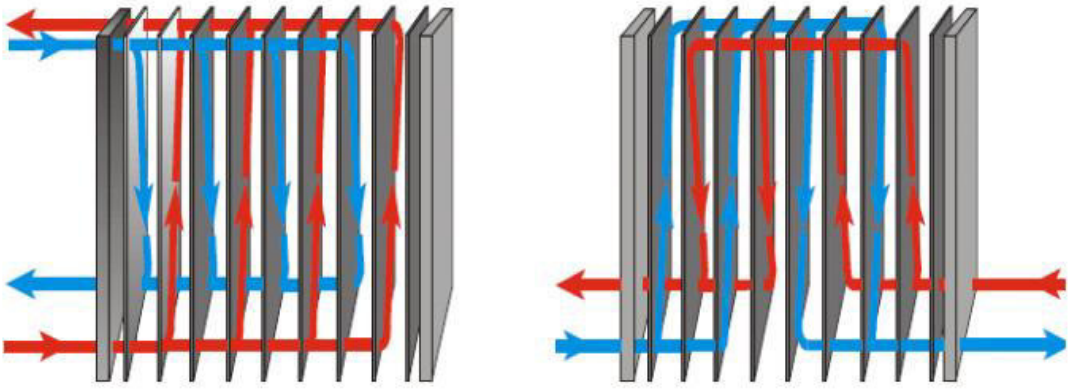


Рисунок 3.4 - Компоновка теплообмінного пластинчастого апарату

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 двохходового (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).

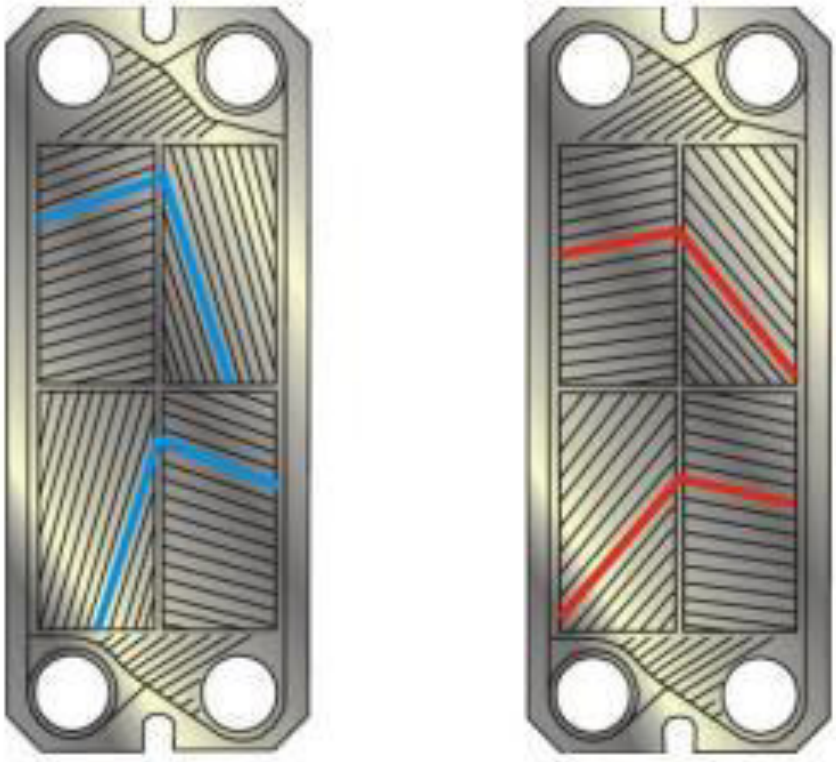
У багатоходових теплообмінниках, що працюють на малій різниці температур теплоносіїв, ці отвори можуть бути відкриті за допомогою гвинтів. В цьому випадку виникне невелика бай пасування теплообмінника.

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 ущільнення 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)

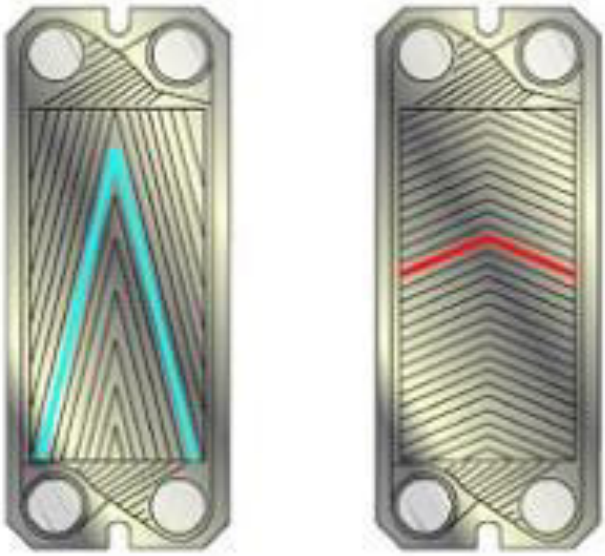
Пластини з тупим кутом збільшують опір потоку, а пластини з гострим кутом зменшують перепад тиску. Пластинчастий теплообмінник XGC може бути виконаний з асиметричними каналами для досягнення максимальної ефективності теплопередачі і економічності.

Пластини X 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, C. 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, канальна 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 тип 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 повинна бути звернені до нерухомої плити.

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

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 патрубка. 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 кліпсовой приєднанням поділяються на типи і при установці повинні чергуватися A-B-A-B 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.

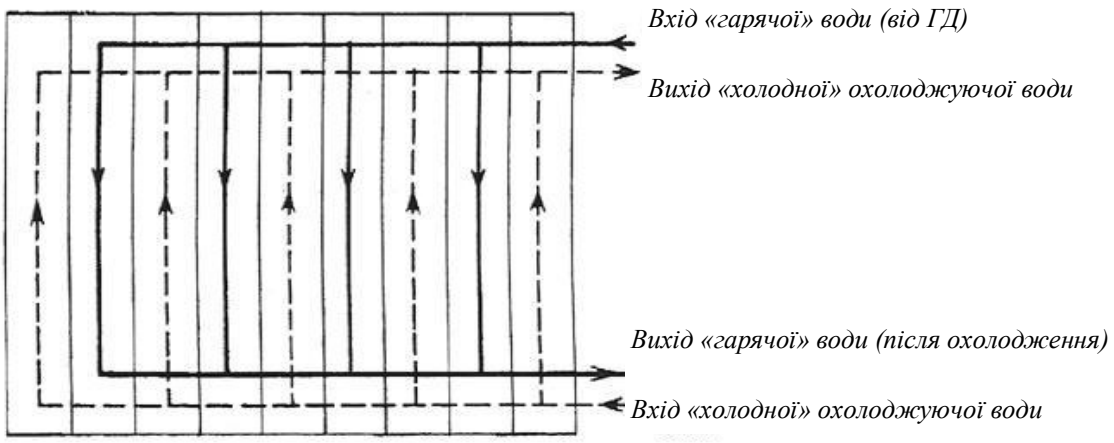


Рисунок 3.8 – Схема роботи одноходового пластинчастого теплообмінника

Вихідні дані для виконання розрахунку:

–Початкова температура «гарячої» води $t_{гв1}$ =45,2°С;

–Кінцева температура «гарячої» води $t_{гв2}$ = 38 °С;

–Питома теплоємність «гарячої» води $c_{гв}$ = 4,177 кДж/(кг·°С);

–Густина «гарячої» води $\rho_{гв}$ = 990,5 кг/м^3;

–Об’ємна витрата «гарячої» води $L_{гв}$ = 140 м^3/год;

–Початкова температура «холодної»

охолоджуючої води $t_{хв1}$ = 32 °С;

–Кінцева температура «холодної» охолоджуючої води $t_{хв2}$ = 37°С;

–Питома теплоємність «холодної» води $c_{хв}$ = 4,174 кДж/(кг·°С);

–Густина «холодної» води $\rho_{хв}$ = 994 кг/м^3;

–Об’ємна витрата «холодної» води $L_{хв}$ = 200 м^3/год.

Переведемо масову витрату гарачої води в об’ємну

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

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

Визначаємо теплове навантаження теплообмінника:

$$Q = G_{гв} \cdot c_{гв}(t_{гв2} - t_{гв1}) \quad (3.2)$$

$Q = 38,52 \cdot 4,177 \cdot (45,2 - 32) = 2123,85$ 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 η =0,93 – коефіцієнт, що враховує теплові втрати.

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

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

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

$$m_{хв} = G_{гв} / \omega_{отв} \cdot f_к \cdot \rho_{гв} \quad (3.4)$$

де $f_к$=0,00243 м^2 – площа живого перерізу одного міжпластинчастого каналу теплообмінника, що розглядається.

$m_{хв}$ = 38,52 / 0,4 · 0,00243 · 990,5 = 40,01 кг / сек

Компонування розглядаємого теплообмінника (охолодника) симетричне, тобто $m_{хв} = m_{гв} = m$.

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

$$f_{гв} = f_{хв} = f_{хв} \cdot m_{гв} \quad (3.5)$$

$f_{гв} = f_{хв}$ = 0,00243 · 40,01 = 0,0097

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

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі α_1 від «гарячої» води до стінки пластини визначається за формулою, Вт/(м^2·°С):

$$\alpha_1 = 1{,}16 \cdot A \cdot (23000 + 283 \cdot \overline{t}_{гв} - 0{,}63 \cdot \overline{t}_{гв}^{\,2}) \cdot \omega_{гв}^{\,0{,}73} \qquad (3.6)$$

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

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

$\overline{t}_{гв}$ = (45,2 + 38)/2 = 41,6 °С – середня температура «гарячої» води.

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 від стінки пластини до «холодної» води визначається за формулою, Вт/(м^2·°С):

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

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

де $\overline{t}_{хв}$ = (32+37)/2 = 34,5 °С – середня температура «холодної» води.

Коефіцієнт теплопередачі складатиме:

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

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

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

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

$\lambda_{ст}$ = 18,2 Вт/(м·°С) – коефіцієнт теплопровідності пластини.

Необхідна поверхня теплопередачі визначається з виразу, м^2:

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

де Δt – середньлогаріфмічний температурний напір, °С:

$$\Delta t = (\Delta t_б - \Delta t_м) / \ln (\Delta t_б / \Delta t_м) \quad (3.10)$$

де $\Delta t_м = t_{гв2} - t_{гв1} = 38 – 32 = 6$

$\Delta t_б = t_{гв1} – t_{хв2} = 45,2 – 41 = 4,2$

$\Delta t_б = (4,2 – 6) / \ln (4,2 / 6) = 5,046$

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

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

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

Фактична площа теплообміну для одного теплообмінного апарату, м^2:

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

Отримані результати зведемо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика пластинчастого теплообмінника

Параметр	Значення
1	2
Робоче середовище	вода
Максимальна робоча температура, ºС	+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 пластинчатого теплообмінника системи охолодження за допомогою програмних методів розрахунку

Алгоритм основного способу розрахунку пластинчастого теплообмінника реалізує розрахунок, що базується на критеріальному рівнянні Нуссельта $Nu = f(A, R_e^x, P_r^y)$ 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

