

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

_____ 2023 р.
« ____ » _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення оперативної готовності головного двигуна Caterpillar 3512C судна- буксиру проекту T2440 «ANTARES»

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-22з

_____ ***Шпирко А.Ю.***

(підпис)

Керівник роботи:

професор кафедри ЕМ, д.т.н., професор

(посада, науковий ступень, вчене звання)

_____ ***Грицук І.В.***

(підпис)

Первомайськ - 2023 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)

« ____ » _____ 2023 р.

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

Студенту Шпирко Антону Юрійовичу

1. Тема роботи: «Підвищення оперативної готовності головного двигуна Caterpillar 3512C судна- буксиру проекту T2440 «ANTARES»».

Керівник роботи Грицук І.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 11.09.2023 року за № 49.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 20.11.2023 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип – головний двигун Caterpillar 3512C судна- буксиру проекту T2440 «ANTARES».

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

Вступ. 1. Загальний опис судна і його енергетичної установки. 2. Аналіз сучасних засобів покращення показників роботи системи охолодження суднового двигуна. 3. Обґрунтування модернізації системи охолодження головного двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES». 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. План машинного відділення судна «Antares». 2. Дизельний двигун CAT3512C. 3. Схема системи охолодження. 4. Тепловий акумулятор. 5. Результати проведення розрахунків

6. Консультанти роботи

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

7. Дата видачі завдання «11»вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Підготовка та проробка літературних джерел	18.09.2023	
2	Написання першого розділу	02.10.2023	
3	Написання другого розділу	16.10.2023	
4	Виконання розрахунків та написання третього розділу	30.10.2023	
5	Підготовка і написання розділу охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	06.11.2023	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	13.11.2023	

Студент _____
(підпис)

Шпирко А.Ю.

Керівник
роботи _____
(підпис)

Грицук І.В.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СУДНА І ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	7
1.1 Загальні відомості про судно	7
1.2 Енергетична установка судна	10
1.3 Основні системи суднової енергетичної установки	16
1.4 Електричне устаткування судна	19
1.5 Суднові пристрої	25
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА	27
2.1 Особливості призначення системи водяного охолодження	27
2.2 Аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини двигунів внутрішнього згорання при використанні засобів ресурсозбереження	30
2.3 Аналіз систем комплексного прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів з функцією теплових акумуляторів	46
2.4 Аналіз використання зовнішніх джерел енергії або рекуперації енергії для підігріву двигуна і підтримання властивостей ТА	49
2.5 Обґрунтування виконання модернізації	55
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА CATERPILLAR 3512C СУДНА «ANTARES»	56

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Шпирко А.Ю.						
Перевірів		Грицук І.В.					3	118
Н. контр.		Грицук І.В.				61-ТЕМ _{маг} -23		
Затвердив		Нестеренко						

3.1 Обґрунтування необхідності модернізації системи охолодження головного суднового двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES» за рахунок встановлення теплового акумулятора фазового переходу	56
3.2 Особливості конструкції і принцип роботи багатосекційного ТА	57
3.3 Особливості робочого процесу багатосекційного теплового акумулятора у складі системи охолодження суднового дизеля	62
3.4 Модернізація системи охолодження суднового дизеля	64
3.5 Особливості процесів знімання й віддачі теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в конструкції теплообмінника системи утилізації теплової енергії з тепловим акумулятором фазового переходу	71
3.6 Рекомендації для формування системи теплової підготовки суднового двигуна на основі теплового акумулятора фазового переходу	86
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	91
4.1 Охорона праці.....	91
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	99
ВИСНОВКИ.....	114
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	115
ДОДАТКИ	118
1. План машинного відділення судна «Antares»	
2. Дизельний двигун CAT3512C	
3. Схема системи охолодження	
4. Тепловий акумулятор	
5. Результати проведення розрахунків	

ВСТУП

Розвиток річкового і морського транспорту ознаменований зростанням тоннажності і швидкості судів, що суттєво загостило проблему їх буксирного забезпечення в портах через невідповідність розмірів акваторій великим розміщенням великотоннажних суден і потужності буксирів. Це створює загрозу безаварійного руху торгового флоту в зонах припортових акваторій.

На відміну від транспортних суден буксири більш маневрені, керовані, енергооснащені, з різноманітними тактико-технічними даними для виконання буксирувальних операцій. При експлуатації буксирного флоту існує задача підвищення ефективності суднових двигунів, яка передбачає підвищення їх основних показників, а саме показники потужності, економічні та екологічні. Однак одночасне комплексне підвищення ефективності суднових двигунів, в частині названих показників, є серйозною проблемою, обумовленою низкою обставин, які комплексно і одночасно вирішити дуже складно.

Однією з необхідних умов забезпечення оперативної готовності буксирів для виконання технологічних операцій є забезпечення робочого температурного стану двигунів (у відповідності до рекомендацій виробника), що відповідає умовам експлуатації, при змінних температурах оточуючого середовища (ОС) в умовах експлуатації. Пускові якості двигунів СЕУ оцінюються граничною температурою надійного пуску і часом, необхідним для підготовки двигуна до прийняття навантаження. При знижених температурах двигуна СЕУ і навколишнього повітря пуск утруднюється, надійність його суттєво знижується, а час підготовки до прийняття навантаження суттєво зростає. Відомо, що забезпечення робочого температурного стану двигунів енергетичних установок буксирів портового класу в умовах експлуатації є актуальною задачею, вирішення якої потребує практика експлуатації водного транспорту. Вирішення вказаної задачі створює умови для подальшого розвитку та підвищення енергетичної безпеки

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		5

буксирного транспорту і, відповідно, продуктивності в цілому водного транспорту.

Вибір способу забезпечення оперативної готовності буксирів в частині підтримання температурного стану двигуна судна повинен здійснюватись на основі всебічної, комплексної оцінки їх ефективності з урахуванням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів, і формує проблему підвищення ефективності експлуатації енергетичних установок суден актуальної, що має важливе прикладне значення.

Мета дипломного проекту: розробити комплекс заходів для підвищення ефективності головного двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES» за рахунок модернізації системи охолодження.

Задачі що вирішуються у дипломному проекті:

1. Аналіз стану проблеми подальшого розвитку сучасних суднових двигунів і, зокрема, двигунів серії 3512C фірми Caterpillar.
2. Проведення аналізу для вибору найбільш ефективних методів удосконалення суднових системи охолодження.
3. Розроблення технічних рішень та розрахункова перевірка їх ефективності експлуатації, визначення шляхів втілення запропонованих рішень.
4. Розробка заходів з техніки безпеки при виконанні робіт та екологічної безпеки судна.

Об'єкт дослідження - головний судновий двигун - дизель Caterpillar 3512C судна «ANTARES» в процесі модернізації системи охолодження.

Апробація результатів дослідження – автор прийняв участь в Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців", яка проводилася Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом (м. Харків) 23-25 жовтня 2023 р. з доповіддю «Підвищення ефективності експлуатації енергетичної установки судна «AIDAcosma» за рахунок використання газових палив в умовах портової інфраструктури» [25].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СУДНА ТА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Загальні відомості про судно

Судно «ANTARES» - це сучасне судно, буксир портового класу. Було побудовано на суднобудівній верфі CRANESHIP DP, KERCH у 2016 році (проект T2440). Тип судна - Pusher/Tug. Флаг – Росія. Позивний - UBVR6. IMO 9793521, MMSI-номер: 273397190 [1 - 3].

Архітектурно-конструктивний тип – судно однопалубне з машинним відділенням у середній частині судна, з навігаційною рубкою кругового огляду, з 4-ма поперечними перебираннями, з носовим і кормовим буксирними комплексами [1 - 3].

Пропульсивний комплекс буксира забезпечує тягу 55 тон і складається з 2-х головних двигунів з допоміжними механізмами й 2-х поворотних гвинто-кормових колонок із гвинтами регульованого кроку в насадках.

Призначення судна:

- буксирування несамохідних судів і плавучих споруджень;
- проводка суден в акваторії портів і постановка до причалу;
- участь у гасінні пожеж на об'єктах.

Район плавання – обмежений R2 (плавання в морських районах на хвилюванні з висотою хвилі 3- процентної забезпеченості 7,0 м, з віддаленням від місця притулку не більш 100 миль і із припустимою відстанню між місцями притулку не більш 200 миль) [1 - 3].

Район експлуатації – басейни Чорного й Азовського морів [1 - 3].

Розрахункові температури для роботи судна наступні [1 - 3]:

- зовнішнього повітря від -25°C до +35°C,
- забортної води від -2°C до 27°C.

Загальний вигляд судна показаний на рис. 1.1 і 1.4 а.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						7
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

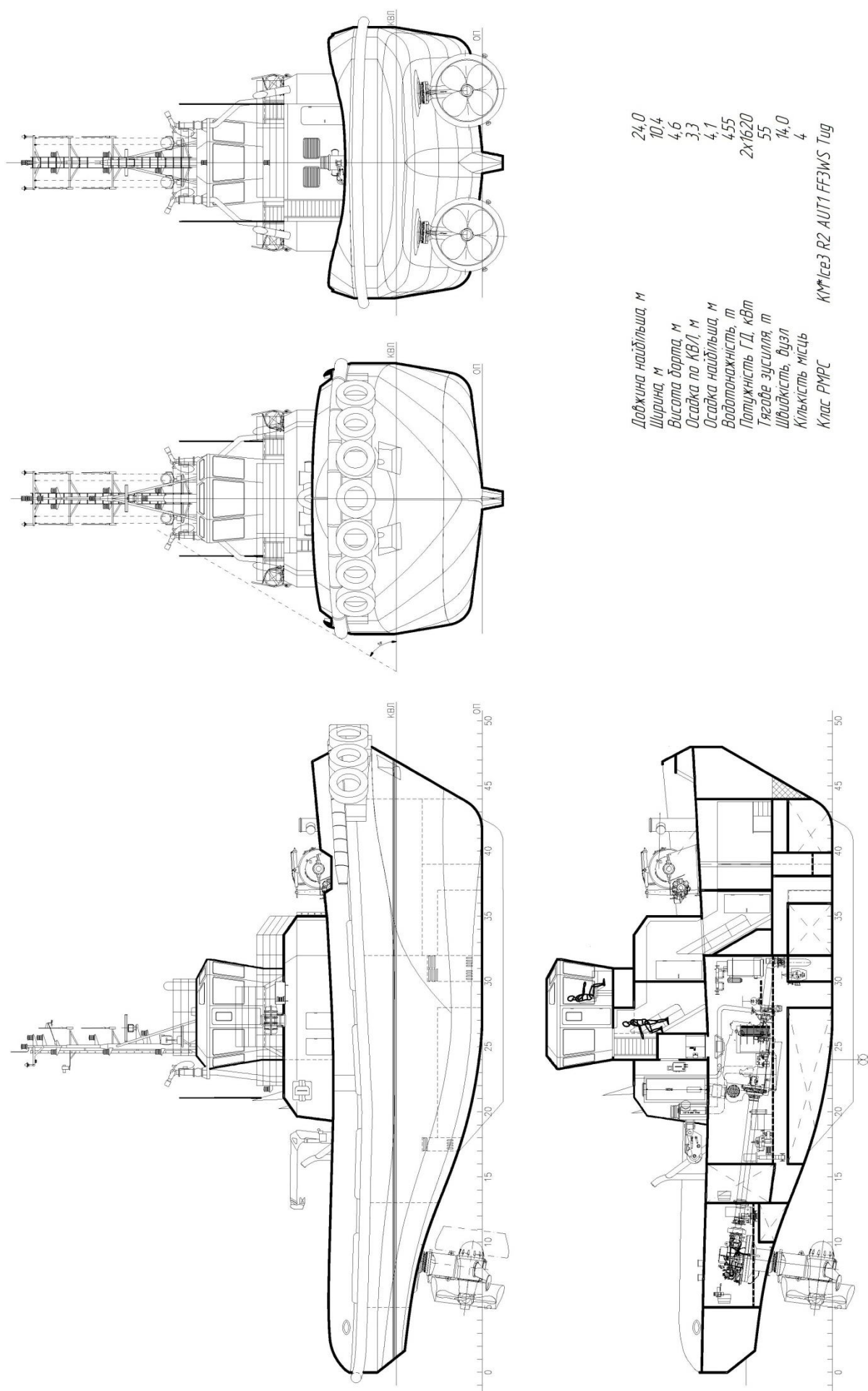


Рисунок 1.1 – Загальний вид судна-буксиру проекту T2440 «ANTARES»

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ

Арк

8

Клас судна. Класифікаційне товариство – Російський Морський Регістр Судноплавства. Клас - КМ Arc4 (Ice3, Ice2) O R2 AUT1 FF3WS Tug. [1 - 3].

Головні розмірення судна [1 - 3]:

Довжина найбільша	24,00 м
Довжина розрахункова	22,778 м
Ширина	10,4 м
Висота борту	4,60 м
Осадка	3,30 м
Осадка габаритна (з урахуванням скега)	4,10 м

Повна водотоннажність судна у воді щільністю 1,025 т/м³ становить 458т.

Місткість цистерн основних суднових запасів 66 м³.

Автономність плавання по запасах прісної води не менш 10 діб.

Дальність плавання при економічній швидкості (10 вузлів) близько 5000 миль.

Швидкість судна на ходових випробовуваннях при осадці 3,3 м на глибокій воді при відсутності вітру та хвилювання, при чистому корпусі та температурі забортної води 15 °С при роботі головних двигунів потужністю 2 x 1620 кВт складає 14,2+ 0,3 вузла.

Тягове зусилля складає 55 тон.

На судні передбачено [1 - 3]:

– закриті приймання й видача палива й масла через пости, постачені фланцями міжнародного зразка й розташовані на верхній палубі ЛБ у районі 27-29 шп. Клапани видачі й приймання обладнуються глухими фланцями з ручками для зручності їх монтажу, а також пробовідбірним пристроєм для узяття проб бункерного палива відповідно до резолюції МЕРС.182(59);

– установка під усіма можливими місцями витоків палива й масла піддонів, зливши від яких проводиться в цистерни нафтозалишків;

– устаткування всіх цистерн палива й масла сигналізацією по верхньому рівню. Переливна система палива обладнається сигналізацією наявності

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		9

поток в переливній трубі. Переливна цистерна обладнається сигналізацією граничного верхнього рівня 75 %;

—автоматична відкачка нафтовмісних трюмних вод з машинного відділення в цистерну нафтовмісних вод. У цистерні нафтовмісних вод передбачається сигналізація про 80 % її заповнення й автоматичне відключення насоса нафтовмісних вод. Відповідно до Правила 14, Додатка I, п.5.1, п.5.3.1 і п.5.3.2 судно обладнане збірним танком достатньої місткості для повного збереження нафтовмісних льяльних вод на борті для наступної їхньої здачі в прийомні спорудження;

— дистанційна зупинка насосів нафтовмісних вод, видачі нафтозалишків і перекачування палива з місць розташування патрубків видачі.

Усі стічні й господарсько-побутові води відводяться в цистерни стічних вод, з яких вони відкачуються електронасосом стічних вод у берегові або плавучі засоби або за борт у дозволені для такого скидання районах. Скидання за борт відповідно до вимог ІМО МЕРС.157(55) - «Рекомендації про стандарти інтенсивності скидання неопрацьованих стічних вод». Передбачається дистанційна зупинка насоса стічних вод у місці розташування патрубка видачі стічних вод на берегові спорудження [1 - 3].

Передбачено встановлення 5 контейнерів, що легко очищуються, ємністю по 0,24 м³ для збору й зберігання різного виду сміття накопиченого за 7 доби. У майстерні машинного відділення й зварювальної майстерні встановлюються два контейнери ємністю по 0,03 м³ для збору експлуатаційних відходів. На камбузі встановлюється один контейнер ємністю 0,02 м³ для збору кулінарного жиру. Усі ємності будуть пофарбовані у відповідні кольори й промартильні [1 - 3].