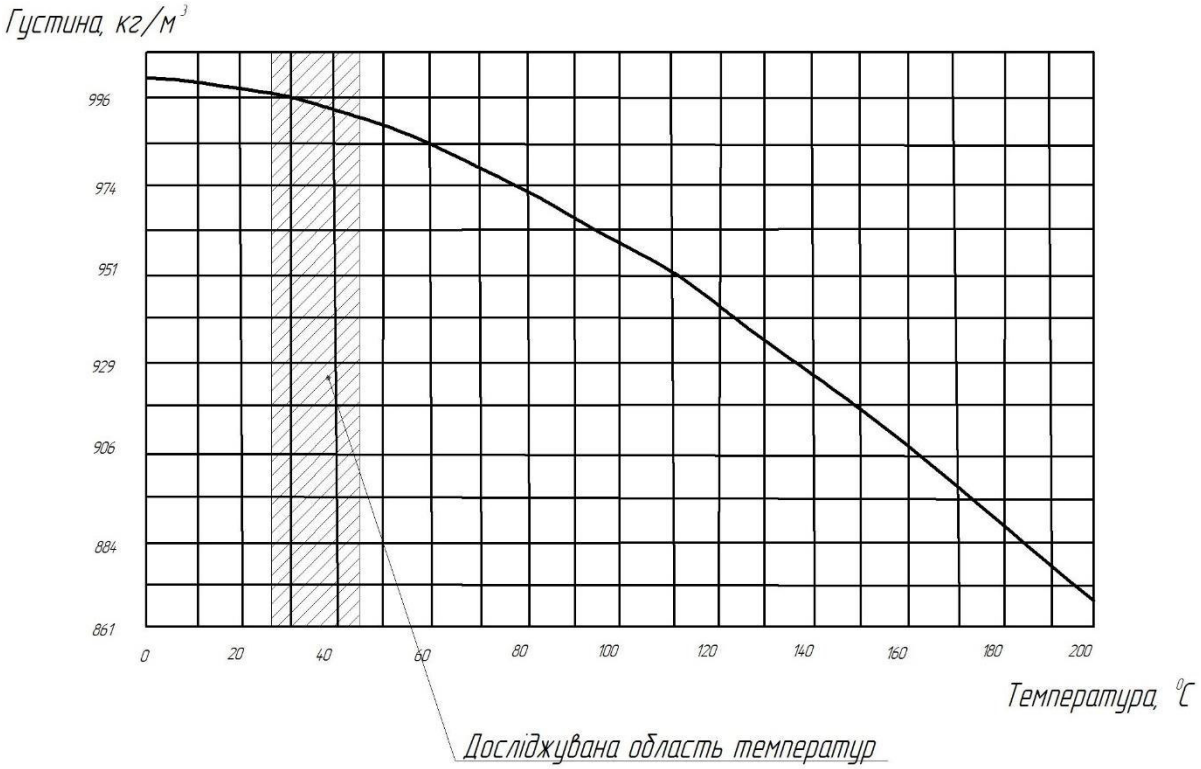


Рисунок 3.9 - Результати розрахунків густини кг/м3 середовища пластинчастого теплообмінника від зміни температури

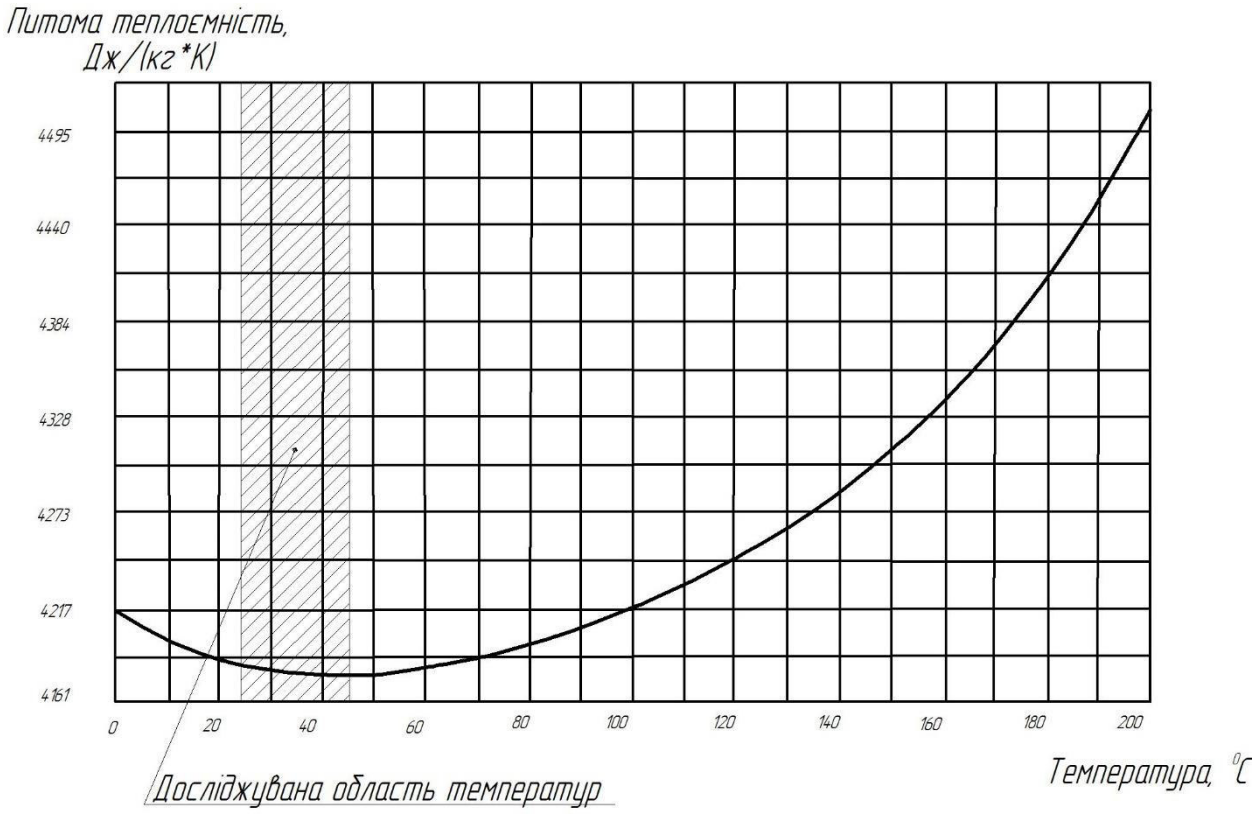


Рисунок 3.10 - Результати розрахунків питомоє теплоємності, Дж/(кг*К) середовища пластинчастого теплообмінника від зміни температури

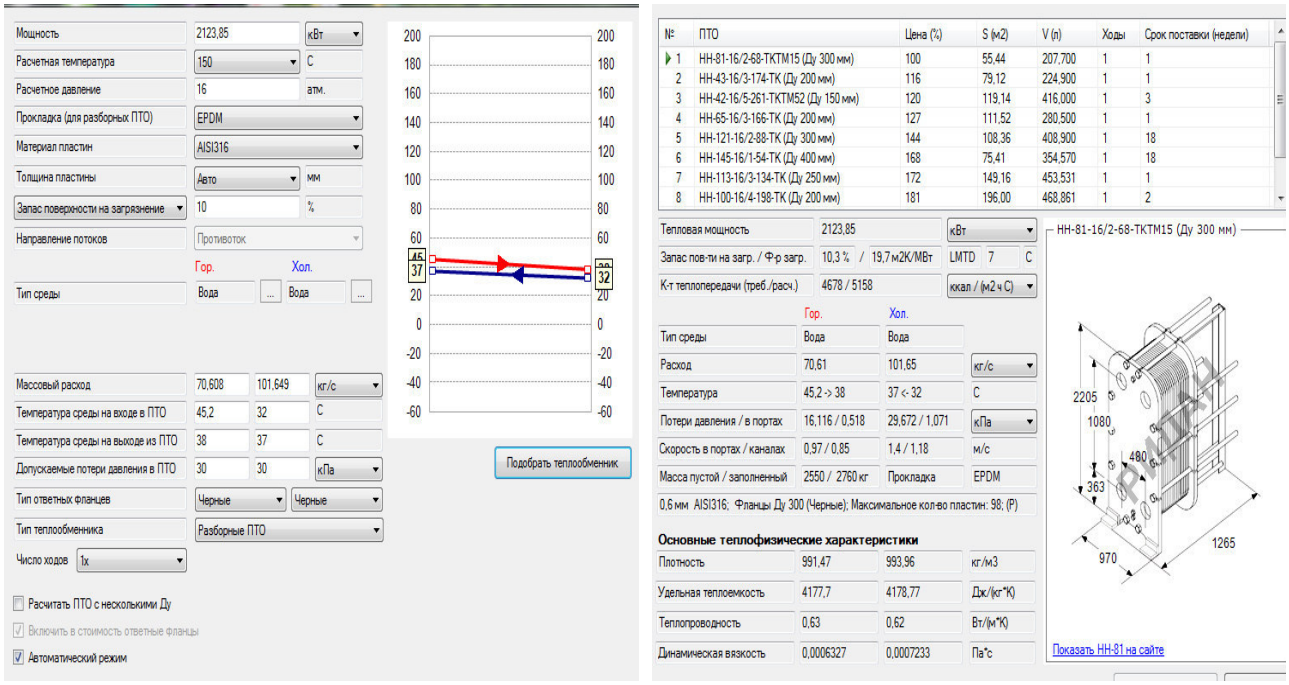
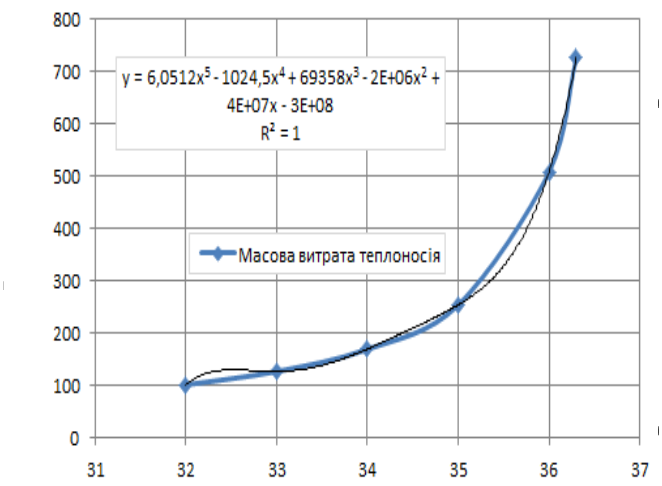


Рисунок 3.11 - Робочий стіл виконання стандартного розрахунку процесів роботи пластинчастого теплообмінника при заданих умовах



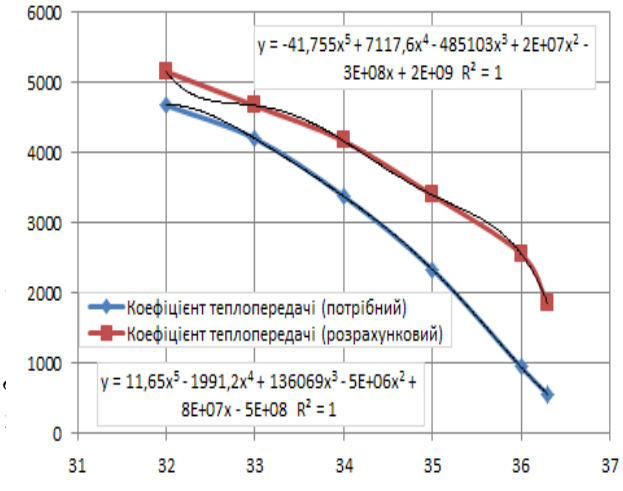


Рисунок 3.12 – Результати проведеного дослідження на основі стандартного розрахунку процесів роботи пластинчастого теплообмінника при заданих умовах з різними температурами забортної води на вході в теплообмінник

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 можно вважати мету дослідження виконаною.

Розрахунок показав, що необхідна площа поверхні теплообміну дорівнює 108м^2. З огляду на 10% запас по площі теплообміну запропоновано встановлення 2 теплообмініків фірми Danfos. Площа поверхні теплообміну кожного з теплообміних апаратів в базовому варіанті дорівнює 54м^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, °С	+150	+150
Максимальна площа теплообміну, м^2	108	108
Витрата гарячої води, м^2 / 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 пластинчатого 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 платин 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 °С) 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 багатоходових 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 рідини 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. Переконатися, 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 А 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

переконатися, що пакети пластин не затягнуті занадто сильно і розмір А відповідає допустимому теоретичному значенню (А ± 3%).

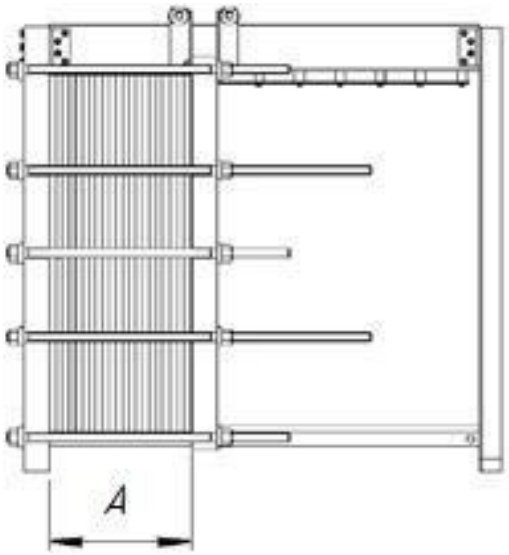


Рисунок 3.14- Затягування пакету пластин

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.

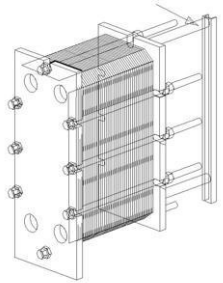
Перевищення тиску

Робота ПТА в умовах підвищеного, порівняно з розрахунковими даними, тиску незмінно призведе до проблеми з ущільненнями. Ці проблеми залежать

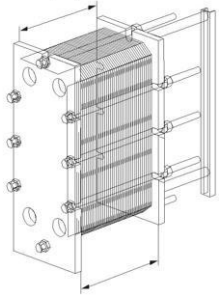
від типу використовуваного теплообмінника, але найчастіше проблема пов'язана з виступаючими прокладками, які витіснені між пластинами і видно по периметру пакета пластин. Незалежно від наявності протікань, повинні бути вжиті заходи щодо вирішення проблеми. Надмірний тиск треба зменшити до меж, зазначених у розрахункових даних. На входах теплообмінника мають бути розміщені всі регулюючі та дросельні клапани. Скачки тиску в системі також можуть призвести до перевищення тиску всередині ПТА. Також не можна відсікати частини системи без урахування температурного розширення середовища. Слід уникати швидкісного запуску підвищувальних та циркуляційних насосів, а також установки регулюючих клапанів швидкого реагування (соленоїдні клапани). Для уникнення подібних проблем рекомендується установка клапанів з електроприводами і розширювальних баків. Якщо виявляється зниження працездатності ПТА у вигляді високих втрат тиску або недостатньої тепловіддачі, необхідно перевірити з'єднання труб та пакет пластин на наявність забруднення, окалини, сторонніх часток або інших можливих видів забруднення. Відкрийте і прочистіть ПТА у разі потреби. Переконайтеся, що фільтри перед теплообмінником справні і не засмічені. Порушення продуктивності може також бути викликане проблемами в інших частинах системи, наприклад, невідповідність параметрів теплоносія проектними даними, або некоректний вибір насоса і регулюючих клапанів, засмічення фільтруючих елементів.

Відкриття теплообмінника

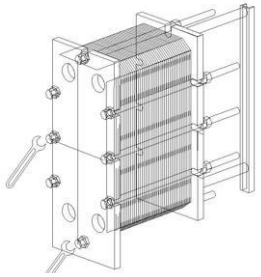
1. Зупиніть теплообмінний апарат
2. Закрийте клапани та ізолюйте теплообмінний апарат від системи охолодження
3. Злийте рідину з теплообмінного апарату
4. Зніміть захистні панелі, якщо вони є.
5. Зніміть труби з притискної плити (якщо вони є), щоб притискна плита могла вільно переміщатися уздовж направляючого стрижня.
6. Огляньте ковзаючі поверхні несучого стрижня, протріть і змастіть їх.



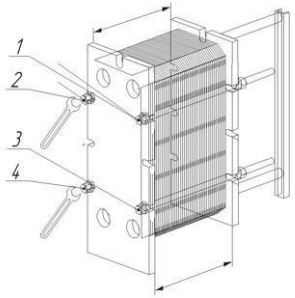
7. Зробіть маркування набору пластин зовні, провівши діагональну смугу
8. Вимряйте і запишіть розмір А



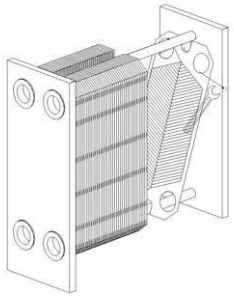
9. Відпустіть та відкрутіть стопорні болти. Позначте їх відповідно до інструкцій



10. Під час відкривання стежте за тим, щоб опорна і притискна пластини були розташовані паралельно один одному. Виграш притискної платини при відкриванні не повинен перевищувати 10 мм (2 повороту кожного болта) по ширині і 25 мм (5 поворотів кожного болта) по вертикалі(рис3.12). Відпустіть чотири стяжних болта (1), (2), (3), (4.) в діагональної послідовності так, щоб відстань А набору пластин становило 1,05 , при цьому під час відкривання опорна і притискна пластини повинні бути розташовані паралельно. Продовжуйте виконувати цієї дії для кожного болта до тих пір, поки всі притискні зусилля, що діють на набір пластин, не будуть усунуті.

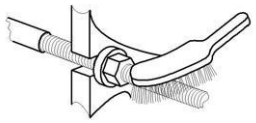


11. Відкрийте набір пластин, зсунувши притискну пластину несучого стрижня. Знімати пластини для очищення зазвичайне вимагається. Якщо пластини потрібно пронумерувати, зробіть це перед тим, як їх знімати. Знімати пластини не обов'язково, якщо очищення проводиться тільки водою, без мийного засобу.

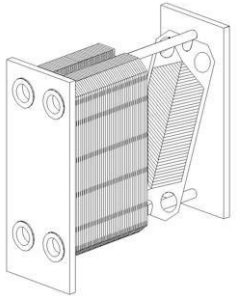


Закриття теплообмінника

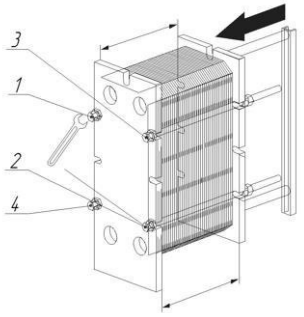
1. Перевірте чистоту всіх поверхонь ущільнювачів.
2. Очистіть різьби болтів за допомогою дротяної щітки. Нанесіть на різьби тонкий шар мастила



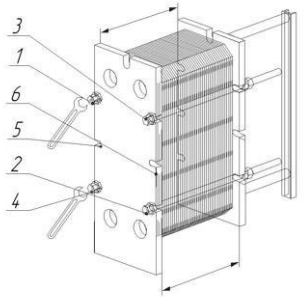
3. Прикріпіть ущільнення до пластин або перевірте їх кріплення. Перевірте, що всі ущільнюючі прокладки правильно розташовані у відповідних пазах.
4. Якщо пластини зніималися, то вставляйте їх по черзі в протилежних напрямках, з ущільненнями, спрямованими в бік опорної пластини, як зазначено в інструкції підвищування пластин. Використовуйте замаркировану лінію, нанесену, коли теплообмінник був відкритий.



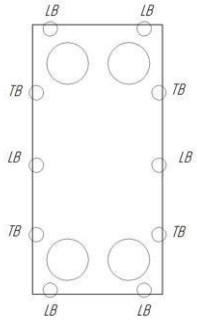
5. Якщо пластини зібрані правильно (А / В / А / В і т. Д.), Краї утворюють "стільниковий" візерунок
6.Стягніть набір пластин. Встановіть на місце чотири стяжних болти відповідно до схеми. Закрутіть чотири болта (1), (2), (3), (4.) в діагональної послідовності так, щоб відстань А набору пластин становило 1,10, при цьому під час закривання опорна і притискна пластини повинні бути розташовані паралельно.



7. Рівномірно затягніть чотири болти (1), (2), (3), (4.) так, щоб було встановлено відповідна відстань А
8. Встановіть стопорні болти, які залишилися та перевірте відстань А на обох сторонах, вгорі і внизу
9. Встановіть захистні панелі (при наявності).
10 Підключіть труби.
11. Якщо при досягненні розміру А герметизація теплообмінника не досягнута, його можна затягнути до значення А мінус 1,0%.



Стягуючі болти (ТВ) призначені для кріплення набору пластин. Для рівномірного розподілу зусилля, прикладеного до опорної і притискної пластин, також використовуються стопорні болти (LB). Стопорні болти можуть бути коротші і мати менший розмір. При виконанні процедури відкриття і закриття важливо правильно ідентифікувати стягуючі (ТВ) і стопорні болти (LB).



Риунок 3.15 – Технычне обслуговування теплообмынного апарату суднового двигуна

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах. Закон України «Про охорону праці», визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, що регулює, за участю відповідних органів, відношення між керівниками підприємства, чи організації уповноважених органів і робітником з питань безпеки і гігієни праці, середовища виробництва і встановлює єдиний порядок з охорони праці на Україні.

Охорона праці – це система правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людей у процесі праці. Головною матеріальною основою з поліпшення умов праці на Україні є нові методи виробництва, нова технологія, комплексна механізація й автоматизація виробництва [11-14].

До нормативно-технічної бази з охорони праці при роботі у МКВ судна відносяться наступні, спеціально розроблені, документи [13]:

1) Правила технічної експлуатації суднових енергоустановок;

2) Правила технічної експлуатації суднових електроустановок;

3) Правила устрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів та судин під тиском;

4) Правила пристрою й безпечної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння;

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

Міжнародні документи:

IMO 2000 – міжнародний нормативно-правовий документ, який регулює норми викидів відпрацьованих газів суднами.

IMO 2011 – міжнародний нормативно-правовий документ, який вступить в силу в 2011 році. Згідно з IMO 2011 будуть посилені норми викидів в атмосферу, порівняно з 2000 роком.

Марпол 2006 – міжнародна конвенція щодо запобігання забруднення морського середовища суднами.

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

Міжнародний Кодекс по управлінню безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню - ІМ КУБ (ISM Code).

Включений в СОЛАС-74 в 1994 р. МКУБ є застережливим документом, направленим на те, щоб відхилення від стандартів, які можуть так чи інакше вплинути на безпеку на морі, були заздалегідь виявлені й виконані дії, застерігаючі їх розвиток. Відповідно до Кодексу, кожна компанія повинна розробляти, запроваджувати в життя та підтримувати системи управління безпекою (СУБ). У МКУБ наказують компанії забезпечити належну кваліфікацію капітана, комплектування судна кваліфікованими, такими, що мають відповідні сертифікати, і придатними, в медичному відношенні, моряками відповідно до національних і міжнародних вимог.

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

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у машинному відділенні.

На людину в процесі його діяльності можуть впливати різні небезпечні й шкідливі фактори (табл. 4.1). До них відносяться:

– фізичні фактори (мікроклімат, температура поверхонь виробничого устаткування, інфрачервоне випромінювання, освітленість, електромагнітні

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 утома,	+
- нервове 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 (нервове 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 охвату інформаційного поля повинен бути не більше 120°. Робоча зона повинна бути не менш 1 м.

Протипожежні заходи. Забезпечення пожежної безпеки виробничих об'єктів здійснюється за допомогою системи запобігання пожежі, системи протипожежного захисту й організаційно-технічних заходів.

Система запобігання пожежі – комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на виключення умов виникнення пожежі. У нашім випадку для запобігання умов виникнення пожежі застосовуються негорючі й слабозаймисті речовини й матеріали, забезпечується захист від попадання блискавки в судно, застосовується електроустаткування, що відповідає умовам його експлуатації по групах, категоріям і зонам пожежно- і вибухонебезпечності. Також використовуються автомати, що відключають і плавкі вставки.

Система водяного пожежогасіння. Система, призначена для гасіння пожеж компактними або розпиленими струменями води, складається з стаціонарних пожежних насосів, приводів керування арматурами, контрольно-вимірювальних приладів, трубопроводів, пожежних ріжків, рукавів з швидкозмикаючимися сполучними голівками й стовбурами. Вода з пожежної магістралі може використовуватися також для систем пінного пожежогасіння й автоматично діючої спринклерної системи.