1.2 Енергетична установка судна

Головна енергетична установка (рис. 1.2) розташована в середній частині судна й складається із двох пропульсивних комплексів, кожний з яких

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						10
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

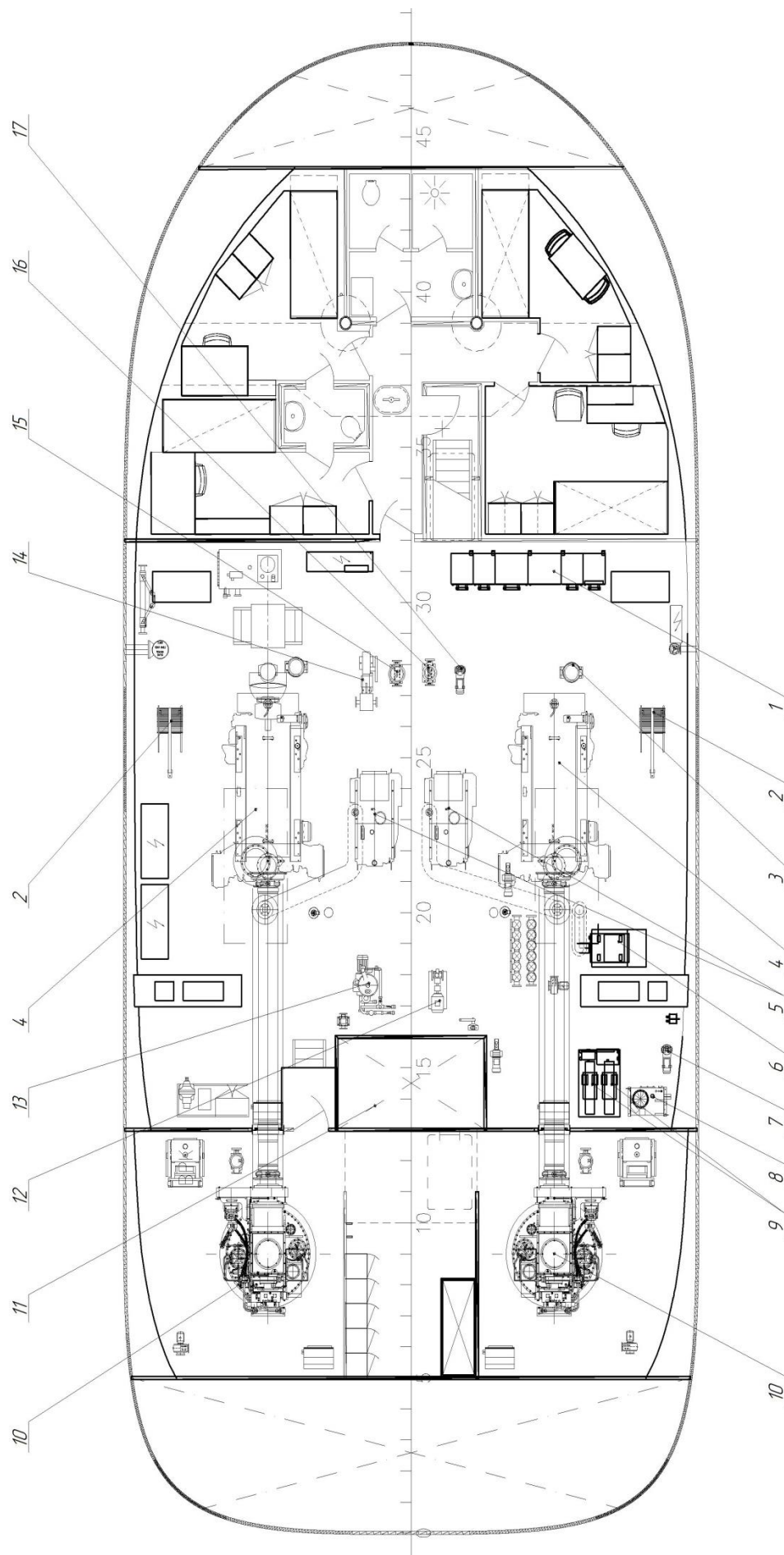


Рисунок 1.2 – План машинного відділення судна «ANTARES»: 1 – головний розподільний щит; 2 – теплообмінник прісної води; 3 – насос водо пожежний спеціальний; 4 – головний двигун CAT 3512C; 5 – дизель-генератор CAT S4.4 D1TA; 6 – котел водоогрійний; 7 – насос заборотної води агрегата кондиціонування; 8 – електрокотел стоянковий; наоси перекачування палива; 10 – гвинто-кормова колонка; 11 – витратна цистерна; 12 – насос перекачування масла ГД; 13 – сепаратор палива; 14 – насос осушувальний; 15 – пожежений насос; 16 – насо морської води; 17 – насос нафтовмісних вод

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ

Арк

11

містить у собі головний двигун, валопровід, гвинтокермові колонки (ГРК) [1].

Головний двигун Caterpillar 3512C потужністю 1620 кВт, при частоті обертання 1800 хв^{-1} (рис. 1.3) при стандартних параметрах у відповідності до DIN 6271, ISO 3046/1 і J 1349 [1 - 3]:

- барометричний тиск 100 кПа
- температура навколишнього середовища 45°C
- відносна вологість 60 %
- температура морської води 32°C

Питома витрата палива на СМДМ 199,6 г/(кВт·год);

Caterpillar 3512C - це чотиритактний нереверсивний дизельний двигун, з безпосереднім упорскуванням і турбонаддувом. Охолодження двигуна здійснюється навішеним насосом прісної води охолодження засорочкового простору й навішеним насосом забортної води. Двигун призначений для роботи з теплообмінниками [1 - 3].

Напрямок обертання – проти годинникової стрілки, якщо спостерігати з боку маховика [1 - 3].

Двигун спроектовано для використання на дизельному паливі за ISO 8217 в'язкістю 6 сСт при 40°C , а також за ГОСТ 305-82 [1 - 3].

Система мащення деталей руху двигуна – під тиском.

Забір повітря двигуном у впускний колектор здійснюється з машинного відділення.

Пуск головного двигуна здійснюється за допомогою електростартеру від акумуляторних батарей герметичного типу, що розташовані в машинному відділенні. Комплект стартерних акумуляторних батарей забезпечує не менш 6 пусків [1 - 3].

Двигуни встановлені жорстко на судновий фундамент, виготовлений на полімерних матеріалах [1 - 3].

Рушії. В якості головних рушіїв встановлено дві поворотні гвинтокермові колонки (ГРК) Rolls-Royce US 205 FP [1 - 3].

ГРК складається з [1 - 3]:

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						12
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

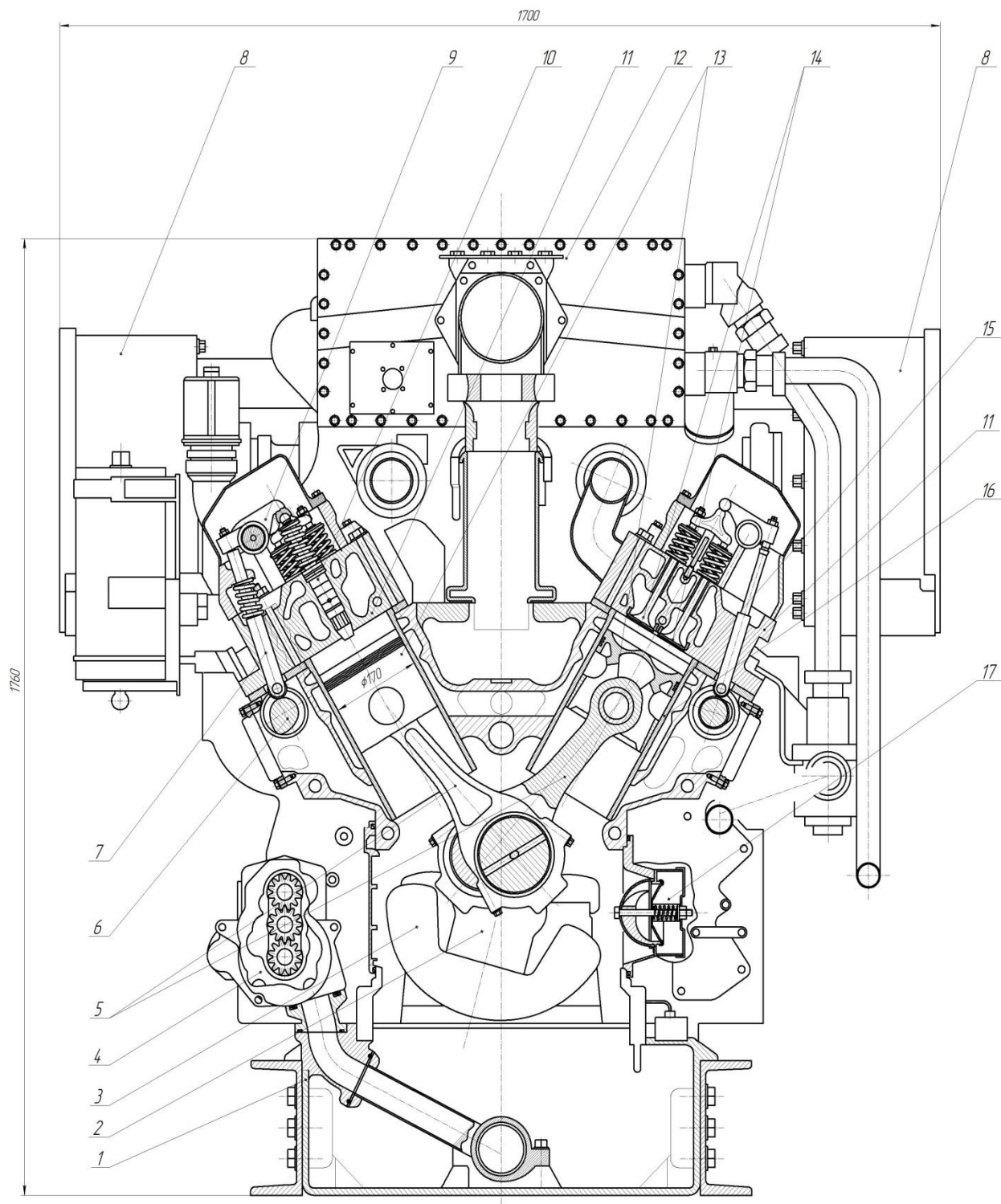


Рисунок 1.3 – Головний двигун CAT 3512C: 1 – картер; 2 – колінчастий вал; 3 – противага; 4 – масляний насос; 5 – шатуни; 6 – вал кулачковий; 7 – штанги; 8 – ГТН; 9 – коромисло; 10 – насос-форсунка; 11 – головка циліндра; 12 – охолоджувач повітря наддуву; 13 – поршні; 14 – клапани випускні; 15 – поршневі кільця; 16 – циліндрова втулка; 17 – клапан запобіжний

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ

Арк

13

- гвинта фіксованого кроку у насадці;
- кутової передачі з понижувальним редуктором;
- начеплених гідравлічних моторів для повороту колонки навколо вертикальної осі на 360 °. Поворот ГРК на 180° здійснюється за час не більш 30 секунд;

- роз'єднувальної муфти;
- упорного підшипника, розташованого в нижній частині ГРК.

Мащення ГРК – індивідуальне, маслом, залитим у редуктори.

Розташування гравітаційної масляної цистерни ГРК вище ватерлінії виключає проникнення забортної води в масляну порожнину редуктора.

Валопроводи. Передача крутного моменту від ГД до ВРК здійснюється за допомогою валопроводів [1 - 3].

Кожний валопровід складається з [1 - 3]:

- композитного гребного валу;
- перебіркового ущільнення.

Електроенергетична установка складається із двох допоміжних дизель-генераторів, кожний потужністю 69,0 кВт на клеммах генератора [1 - 3].

Приводний двигун допоміжних дизель-генераторів Caterpillar 34.4 DITA [1]:

- тип двигуна – рядний дизель, чотиритактний, чотирициліндровий, з безпосереднім упорскуванням, тронковий, з турбонаддувом

- потужність 74,6 кВт;
- частота обертання 1500 хв⁻¹;
- питома витрата палива 220 г/(кВт·год).

Пуск дизель-генератора здійснюється електростартером.

Двигуни дизель-генераторів працюють на сортах палива прийнятих для головних двигунів. Охолодження двигуна здійснюється навішеним насосом прісної води охолодження засорочкового простору й навішеним насосом забортної води [1 - 3].

Приймання повітря для двигунів здійснюється з машинного відділення.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		14

Привідний двигун з'єднується з генератором за допомогою еластичної муфти й монтуються на загальній рамі. Кріплення рами агрегату до суднового фундаменту – жорстке [1 - 3].

Паливні цистерни. На судні передбачені цистерни палива [1 - 3]:

- одна видаткова ЕУ;
- одна запасно-переливна;
- чотири запасні.

Загальна місткість цистерн запасу й видаткової цистерни ЕУ – 71,0 м³, при цьому місткість видаткової цистерни обсягом 10,0 м³ забезпечує роботу механічної установки протягом не менше 24 годин [1 - 3].

Запасно-переливна цистерна обладнана сигналізатором рівня до заповнення на 75 % [1 - 3].

Для збору протікань палива й масла передбачена цистерна нафтовмісних вод, розташована у підпольному просторі машинного відділення.

Цистерни корпусні сталеві, обладнані горловинами, системою трубопроводів, а саме повітряними, вимірювальними (видаткові й носові запасні - колонками), переливними, наливними та видатковими, електронними датчиками рівня. На видатковій цистерні передбачений видатковий швидкозапірний і спускний самозапірний клапани [1 - 3].

Цистерни прісної води. Прісна вода зберігається у двох носових корпусних цистернах. Цистерни обладнані горловинами, повітряними, наливними й видатковими трубопроводами, вимірювальними колонками й електронними датчиками рівнів із сигналізацією верхнього й нижнього рівнів. Сигналізація й індикація рівнів виведена у навігаційне відділення [1 - 3].

Стічна цистерна. Стічні й господарсько-побутові води збираються в одній корпусній цистерні. Цистерна обладнана горловинами, повітряною трубою, датчиком вимірювання рівня й сигналізатором заповнення на 80 %. Сигналізація й індикація виведена в навігаційне відділення [1 - 3].

Цистерни нафтовмісних вод. Нафтовмісні ляльні води збираються в корпусній сталевій цистерні, розташованій у підпольному просторі машинного

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						15
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

відділення. Цистерна обладнана: горловиною, повітряної, вимірювальної й наповнюючою трубами й сигналізатором заповнення на 80 % [1 - 3].

1.3 Основні системи суднової енергетичної установки

Розташування основних елементів машинного відділення представлено на рис. 1.2 і 1.4 б [1 - 3].



а)



б)

Рисунок 1.4 - Загальний вигляд судна (а) і розташування основних елементів машинного відділення(б)

1.3.1 Паливна система

Система приймання й перекачування палива. Приймання запасів палива на судно здійснюється береговими засобами. Пост приймання палива розташований у приміщенні на верхній палубі правого борту. Пост обладнаний прийомним патрубком із фланцем міжнародного зразка, клапаном відбору проб, арматурами тощо [1 - 3].

Час приймання повного бункера близько 3 годин.

Система забезпечує [1 - 3]:

- приймання палива як в одну окремо взятую цистерну запасу, так і в усі цистерни одночасно;
- перекачування палива між цистернами запасу;

- видачу палива із судна з будь-якої цистерни запасу;
- перелив палива в переливну цистерну;
- відбір проб палива при прийманні й видачі.

Усі операції щодо перекачування палива здійснюються електронасосом перекачування. Резервним засобом по перекачуванню палива є ручний насос.

Предбачена можливість заповнення видаткової цистерни насосами перекачування палива із запасних цистерн [1 - 3].

Система переливу палива. Для запобігання паливних цистерн від переповнення й розливу палива через повітряні труби передбачена система переливу. Система складається з [1 - 3]:

- переливних труб щодо кожної паливної цистерни;
- цистерни переливної;
- сигналізації про перелив.

Система сепарації палива. Очищення палива від води й механічних домішок проводиться сепаратором палива. Сепарація здійснюється з будь-якої запасної цистерни у видаткову [1 - 3].

Предбачається повторна сепарація вже у видатковій цистерні енергетичної установки [1 - 3].

Система паливоподачі. Система паливоподачі забезпечує подачу палива до головних двигунів, дизель-генераторам, казану. З видаткової цистерни паливо самопливом надходить через подвійний фільтр до підкачуючих насосів, навішених на двигунів. Відсічне паливо від головного двигуна через штатні охолоджувачі, а від дизель-генератори спрямовується у видаткову цистерну [1 - 3].

1.3.2 Системи газовипускних трубопроводів і димоходів. Газоходи головних двигунів, дизель-генераторів і котла виконані зі сталевих труб. Для компенсації теплових деформацій на трубопроводах встановлені сильфонні компенсатори. Газоходи покриті теплоізолюючим матеріалом. На газоходах

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		17

двигунів встановлені глушники-іскрогасники, що дозволяють працювати з танкерами [1 - 3].

1.3.3 Системи охолодження прісною й забортною водою. Система охолодження головних двигунів працює у двох режимах: зимовий і літній.

У зимовому режимі охолоджувальна прісна вода високотемпературного й низькотемпературного контурів головних двигунів начепленими циркуляційними насосами подається в коробчасті холодильники (бокскулери).

У режимі для літа охолоджувальна прісна вода високотемпературного й низькотемпературного контурів головних двигунів начепленими циркуляційними насосами подається в сполучені теплообмінники, які охолоджуються забортною водою за допомогою електронасосів охолодження забортною водою [1 - 3].

Охолоджувальна прісна вода дизель-генераторів начепленими циркуляційними насосами подається в коробчасті холодильники (бокскулери).

Охолоджувальна прісна вода охолоджувачів масла ГРК за допомогою циркуляційних електронасосів подається в коробчасті холодильники (бокскулери) [1 - 3].

Передбачено два кінгстонних ящика. З кінгстонних ящиків забортна вода через фільтри попадає в кінгстонну перемичку й далі до наступних споживачів [1 - 3]:

- насосів охолодження забортною водою теплообмінників головних двигунів;
- насосу охолодження забортною водою гідроблоку буксирної лебідки;
- насосу охолодження агрегату кондиціювання повітря;
- пожежного насосу;
- осушно-баластовому насосу.

Кінгстонний ящик лівого борту використовується прямо для роботи насосів спеціальної пожежної системи.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		18

1.3.4 Система нафтовмісних ляльних вод. Збір і зберігання нафтовмісних ляльних вод передбачено в цистерні, що розташована у машинному відділенні. Цистерна обладнана електричним сигналізатором заповнення на 80 % [1 - 3].

Повітряна труба цистерни виводиться на верхню палубу.

Повсякденне осушення машинного відділення здійснюється електронасосом у цистерну нафтовмісних вод [1 - 3].

Передбачена видача нафтовмісних ляльних вод із цистерни в прийомні пристрої через патрубок із фланцем (міжнародного зразка), розташованим у станції приймання палива на верхній палубі [1 - 3].

1.3.5 Система мащення. Масло для головних двигунів і дизель-генераторів зберігається в цистерні запасу масла головного двигуна, що обладнана електронасосом роздачі масла в переносну тару. З переносної тари чисте масло заливається у двигуни через заливну горловину [1 - 3].

Відпрацьоване масло з картерів головних двигунів ручними насосами відкачується в цистерну протікань палива і масла. Відпрацьоване масло з картерів дизель-генераторів зливається самотливом у переносну тару [1 - 3].

1.4 Електричне устаткування судна

Електроустаткування, розташоване в машинному відділенні, що розраховане на експлуатацію при температурі навколишнього середовища до +45°C [1 - 3].

1.4.1 Система розподілу, напруга, частота

Основним родом струму на судні є змінний трифазний струм, частотою 50 Гц, напругою 400 В [1 - 3].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		19

Електроенергія розподіляється за трифазною чотирьохпровідною, трифазною трипровідною і двопровідною ізольованими системами при наступних значеннях напруги [1 - 3]:

– 380В – за трифазною системою для електроприводів механізмів і систем, перетворювачів електричної енергії, камбузного устаткування, електрогрілки;

– 220В - за однофазною системою для освітлення, зв'язку, радіолокації, навігації, камбузного устаткування, автоматики, сигналізації й побутових споживачів;

– 24В - постійного струму для систем навігації, зв'язку, автоматики, аварійного освітлення, сигналізації й сигнально-відмітних вогнів, електростартерного пуску.

1.4.2 Джерела й перетворювачі електричної енергії

Основним джерелом електроенергії є синхронні безщіткові генератори з автоматичною системою регулювання напруги із приводом від дизелів [1 - 3].

Генераторна установка складається із двох допоміжних дизель-генераторів. Генератори розташовані в машинному відділенні [1 - 3].

Основні показники генераторів [1 - 3]:

Потужність, кВт	69
Напруга, В	400
Коефіцієнт потужності	0,8
Кількість фаз	3+К
Частота, Гц	50
Продуктивність 100%	беззупинно
Тип	горизонтальний, синхронний
Система збудження	безщіткова
Частота обертання, хв ⁻¹	1500
Охолодження	повітряне

Акумуляторні батареї. У якості аварійного джерела на судні встановлено герметичні акумуляторні батареї (АКБ), що не обслуговуються, напругою 24 В, ємністю близько 200 А · год, що забезпечують живлення споживачів на протязі 3 год. Батареї розміщається в ніші АРЩ на верхній палубі. АКБ використовують [1 - 3]:

- для живлення споживачів аварійного джерела близько 200 А · год;
- для резервного живлення встаткування радіозв'язку не менш 200 А · год і 32 А · год;
- для пуску головного двигуна й дизель-генератор передбачено 4 пари герметичних АКБ, що не обслуговуються, загальною ємністю 800 А · год. Стартерні АКБ забезпечують по 3 пуску кожного двигуна

Заряд стартерних акумуляторних батарей здійснюється навішеними на дизелі генераторами, також можлива підзарядка від статичного перетворювача [1 - 3].

1.4.3 Розподільні щити

Головний розподільний щит. Головний розподільний щит (ГРЩ) розміщається у машинному відділенні [1 - 3].

ГРЩ виконаний за ступенем захисту IP22, прислонного типу, з обслуговуванням тільки з лицьової сторони. ГРЩ складається із секцій керування, генераторних, розподільних 380В/230В, секцій з пусками.

Схемою головного розподільного щита передбачається [1 - 3]:

- підключення двох допоміжних генераторів;
- тривалу одиночну роботу будь-якого допоміжного дизель-генератора (ДДГ) на шини ГРЩ;
- тривалу паралельну роботу ДДГ на шини ГРЩ;
- ручну точну синхронізацію ДДГ за допомогою синхроскопа із секції синхронізації;

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		21

- вибір режиму керування автоматичними вимикачами ДДГ «Ручний
- Автоматичний»;
- короткочасну, на час перекладу навантаження, паралельну роботу допоміжних ДГ і берегового джерела;
- приймання електроенергії з берега 63 А. Зміна чергування фаз автоматично/вручну у фідері живлення з берега на відповідній секції;
- розподіл електроенергії напругою 380В і 220В;
- живлення механізмів із групових панелей пускачів. Ланцюги керування пускачів забезпечують підключення дистанційних ланцюгів керування й сигналізації;
- захист генераторів, що й відходять фідерів;
- контроль і вимір параметрів електроенергії;
- сигналізацію світлову й звукову аварійно-попереджувальну (АПС);
- вимірювання величини й автоматичний контроль опору ізоляції на збірних шинах ГРЩ 400 В.

ГРЩ забезпечує функції автоматичного керування електростанції [1 - 3]:

- видача сигналу на запуск резервного ДДГ:
- по знеструмленню ГРЩ;
- по перевантаженню генератора;
- по несправності дизель-генератора;
- по спрацьовуванню захистів по приводному дизелю.
- автоматичну синхронізацію допоміжного ДГ
- автоматичне підключення резервного допоміжного ДГ на шини ГРЩ.
- автоматичний розподіл навантажень між паралельно працюючими допоміжними ДГ

ГРЩ забезпечує блокування, яке забороняє включення вимикачів генераторів і фідера живлення з берега із власних секцій при наявності напруги на головних шинах [1 - 3].

ГРЩ забезпечує захист [1 - 3]:

- а) генераторів з відключенням генераторного вимикача;

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		22

- від струмів короткого замикання (з витримкою часу);
- від мінімальної напруги;
- від зворотної активної потужності ($8...15 \% P_{нг}$, витримка часу 5 с);
- від перевантаження повним струмом ($1.1 I_{нг}$) з регульованою витримкою часу 20...120 с.

б) фідерів [1 - 3]:

- від струмів короткого замикання;
- від перевантаження для фідерів-споживачів, що не мають власного захисту від перевантаження;
- від обриву фази й мінімальної напруги фідера живлення з берега;
- нульову для фідерів групових панелей пускачів (здійснюється схемою керування пускачів);
- від перевантаження (по активному струму) генераторів відключенням другорядних споживачів однієї чергою ($1,05 I_n$, витримка часу 10 с);
- пристрою захисного відключення в ланцюгах живлення розеток, призначених для живлення переносного встаткування й у ланцюгах живлення каютних розеток, а також розеток у суспільних і інших приміщеннях з напругою вище безпечного (50 В);

ГРЩ забезпечує дистанційне відключення [1 - 3]:

- при пожежі в машинному відділенні фідерів живлення вентиляторів, сепаратора, паливного насоса, котла;
- по сигналу з навігаційного рубання фідерів системи загальносуднової вентиляції;
- автоматичне відключення при перевантаженні дизель-генератора фідерів камбузного щита, електрогрілок, системи кондиціонування.

Аварійний розподільний щит розміщується в ніші АРЩ на верхній палубі [1 - 3].

Аварійний розподільний щит виконаний зі ступенем захисту IP22, підвісного типу, з обслуговуванням тільки з лицьової сторони. АРЩ із

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		23

установленими на ньому електроапаратами й пристроями повинен забезпечувати наступне [1 - 3]:

- приймання електроенергії від ГРЩ через зарядний випрямляч $\sim 220/28$ В;
- розподіл електроенергії постійного струму напругою 24 В по фідерах, що відходять;
- заряд у буферному режимі двох груп акумуляторних батарей; кожна група складається із двох батарей, з'єднаних послідовно, загальною ємністю 200 А·год, 24 В;
- живлення споживачів АРЩ в аварійному режимі від акумуляторних батарей;
- захист фідерів і акумуляторних батарей згідно з вимогами РМРС;
- вимірювання напруги на шинах АРЩ, зарядно-розрядного струму акумуляторів, напруги акумуляторних батарей, опору ізоляції на шинах АРЩ,
- видачу в систему АПС контактами, що розмикаються, сигнал про розряд акумуляторних батарей, про низький опір ізоляції на шинах АРЩ;
- світлову сигналізацію:
- про перехід на живлення від акумуляторних батарей.

Розподільні щити із установленими на них електроапаратами й пристроями забезпечують розподіл електроенергії й захист споживачів відповідно до Правил РС [1 - 3].

Для приймання електроенергії з берега встановлюється розетка живлення з берега, на струм 63 А і передбачається п'ятижильний сполучний кабель довжиною 50 м [1 - 3].

Для видачі електроенергії з буксира на зовнішнього споживача встановлена розетка, на струм 63 А и передбачений п'ятижильний сполучний кабель довжиною 50 м. Потужність зовнішнього споживача не повинна перевищувати 5 кВт рухового навантаження, допускається статичне навантаження потужністю 15 кВт, при цьому на буксирі необхідно відключити споживачів, що не беруть участь у життєзабезпеченні судна [1 - 3].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						24
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Для відключення споживачів МВ при пожежі використовуються пристрої дистанційного відключення, встановлені на виході з МВ [1 - 3].

Для підключення стартерних акумуляторних батарей, стартерів головних двигунів і дизель-генераторів, зарядного випрямляча передбачений щит зарядно-розрядний [1 - 3].

1.5 Суднові пристрої

Кермовий пристрій. Керованість буксира на передньому й задньому ходах здійснюється двома гвинто-кермовими поворотними колонками Rolls-Royce US 205 FP, що забезпечують зміни напрямку упору в межах 0...360 ° [1].

Буксирний пристрій. Для забезпечення буксирувальних операцій на судні встановлюються: носова якірно-буксирна лебідка зі швартовними блоками, буксирний гак, носовий буксирний клюз, носовий бітенг, кормова тумба під гак, бортові упори. Живлення лебідки забезпечується гідравлічними насосами, начепленими на головні двигуни [1 - 3].

Буксирний гак. Для кріплення буксирного каната, що подається на буксир, передбачається одинарний буксирний гак номінальним тяговим зусиллям 650 кН (SWL) і граничним зусиллям 1300 кН із механічною системою дистанційної віддачі каната. Віддача каната здійснюється з навігаційного відділення й з місцевого поста, що використовується для буксирному гака [1 - 3].

Якірний пристрій. Підйом і віддача станових якорів здійснюється якірними зірочками якірно-буксирної лебідки з гідравлічним приводом, що встановлена на верхній палубі. Керування кулачковими муфтами й гальмами ланцюгових зірочок – ручне [1 - 3].

Судно забезпечується двома становими утримуючими якорями типу АС-14 підвищеного зусилля, масою по 315 кг кожний [1 - 3].

Швартовний пристрій. Для виконання швартовних операцій передбачаються чотири поліпропіленові швартовні канати довжиною по 50 м.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		25

Діаметр канатів 32 мм, розривне зусилля - не менш 132 кН (рис. 1.5) [1 - 3].

Для швартування судна передбачаються два хрестоподібні кнехти, інтегровані у фальшборт у носовій частині судна й два кнехти на кормі.

Для роботи зі швартовними канатами на кормовій буксирній тумбі встановлюється реверсивний двошвидкісний електричний шпиль із місцевим постом керування [1 - 3].



Рисунок 1.5 - Швартовний пристрій буксира «ANTARES»

Система гідравліки. На судні передбачається централізована гідравлічна система приводів палубних механізмів [1 - 3]:

- носової якірно-буксирної лебідки;
- буксирного гака.

До складу системи гідравліки входять [1 - 3]:

– 2 гідравлічних насоса, начеплених на головні двигуни, продуктивністю по 127 л/хв при 1600 хв⁻¹. Номінальний тиск насосів 25,0 МПа, потужність 86 кВт. Гідравлічний блок, ємністю 1000 л, із системою контролю й сигналізації. Трубопроводи виконуються із вуглецевої сталі. З'єднання трубопроводів виконано у вигляді - штуцерні з урізаними кільцями. З'єднання трубопроводів із трубами великого діаметра виконано у вигляді - приварні фланцеві [1 - 3].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА

2.1 Особливості призначення системи водяного охолодження

За допомогою системи охолодження суднових дизелів забезпечується відведення теплоти від різних механізмів, пристроїв, приладів і робочих середовищ в теплообмінних апаратах, а також для підтримки допустимих температур, визначених властивостями матеріалів, термостабільністю масла і оптимальними умовами протікання робочого процесу. Залежно від конструкції двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) кількість тепла, що відводиться в охолоджуючу рідину, становить орієнтовно 15...35% тепла, що виділяється при згорянні палива в циліндрах. В якості охолоджуючої рідини використовується прісна і забортна вода [4 - 5].

Для суднових дизелів використовуються такі основні системи охолодження: проточна і замкнута [4 - 5].

При *проточній системі охолодження* двигуна здійснюється забортною водою, яка прокачується насосом. Система забортної води включає такі основні елементи: кінгстоні ящики з кінгстонами, фільтри, насоси, трубопроводи, арматуру та прилади управління, сигналізації та контролю. У відповідності до Правил Регістру система повинна мати один донний і один або два бортових кінгстона. Система забортної води може мати два насоси, один з яких є резервним одночасно для прісної і забортної води. Аварійне охолодження двигунів може здійснюватися від насосів холодильної установки або пожежної системи судна. Система охолодження має принципове значення для тривалої та стійкої роботи двигуна. Вихід з ладу системи охолодження або відсутність належного догляду за нею часто призводять до поломок двигунів. Необхідно мати на увазі, що, якщо система охолодження встановлена фірмою-

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						27
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

виробником двигуна як його частина, то не слід вносити в неї зміни, так як розміри і тепловіддача системи підібрані з урахуванням тепловиділення основних вузлів даного двигуна. Непродумані зміни можуть лише погіршити тепловий стан системи і привести до небезпечних пошкоджень вузлів та деталей двигуна. У суднових двигунах від 8 до 25% тепла, що виділяється при згорянні палива, передається до стінок циліндро-поршневої групи, в корпус турбонагнітача тощо і щоб уникнути їх локального перегріву - їх необхідно охолоджувати. До числа втрат тепла необхідно також віднести втрати на тертя, перетворені в тепло, що йде на нагрівання циркуляційного масла, яке теж охолоджується. До завдань систем охолодження входить також відведення тепла від наддувочного повітря, яке нагрівається при стискуванні в турбонагнітачі. Відведення тепла в системах охолодження здійснюється включаючи: систему охолодження прісною водою циліндрових втулок, кришок і турбонагнітачів дизелів; систему охолодження прісною водою або маслом головок поршнів; систему охолодження забортною водою робочих речовин, циркулюючих в системах дизелів; систему охолодження наддувочного повітря [4 - 5].

Забортною водою охолоджують холодильники (теплообмінні апарати) прісної води двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), масло охолоджувачі циркуляційних систем змащення редукторів, ДВЗ, компресори, підшипники лінії валу і інші елементи суднової енергетичної установки (СЕУ). Система охолодження забортної водою може бути використана для аварійного осушення машинного відділення, а також для подачі забортної води до споживачів, що не відносяться до СЕУ. Згідно з вимогами Регістру кожне машинне відділення повинно мати не менше двох кінгстонів ящиків циркуляційної або охолоджуючої води, що забезпечують прийом забортної води в будь-яких умовах експлуатації. Працездатність системи повинна бути забезпечена при тривалому крені до 15° і диференті до 5° . Відливні забортні отвори розміщуються на днищі або на борту, як правило, не менше 300 мм нижче ватерлінії. Розрахункова температура забортної води для суден

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		28

необмеженого району плавання становить 32°C [4 - 5].

У дизельних установках застосовуються *двоконтурні системи охолодження прісною та забортною водою*. Відведення теплоти від вузлів головних та допоміжних двигунів проводиться безперервно циркулюючою в системі прісною водою, яка охолоджується забортною водою у водо-водяному холодильнику (теплообмінному апараті). Режим охолодження двигуна визначається різницею температур прісної води на вході в двигун і на виході з нього. Щоб уникнути підвищених термічних напружень у втулці і кришці циліндра і інших деталях двигуна рекомендується такий режим охолодження, при якому поступаюча в двигун вода має температуру не нижче 55°C, що виключає охолодження двигунів безпосередньо забортною водою через інтенсивного соляного відкладення. Також, режим охолодження і підтримання встановленої температури двигуна впливає на ефективність його роботи. З підвищенням температури охолоджуючої води індикаторний ККД двигуна падає, що пояснюється зменшенням коефіцієнта наповнення, періоду затримки запалення і швидкості наростання тиску. Разом з тим завдяки зниженню в'язкості масла зменшуються втрати на тертя (механічний ККД зростає) і знос деталей двигуна. В результаті при зміні температури води від 50 до 150 °C спостерігається незначне збільшення ефективного ККД дизеля. Температурний рівень охолодження впливає на кількість і характер виникнення нагару, випадання осаду і окислення масла. Незважаючи на ряд позитивних факторів найближчим часом навряд чи можна очікувати застосування високотемпературного охолодження суднових дизелів, оскільки це помітно ускладнило б як сам двигун, так і систему охолодження, і зажадало б забезпечення належної надійності при експлуатації. Виходячи з цих міркувань, температура води на виході з двигуна обмежується: в головних мало обертових двигунах не більше 60...70° C, а в головних (дизель генераторах) середньо і високо обертових 75...85° C. Значна кількість теплоти відводиться водою при охолодженні наддувочного повітря в останніх моделях двигунів воно досягає 14% виділеної при згорянні палива. Теплота в ДВЗ

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		29

відводиться і в системі мащення (до 4%), а також передається паливом при охолодженні форсунок. В результаті вдосконалення двигунів відбувається перерозподіл потоків енергії: знижується частка теплоти з охолоджувальною прісною водою і зростає при охолодженні наддувочного повітря [4 - 5].

Особливості системи охолодження буксиру «ANTARES» показані на схемі системи охолодження на рис. 2.1 [1 - 3].

2.2 Аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини двигунів внутрішнього згорання при використанні засобів ресурсозбереження

Регулювання теплового стану двигуна позитивно впливає на паливну економічність та моторесурс. Воно може здійснюватись: зміною витрати потоку рідини в системі охолодження двигуна або потоку повітря, використанням: термостатів, систем з термостатами та можливістю відключення вентилятора, систем регулювання вентилятора, теплового акумулчтоа (ТА) в системі охолодження і мащення двигуна, багатосекційних одно- і різнотемпературних ТА в системах охолодження і мащення, теплової енергії системи охолодження і відпрацьованих газів (ВГ), утилізації теплової енергії ВГ в ТА, сторонніх джерел енергії тощо [6 - 8].