Пожежним насосом, якщо резервний перебуває в постійній готовності, можна подавати забортну воду для зрошення трапів і виходів з машинно-котельних відділень, заповнення й осушення баластових цистерн і кофердамів,

для миття суднових надбудов і палуб, якірних ланцюгів і клюзів.

Забороняється використання систем пожежогасіння для осушення відсіків, у яких зберігалися нафтопродукти або залишки будь-яких горючих рідин.

Суднова система водогасіння обслуговується двома й більше стаціонарними відцентровими насосами, що працюють паралельн. На великих суднах установлюється також стаціонарний аварійний пожежний насос, що має дизельний привід із запасом палива на 10 год роботи. На танкерах пуск аварійного пожежного насоса здійснюється з місця його розташування й дистанційно, з відкритої палуби. Основні стаціонарні насоси розташовуються в машинному відділенні судна й приводяться в дію від незалежних приводів вручну й дистанційно. Аварійні насоси розташовують в окремому ізольованому від МКВ приміщенні. Ці насоси, постачені пристроєм для самоусмоктування, включаються в роботу при виході з ладу основних.

Подача аварійного насоса повинна забезпечити дію двох суднових пожежних стовбурів з найбільшим діаметром сприску:

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

де $к$ – 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, (м^3/год):

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

де L, B, H – основні розміри корпуса судна, м.

Тоді Q= $0,01\cdot109,8^2\approx120,6$ мм.

Пожежні ріжки, шафи для пожежних рукавів і місця пожежних постів

офарблюються в червоний колір.

Системи вуглекислотного пожежогасіння

Діоксид вуглецю ($C0_2$) – широко розповсюджений засіб пожежогасіння на суднах. Ліквідація пожеж у суднових приміщеннях вуглекислим газом здійснюється методом об'ємного гасіння. Для підвищення ефективності гасіння рекомендується герметизація приміщень, у яких застосовується діоксид вуглецю. При нормальних атмосферних умовах діоксид вуглецю являє собою сухий нейтральний газ без кольору й запаху. При концентраціях у повітрі (до 5% об'єму) діоксид вуглецю безпечний для людини. Діоксид вуглецю неелектропровідний, хімічно неагресивний до металів, нафтопродуктам і іншим легкозаймистим рідинам, не псує вантажі й суднове встаткування. Будучи в 1,5 рази важче повітря, вуглекислий газ може проникати в місця, важко доступні для інших засобів пожежогасіння: під плити машинних і котельних відділень, в обмежені простори вантажних трюмів, танків, паливних цистерн, спеціальних суднових комор.

На суднах діоксид вуглецю зберігається звичайно в сталевих балонах місткістю 30...40 л, у яких він перебуває в рідкому стані. Для суднових систем вуглекислотного пожежогасіння, що працюють при тиску порядку 12,5 МПа, прийнято використовувати стандартні балони місткістю 40 л, що містять по 25 кг вуглекислоти. Балони розміщають групами по 8...16 шт. у вертикальному положенні голівками нагору. Вони повинні бути надійно закріплені в місцях, розташованих удалині від житлових і службових приміщень, тому що вуглекислота ставиться до задушливих газів і при високій концентрації в повітрі (22 % і вище) небезпечна для життя.

При виході з балонів і раптовому розширенні діоксид вуглецю випаровується, перетворюючись у газ, знижується температура вогнища. При цьому обсяг її збільшується більш ніж в 500 разів. Частина діоксиду вуглецю в результаті переохолодження переходить у твердий стан - сніжні пластівці, які, потрапляючи у вогнище, миттєво перетворюються в газ. Діоксид вуглецю,

опускаючись до вогнища пожежі й обволікаючи палаючі речовини й предмети, витісняє повітря й знижує в такий спосіб зміст кисню в зоні горіння. У зв'язку із цим горіння припиняється. Ефективність пожежогасіння досягається при досить високій концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері приміщення (22...23 %).

Відповідно до вимог морського Регістра кількість вуглекислоти для гасіння пожежі (кг) на судні визначається виходячи з необхідності захисту найбільшого по обсязі приміщення:

$$Q_{co_2} = 1,79 \cdot \varphi \cdot V = 1,79 \cdot 0,4 \cdot 1600 = 1145,6,$$

де φ – безрозмірний коефіцієнт, рівний 0,3...0,4;

V – повний обсяг найбільшого на судні приміщення, V=1600 м^3.

Більше значення φ вибирається для приміщень, що представляють найбільшу пожежну небезпеку. Вуглекислота застосовується для гасіння пожеж у машинних, котельних і насосних відділеннях, вантажних трюмах і танках, паливних цистернах, картерах головних двигунів, глушителях, димоходах котлів.

Застосування вуглекислого газу особливо ефективно при гасінні палаючого електричного й електронного встаткування, засобів навігації й зв'язку, а також коштовних вантажів (точних механізмів, творів мистецтва та ін.).

Забороняється використовувати вуглекислий газ у житлових, суспільних і службових приміщеннях, розмішених у надбудовах. Неефективний він і при гасінні палаючих волокнистих, піроформних речовин (бавовни, джуту, вугілля, сажі й ін.), а також горючих металів (калію, натрію, магнію, цирконію).

Для ліквідації місцевих вогнищ пожеж застосовуються вуглекислотні вогнегасники. Для гасіння пожеж у картерах двигунів внутрішнього згоряння й в окремих пожежонебезпечних приміщеннях застосовуються автономні

вуглекислотні установки, що складаються з невеликого числа балонів з вуглекислотою й відповідним устаткуванням. Звичайно вони розташовуються на судні в місцях, наближених до ймовірних вогнищ пожеж.

Забезпечення вентиляції у машинно-котельному відділенні

Вибір виду вентиляції залежить від типу й призначення судна, району його плавання, а також від потужності суднової енергетичної установки. Тип вентиляції й кратність повітрообміну залежать від призначення приміщень, що обслуговуються вентиляцією, і визначаються часом перебування в них людей, а також рівнем загазованості й надлишкових тепловиділень.

Кратність повітрообміну n показує, скільки разів переміняється повітря в приміщенні за одну годину і визначається за рівнянням:

$$n = L/V, \tag{5.1}$$

де L -– обсяг подаваного в приміщення або видаленого з нього повітря, м^3/год;

V – об'єм робочого приміщення, V = 19000 м^3.

Подача повітря розраховується за виразом:

$$L=Q_{заг}/(c\cdot\gamma\cdot\Delta T), \tag{5.2}$$

де $Q_{заг}$ – сумарні явні тепловиділення від обладнання, що знаходиться в машинному відділенні, Вт;

c – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К), c = 1,01 10^3 Дж/(кг·К);

γ – густина повітря, при 20 °С і нормальному атмосферному тиску γ = 1,3 кг/м^3;

ΔT – допустима різниця повітря між зовнішнім повітрям та повітрям у машинному відділенні, $\Delta T_{літо}$ = 12°С, $\Delta T_{зима}$ = 27°С.

Кількість тепла, що потрапляє до машинного відділення від головного

двигуна розрахуємо за виразом:

$$Q_т = K_т \cdot N_e \cdot B \cdot q_e, \quad (5.3)$$

де $K_т$ – коефіцієнт, що враховує кількість тепла, що виділяється дизелем. При водо-водяній системі охолодження $K_т$ = 0,02. В залежності від моделей двигуна, необхідна кількість відведеного тепла може досягати до 5 % від тепла, що підводиться паливом;

N_e– ефективна потужність дизеля, кВт, N_e= 6000 кВт;

B – нижча теплота згоряння, B = 42500 кДж/кг;

g_e – питома витрата палива, кг/(кВт·год), g_e = 0,178 кг/(кВт·год).

Тоді:

$$Q_т = 0,02 \cdot 42500 \cdot 6000 \cdot 0,178 = 907\,800 \text{ кДж/год.}$$

Кількість витяжного повітря з МО підраховується як різниця приточного повітря й повітря, споживане працюючими головними двигунами (якщо двигуни забирають повітря з МВ):

$$L_В' = L_В - L_Д, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (5.4)$$

Кількість повітря, споживаного двигунами:

$$L_Д = 14,6 \cdot ge \cdot \alpha \cdot Ne, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (5.5)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря, α = 2,4.

Тоді $L_Д$ = 14,6 · 0,178 · 2,4 · 6000 = 37422,7 м^3/год.

Підставляємо отримані значення в (6.2), проводимо розрахунок:

$L_{\text{літо}}=Q_{\text{заг}}/(c\cdot\gamma\cdot\Delta T) = 907\ 800 / (1{,}01\cdot1{,}3\cdot12) \approx 57616$ м^3/год.

$L_{\text{зима}}=Q_{\text{заг}}/(c\cdot\gamma\cdot\Delta T) = 907\ 800 / (1{,}01\cdot1{,}3\cdot27) \approx 25607$ м^3/год.

Підставляємо отримані значення до (5.4), та проводимо розрахунок:

– для літа $L'_в = 57616 - 37422{,}7 = 20193{,}3$ м^3/год;

– для зими $L'_в = 25607 - 37422{,}7 = -11815{,}7$ м^3/год.

Згідно з (6.1) розрахункова кратність вентиляції машинного відділення становить для літа

$n_{\text{літо}}=L_{\text{літо}}/V = 57616/7000 \approx 8{,}23$ год$^{-1}$.

На судні встановлено систему венитляції машинного відділення, що забезпечує кратність вентиляції не меньше 8-ми.

Системи вентиляції виконуються по автономному й груповому принципах. Для цього всі суднові приміщення розподіляються по групах. Загальносуднова вентиляція, наприклад, обслуговує більшу групу житлових, службових, побутових і медичних приміщень. Крім цього, є автономні системи для вентиляції машинно-котельних відділень, вантажних трюмів.

Нормативно-правова та законодавча база охорони навколишнього, морського середовища. В лютому 1978 року було скликано Міжнародну конференцію з безпеки танкерів та запобіганню забруднення нафтопродуктами морської води та прилеглих територій.

Згідно з цими конвенціями були переглянуті проекти суден та способи їх експлуатації, а також прийняті відповідні міри безпеки суден [13].

Конференція 1978 року прийняла два документи:

– протокол 1978 року до Міжнародної конвенції з запобігання забруднення з суден 1973 року;

– протокол 1978 року до Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі 1974 року.

В теперішній час в нашій країні діє Закон України «Про охорону навколишнього середовища» від 25 червня 1991 року.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Боротьба з пожежами на суднах

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

Капітан судна відповідає за створення атмосфери співробітництва, необхідної для забезпечення пожежної безпеки його судна.

На судні повинна бути розроблена «Програма попередження пожежі на судні», що містить наступні розділи: заняття й неофіційні співбесіди; періодичні перевірки; технічне обслуговування й ремонт; оцінка дій і заохочення.

Місця для паління на судні визначаються капітаном, обладнаються відповідним чином. Слід враховувати й те, що в портах можуть діяти місцеві правила, що регламентують паління й протипожежні заходи, про що члени екіпажу повинні бути попереджені завчасно.

Використання штатних і переносних електронагрівальних приладів, електропобутових приладів і телерадіоапаратури визначається капітаном судна із призначенням відповідальних осіб за контроль їх безпечного стану й використання.

Виконання всіх видів робіт, використання механізмів і електроінструментів проводиться з дозволу відповідальних осіб і з відома

вахтової служби. Електроінструменти після завершення робіт прибираються до місць їх постійного зберігання.

Зберігання легкозаймистих рідин (ЛЗР), обтиральних матеріалів і інших легкозаймистих матеріалів постачання проводиться в спеціальних приміщеннях і місцях під контролем відповідальних осіб.

Обтиральний матеріал після використання й інше технічне й побутове сміття необхідно збирати в спеціальнихмісткостях й здавати на берегові збирачі. Знищення сміття в інсинераторах проводиться з дозволу відповідальної особи й відома вахтової служби із заповненням необхідних документів про операцію.