Для регулювання температури використовуються термостати, що відключають радіатор від системи охолодження при пуску і низьких навантаженнях, а також пристрої, що відключають вентилятор, при тих же умовах. Системи відключення вентилятора особливо ефективні на тих двигунах, де відсутні термостати, тому що дозволяють прискорити прогрівання двигуна і, одночасно, зменшити витрату палива на привід вентилятора [6 - 8]. Так, наприклад, при дослідженні впливу продуктивності вентилятора на швидкість прогріву двигуна 4Ч12/14 [6 - 8] було встановлено, що підвищення температури води в системі охолодження з 20 °С до 80 °С відбувається за 44,6 хв. при серійному приводі вентилятора, а при його

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		30

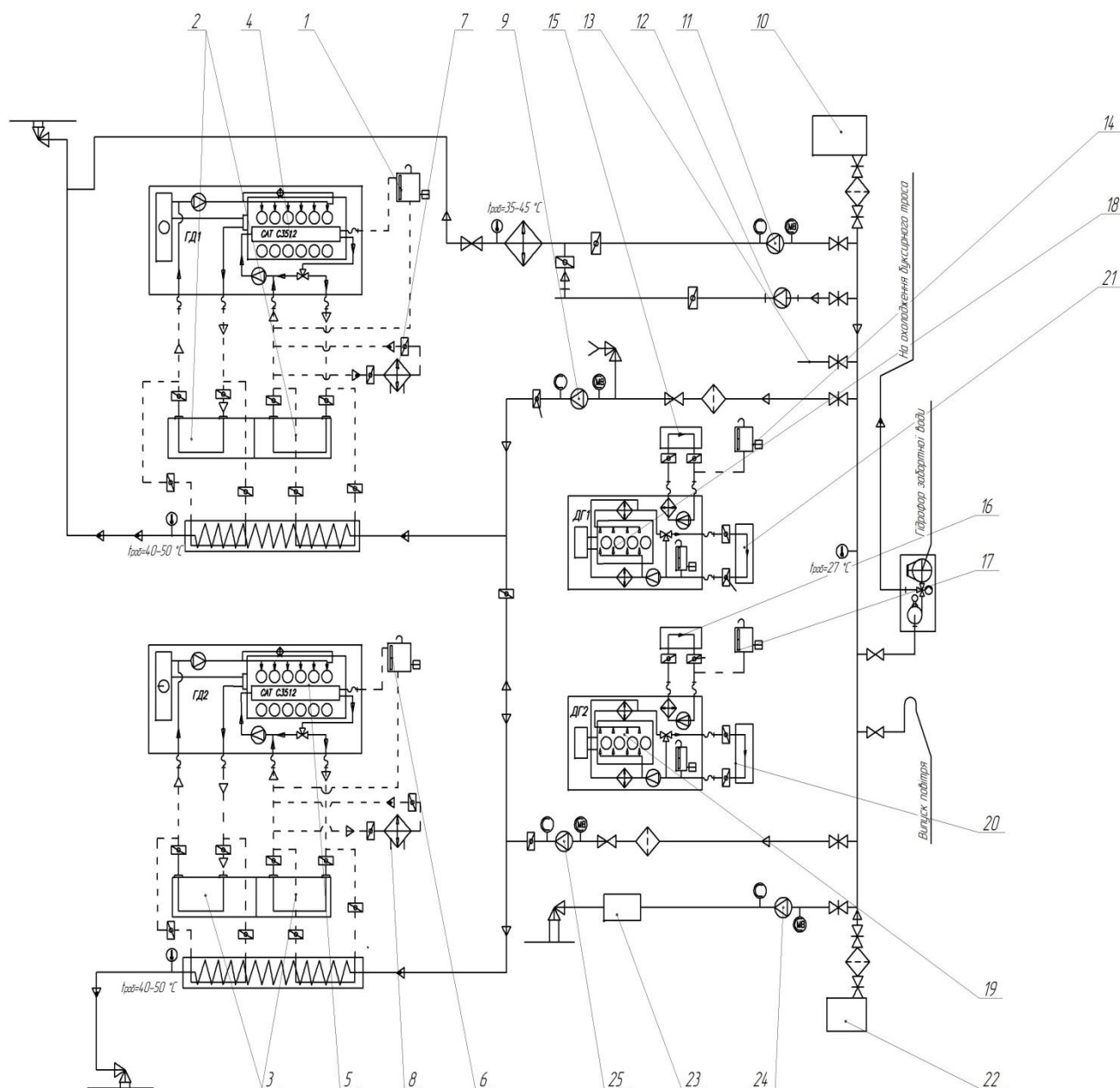


Рисунок 2.1 – Схема системи охолодження двигунів буксира «ANTARES»: 1, 6 – розширювальна цистерна ГД1 і ГД2; 2 – боксулери ГД1; 3 - боксулери ГД2; 4 – ГД1; 5 – ГД2; 7 – охолоджувач відсічного палива ГД1; 8 – охолоджувач відсічного палива ГД2; 9 – насос охолодження ГД1; 10 – бортовий кінгстон ний ящик; 11 – насос охолодження масла гідравліки; 12 – осушувально-баластний насос; 13 – система водо пожежна; 14 – розширювальна цистерна; 15 – боксулер – 1ДГ1; 16 – боксулер 1ГД2; 17 – розширювальна цистерна ДГ2; 18 – ДГ1; 19 – ДГ2; 20 – боксулер 2ДГ2; 21 – боксулер 2ДГ1; 22 – донний кінгстонний ящик; 23 – насос забора води; 24 – насос охолодження ГД2

відключенні в шість разів швидше. У зв'язку з цим витрата палива на прогрів двигуна складала з серійною системою охолодження 3,56 кг, а з відключеним вентилятором 0,567 кг. В іншій роботі [6 - 8] встановлено, що при серійній системі охолодження потрібно 15 хв. для підвищення температури блоку з 14 °С до 37 °С, а з відключеним вентилятором підвищення температури з 17 °С до 76 °С було досягнуто за 5 хв [6 - 8].

Як правило, системи пуску двигунів у складі додаткових елементів і обладнання, складні за конструкцією і великі за габаритами. Для зменшення масогабаритних параметрів системи пуску двигуна, спрощення її конструкції, а також усунення ефекту затримання попадання розігрітої оливи в систему мащення двигуна при його пуску, розроблюються спеціальні системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ [6 - 8]. На рис. 2.2 показана принципова схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ 1, що включає тепловий акумулятор 2, пов'язаний із оболонкою охолодження двигуна, гідротеплоакумулятор 3, з'єднаний з системою мащення двигуна, блок керування 4, що здійснює керування роботою електромагнітних клапанів 5, 6, 7, 8. Електромагнітні клапани 5 і 8 встановлені на входних патрубках гідротеплоакумулятора 3 і теплового акумулятора 2, а 6 і 7 - на їхніх вихідних патрубках відповідно. Тепловий акумулятор 2 приєднується в нижній точці оболонки охолодження блоку картера двигуна 1 з його правого або лівого боків [6 - 8].

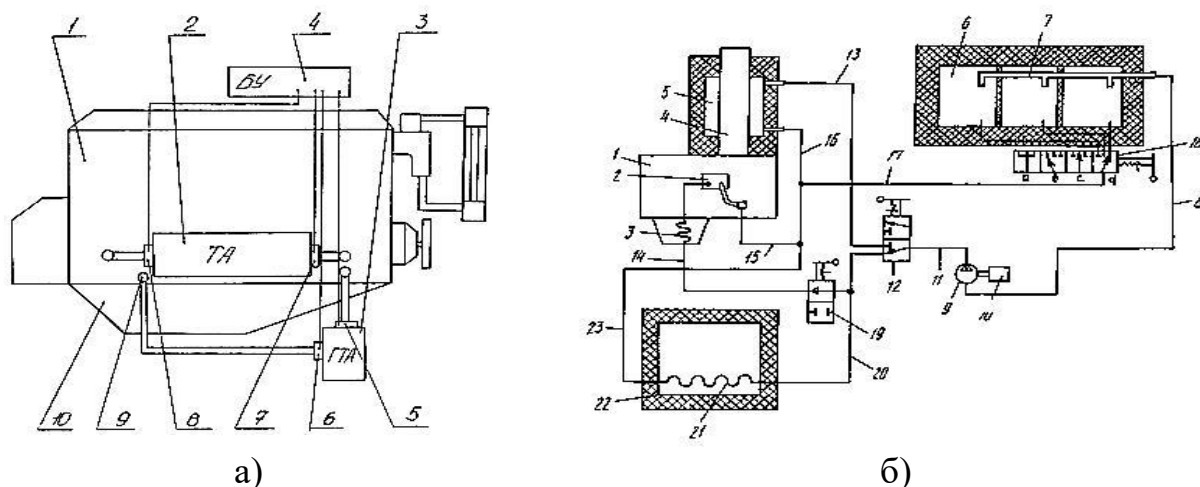


Рисунок 2.2 – Схема систем регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ (а) і пристрою передпускового прогріву (б)

Тепловий акумулятор (ТА) може однозначно застосовуватись, як перспективний індивідуальний накопичувач теплової енергії, що призначений для передпускової теплової підготовки двигуна як енергетичної, так і транспортної машини, опалювання її кабіни й обігріву агрегатів трансмісії при непрацюючому ДВЗ. Таке відношенню до ТА стало можливим завдяки тому, що по-перше, існує досить велика кількість різних апробованих і перспективних технічних рішень у цьому напрямку, по-друге, в останні роки з'явилась багато різноманітних нових типів і конструкцій ТА, а по-третє, ТА випускаються невеликими партіями вітчизняними й закордонними підприємствами.

Теплове акумулювання – це фізичні і хімічні процеси, за допомогою яких відбувається накопичення теплоти в тепловому акумуляторі енергії. Можливість акумулювання теплової енергії заснована на використанні фізичного або хімічного процесу, пов'язаного з поглинанням і виділенням теплоти. До основних процесів відносяться накопичення-видалення внутрішньої енергії при нагріванні-охолодженні твердих або рідких тіл, фазові переходи з поглинанням-видаленням прихованої теплоти, процес сорбції-десорбції або оборотна хімічна реакція, що протікає з виділенням-поглинанням теплоти (теплової енергії) [6 - 8]. Зазначені процеси реалізуються у спеціальних пристроях – теплових акумуляторах [6 - 8]. Речовини, що використовуються для накопичення теплової енергії, називаються теплоакумуючими матеріалами (ТАМ). За типом процесу в ТА розрізняють [6-8]: теплове акумулювання енергії твердими і рідкими тілами за рахунок зміни температури речовини - теплоємкісна акумуляція; теплове акумулювання енергії за допомогою використання теплоти фазового переходу; термохімічне акумулювання теплової енергії.

Підведення моторної оливи до гідротеплоаккумулятора 3 здійснюється з головної магістралі двигуна, а відвід через перехідник 9 у піддон 10. Патрубки, що з'єднують тепловий акумулятор 2 і гідротеплоаккумулятор 3 з відповідними системами двигуна, теплоізовані і мають мінімальні розміри.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		33

Під час роботи двигуна охолоджуюча рідина, що нагріта до температури 80...90 °С, прокачується через тепловий акумулятор 2, при цьому віддає йому частину теплової енергії, повертається в оболонку охолодження. Паралельно з цим через гідротеплоакумулятор 3 під тиском 0,1...0,3 МПа прокачується розігріта до температури 70...80 °С моторна олива. Гідротеплоакумулятор 3 здійснює акумуляування частини теплової енергії моторної оливи, розігрітої під час роботи двигуна, та необхідного об'єму оливи під робочим тиском. Крім цього, на двигуні, що працює в різних режимах, має місце падіння тиску оливи в головній магістралі, що призводить до пульсації подавання оливи до поверхонь тертя двигуна. Гідротеплоакумулятор 3, заряджений оливою під робочим тиском, забезпечує згладжування цих пульсацій за рахунок примусової подачі оливи в головну магістраль. Час теплової зарядки теплового акумулятора 2 і гідротеплоакумулятора 3 залежить від режиму роботи двигуна і становить у середньому до 0,5...1,0 години при температурі навколишнього повітря до мінус 40 °С [6 - 8].

При зупинці двигуна 1 по команді із блоку керування 4 закриваються електромагнітні клапани 5, 6, 7, 8, що дозволяє створити запас моторної оливи під тиском 0,2...0,3 МПа в гідротеплоакумуляторі 3 і уникнути термосифонної циркуляції охолоджуючої рідини і моторної оливи за відповідними системами ДВЗ за час стоянки. Час допустимого зберігання теплового акумулятора 2 і гідротеплоакумулятора 3 між пусками двигуна залежить від прийнятого способу теплоізоляції і може становити від 24 годин до 4...6 діб. За 15...20 хвилин до пуску двигуна через блок керування 4 відкриваються електромагнітні клапани 7 і 8, що дозволяє створити умови початку термосифонної циркуляції рідини в напрямку оболонки охолодження двигуна. До кінця зазначеного терміну прогріву, коли середня температура елементів двигуна, що розігріваються, дорівнює 20...30 °С, закриваються електромагнітні клапани 7 і відкривається електромагнітний клапан 5, і в систему мащення під тиском надходить розігріта моторна олива. Через 10...15 секунд виконується пуск підготовленого (тобто попередньо прогрітого)

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		34

двигуна. Після того, як двигун вийде на робочий температурний режим, відкриваються електромагнітні клапани 5, 6, 7, 8, що забезпечує зарядку тепловою енергією теплового акумулятора 2 і гідротеплоакумулятора 3, що необхідно для виконання чергового передпускового розігріву двигуна [6 - 8].

Для створення простого і надійного пристрою передпускового прогріву приводу на основі акумуляування теплової енергії ВГ двигуна запропонована [6 - 8] схема (див. рис. 2.2 а) з трисекційним теплоакумулятором теплоємкісного типу. Графік відведення теплоти від теплоакумулятора показано на рис. 2.2 б. Схема (рис. 2.2 а) [6 - 8] містить дизель 1 із системою охолодження 2 і теплообмінником 3, розміщеним у піддоні картера. Випускна труба 4 дизеля оснащена теплообмінним апаратом 5. Теплоізований трисекційний теплоакумулятор 6 має вихідний патрубок 7 з всмоктувальними відводами з кожної секції теплоакумулятора. З всмоктувальним патрубком 8 з'єднаний насос 9, що працює від електродвигуна 10. Його патрубок 11 через триходовий розподільник 12 патрубку 13 підключений до теплообмінного апарата 5, а патрубком 14 - до теплообмінника 3 у картері двигуна і далі до системи 2 охолодження. Зливальні патрубки 15 і 16 системи охолодження 2 двигуна з'єднані з теплообмінним апаратом 5 та вхідним патрубком 17 і приєднані до багатопозиційного крана 18, встановленого на вході в теплоакумулятор 6. Від крана 18 відведені окремі патрубки до кожної із трьох секцій теплоакумулятора. У патрубку 14 може бути встановлений двоходовий кран 19, а перед ним відгалуження в патрубок 20, що відводиться до теплообмінника 21, який встановлений в гідробаку 22 гідросистеми ґрунторійно-будівельної машини. Патрубком 23 він з'єднується із вхідним патрубком 17 теплоакумулятора [6 - 8].

Система передпускового прогріву приводу ґрунторійно-будівельної машини працює в наступних режимах: зарядка теплоакумулятора, зберігання теплової енергії і передпусковий прогрів (розрядка). У період зарядки, коли ґрунторійно-будівельна машина працює і через випускную трубу 4 двигуна виділяється тепла енергія, включається додатковий насос 9 і через патрубки

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						35
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

13, 16 прокачується теплоносієм (антифриз), який нагрівається в теплообмінному апараті 5. Далі нагрітий теплоносієм через патрубок 17 і через кран 18 (позиція *a*), надходить одночасно в три секції теплоаккумулятора 6, з яких закачується насосом 9 через патрубок 8. Після завершення процесу нагрівання антифриз зливається з апарата 5 і настає період зберігання теплової енергії в теплоаккумуляторі 6. [6 - 8]

При розрядці теплоаккумулятора 6 у період передпускового прогріву приводу ТЗ кран 18 перемикається в позицію *b*, розподільник 12 також перемикається, з'єднуючи патрубки 11 і 14. Включається насос 9 і теплоносієм циркулює за наступним контуром: насос 9, розподільник 12, патрубок 14, теплообмінник 3 картера, система охолодження 2 двигуна, патрубки 15, 17, кран 18 у позиції *b*, ліва секція теплоаккумулятора 6, всмоктуючий патрубок 7 і патрубок 8. При цьому дві секції теплоаккумулятора, що залишилися, не розряджаються, у них залишається гарячий теплоносієм, тому що в позиції *b* патрубки до цих секцій перекриті. Теплова енергія теплоносія передається двигуну. Він нагрівається, а антифриз охолоджується. У першій секції йде глибоке охолодження антифризу, наприклад від 110 до 0 °С. Потім підключається друга (середня) секція теплоаккумулятора 6. Для цього переводять кран 18 у позицію *c*. Іде другий етап прогріву двигуна. Антифриз у другій секції охолоджується від 110 до 23 °С, при цьому нагріваючи до вказаної температури двигун. Далі при підключенні третьої секції теплоаккумулятора (позиція *d*) антифриз охолоджується від 110 до 63 °С [6 - 8].

Таким чином, при почерговому підключенні до пристрою передпускового прогріву кожної із секцій теплоаккумулятора, відбувається в усіх з них, крім останньої, більш глибоке охолодження антифризу, що в остаточному підсумку призводить до знімання з теплового акумулятора більшої енергії, ніж в тому випадку, якби він складався з однієї секції [6 - 8].

Відомі системи забезпечення автоматичного підтримання заданої температури в системах охолодження і мащення двигуна в міжзмінний період до чергового запуску, додаткового підігріву в період запуску, а також у

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		36

початковий період після запуску та у процесі основної роботи на неповних навантаженнях. На рис. 2.3 а показано схему системи підтримки оптимального теплового режиму двигуна внутрішнього згорання [6 - 8]. Використання схеми дозволяє знизити витрати енергії, продовжити період перебування двигуна в прогрітому стані в міжзмінний період, а також прискорити процес прогріву перед і після запуску з наступною підтримкою оптимальної температури при роботі на неповному навантаженні шляхом більш ефективного регулювання температури в системі охолодження і мащення за допомогою термоклапанів разом з насосами для прокачування рідини через відповідні теплообмінники.

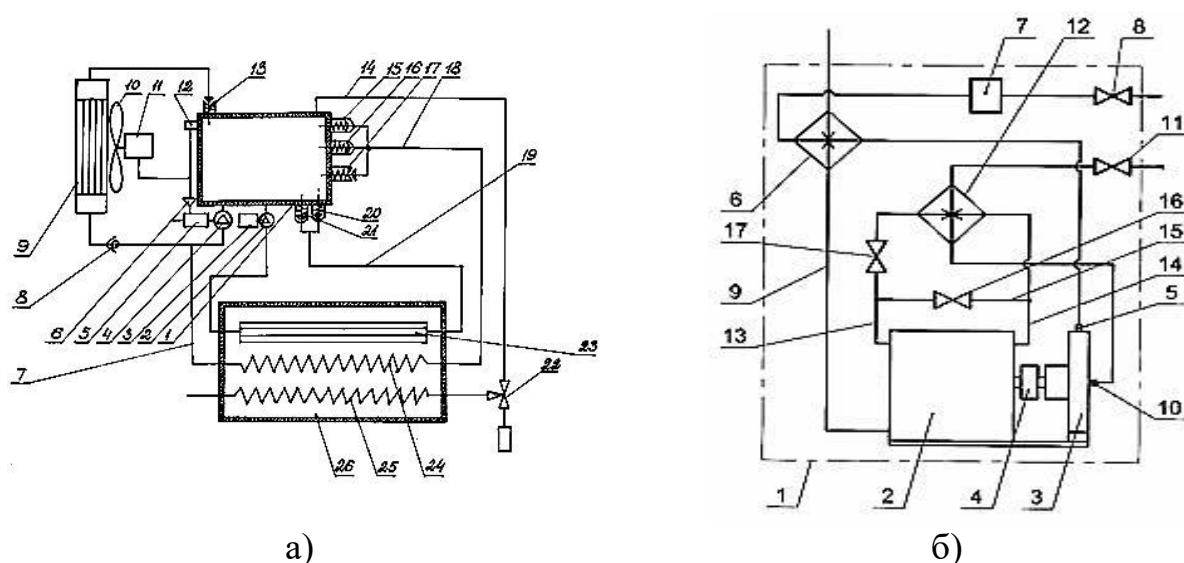


Рисунок 2.3 - Схеми систем підтримки оптимального теплового режиму двигуна внутрішнього згорання (а) і регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ за рахунок утилізації його теплової енергії, як джерела енергозабезпечення (б)

Система містить контур циркуляції охолоджуючої рідини, що включає оболонку охолодження двигуна 1, циркуляційний насос 4 з приводом 5, радіатор 9, датчик 12 температури охолоджуючої рідини, встановлений на виході з системи охолодження двигуна, вентилятор 10 обдуву радіатора із приводом 11, аналоговий блок 6, акумулятор теплоти 26 з теплоакумуючою речовиною і каналами 23, 24 і 25 відповідно для проходу оливи із системи мащення двигуна, охолоджуючої рідини та відпрацьованих газів [6 - 8].

Канали 24 для проходу охолоджуючої рідини сполучені за допомогою першого трубопроводу 7, у якому встановлений зворотний клапан 8 і циркуляційний насос 4 з приводом 5, радіатором і з оболонкою охолодження двигуна, у двох місцях: через термоклаван 13 і насос 4, а за допомогою другого трубопроводу 18, у якому встановлено три термоклавани 15, 16 і 17, що відповідно закриваються при температурах 70, 24 і 85 °С, сполучені з оболонкою охолодження двигуна [6 - 8].

Канали 25 для проходу відпрацьованих газів сполучені з випускною магістраллю 14 двигуна через газовий розподільник 22. Приводи 5 і 11 циркуляційного насоса 4 і вентилятора 10 відповідно виконані керованими і підключені через аналоговий блок 6 до датчика 12 температури охолоджуючої рідини. Теплоаккумулятор 26 оснащений теплообмінником 23, з'єднаним із двигуном з одного боку - через два термоклавани 20 і 21 і трубопровід 19, а з іншого боку через насос 3 із приводом 2, що включаються в момент відкриття одного із двох клапанів для підтримки номінальної температури в міжзмінний період і оптимальної - у прогріві після запуску і у процесі роботи на мінімальному навантаженні. При цьому термоклавани 20 і 15 функціонують тільки при працюючому двигуні, а на період стоянки відключаються [6 - 8].

Система працює наступним чином: при запуску двигуна з температурою охолоджуючої рідини 20 – 25 °С після міжзмінної стоянки, включаються в роботу термоклавани 20 і 15, одночасно автоматично включаючи приводи 2 і 5 насосів 3 і 4, відповідно, для прискорення процесу прогріву системи охолодження і мащення до номінальної температури з наступною підтримкою її на цьому рівні в процесі роботи на знижених навантаженнях теплотою з теплоаккумулятора. Основним джерелом теплової енергії для теплоаккумулятора є відпрацьовані гази [6 - 8].

При нагріванні охолоджуючої рідини до +70 °С термоклаван 15 закривається і двигун починає працювати на підвищення власної температури до +85 °С. При нагріванні до +85 °С термоклаван 17 відкривається, включаючи при цьому привід 5 насоса 4, охолоджуюча рідина прокачується за

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		38

контуром циркуляції і у каналах 24 віддає теплову енергію акумулятору теплової енергії 26, за рахунок чого сама охолоджується. При цьому термодіапан 13 закритий і привод 11 вентилятора 10 виключений. Завдяки значній теплоємності акумулятора теплоти 26, двигун може працювати кілька годин з виключеним вентилятором 10 [6 - 8].

Під час зарядки акумулятора теплоти 26 і розплавлення всієї теплоакумуляуючої речовини, температура охолоджуючої рідини у двигуні збільшується до $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому термодіапан 13 відкривається і за сигналом датчика 12 включається привод 11 вентилятора 10, внаслідок чого температура охолоджуючої рідини, що проходить через радіатор 9, знижується до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відповідно термодіапан 13 закривається, а вентилятор 10 вимикається. При зупинці двигуна автоматично відключаються клапани 15 і 20 і теплота, накопичена в теплоакумуляторі 26 шляхом спрацьовування термодіапана 16 при одночасному замиканні контактів включення приводу 5 насоса 4, підтримує температуру двигуна у межах $20 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом міжзмінного часу і забезпечує при цьому ефективний запуск його після міжзмінного простою. Надходженню теплоти в радіатор 9 у цьому випадку запобігає зворотний клапан [6 - 8].

Більш повне використання теплоти, що надходить від двигуна, забезпечується шляхом подачі відпрацьованих газів у канали 25 за допомогою газового розподільника 22, внаслідок чого прискорюється зарядка і постійне поповнення теплотою теплоакумулятора 26. Накопичена теплота аналогічним чином використовується і для підтримання температури оливи в системі мащення двигуна: $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ у процесі його роботи за допомогою термодіапана 20 і насоса 3 у комплекті із приводом 2, а в міжзмінний період - на мінімальному рівні $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за допомогою термодіапана 21 і насоса 3 шляхом його прокачування через теплообмінник 24 [6 - 8]. Результат, що одержується при використанні системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ [6 - 8], яка полягає в підвищенні ефективності автономного джерела теплової енергії за рахунок утилізації теплової енергії системи охолодження

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		39

двигуна і збереження роботоздатності при будь-яких експлуатаційних режимах.

Особливості роботи і основні переваги теплообмінника-теплоутилизатора теплової енергії вихрового типу у вигляді вигнутих паралельних розрізних пластин детально описані в [6 - 8]. На рис. 2.3 б показана загальна схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ за рахунок утилізації його теплової енергії, як джерела енергозабезпечення.

Система складається з рухомої платформи 1 (показана умовно), на якій встановлений двигун внутрішнього згорання 2 і вихровий теплогенератор 3 роторного типу, вали яких зв'язані за допомогою муфти 4. Вихідний канал 5 для відводу рідини теплогенератора 3 через теплообмінник-теплоутилизатор 6, розширювальний резервуар 7 з'єднано з вихідним вентилям 8. Теплообмінник-теплоутилизатор 6 зв'язаний також із системою 9 відводу відпрацьованих газів двигуна 2. Між вхідним каналом 10 для підведення рідини в теплогенератор 3 і вхідним вентилям 11 додатково встановлено теплообмінник-теплоутилизатор 12 теплової енергії вихрового типу, пов'язаний з системою охолодження двигуна 2 патрубками подачі 13 і повернення 14 охолоджуючої рідини. Патрубки подачі 13 і повернення 14 перед додатковим теплообмінником-теплоутилизатором 12 з'єднані пропускним каналом 15, оснащеним вентилям 16. Патрубок подачі 13 після пропускного каналу 15 оснащено вентилям 17 [6 - 8].

Теплообмінник-теплоутилизатор 12 системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ виконаний у вигляді вигнутих паралельних розрізних пластин 18, жорстко закріплених на трубопроводі 19, пов'язаному з патрубками подачі 13 і повернення 14 охолоджуючої рідини, з утворенням за патрубком розрізу 20 отвору 21 трикутного перетину, розміщених усередині вертикального циліндричного резервуара 22, що герметично охоплює ділянку трубопроводу 19. Отвори трикутного перетину 21 у пластинах 18 розташовані в одній площині. Вхідний патрубок 23 подачі теплоносія в циліндричний

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						40
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

резервуар 22 розташовано у його верхній частині, а вихідний патрубок 24 - у нижній частині і розташування їх щодо циліндричної поверхні резервуара тангенціально або близько до нього. Вхідний патрубок 23 мережного теплоносія виконано у вигляді сопла [6 - 8].

Система функціонує наступним чином: після доставки автономного джерела енергозабезпечення і установки його на місце експлуатації, прямий і зворотний трубопроводи системи (на кресленнях не показані) необхідно підключити відповідно до вихідного вентиля 8 і вхідного вентиля 11. Після заповнення системи теплоспоживання теплогенератора 3 рідиною, необхідно запустити двигун 2. Обертання з валу двигуна 2 передається через муфту 4 на вал теплогенератора 3. Після запуску починається процес прокачування теплоносія через теплогенератор 3 і систему споживання теплової енергії. Через вихідний канал 5 теплогенератора 3 нагрітий теплоносій попадає в теплообмінник-теплоутилізатор 5, де відбувається його нагрівання високотемпературними відпрацьованими газами системи випуску 9. Далі нагрітий теплоносій через вихідний вентиль 8 попадає в систему теплоспоживання. Температура його знижується. Через вхідний вентиль 11 охолоджений теплоносій переміщується до додаткового теплообмінника-теплоутилізатора 12 вихрового типу системи охолодження 2 двигуна. Циркуляція охолоджуючої рідини в теплообміннику-теплоутилізаторі 12 відбувається за патрубками подачі 13 і повернення 14. Для забезпечення перерозподілу потоку охолоджуючої рідини, що протікає через теплообмінник 12, і досягнення необхідного теплового балансу двигуна, служать вентилі 16 і 17, що дозволяють утилізувати теплову енергію охолоджуючої рідини при різних режимах тепловіддачі в системі теплоспоживання. У теплообміннику-теплоутилізаторі 12 системи теплоносій з початку надходить у вхідний патрубок 23, виконаний у вигляді сопла і розташований щодо циліндричної поверхні резервуара 22 тангенціально або близько до нього. Тут потік здобуває первісне прискорення і закручується, через отвори 21 трикутного перетину, послідовно долаючи відстань до вихідного отвору 24. Обертовий

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						41
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

потік, підданий дії відцентрової сили і сили ваги, вступає в активну теплову взаємодію із трубопроводом 19 і з різними пластинами 18. При цьому відбувається активний процес як поверхневого теплообміну з вищевказаних поверхонь, так і міжшарова взаємодія різнотемпературних потоків, підданих до того ж концентрично розбіжному тепловому впливу від трубопроводу 19, що має найбільшу температуру. Даний вплив обумовлений наявністю обертючих областей рідини з різним рівнем тиску, що дозволяє підтримувати теплообмін на високому рівні. У результаті утилізації теплової енергії системи охолодження потік теплоносія надходить у вхідний канал 10 теплогенератора 3 з підвищеною температурою [6 - 8].

Таким чином, можливо підвищити швидкість прогріву ДВЗ і забезпечити надійний пуск ДВЗ навколишнього повітря і після тривалої стоянки в холодних кліматичних умовах [6 - 8].

На рис. 2.4 а [6 - 8] показана принципова схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ; на рис. 2.4 б [6 - 8] принципова схема теплового акумулятора фазового переходу.

Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ 1 містить у собі тепловий акумулятор фазового переходу 2 із заливною трубою 3, зливальним трубопроводом 4 і краниками 5, 6; теплоізований газовий трубопровід 7 із заслінкою 8; випускний трубопровід 9 із заслінкою 10; нагрівач оливи 11; розширювальний бак 12 з повітряним краном 13; трубопроводи підводу 14 і відводу 15, 16 теплоносія; запірні крани 17, 18 і спускний кран 19. Теплоізований газовий трубопровід 7 з'єднує вхідний газовий патрубок теплового акумулятора 2 з вихлопним трубопроводом 9. Нагрівач оливи 11 розташований у картері двигуна і являє собою виконаний з декількох трубок водомасляний теплообмінник, кількість і лінійні розміри яких розраховані на нагрівання оливи до температури 40 °С при температурі навколишнього середовища мінус 40 °С. Розширювальний бак 12 за

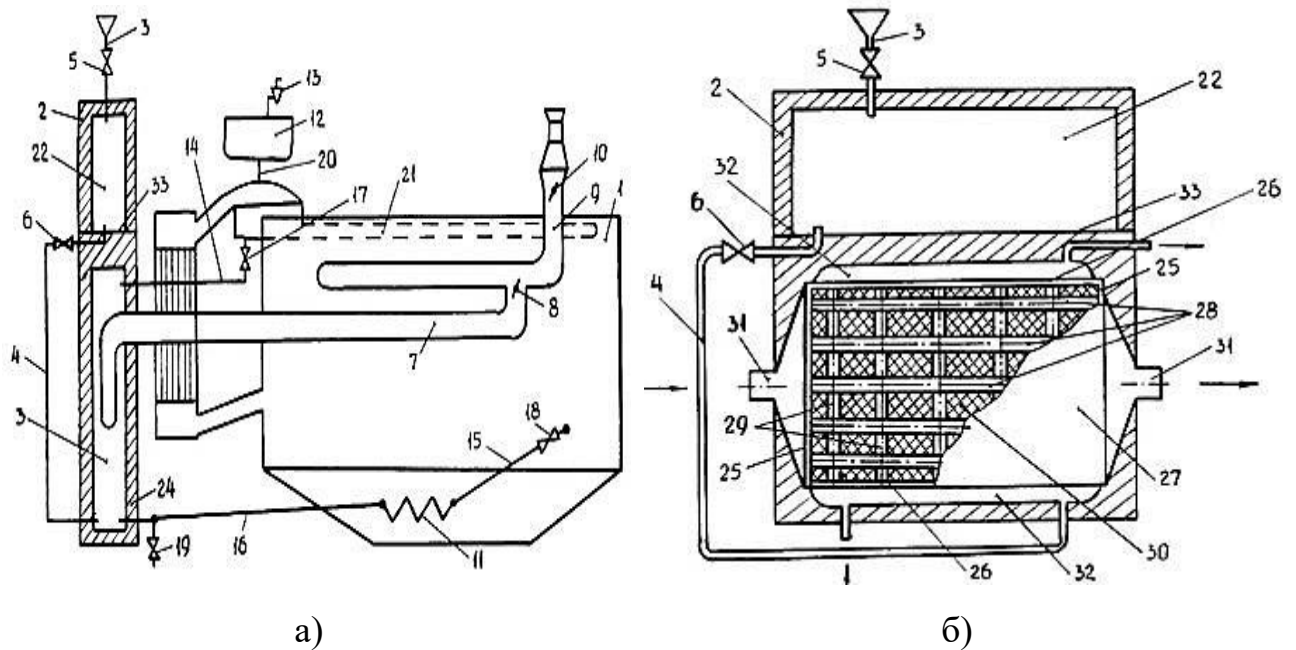


Рисунок 2.4 - Схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ (а) і принципова схема ТА фазового переходу (б) [6 - 8]

допомогою трубопроводу 20 пов'язаний з водовідвідною трубою 21 двигуна. Трубопровід підведення теплоносія 14 через запірний кран 17 з'єднує вихідний рідинний патрубок теплового акумулятора 2 з водовідвідною трубою 21 двигуна. Трубопровід відводу теплоносія 15 через запірний кран 18 зв'язує оболонку охолодження двигуна в районі нижньої частини останнього циліндра із входним патрубком нагрівача оливи 11, а трубопровід 16 через вихідний патрубок нагрівача оливи із входним рідинним патрубком теплового акумулятора 2. Спускний кран 19 змонтовано на трубопроводі 16 у самий нижній точці системи [6 - 8].

Тепловий акумулятор фазового переходу 2 складається з ємності 22 для міжзмінного зберігання води, теплоакумулюючого ядра 23 і теплової ізоляції 24, виконаної з мінеральної вати. Для забезпечення термосифонної циркуляції теплоносія тепловий акумулятор розташовується на машині таким чином, щоб його теплоакумулююче ядро перебувало не вище оболонки охолодження двигуна. Теплоакумулююче ядро 23 являє собою ємність форми паралелепіпеда, утвореного двома газовими трубними дошками 25 і двома рідинними трубними дошками 26, а також двома бічними пластинами 27,

привареними до них. Газовий теплообмінник теплового акумулятора утворено декількома рядами взаємно паралельних газових труб 28, кінці яких завальцьовані в отворах трубних дощок 25. Рідинні труби 29 перпендикулярні газовим трубам 28, розташовані між ними і аналогічно завальцьовані в отворах рідинних трубних дощок 26. Сукупність рідинних труб 29 утворює рідинний теплообмінник теплового акумулятора. Вільний об'єм між газовим і рідинним теплообмінником заповнений теплоакумулюючою речовиною 30, у якості якого застосовується бінарна сольова евтектична суміш нітратів літію і калію. Для підводу і відводу відпрацьованих газів до газових трубних дощок 25 за допомогою болтових з'єднань через мідноасбестові прокладки прикріплені газові кришки 31 з патрубками. Для підводу і відводу охолоджуючої рідини до рідинних трубних дощок 26 приварені рідинні бачки 32, що мають входні і вихідні патрубки. Ємність 22 для міжзмінного зберігання охолоджуючої рідини - води і теплоакумулююче ядро 23 розділені пластиною 33 і шаром теплоізоляції [6 - 8].