Суднові роботи, пов'язані з відкритим вогнем (зварюванням і різанням металів), проводяться тільки з письмового дозволу капітана судна під контролем старшого механіка й вахтової служби.

Системи й засоби гасіння пожежі, виявлення пожежі й сигналізації про пожежу завжди повинні бути в робочому стані. Вахтова й дозорна служба судна зобов'язані контролювати справність зазначених систем.

Кожний член екіпажу, а командний склад особливо, зобов'язано знати: правила використання протипожежних систем і засобів, наявних на судні; характеристики вогнегасних речовин і обмеження їх застосування, токсичність вогнегасників; основи хімічних процесів горіння (ланцюгову реакцію горіння); умови виникнення й підтримки пожежі (пожежний трикутник і тетраедр, роль кисню й теплоти в руйнуванні пожежного трикутника й тетраедра); причини виникнення й шляхи поширення пожежі судном; типи горючих речовин; небезпечні фактори пожежі (полум'я, теплота, гази й дим); основні класи пожеж; структуру й вражаючі фактори продуктів неповного згоряння горючої речовини (водяна пара, двоокис вуглецю, окис вуглецю й інші); правила використання ізолюючих засобів захисту органів дихання й шкіри, наявних на судні; конструкцію систем вентиляції приміщень, місця вимикання вентиляторів, перекриття вентиляційних закриттів.

Дії при боротьбі з пожежами. Основною метою боротьби з пожежами

на судні є: порятунок пасажирів і екіпажу; локалізація пожежі (запобігання поширення небезпечних факторів пожежі судном, вибухів парів ЛЗР, балонів зі стисненим газом, небезпечних вантажів); гасіння пожежі всіма наявними засобами; способами збереження остійності й запасу плавучості.

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

Огляд аварійного району проводиться розвідниками тільки в тих випадках, коли необхідно провести пошук потерпілих у цьому районі й у випадках, коли зволікання із запровадженням у дію стаціонарних і переносних засобів гасіння пожежі не вплине на хід розвитку пожежі (наприклад, при задимленні приміщення й повільному росту температури повітря в приміщенні). Порядок проведення огляду визначає командир АП за вказівкою капітана судна. Спорядження розвідників (використання ізолюючих засобів захисту органів дихання й шкіри, страхувальних пристосувань, аварійного інструмента й засобів для евакуації потерпілих) визначається командиром АП виходячи з конкретної обстановки.

Фактор часу при пожежі відіграє вирішальну роль. Після виявлення загоряння необхідно негайно вжити заходів з його гасіння. Неправильна оцінка небезпеки пожежі, зволікання з гасінням пожежі на судні, як правило, приводить до розвитку пожежі, до матеріального збитку й загибелі людей.

Для прискорення гасіння пожежі капітан може змінити організацію збору АП і направити першого готового пожежника до місця пожежі.

Способи, прийоми й засоби гасіння пожежі необхідно обирати виходячи з місця пожежі, його інтенсивності й розмірів, фізико-хімічних властивостей палаючих матеріалів, що є в наявності засобів гасіння пожежі, кількості екіпажу, з метою загасити пожежу в мінімальний час.

У випадку нападу піратів використовуються рекомендації, викладені в

Римській Конвенції "По боротьбі з піратством, тероризмом і іншими протиправними актами на морі, а також поправки до конвенції SOLAS і новий кодекс по охороні суден і портових споруджень пов'язаних із застосуванням насильства, становить основу міжнародного права. Насильство і погроза застосування сили в міжнародних відносинах заборонені відповідно до Уставу ООН. Однак є й інші прояви актів насильства. Серед них перше місце займає піратство. У відповідності зі ст. 101 Конвенції ООН по морському праву 1982 р. піратством є кожне з перерахованих нижче дій:

– будь-який неправомірний акт насильства, затримки або грабіж, вчинені з особистими цілями екіпажем приватновласницького судна або приватновласницького літального апарата у відкритому морі проти іншого судна або проти осіб, або майна, що перебувають на його борту;

– проти якого-небудь судна, осіб або майна в місці поза юрисдикцією якої б те не було держави;

– будь-який акт добровільної участі у використанні якого-небудь судна, зроблений зі знанням обставин, у силу яких судно є піратським;

– будь-яке діяння, що є підбурюванням або свідомим сприянням здійсненню дій, що передбачаються в п. 1 і 2.

Найнебезпечнішими з погляду потенційної можливості нападів піратів традиційно вважаються води Південно-Східної Азії. У першу чергу варто виділити район до північно-заходу від індонезійських островів Анамбас у Південно-Китайському морі, де судна досить часто стають жертвами нападів піратів. Практично вся акватоторія Піівденно-Китайського моря, особливо у берегів Індонезії, Філіппін і В'єтнаму у цьому відношенні є неблагополучною. До числа надзвичайно «піратонебезпечних» районів відноситься також Малаккська та Сінгапурська протоки, зокрема, вузькість Філіп Ченнел. Піратські напади тут здійснюються, як правило, на швидкохідних моторних човнах, що заходять із сторони корми судна.

Самий зручний момент для піратів - прийом або здача лоцмана, коли судно знижує швидкість. Найбільш уразливими є тихохідні навантажені судна

з низьким надводним бортом. Хоча траплялися напади й на контейнеровози, що йдуть зі швидкістю більше 20 вузлів.

Можливі випадки, коли під час стоянки судна в порту пірати проникають на судно, ховаються, а потім після виходу в море забезпечують доступ на борт своїм спільникам, що доганяють судно на швидкохідних катерах.

Іншим «піратонебезпечним» районом Світового океану є води в узбережжя Західної Африки. Погроза піратства в цьому регіоні збільшується політичною нестабільністю й частими військовими конфліктами. Напади на судна відбуваються, як правило, у портах, на якірних стоянках або поблизу берега, коли судно йде малим ходом. По статистиці найбільше часто судна зазнавали нападів у портах Лагос і Харкоурт (Нігерія), Монровія (Ліберія), Фрітаун (Сієрра Леоне), Конакрі (Гвінея) і Доула (Камерун).

Хоча перераховані райони є найнебезпечнішими, час від часу відбувається підвищення активності піратів й в інших районах Світового океану. До них, зокрема, відносяться води у берегів Східної Африки, Шрі-Ланки, Індії й Бангладеш, де економічна й політична нестабільність сприяють росту числа розбійних нападів на торговельні судна.

Базові правові основи боротьби з морським піратством були закладені такими міжнародними нормативними документами:

1. Женевська конвенція про територіальне море та прилеглу зону від 1958 року. У статтях 14-20 Конвенції визначається обов'язок кожної держави боротися проти піратства. Визначення піратства й піратського судна, відповідальність за захоплення суден є основними елементами конвенційних положень, які реалізуються Міжнародною морською організацією [11-14].

2. Конвенція ООН з морського права 1982 року. Статті 100...107, що безпосередньо регламентують питання боротьби з піратством, фактично повторюють статті 14-20 Женевської конвенції про територіальне море та прилеглу зону від 1958 року. Інші положення Конвенції ООН 1982 року також встановлюють правову основу для прийняття й введення до законодавства

загальноприйнятих норм і стандартів, що забезпечують безпеку судноплавства [11-14].

3. Конвенція ООН про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства 1988 року, що регламентує боротьбу з незаконними актами поза територіальним морем, які не підпадають під визначення піратства.

4. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі 1974 року (Конвенція СОЛАС-74).

5. Міжнародний кодекс з охорони суден і портових засобів (Кодекс ОСПС).

6. Низка резолюцій Міжнародної морської організації (ММО) і рекомендацій Міжнародного морського бюро. До 2008 року ООН та її спеціалізована установа ММО ухвалили значну кількість резолюцій та рекомендацій, які мали попередити захоплення суден. При цьому фактично всі резолюції підтверджували виключну компетенцію Сомалі щодо затримання піратів в своїх територіальних водах. Але кількість захоплень в районі Африканського Рогу з року в рік збільшувалася. Резолюція Ради безпеки ООН №1816 від 2 червня 2008 року вперше встановила, що держави, які співробітничають з Перехідним урядом Сомалі та у відношенні яких уряд Сомалі завчасно направив повідомлення Генеральному секретарю ООН можуть:

а) входити до територіальних вод Сомалі з метою припинення актів піратства та збройного пограбування на морі, так само як це дозволяється робити у відкритому морі щодо піратства у відповідності до норм міжнародного права;

б) використовувати в межах територіальних вод Сомалі усі необхідні заходи з метою припинення актів піратства та збройного пограбування, так само як це дозволяється робити у відкритому морі щодо піратства, у відповідності до норм міжнародного права [11-14].

Зазначена резолюція стала основною нормативною підставою для

започаткування 8 грудня 2008 року антипіратської операції ВМС Європейського Союзу під назвою «Аталанта» та у січні 2009 року операції багатонаціональних військово-морських під назвою Combined Task Force - 151 (CTF-151), яке складається з кораблів більш ніж ЗО країн та ініційоване США. Оскільки для нашої держави проблема морського піратства має особливу актуальність, державні органи України вивчали питання залучення кораблів ВМС України до операції Євросоюзу.

Способи запобігання піратських нападів

Найпростішим способом запобігання нападу на судно є посилення мір пильності й обережності, демонстрації яких при спостереженні за судном-об'єктом нападу буде досить, щоб остудити войовничий запал піратів і змусити їх задуматися про доцільність нальоту. Для цього необхідно при вході в піратонебезпечний район увести в дію заздалегідь розроблене й затверджене положення із чітко розписаними діями екіпажа по:

– виявленню й ідентифікації на максимальному видаленні від судна підозрілих осіб, плавзасобів з наступним візуальним супроводом таких, використанню засобів висвітлення й оповіщення, як то: сигнальних ракет, звукових сигналів, даючи тим самим зрозуміти очевидність факту виявлення й прийняття необхідних превентивних мір, готовності судна до оборони;

– перешкоджання наближення плавзасобів піратів і проникненню абордажної команди на борт судна;

– у випадку, коли висадження на борт судна все-таки відбулися, мінімізації можливості викрадення чого-небудь із судна шляхом позбавлення доступу до суднових складів і особистих речей екіпажа;

– вживанню заходів до особистої безпеки членів екіпажа й пасажирів.

По значимості самої пріоритетної повинна бути останнє завдання, що одночасно наділяє капітана правами й відповідальністю при оцінці ступеня реального ризику застосування надзвичайних заходів відносно грабіжників, виходячи, як зі ступеня їхньої небезпеки, так і можливих наслідків

застосування зброї. У цілому, не рекомендується озброєння членів екіпажа вогнепальною зброєю, це може викликати негативну реакцію, образи влади й населення портів заходу з урахуванням національних традицій країни. Наявність зброї на борті може бути допущено тільки з дозволу адміністрації прапора. Крім того, на його наявність повинне бути офіційний дозвіл влади – як прапора судна, так і порту заходу. Необхідно пам'ятати, що застосування зброї екіпажем для захисту варто уникати, тому що це може викликати непотрібні жертви. Навіть скептики в оцінці ефективності застосування сигнальних ракет і води, інших «мирних» засобів визнають, що наказ на підготовку їх «до бою» подіє на команду збадьорююче з одного боку, а з іншого боку – послужить гарним попередженням нападаючим й змусить їх задуматися про свої шанси побачивши рішучість, готовність екіпажа до бою – як правило, пірати віддають перевагу легкому видобутку.

На сьогоднішній день уже є широкий вибір у пропонованих як частками, так і іншими охоронними фірмами засобів виявлення, відлякування грабіжників, серед яких можливо й доступно придбання приладів нічного бачення з інфрачервоними променями й оповіщення, ємностей з розпиленням сльозоточивого газу, колючого дроту із сигналізацією. Все це надасть діючу допомогу морякам у забезпеченні охорони й оборони суден у піратонебезпечних районах Світового Океану.

Запобіжні заходи на судні, у порту, на якірній стоянці. Уникати якірних стоянок, що ставлять судно в уразливе положення.