Під час роботи двигуна, відпрацьовані гази при відкритій заслінці 8 і закритій заслінці 10 направляються в теплоізований газовий трубопровід 7, а потім у газові трубки 28 теплоакумулюючого ядра. Проходячи газовий теплообмінник відпрацьовані гази віддають частину своєї теплової енергії теплоакумулюючій речовині 30 і викидаються через одну з газових кришок 31 в атмосферу. Теплоакумулююча речовина нагрівається до температури плавлення, яка дорівнює 133 °С, плавиться, і в ній відбувається фазовий перехід тверде тіло - рідина та накопичується запасена тепла енергія у вигляді схованої теплоти плавлення, а потім нагрівається ще додатково в рідкій фазі до температури 250 – 300 °С. Час зарядки теплового акумулятора 2 залежить від режиму роботи двигуна і становить у середньому 5-6 годин при температурі навколишнього середовища мінус 40 °С [6 - 8].

Після зупинки двигуна вода з його оболонки охолодження зливається в ємність 22 теплового акумулятора 2 через заливну трубу 3 з відкритим краном 45 вручну або закачується в неї встановленим на борту машини ручним

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		44

насосом (на рис. 2.4 а він не показаний). Завдяки теплоізоляції 24 теплоакумулююча речовина 30 у період міжзмінної стоянки, тривалість якої при температурі навколишнього середовища мінус 40 °С може досягати 24 - 36 годин в залежності від швидкості вітру, перебуває в розплавленому стані і має температуру до кінця міжзмінного періоду 220-250 °С, а вода, що перебуває в ємності, 80-90 °С [6 - 8].

Розігрів двигуна виконується при розряджанні теплового акумулятора 2. Перед пуском двигуна після міжзмінної стоянки відкриваються запірні 17, 18, повітряний кран 13 і закривається спускний кран 19. При відкритті крана 6 вода, що перебуває в ємності, зливальним трубопроводом 4 самотпливом надходить у нижній рідинної бачок 32 і з нього в рідинні трубки 29 теплоакумулюючого ядра 23. У зв'язку із тим, що температура стінок трубок 29 рідинного теплообмінника вище 200 °С, то в результаті теплообміну в ньому утворюється пароводяна суміш. При цьому в теплоакумулюючій речовині 30 відбувається оборотний фазовий перехід рідина-тверде тіло і віддає теплоносієві запасену теплову енергію, більша частина якої виділяється у вигляді схованої теплоти кристалізації. Заповнення оболонки охолодження двигуна проводиться за трубопроводом 14 і трубопроводам 16, 15 через нагрівач оливи 11. Повітря, що перебуває при цьому в системі, піднімається в розширювальний бак 12 за трубопроводом 20 і видаляється через повітряний кран 13. При повному заповненні системи за рахунок різниці щільності теплоносія в рідинному теплообміннику теплового акумулятора 2 і в сорочці охолодження двигуна 1 виникає термосифонна циркуляція за наступним контуром: тепловий акумулятор 2 - трубопровід підводу 14 - водовідвідна труба 21 і водяний радіатор двигуна - головки і блок основного і пускового двигунів - трубопровід відводу 15 - нагрівач оливи 11 - трубопровід відводу 16 - тепловий акумулятор 2. Розширювальний бак 12 сприймає обсяг теплоносія, що збільшується. Час закінчення розігріву контролюється оператором за показниками встановлених у кабіні показників температури води в системі

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		45

охолодження і оливи в піддоні. При температурі навколишнього середовища мінус 40 °С час розігріву двигуна становить у середньому 15 хв [6 - 8].

По закінченню розігріву двигун запускається, закриваються запірні крани 17, 18, відкривається спускний кран 19 і з рідинного теплообмінника теплового акумулятора 2, трубопроводів 14, 15, 16 і нагрівача оливи 11 видаляється вода, що перебуває в них, яка потім заливається трубопроводом 3 у ємність 22 [6 - 8].

Об'єм ємності 22 дорівнює сумі об'ємів системи охолодження двигуна, рідинного теплообмінника теплового акумулятора 2, нагрівача оливи 11 і трубопроводів 14, 15, 16.

Перевагою описаної в [6 - 8] системи є те, що вона у порівнянні з іншими системами, спрощує конструкцію і дозволяє застосовувати воду в якості теплоносія [6 - 8].

Проведений аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини і підігріву ДВЗ в процесі пуску показує, що цим питанням приділяється велика увага, схеми і конструкції систем удосконалюються, ефективність їх роботи підвищується, що сприяє зниженню витрати палива та шкідливих викидів двигунами в умовах експлуатації.

2.3 Аналіз систем комплексного прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів з функцією теплових акумуляторів

При формуванні систем прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів з функцією теплових акумуляторів застосовуються засоби автономної прискореної циркуляції охолоджуючої рідини двигуна, засоби керування і автоматизації.

Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 70168 UA) [6 - 8] містить газопоршневий двигун 1 (рис. 2.5) з приєднаним до нього генератором 2, теплообмінник 3, блок керування двигуном 5, який здійснює управління

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		46

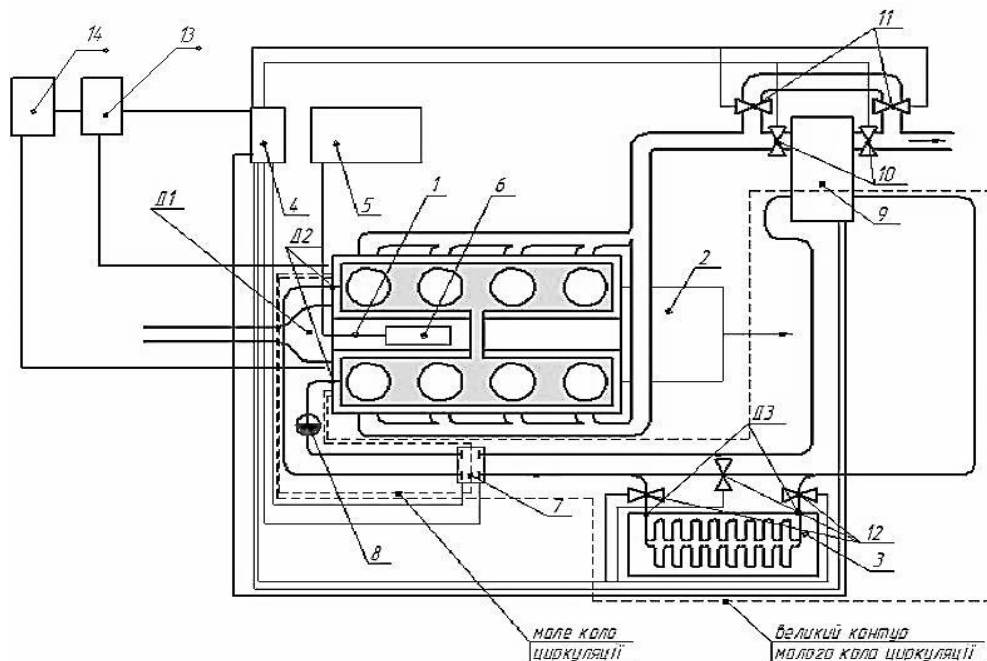


Рисунок 2.5 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 70168 UA)

регулятором 6, та блок керування системи охолодження 4, який з'єднує керування триступеневим клапаном 7, циркуляційним насосом 8 та тепловим акумулятором 9, клапани випускної системи 10 та клапани байпасу 11 та клапанів 12 відключення теплообмінника 3, блок керування автоматично діючого передпускового прокачування оливи при здійсненні пуску 13 і блок керування пуском двигуна 14 [6 - 8].

Перевагами даної системи є можливість підтримання температури рідини в системі охолодження при заглушеному ДВЗ в межах температур «гарячого прогріву» та в ТА у встановлених межах за рахунок теплоти ВГ ДВЗ шляхом здійснення автоматичного повторно - короткочасного режиму роботи ДВЗ при періодичному чередуванні його роботи і зупинки (циклічний режим), для чого його оснащено блоком керування автоматично діючого передпускового прокачування оливи при здійсненні пуску і блоком керування пуском двигуна [6 - 8].

Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором (рис. 2.6)

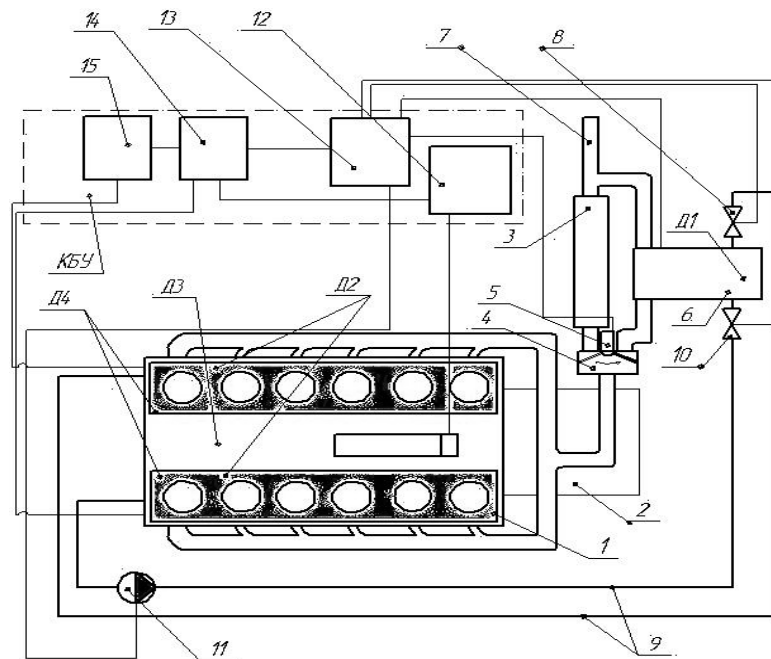


Рисунок 2.6 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором

(патент № 73132 UA) [6 - 8] містить дизель 1 з приєднаним до нього споживачем 2, глушник 3 з вихлопною трубою 7, розподільну коробку з регулювальною заслінкою 4, блоку керування роботою дизеля, який здійснює управління регулятором паливного насосу високого тиску дизеля, блок керування системою регулювання температурою охолоджуючої рідини дизеля 13, який здійснює керування позиційним механізмом регулювання заслінки 5 і самим тепловим акумулятором 6, встановленим паралельно глушнику, клапанами вимикання теплового акумулятору 8 і 10, додатковим електричним водяним насосом 11 для циркуляції рідини через водяні труби 9 при відборі теплоти від теплового акумулятору 6 до дизеля, блоку керування автоматично діючого передпускового прокачування оливи при здійсненні пуску 14 та блоку керування пуском дизеля. Всі блоки системи, які спільно утворюють комплексний блок управління (КБУ) і сама система працюють в залежності від отриманої інформації від датчиків теплового акумулятора Д1, датчиків температури охолоджуючої рідини в моноблоках дизеля, датчику температури оливи в піддоні дизеля Д3 та датчиків температури оливи в моноблоках дизеля [6 - 8].

Перевагами даної системи є можливість підтримання температури рідини в системі охолодження при заглушеному ДВЗ в межах температур «гарячого прогріву» та в ТА у встановлених межах за рахунок теплоти ВГ ДВЗ шляхом здійснення автоматичного повторно - короткочасного режиму роботи ДВЗ при періодичному чередуванні його роботи і зупинки (циклічний режим), для чого його оснащено блоком керування автоматично діючого передпускового прокачування оливи при здійсненні пуску і блоком керування пуском двигуна [6 - 8].

2.4 Аналіз використання зовнішніх джерел енергії або рекуперації енергії для підігріву двигуна і підтримання властивостей ТА

Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 75300 UA) [6 - 8] містить газопоршневий двигун 1 (рис. 2.7) з приєднаним до нього генератором 2, теплообмінник 3, блок керування двигуном 5, який здійснює управління регулятором 6, та блок керування системи охолодження 4, який здійснює керування триступеневим клапаном 7, циркуляційним насосом 8, та тепловим акумулятором 9, клапани випускної системи 10, клапани байпасу 11, клапани 12 відключення теплообмінника 3, електронагрівач системи охолодження 13, джерело електроенергії 14 і силовий електрокабель 15. Всі блоки системи і сама система працюють в залежності від отриманої інформації від датчику температури паливо-повітряної суміші (повітря) на вході в ДВЗ Д1, датчиків температури охолоджуючої рідини ДВЗ Д2 і датчиків температури охолоджуючої рідини теплообмінника Д3.

Перевагами даної системи є можливість підтримувати температури теплоносія в системі охолодження ДВЗ і ТА її у встановлених межах за рахунок електронагрівача системи охолодження [6 - 8].

Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором з

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		49

електропідігрівом (патент № 78983 UA) [6 - 8] містить дизель 1 (рис. 2.8) з приєднаною до нього гідромеханічною передачею 2, глушник 3 з вихлопною трубою 7, розподільну коробку з регулювальною заслінкою 4, блоку керування роботою дизеля 12, який здійснює управління регулятором паливного насосу високого тиску дизеля, блок керування системою регулювання температурою охолоджуючої рідини дизеля 13, який здійснює керування позиційним механізмом регулювання заслінкою 5 і самим тепловим акумулятором 6, встановлений паралельно глушнику, клапанами вимикання теплового акумулятору 8 і 10, додатковим електричним водяним насосом 11 для циркуляції рідини через водяні труби 9 при відборі теплоти від теплового акумулятору 6, з встановленим в ньому електронагрівачем теплового акумулятора 16, що з'єднаний з джерелом електроенергії 18 за допомогою силового електрокабеля 17, до дизеля, блоку керування автоматично діючого передпускового прокачування оливи при здійсненні пуску 14 та блоку

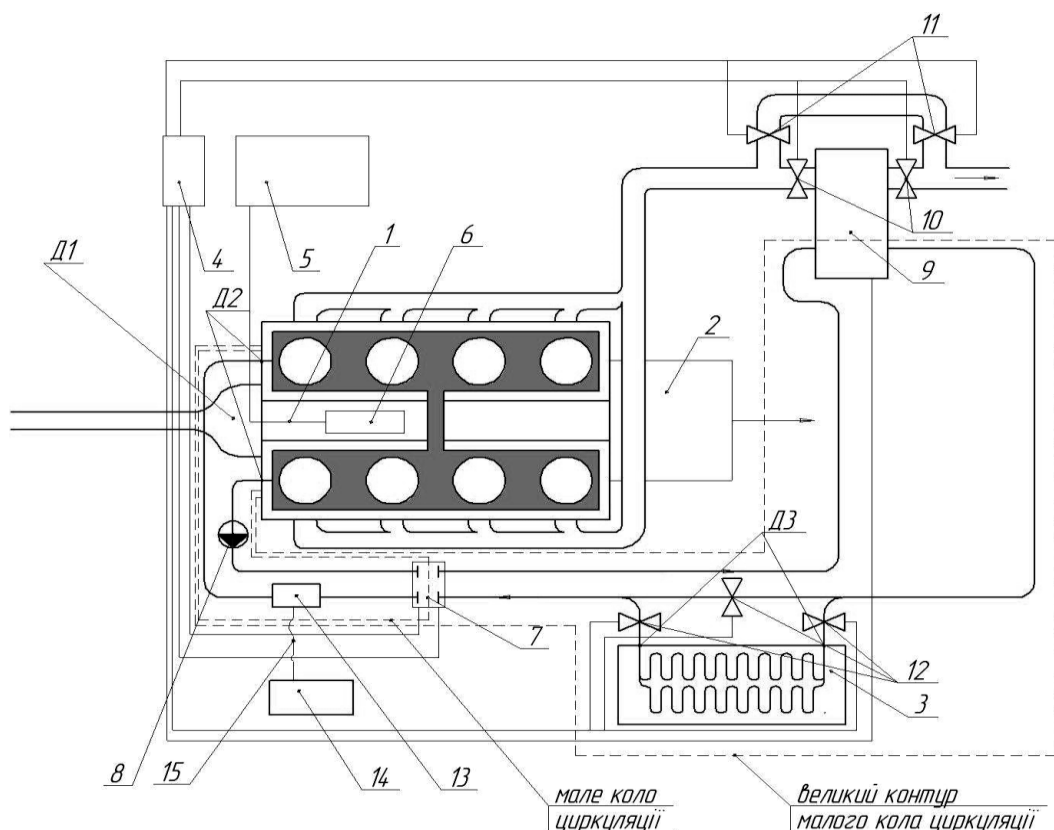


Рисунок 2.7 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 75300 UA)

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

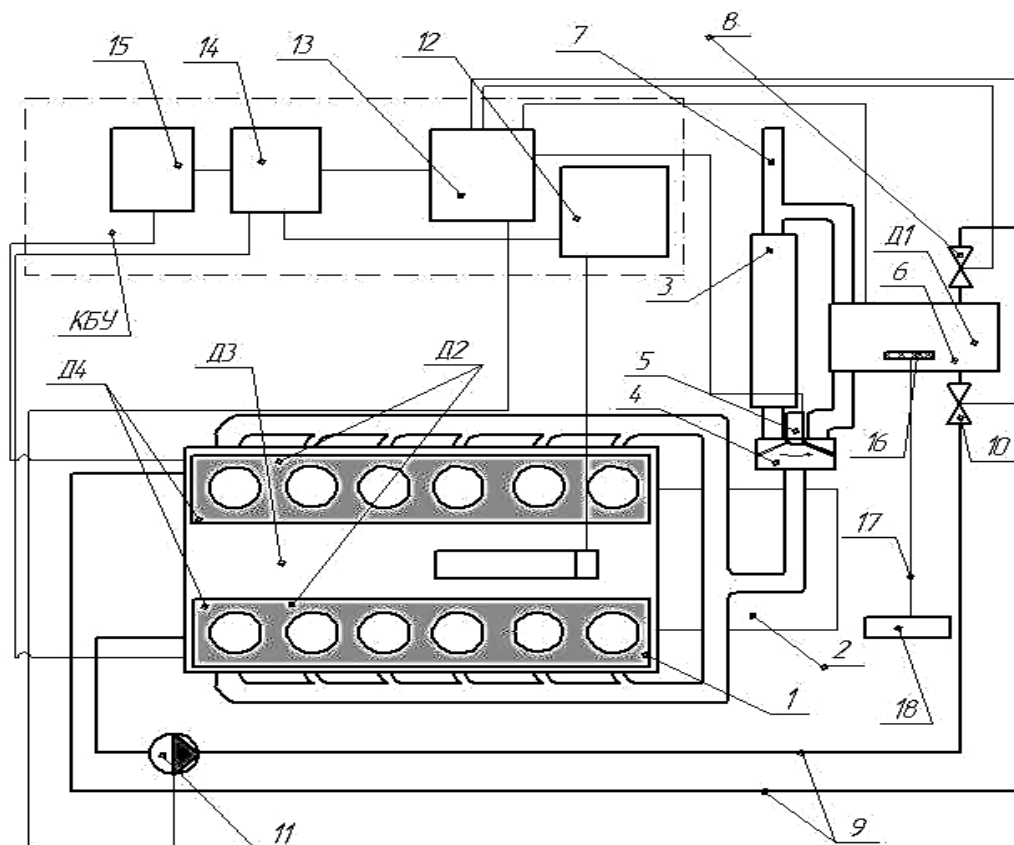


Рисунок 2.8 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором з електронідогрівом (патент № 78983 UA)

керування пуском дизеля 15. Всі блоки системи, які спільно утворюють комплексний блок управління (КБУ) і сама система працюють в залежності від отриманої інформації від датчиків теплового акумулятора Д1, датчиків температури охолоджуючої рідини в моноблоках дизеля, датчику температури оливи в піддоні дизеля Д3 та датчиків температури оливи в моноблоках дизеля Д4.