Здійснювати постійне візуальне й радарне спостереження за малими плавзасобами. Триматися на відстані від фарватеру на якірній стоянці поблизу берега. На якірній стоянці й у порту забезпечувати освітлення всієї палуби, що прилягають до бака і юта просторів з постійною присутністю на них членів екіпажа, підводячи можливих грабіжників до думки про готовність судна до дій по тривозі й неможливості таємного проникнення. При цьому засобу висвітлення перемикаються на різні яскравості, імітуючи зв'язок сигналами. Водний простір обшукується променями прожекторів, проводиться перевірка

шлангів і помп із відпрацьовуванням дій екіпажа. Тримати в постійній готовності до забору води пожежні рукави й шланги. Заборона торгівлі, контактів з місцевим населенням на борті судна. Прохід на борт судна тільки в одному контрольованому місці.

Порядок дій при виявленні піратів. Негайне оповіщення всіх задіяних на вахті членів екіпажа й, наскільки можливо, неухильне виконання запропонованих планом безпеки дій і заходів.

Можливе виявлення піратів радаром, сигнали якого й можуть бути попередженням при проходженні небезпечної зони ще до візуального виявлення. Найчастіше різниця між піратським і звичайним рибацьким судном виражається в нормальному висвітленні останнього. Для піратського судна також є характерним рух галсами, із частими змінами курсу. У регіоні Південно-Східної Азії пірати на початковій фазі практикують паралельне курсу об'єкта нападу рух на видаленні 4...5 кабельтових з метою маскування, або випливають за кормою потенційної жертви, ведучи візуальне спостереження за системою охорони й оборони. Ухваливши рішення щодо нападі, пірати збільшують швидкість ходу до граничної. Тому при радарному виявленні підозрілого об'єкта необхідно якнайшвидше пропеленгувати його з максимально точним визначенням курсу й направити на нього промені прожектора.

Наступним кроком повинне бути негайне оголошення загальної тривоги й виконання запланованих заходів всіма членами екіпажа.

Відхід у відкрите море на граничній швидкості.

Для осліплення й ослаблення просторової орієнтації необхідно направити убік нападаючі прожектори й всі засоби висвітлення.

Передача сигналу небезпеки береговій владі й судам у регіоні.

Використання сигнальних ракет по прямому призначенню й разом з водометними шлангами як оборонну зброю.

При наближенні нападаючих і використанні ними абордажних гаків необхідно почати максимум зусиль, щоб відрізати прикріплені до них кінці.

Порядок дій при вторгненні піратів. Відхід всім екіпажем у заздалегідь підготовлений притулок.

Передача сигналу небезпеки по радіо, радіопошук можливої допомоги.

Доцільно втриматися від актів героїзму в інтересах схоронності життя людей – пірати можуть бути озброєні або перебувати в стані порушення (сп'яніння).

Порядок дій після нападу й відходу піратів із судна. Капітан судна, що підлягало нападу, в терміновому порядку письмово інформує органи влади держави, у водах або порту якого відбувся напад, навіть у випадку, якщо воно не мало успіху. При нападі в міжнародних водах – інформуються органи найближчого в географічному відношенні держави. Після термінового й формалізованого повідомлення капітан готовить детальний рапорт із найдокладнішим описом кількості, зовнішності, національності що нападали, використовуваних ними плавзасобів, часу, місця нападу із вказівкою координат, національної приналежності, далекості від берега. Варто вказати також характер реакції місцевих органів влади на сигнал судна про напад.

Такі формалізовані й деталізовані повідомлення повинні бути терміново підготовлені й розіслані на адресу органів влади або правоохоронних органів найближчої держави, посольства (консульства) держави прапора судна, судновласника й оператора (якщо це не одна й та сама особа).

Судноплавна компанія у свою чергу приймає всі міри для доведення інформації про те, що трапилося, до відомості адміністрацій держави прапора судна, а також Міжнародної Морський Організації, що веде й обробляє статистику піратських нападів для виробітку мір і рекомендацій на міжурядовому рівні.

Все вищевикладене дозволяє зробити наступні висновки:

– піратство як один з видів злочинів на море продовжує залишатися в наші дні серйозною перешкодою для міжнародної торгівлі й мореплавання;

– самим небезпечним, з погляду можливого піратського нападу на судно, залишається регіон Південно-Східної Азії. У порівнянні з 2001 р.,

загальне число зареєстрованих у світі нападів на судна зросло з 335 до 370 (на 10,45%). В 136 випадках пірати були збройні ножами, в 68 випадках – вогнепальною зброєю й в 49 випадках – іншими видами зброї. Нападу переважно піддавалися судна, що коштують на якорі. Відзначено значний ріст числа викрадень судів, з 16 до 25 випадків. В основному, це буксири, баржі й рибальські судна, що працюють у водах Індонезії й Малакської протоки;

– піратські напади (особливо це стосується регіону Південної Америки) ретельно плануються й організовуються. Найчастіше пірати знають про вантаж, що перебуває на судні, що говорить про їхнє зрощування з мафіозними структурами.

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 виконані 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 °С і вище, дозволить повноцінно використовувати судно при здійсненні вантажних перевезень.

Крим того, проведений розрахунок показав, що необхідна площа поверхні теплообміну модернізованого теплообмінника дорівнює 108м^2. З огляду на 10% запас по площі теплообміну запропоновано встановлення 2 теплообмініків Danfoss. Площа поверхні теплообміну кожного з теплообмінних апаратів дорівнює 54м^2. Кількість пластин може бути збільшена з 98 до 265. Це дозволить зробить 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 суднових дизельних установок. Підручник для ВНЗ. Ед. 3-е, перераб. і доп. М.: Транспорт, 1985. – – 288 с. : іл.
10. Бєлоусов 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 суднових 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. - No 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. - No 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. No 23. - 7 п.

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

20. Безюков О. К., Жуков В. А., Тимофєєв В. Н. Современная концепція регулювання охотождения судових дизелів / О. К. Безюков, В. А. Жуков, В. Н. Тимофєєв // Вестник Государственного університету морського і річного флота імени адмірала С. О. Макарова. - 2015. - No 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. - No 3. - С. 17-19.

22. Мошенцев Ю. Л., Гогоренко А. А., Мінчев Д. С. Можливості

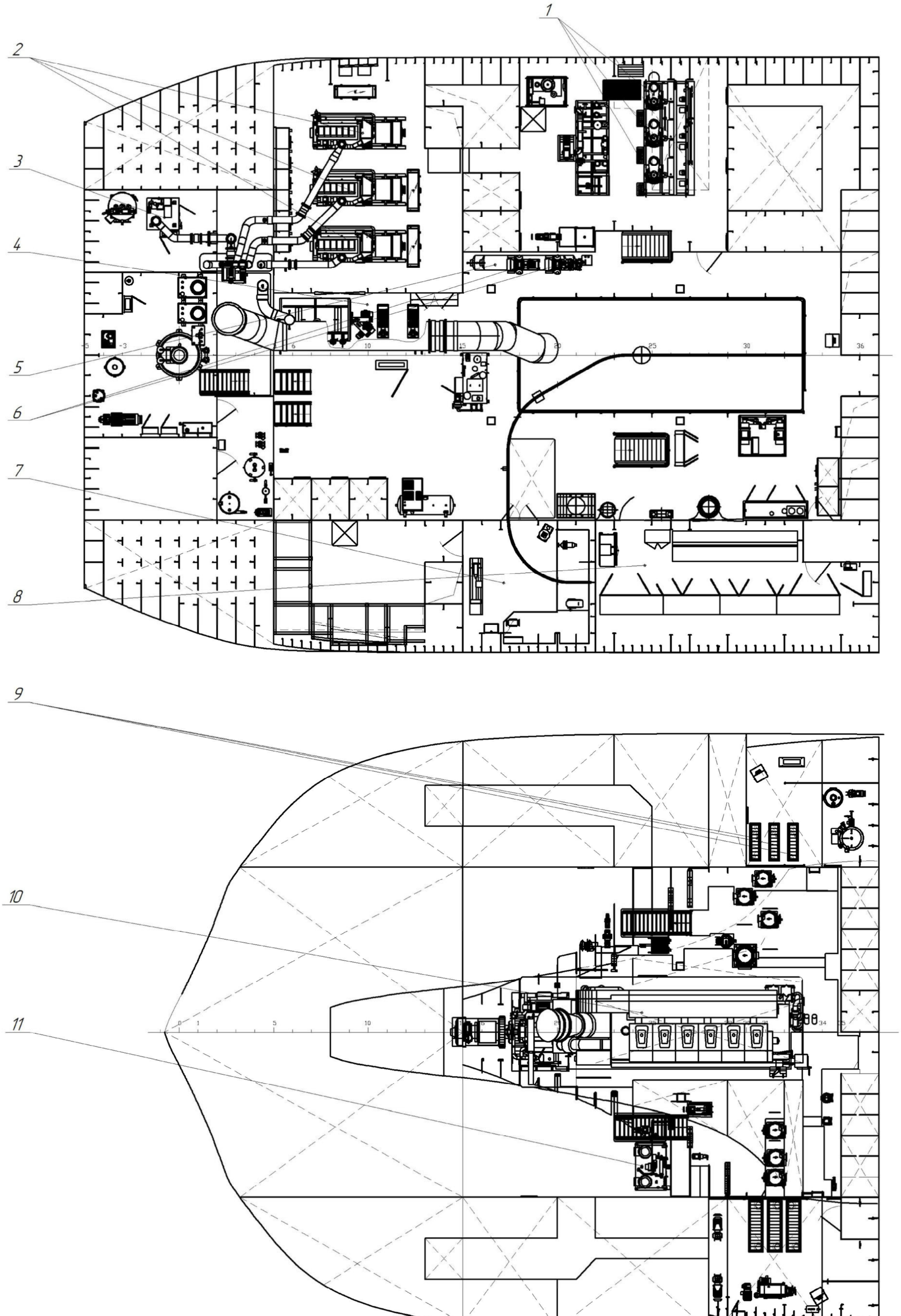
регулювання температури охолоджувачів в альтернативній системі охолодження дизельних двигунів магістральних тепловозів / Ю. В. Савченко - 2012. - No 10. - С. 92-97.

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. No 2. - 7 п.

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

25. Удосконалення процесів експлуатації енергетичної установки судна «AIDAcosma» за рахунок використання газових палив в умовах інфраструктури порту / Грицук І.В., Іванов Є.М., Зубов Д.А., Зільник О.І. Дранчевський Д.В. - Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт", 22-23 жовтня 2024 р., (Посвідчення УкрІНТЕІ № 572 від «19» грудня 2022 р.), Харків, ХНАДУ, 2024, 284 с., С. 115-118

Додатки



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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разроб.		Іванов Є.М.		
Пров.		Грищук І.В.		
Т.контр.		Грищук І.В.		
Н.контр.		Грищук І.В.		
Утв.		Чабанов І.І.		