Перевагами даної системи є можливість підтримання температури рідини в системі охолодження при заглушеному ДВЗ в межах температур «гарячого прогріву», а при зменшенні температури теплоносія в ТА у встановлених межах за рахунок теплоти ВГ ДВЗ шляхом здійснення автоматичного повторно - короткочасного режиму роботи ДВЗ при періодичному чередуванні його роботи і зупинки (циклічний режим), для чого його оснащено блоком керування автоматично діючого передпускового

прокачування оливи при здійсненні пуску і блоком керування пуском двигуна, а також можливість здійснювати додаткове заряджання ТА електронагрівачем теплового акумулятора, який дає змогу заряджати його додатково від електричної мережі, стаціонарного джерела електроенергії або бортового додаткового електрогенератора.

Для максимально повної утилізації в ТА теплової енергії ВГ ДВЗ відомо технічне рішення [6 – 8, 14, 15], при якому в умовах низьких температур, використовують багатосекційний (у розглянутому випадку 3 секції) ТА фазового переходу. Для такого ТА необхідні фазоперехідні ТАМ різних категорій: середньо- і низькотемпературні, які повинні мати стійкість до тривалої роботи в діапазоні температур 120...500 °С, тобто температури відпрацьованих газів ДВЗ.

Відомий тепловий акумулятор фазового переходу, який містить теплоізований вакуумований циліндричний корпус зі знімною кришкою, що має вхідний і вихідний отвори, впускну і випускні труби, блок капсул, заповнених однаковим теплоакумуючим матеріалом і виконаних з коаксіально розташованих циліндрів з утворенням між ними кільцевих зазорів для проходу рідкого теплоносія. Він містить не менше двох блоків капсул з різним теплоакумуючим матеріалом, розміщених в одному вакуумованому корпусі, має спільні вхідний і вихідний трубопроводи, причому впускні труби блоків капсул пов'язані перепускними трубами з вхідним трубопроводом, а випускні труби блоків капсул пов'язані перепускними трубами з впускними трубами блоків з більш низьким діапазоном робочих температур і на кожній перепускній трубі встановлено запірний клапан [6 – 8, 14, 15].

Такий акумулятор дозволяє здійснювати відбір теплової енергії від відпрацьованих газів ДВЗ в більш широкому температурному діапазоні і тим самим накопичувати і утримувати більшу кількість теплоти, а також забезпечує вибірковість діапазону робочих температур.

При здійсненні пошуку низькотемпературних матеріалів для багатосекційного ТА варто враховувати, що при низьких температурах (менше

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		52

100 °С) у випускному колекторі дизеля починається процес конденсації вологи. При взаємодії вологи з компонентами газового потоку утворюються кислоти, в основному сірчиста і сірчана, які осаджуються на стінках колектора й руйнують їх. Щоб уникнути «холодної корозії» колектора, необхідно тримати нижній інтервал температур працюючого ТАМ у межах 100...120 °С. Для більшого акумулювання теплової енергії верхня межа температури ТАМ повинна бути 500...525 °С, тобто відповідати температурі вихлопних газів ДВЗ. Однак необхідний температурний максимум при практичному використанні теплової енергії, що відводиться, становить 350 °С, тому дана величина й прийнята за верхню межу температури в описаному ТАМ. Таким чином, посекційно працюючі значення температур для ТАМ наступні: 1 секція 300...350 °С; 2 секція 200...250 °С; 3 секція 100...120 °С. Умовно роботу системи прогрівання можливо розділити на декілька режимів: режим 1 подача гарячого повітря в об'єм порожнини картера дизеля (прогрівання картера і деталей двигуна; працюють секції 1 і 2 ТА); режим 2 - прогрів водяної системи дизеля (секція 3 ТА); режим 3 - комбінований.

На рис. 2.9 наведено схему багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу [6 – 8, 14, 15]. Тепловий акумулятор фазового переходу складається з вакуумованого корпусу 1, знімної кришки 2, що має входні 3, 4, 5 і вихідні 6, 7, 8 отворів, в які запресовані впускні 9, 10, 11 і випускні 12, 13, 14 труби блоків. У середині корпусу знаходяться блоки 15, 16, 17, що складаються з коаксіально розташованих циліндричних капсул 18 із зазорами 19 для проходження рідини. Вся конструкція теплообмінника змонтована на знімній кришці 2, яка закріплена за допомогою болтового з'єднання 20 до кільця 21, привареного до корпусу. Регулювати кількість тепла, що подається, дозволяє наявність на перепускних трубах запірних клапанів 22, 23, 24, 25, 26.

Пристрій працює наступним чином (див. рис. 2.9). При роботі ДВЗ потік вихлопних газів поступає через вхідний трубопровід у впускну трубу 9, потім проходить через кільцеві канали 19, виходить з блоку 15 з середньотемпературним ТАМ (350 °С) у випускную трубу 12 і далі, проходячи

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		53

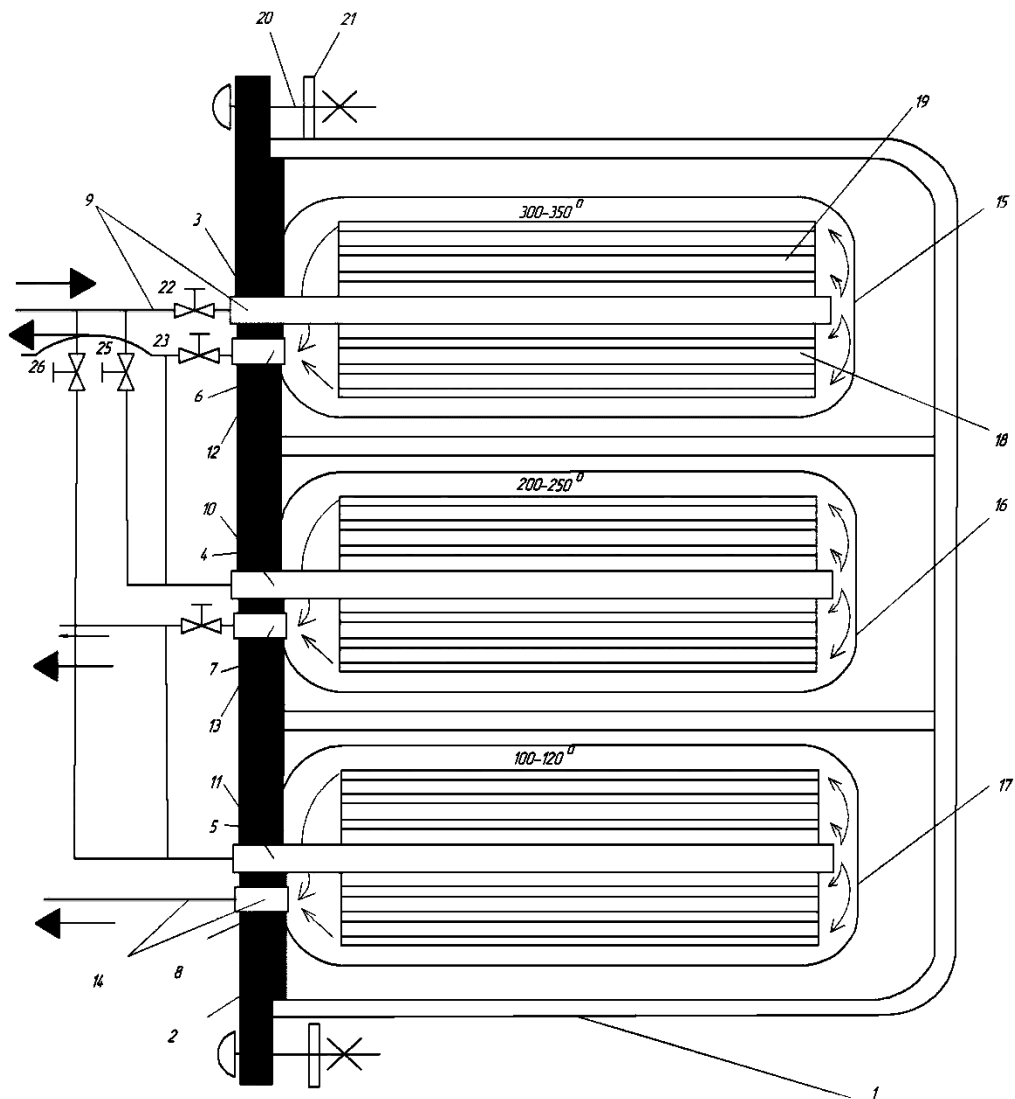


Рисунок 2.9 - Схема багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу [6 – 8, 14, 15]

послідовно, через впускні 10, 11 і випускні 13 трубу до блоку з низькотемпературним ТАМ (120 °C), виходить через вихідний трубопровід 14. При цьому ТАМ, що знаходиться в циліндричних капсулах 18, нагрівається в твердій фазі до температури плавлення, плавиться, а потім нагрівається в рідкій фазі до відповідної температури, при якій настає теплова рівновага між ним і відпрацьованими газами. Збереження теплоти здійснюється за рахунок наявності вакуумованого корпусу 1. Кришка 2 з вхідними 3, 4, 5 і вихідними 6, 7, 8 отворами знімається і кріпиться за допомогою болтового з'єднання 20 до привареного до корпусу кільця 21. Процес віддачі акумулятором теплової енергії в загальному випадку здійснюється шляхом прокачування теплоносія

через трубопровід 14, впускні і випускні труби блоків 17, 16, 15, кільцеві зазори 19 і трубопровід 9. При цьому відбувається обернений фазовий перехід, в результаті якого теплоакumuлюючий матеріал кристалізується і віддає раніше накопичену енергію теплоносію. У якості теплоносія в режимі прогрівання ДВЗ використовується повітря або вода (в залежності від робочого блоку), що нагріваються робочими блоками 15, 16 і 17. Регулювання кількості теплового потоку, що подається, здійснюється перепускними запірними клапанами 22, 23, 24, 25, 26 (обв'язка теплоакumuлюючих блоків і систем дизеля умовно не показана). Пристрій розрахований на роботу при температурі довкілля до мінус 45 °С. Теплоносій нагрівається і передає теплову енергію деталям двигуна. Варто відзначити, що бортовий ТА може працювати як на нагрів, так і на охолодження і забезпечує температурну стабілізацію теплових процесів шляхом «запозичення» невисначуваної або «скидання» зайвої теплоти.

2.5 Обґрунтування виконання модернізації

В проекті розглянути можливість модернізації системи охолодження головного суднового двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES» встановленням засобу теплової підготовки - багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу, який буде заряджатися від відпрацьованих газів самого двигуна під час його роботи. В періоди стоянки судна на рейді або в порту накопичену теплову енергію теплового акумулятора можливо використовувати для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без підігріву двигуна традиційними способами.

Висновки: Для забезпечення теплової підготовки суднового двигуна в умовах експлуатації можливо використовувати альтернативні засоби теплової підготовки у вигляді теплових акумуляторів фазового переходу. Цим може бути забезпечена значна економія палива при стоянці судна в умовах експлуатації при забезпеченні теплової підготовки від теплового акумулятора.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		55

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА CATERPILLAR 3512C СУДНА «ANTARES»

3.1 Обґрунтування необхідності модернізації системи охолодження головного суднового двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES» за рахунок встановлення теплового акумулятора фазового переходу

В акваторіях світових морів експлуатується значна кількість суден аварійно – рятувального, допоміжного, портового флоту, які забезпечують вирішення різноманітних цільових завдань: забезпечення льодових проводок, збір сміття та забруднених нафтою вод, забезпечення функцій постачання, рятувальних, допоміжних функцій тощо. При цьому більшість суднових енергетичних установок суден в даний час за своїми техніко-економічними показниками не відповідають пропонованим сучасним вимогам до їх паливної економічності, а особливо екологічним показникам. Ця обставина робить проблему підвищення ефективності енергетичних установок вказаних суден актуальною.

Одним з перспективних напрямів удосконалення системи охолодження двигунів суднових енергетичних установок є впровадження сучасних енергозберігаючих технологій в їх конструкцію з метою збільшення продуктивності, адаптація до умов експлуатації, підвищення оперативної готовності тощо.

Особливо актуальні запропоновані методи є для тих режимів суднових двигунів, коли потрібно значні витрати енергії для здійснення їх теплової підготовки в умови експлуатації, а саме такі, як передпусковий і після пусковий прогрів двигуна та зберігання прогрітого двигуна для здійснення успішного подальшого пуску в умовах експлуатації. При цьому вирішальними факторами, крім зручності експлуатації, є низька вартість пристроїв для

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		56

здійснення теплової підготовки двигунів, необхідність застосування ресурсозберігаючих, екологічно чистих технологій, необхідність отримання повної потужності відразу після запуску двигуна, поліпшення паливної економічності і зниження викидів відпрацьованих газів в процесі його теплової підготовки.

Обмежуючими факторами в таких роботах є не агресивність матеріалів, масо-габаритні характеристики пристроїв і компактне їх розміщення в конструкції сучасних суднових енергетичних установок. У зв'язку з цим, найбільш актуальним стає розробка і формування системи теплової підготовки для вирішення вказаних задач.

Тому розробка і встановлення засобів теплової підготовки суднового двигуна з тепловими акумуляторами (ТА) фазового переходу в систему охолодження є актуальною і своєчасною задачею в умовах експлуатації.

Це дозволило розглянути можливість модернізації системи охолодження головного суднового двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES» встановленням багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу, який буде заряджатися від відпрацьованих газів самого двигуна під час його роботи. А в періоди часу стоянки судна на рейді можливо використовувати накопичену теплову енергію тепловим акумулятором для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без запобігання стандартним способам підігріву (електропідігрівачі, котел, допоміжний двигун тощо). Під час стоянки судна в порту можливо навіть не запускати дизель-генератор для забезпечення енергонезалежності судна і не використовувати берегову лінію енергопостачання для живлення суднових електроприладів.

3.2 Особливості конструкції і принцип роботи багатосекційного ТА

Для покращення параметрів робочих процесів теплової підготовки суднового двигуна внутрішнього згорання в напрямку створення і розвитку

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		57

систем теплової підготовки ДВЗ в частині конструкції їх теплових акумуляторів фазового переходу, можливо запропонувати наступне технічне рішення.