ПННІ НУК 131.61.23.08.02

Загальне розташування механізмів у машинно-котельному відділенні судна «Morgenstond2»

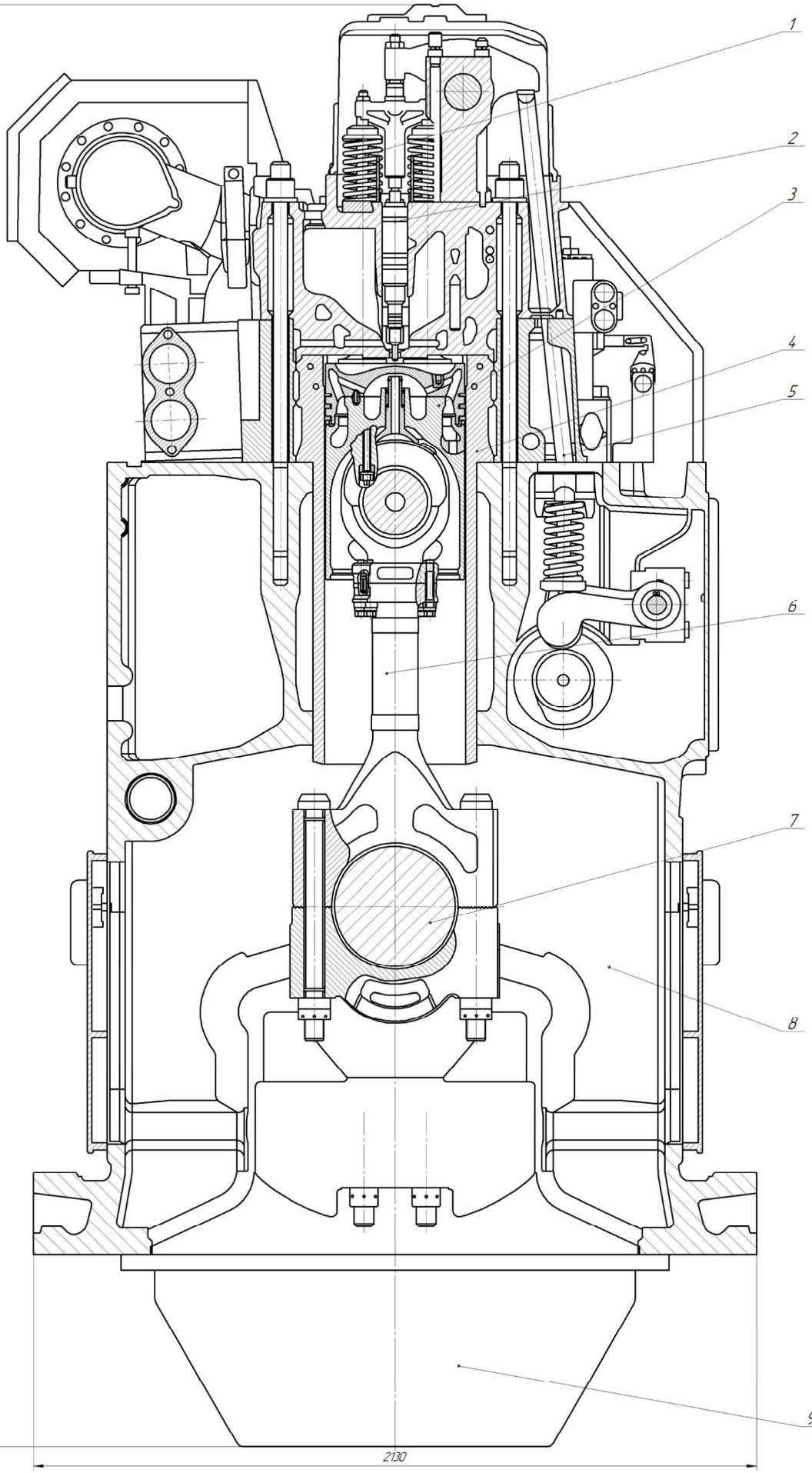
Лит.	Масса	Масштаб
Н		

Лист | Листов 1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал | Формат А1

ПННІ НУК 131.61.23.08.02



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Клапан	12	
2	Паливна форсунка	6	
3	Поршень	6	
4	Циліндр	6	
5	Штовхач коромисла	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 хв$^{-1}$, г/кВт	177
Діаметр циліндра, мм	430
Хід поршня, мм	610
Витрата масла на мащення циліндрів, г/(кВт · год)	0,9...1,4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Розраб.		Іванов Є.М.		
Пров.		Грицук І.В.		
Т.контр.		Грицук І.В.		
Н.контр.		Грицук І.В.		
Утв.		Чабанов І.І.		

ПННІ НУК 131.61.23.08.02

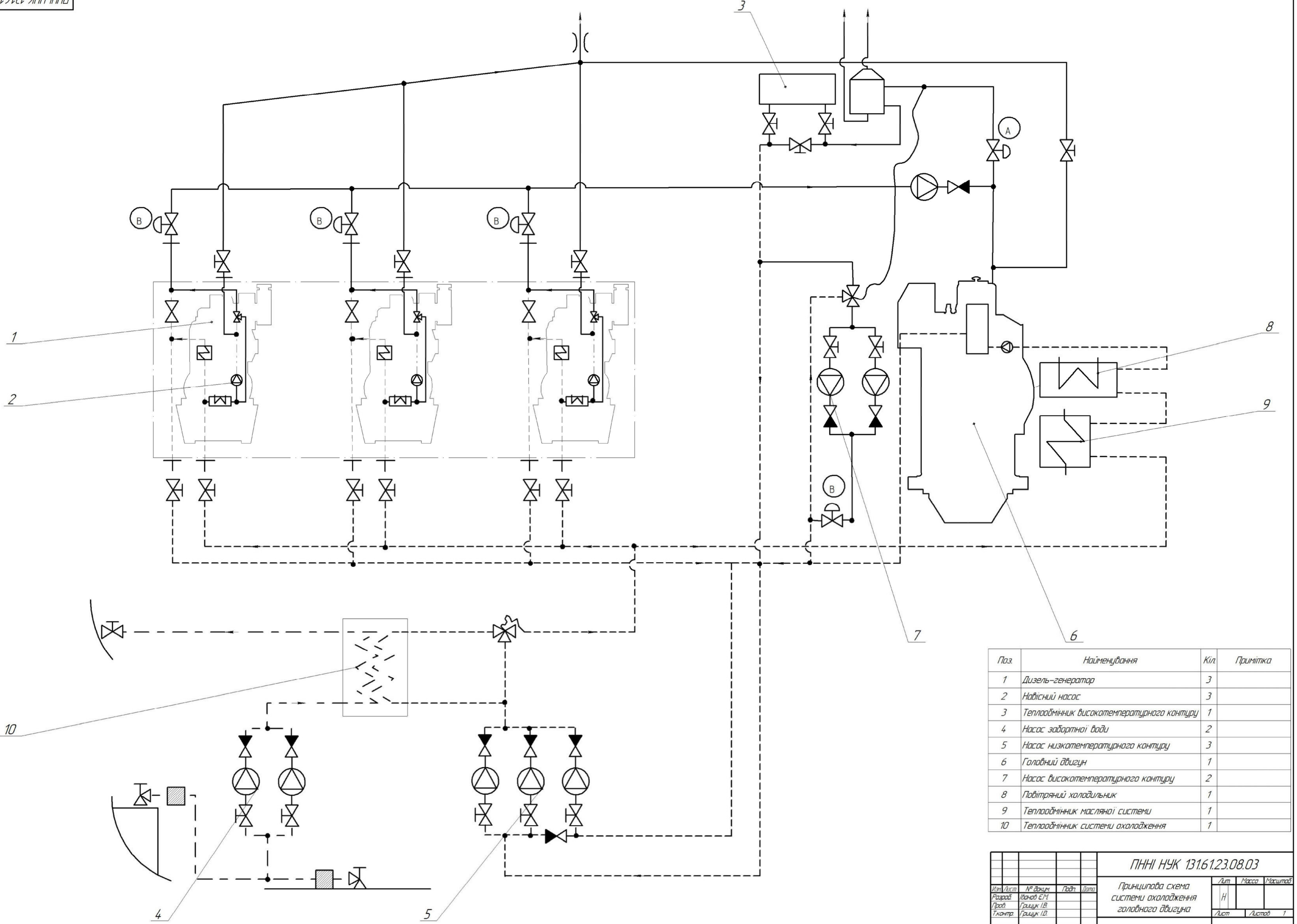
Головний судновий двигун МАК 6М43С

Лит.	Масса	Масштаб
Н		

Лист | Листов 1

Копировал | Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Дизель-генератор	3	
2	Навісний насос	3	
3	Теплообмінник високотемпературного контуру	1	
4	Насос забортної води	2	
5	Насос низкотемпературного контуру	3	
6	Головний двигун	1	
7	Насос високотемпературного контуру	2	
8	Повітряний холодильник	1	
9	Теплообмінник масляної системи	1	
10	Теплообмінник системи охолодження	1	

ПННІ НУК 131.61.23.08.03

Принципова схема системи охолодження головного двигуна

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Іванов Е.М.		
Пров.		Грицук І.В.		
Т.контр.		Грицук І.В.		
Н.контр.		Грицук І.В.		
Утв.		Чабанов І.І.		

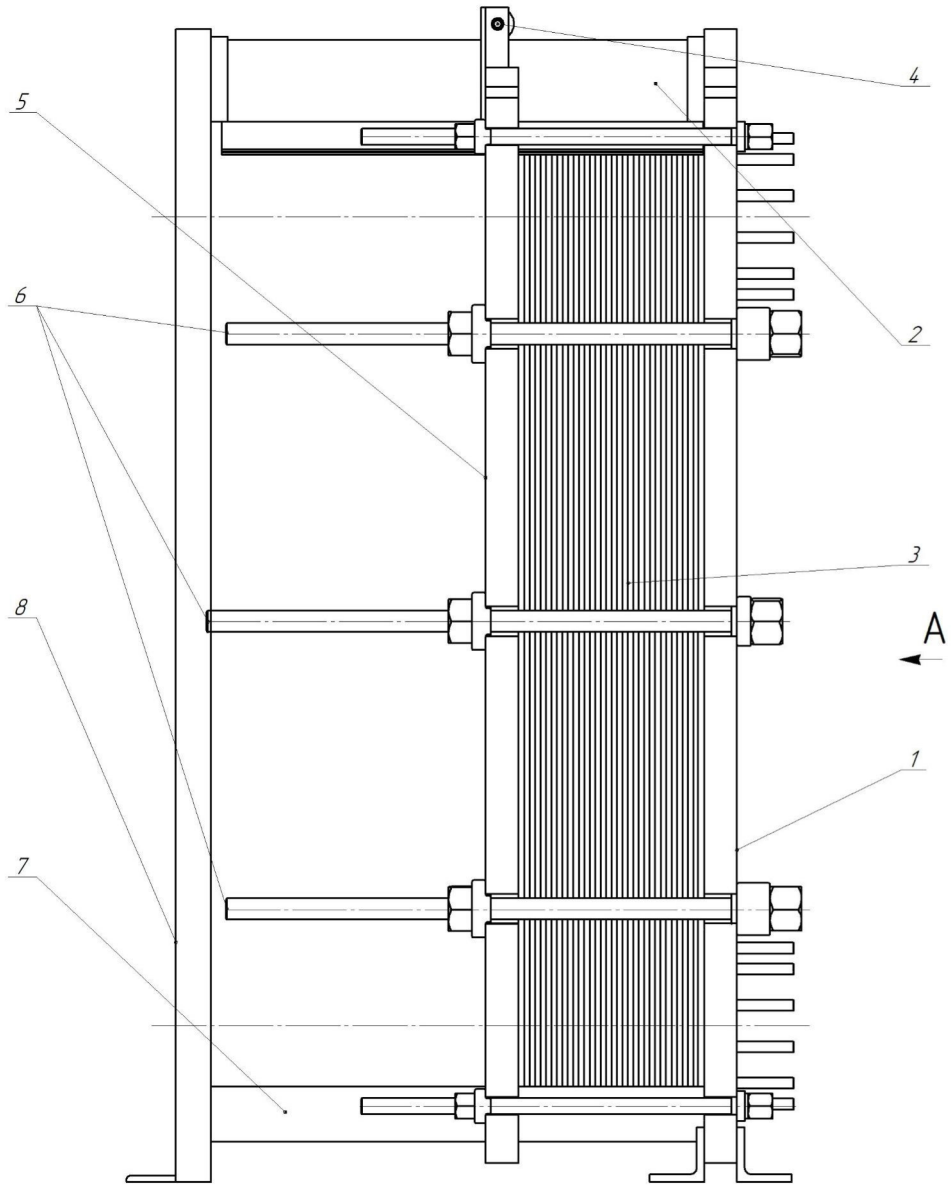
Лит. Н | Масса | Масштаб

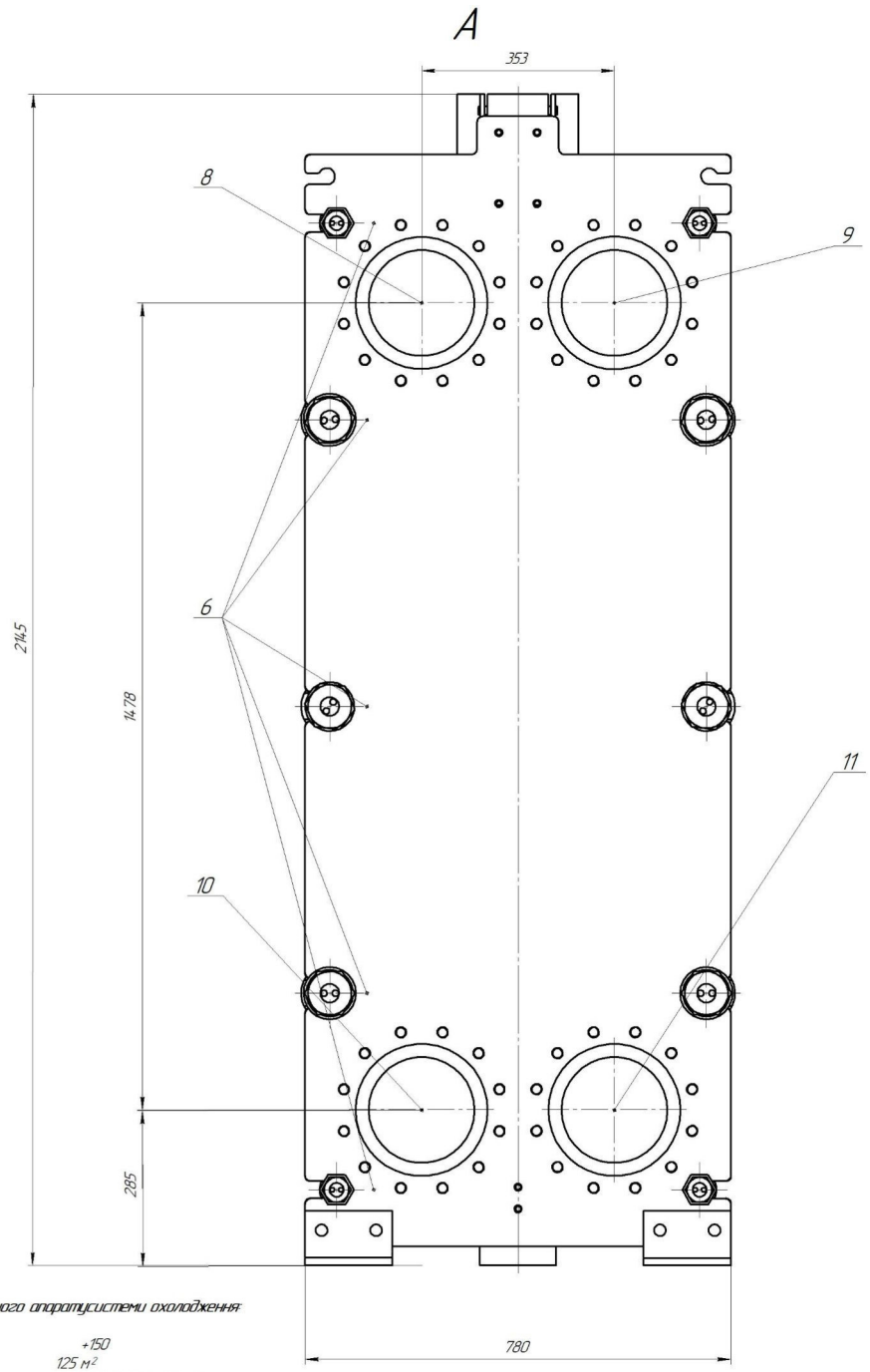
Лист | Листов 1

Копировал | Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

ПННІ НУК 131.61.23.08.04





№	Найменування	К-ть	Примітка
1	Нерухома плита	1	
2	Несуча консоль	1	
3	Пластини	–	
4	Роликовий пристрій	1	
5	Рухома плита	1	
6	Стяжна шпилька	10	
7	Направляюча консоль	1	
8	Вхід «гарячої» води (від ГД)	1	
9	Вихід «холодної» охолоджуючої води	1	
10	Вихід «гарячої» води (після охолодження)	1	
11	Вхід «холодної» охолоджуючої води	1	

Технічні характеристики теплообмінного апаратусистеми охолодження:

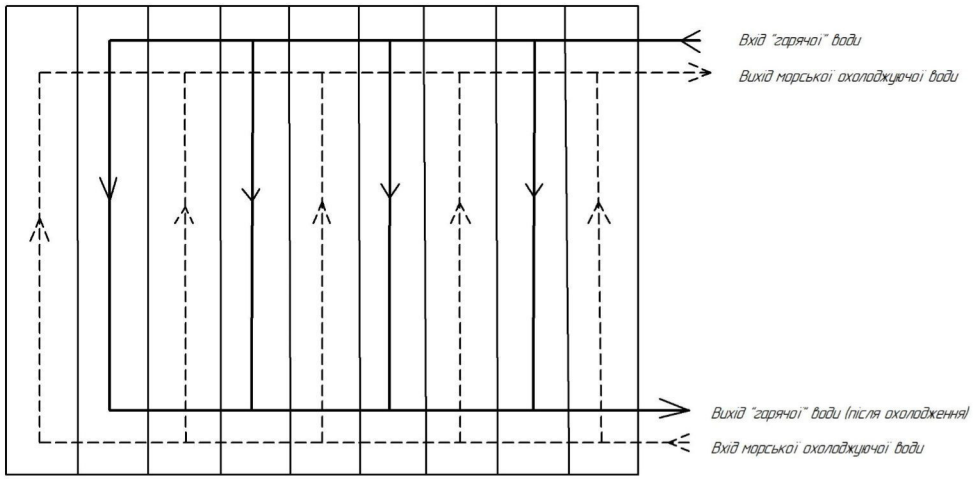
Максимальна робоча температура	+150
Максимальна площа теплообміну	125 м²
Витрата води	14.0 // 200 м3/год
Максимальник робочий тиск	3,0 МПа
Матеріал прокладок	EPDM
Матеріал пластин	AISI 316–0.5мм
Діаметр патрубків	210"
Кількість ходів	Однохідавий
Кількість пластитин	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.08.04
Разраб.		Іванов Е.М.			Теплообмінний апарат системи охолодження суднового двигуна
Пров.		Гриців І.В.			Лит. Масса Масштаб
Т.контр.		Гриців І.В.			Н
Н.контр.		Гриців І.В.			Лист Листов 1
Утв.		Чабанов І.І.			

Копировал Формат А1

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. №

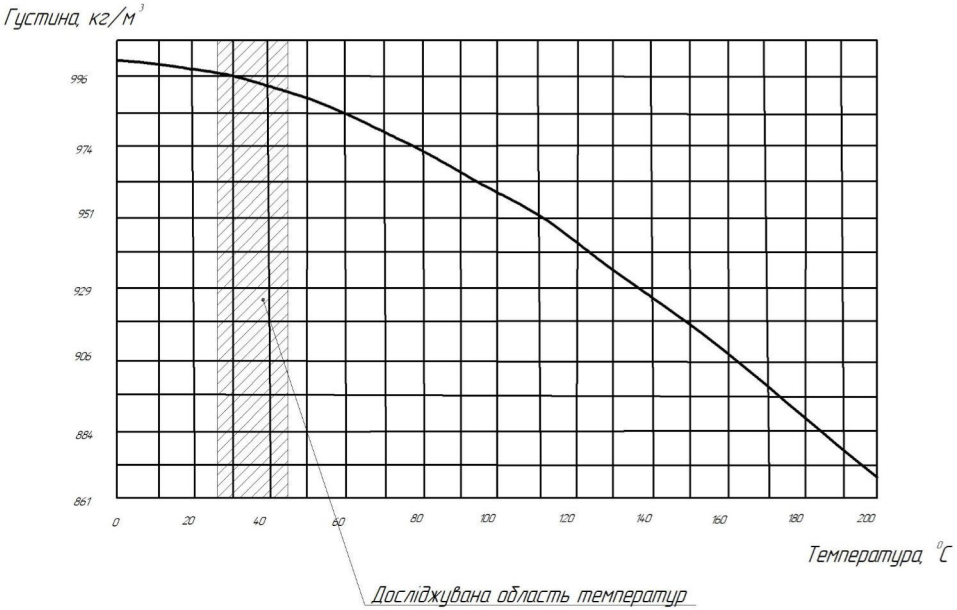
Схема роботи одноходового пластинчастого теплообмінника



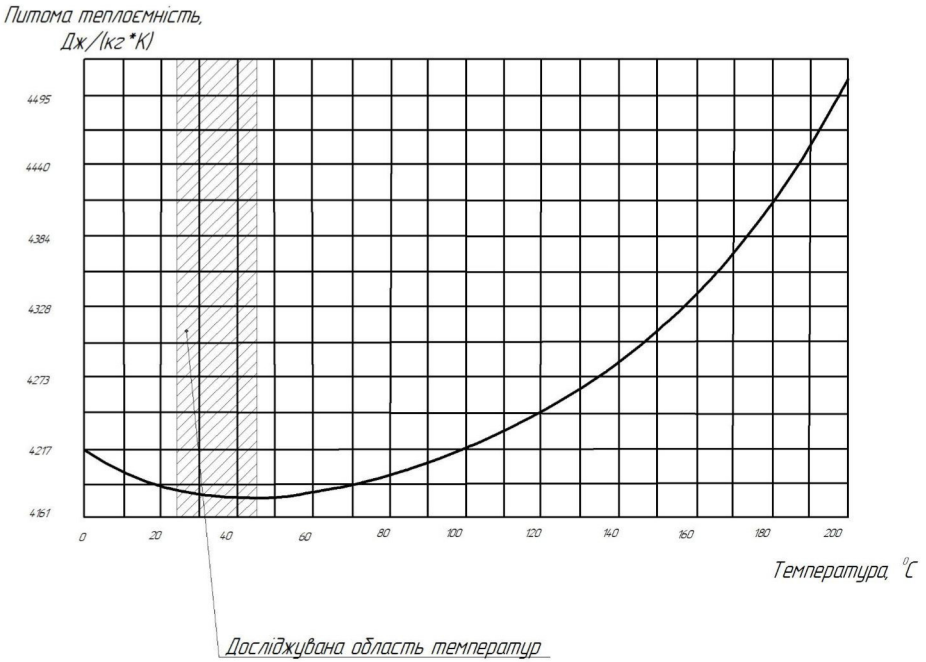
Технічні характеристики пластинчастого теплообмінника

№	Параметр	Значення для базового варіанта	Значення параметрів, визначені в результаті аналітичного дослідження
1	Робоче середовище	вода	вода
2	Максимальна робоча температура, °С	+150	+150
3	Максимальна площа теплообміну, м²	108	108
4	Витрата води, м³ / год	140 / 200	140 / 200
5	Максимальний робочий тиск, МПа	3,0	3,0
6	Матеріал прокладок	EPDM	EPDM
7	Матеріал пластин	AISI 316–0.5 mm	AISI 316–0.5 mm
8	Діаметр патрубків	300'	300''
9	Кількість ходів	одноходовий	одноходовий
10	Кількість пластин	98	98
11	Втрати тиску, кПа		29,672/1,071

Залежність зміни густини теплоносія (морська вода) теплообмінного апарату від його температури



Залежність зміни питомої теплоємності теплоносія (морська вода) теплообмінного апарату від його температури



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.08.02		
Разраб.		Іванов Е.М.			Розрахункове дослідження теплообмінного апарату суднового двигуна	Літ.	Маса	Масштаб
Пров.		Гриців І.В.				Н		
Т.контр.		Гриців І.В.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Гриців І.В.						
Утв.		Чабанов І.І.						

Копировал Формат А1