Тепловий акумулятор фазового переходу (патент № 75299 UA) [6 - 8] складається з вакуумованого корпусу 1 (рис. 3.1), знімної кришки 2, що має вхідні 3, 4, 5, 6 і вихідні 7, 8, 9, 10 отвори, в які встановлені впускний трубопровід газоподібного теплоносія 11, впускні 12, 13 і випускні 15, 16, 17 трубопроводи блоків, впускний 14 і випускний 18 трубопроводи рідинного теплоносія. До впускного трубопроводу газоподібного теплоносія 11 примикає повітряний трубопровід 51, який забезпечений нагнітаючим насосом 47 і запірним клапаном 41. Усередині корпусу знаходяться блоки секцій 19, 20, 21, що складаються з циліндричних коаксіально розташованих капсул, заповнених фазоперехідним теплоакumuлюючим матеріалом 22 з кільцевими зазорами 23 для проходу газоподібного теплоносія (відпрацьовані гази ДВЗ), з встановленими в блоках секцій відповідно електронагрівальними елементами секцій теплового акумулятора 53, 54, 55, що з'єднані з джерелом електроенергії 58 за допомогою блоку керування і розподілу напруг електронагрівачів 56 і силового електрокабеля 57. Крім цього в блоці секції 21 встановлені нагрівальні елементи 24 рідинного теплоносія блоку секції з більш низьким діапазоном робочих температур. Вся конструкція теплообмінника змонтована на знімній кришці 2, яка закріплена за допомогою болтових з'єднань 25 до елементів кріплення корпусу 26, встановлених на самому корпусі. Випускний трубопровід газоподібного теплоносія 50 з датчиком 45 робочої температури приєднаний до змішувальної камері 44, до якої підходять випускні трубопроводи блоків 15, 16, 17 і повітряний трубопровід 51. Випускний трубопровід 18 рідинного теплоносія з датчиком робочої температури 46 приєднаний до нагрівальних елементів 24 рідинного теплоносія блоку секції з більш низьким діапазоном робочих температур, встановленим у блоці секції 21, які приєднані до впускного трубопроводу рідинного теплоносія 14 із нагнітаючим насосом 49 і запірним клапаном 37

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		58

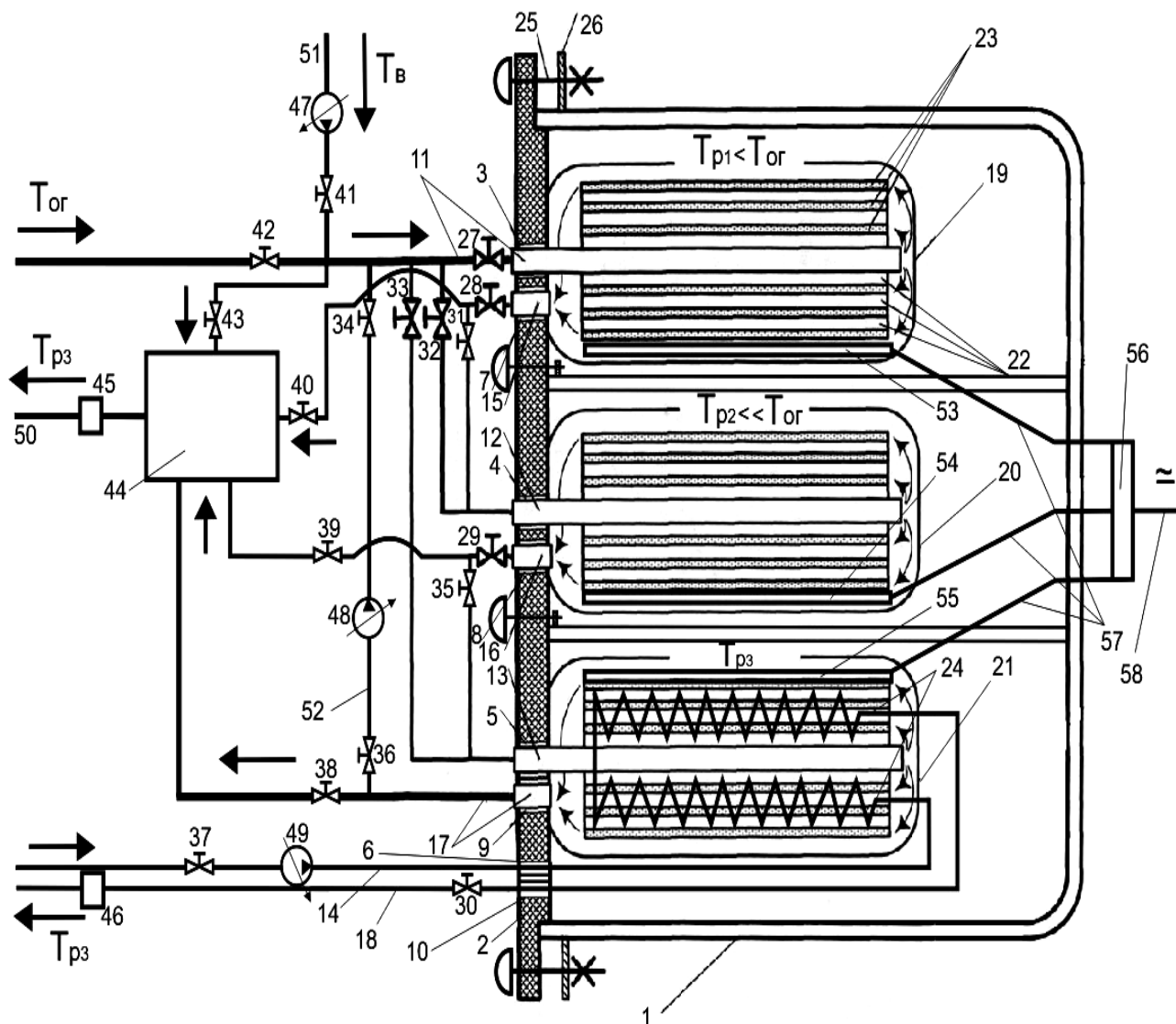


Рисунок 3.1 - Тепловий акумулятор фазового переходу [6 - 8]:
 1 - вакуумований корпус; 2 - знімна кришка; 3, 4, 5, 6 – вхідний отвір;
 7, 8, 9, 10 - вихідний отвір; 11 - впускний трубопровід газоподібного теплоносія; 12, 13 – впускний трубопровід блоку; 14 – впускний трубопровід рідинного теплоносія; 15, 16, 17 - випускний трубопровід блоку; 18 – випускний трубопровід рідинного теплоносія; 19, 20 - блок секції; 21 - блок секції з більш низьким діапазоном робочих температур; 22 – фазоперехідний теплоакумуючий матеріал; 23 - кільцеві зазор для проходу газоподібного теплоносія (відпрацьовані гази ДВЗ); 24 - нагрівальні елементи рідинного теплоносія блоку секції з більш низьким діапазоном робочих температур; 25 - болтові з'єднання; 26 - елементи кріплення корпусу, встановлені на самому корпусі; 27...43 - запірний клапан; 44 - змішувальна камера; 45, 46 - датчик робочої температури; 47...49 - нагнітаючий насос; 50 - випускний трубопровід газоподібного теплоносія; 51 - повітряний трубопровід; 52 – перепускний трубопровід; 53...55 – електронагрівальний елемент секції теплового акумулятора; 56 – блок керування і розподілу напруг електронагрівачів; 57 – силовий електрокабель; 58 – джерело електроенергії

(встановлення нагрівальних елементів всередині циліндричних капсул умовно не показано).

Регулювати кількість теплоти, що подається, в змішувальну камеру 44 і, відповідно, до випускного трубопроводу газоподібного теплоносія 50 дозволяє наявність на перепускних трубопроводах запірних клапанів 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 38, 39, 40, 41, 42 , 43, а автономно здійснювати перезарядку (власний підігрів) блоку секції 21 з більш низьким діапазоном робочих температур від блоків секцій 19, 20 з більш високим діапазоном робочих температур дозволяє наявність перепускного 52 трубопроводу з нагнітаючим насосом 48 і запірних клапанів 34 і 36.

Мета запропонованої технічного рішення підвищити ефективність використання палива та утилізації відпрацьованих газів у більш широкому температурному діапазоні, підтримання температури охолоджуючої рідини в системі охолодження при заглушеному ДВЗ в межах температур «гарячого прогріву» (50 – 70 °С, в залежності від експлуатаційних вимог і заводської інструкції) при низьких температурах навколишнього повітря, або, якщо температура охолоджуючої рідини (оливи і палива) двигуна не відповідає встановленим вище вимогам, а також одночасного підтримання температури теплоносіїв, що надходить в ДВЗ паралельно двома потокам, як газоповітряному, так і рідинному, причому з фіксованою однаковою температурою потоків з більш вузьким діапазоном робочих температур, наближених до робочої температури ДВЗ, а також додаткового заряджання теплового акумулятора електронагрівальними елементами секцій теплового акумулятора, які дають змогу заряджати його від електричної мережі або стаціонарного джерела електроенергії, електрогенератора або рекуперативної системи транспортного засобу через блок керування і розподілу напруг електронагрівачів за допомогою силового електрокабелю від вказаного джерела електроенергії.

Для додаткового заряджання теплового акумулятора його оснащено електронагрівальними елементами секцій теплового акумулятора 53, 54, 55,

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						60
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

які дають змогу заряджати його від джерела електроенергії 58 за допомогою блоку керування і розподілу напруг електронагрівачів 56 і силового електрокабелю 57. В якості джерела електроенергії 58 може бути використана електрична мережа або стаціонарне джерело електроенергії, електрогенератор або рекуперативна система транспортного засобу.

Застосування даного ТА дозволить:

а) зменшити витрати палива на прогрів ДВЗ в умовах експлуатації, тим самим підвищуючи ефективність його використання;

б) досягти більшої зручності в утилізації відпрацьованих газів у більш широкому температурному діапазоні;

в) підтримувати температуру охолоджуючої рідини в системі охолодження при заглушеному ДВЗ в межах температур «гарячого прогріву» (50 – 70 °С, в залежності від експлуатаційних вимог й заводської інструкції) або, якщо температура охолоджуючої рідини (оливи і пального) двигуна не відповідає встановленим вище вимогам;

г) одночасно підтримувати температури теплоносіїв, що надходять в ДВЗ паралельно двома потоками, як газоповітряному, так і в рідинному, причому з фіксованою однаковою температурою потоків з більш низьким діапазоном робочих температур, наближених до робочої температури ДВЗ;

д) автономно здійснювати перезарядку (власний підігрів) секції блоку з більш низьким діапазоном робочих температур від секцій блоку з більш високим діапазоном робочих температур;

є) додаткове заряджання теплового акумулятора при його оснащенні електронагрівальними елементами секцій теплового акумулятора, які дають змогу заряджати його від електричної мережі, стаціонарного джерела електроенергії, електрогенератора або рекуперативної системи транспортного засобу.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						61
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

3.3. Особливості робочого процесу багатосекційного теплового акумулятора у складі системи охолодження суднового дизеля

При роботі ДВЗ (рис. 3.1) потік відпрацьованих газів $T_{ог}$ надходить через впускний трубопровід газоподібного теплоносія у впускний трубопровід газоподібного теплоносія 11, потім проходить через кільцеві отвори для проходу газоподібного теплоносія 23, виходить з блоку секцій 19 зі середньотемпературним теплоакумуючим матеріалом, температура фазового переходу якого нижче найвищої температури відпрацьованих газів ($T_{p1} < T_{ог}$) у впускний трубопровід блоку 15 і далі, проходячи послідовно через блок секції 20 з теплоакумуючим матеріалом, температура фазового переходу якого набагато нижче найвищої температури відпрацьованих газів ($T_{p2} \ll T_{ог}$), через впускні 12, 13 і впускний 16 трубопроводи блоків до блоку з низькотемпературним теплоакумуючі матеріалом (T_{p3}), виходить через вихідний трубопровід блоку 17 і подається через запірний клапан 38 в змішувальну камеру 44 і через датчик робочої температури 45 до впускного трубопроводу газоподібного теплоносія 50. При цьому теплоакумуючий матеріал кожного з блоків секцій 19, 20, 21, що знаходиться в циліндричних коаксіально розташованих капсулах 22, нагрівається у твердій фазі до температури плавлення, плавиться, а потім нагрівається в рідкій фазі до деякої температури, при якій настає теплова рівновага між ним і відпрацьованими газами, причому робоча температура кожного з блоків секцій встановлюється температурою фазового переходу теплоакумуючого матеріалу цієї секції. Окрім накопичення теплоти газоподібного теплоносія в блоці секції 21 здійснюється нагрівання і накопичення рідинного теплоносія до температури T_{p3} за допомогою нагрівальних елементів 24 рідинного теплоносія блоку секції з більш низьким діапазоном робочих температур і впускного 14 і впускного 18 трубопроводів рідинного теплоносія, що нагнітає насос 49 і запірного клапана 37, і подається в систему охолодження ДВЗ. Процес акумулювання

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		62

теплоти в тепловому акумуляторі фазового переходу здійснюється за рахунок наявності вакуумованого корпусу 1 з перегородками [6 - 15].

В якості теплоносія в режимі накопичення теплоти використовуються відпрацьовані гази, а робочими блоками є всі блоки секції акумулятора 19, 20, 21, в яких накопичується теплота в теплоакумулюючому матеріалі [6 - 15].

Віддача акумулятором теплової енергії в загальному випадку здійснюється шляхом прокачування теплоносіїв газоповітряного та рідкого через вхідний трубопровід газоподібного теплоносія 11, впускні і випускні трубопроводи блоків секцій 19, 20, 21, кільцеві зазори для проходу газоподібного теплоносія 23 і випускний трубопровід 17, змішувальну камеру 44 і випускний трубопровід газоподібного теплоносія 50, а також за допомогою нагнітаючого насоса 49, впускного 14 і випускного 18 трубопроводів рідинного теплоносія через нагрівальні елементи 24 рідинного теплоносія блоку секції 21 з більш низьким діапазоном робочих температур. При цьому відбувається зворотній фазовий перехід, в результаті якого теплоакумулюючий матеріал кристалізується і віддає раніше запасену енергію теплоносію, який нагрівається від температури матеріалу теплового акумулятора і передає цю енергію деталям, механізмам і системам двигуна.

В якості теплоносія в режимі прогріву ДВЗ використовується повітря і охолоджуюча рідина системи охолодження, а робочими блоками є всі блоки секцій акумуляторів 19, 20, 21, через які віддається накопичена теплота теплоносію [6 - 15].

Автономну перезарядку (власний підігрів) блоку 21 з більш низьким діапазоном робочих температур від блоків з більш високою температурою дозволяє здійснити наявність перепускного 52 трубопроводу з нагнітаючим насосом 48 і запірних клапанів 34 і 36, а робочими блоками також є всі блоки секції акумулятора 19, 20, 21, через які віддається накопичена теплота теплоносію. При цьому теплоносієм є повітря з навколишнього середовища, який подається через більш нагріті блоки секцій теплового акумулятора з більш високим діапазоном робочих температур і подається до блоку секції з

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		63

більш низьким діапазоном робочих температур. Після цього подача свіжого повітря з навколишнього середовища припиняється і теплоносій, який вже надійшов в тепловий акумулятор, переміщується за допомогою нагнітаючого насоса 48 в ньому до того моменту, поки температура блоку 21 секції з більш низьким діапазоном робочих температур не досягне встановлених теплоакумуючим матеріалом меж [6 - 15].

Регулювати кількість тепла, що подається, в змішувальну камеру 44, і, відповідно, до випускного трубопроводу газоподібного теплоносія 50 дозволяє наявність на перепускних трубопроводах запірних клапанів 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, а автономно здійснювати перезарядку (власний підігрів) секції блоку 21 з більш низьким діапазоном робочих температур від секцій блоку 19, 20 з більш високим діапазоном робочих температур дозволяє наявність перепускного 52 трубопроводу з нагнітаючим насосом 48 і запірних клапанів 34 і 36 [6 - 15].

Для додаткового заряджання теплового акумулятора його оснащено електронагрівальними елементами секцій теплового акумулятора 53, 54, 55, які дають змогу заряджати його від джерела електроенергії 58 за допомогою блоку керування і розподілу напруг електронагрівачів 56 і силового електрокабелю 57. В якості джерела електроенергії 58 може бути використана електрична мережа або стаціонарне джерело електроенергії, електрогенератор або рекуперативна система транспортного засобу [6 - 15].

3.4 Модернізація системи охолодження суднового дизеля

В базовому варіанті не існує можливості застосування теплової підготовки і підтримання відповідного теплового стану суднового двигуна без використання процесів згорання палива. Накопичення теплової енергії в елементах системи охолодження конструкцією суднового двигуна не передбачено. У результаті модернізації не змінюється швидкість ходу судна, але знижуються витрати на паливо і загальний об'єм (розмір) експлуатаційних

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						64
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

витрат тощо. Пропонована модернізація стосується встановлення в системі охолодження додаткових елементів, а саме паралельно випускному трубопроводу встановлюється теплообмінник багатосекційного теплового акумулятора в паралельному потоці з глушником і передбачена можливість його відключати (при необхідності), перепускаючи відпрацьовані гази через байпас у випускному трубопроводі. Крім цього встановлюються електричні насоси, електричні клапани, теплові акумулятори фазового переходу, за допомогою яких виконується прискорена тепла підготовка суднового двигуна без його запуску; в системі випуску відпрацьованих газів встановлення електричних клапанів, трубопроводів, електричний насос і теплообмінника, за допомогою яких здійснюється накопичення теплової енергії відпрацьованих газів у тепловому акумуляторі фазового переходу. У зв'язку з тим, що пропонована модернізація не ускладнює процес складання та розбирання, час на проведення обслуговування та ремонтних робіт системи охолодження є рівним для базового і пропонованого варіантів. Запропоновану модернізацію системи охолодження пропонується виконувати під час проведення чергових планових ремонтних робіт, що надасть можливості уникнути додаткового простою судна [6 - 15].

Теплоакумулюючі матеріали для секцій теплового акумулятора представлені в табл. 3.1 [6 - 15].

Система прогріву ДВЗ з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу входить, як складова частина, до системи охолодження ДВЗ та виконує частину її функцій, а саме забезпечує швидкий прогрів ДВЗ до робочої температури та підтримує її у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна. Принцип роботи в цілому полягає в накопиченні теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ), яка утворюється при згоранні палива та не використовується на корисну роботу, а викидається в атмосферу з ВГ [6 - 15].

Для підтримання необхідних температур системи охолодження (а також можливо і для системи мащення і паливоподачі) при непрацюючому дизелі

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		65

передбачається обладнання тепловоза бортовийною установкою, основою якої є вторинний енергоносіє - багатосекційний тепловий акумулятор фазового переходу [6 - 15].

Таблиця 3.1 – Характеристики теплоакumuлюючих матеріалів для теплового акумулятора і рекомендації для їх посекційного розміщення [6 - 8]

Склад теплоакumuлюючого матеріалу	Температура фазового переходу плавлення-кристалізації, К	Секція теплового акумулятора
Гідроксид натрія NaOH	573	1
Система з фторидів натрія, калія, літія і барія (склад зразка $10,34\text{NaF} + 39,73\text{Kf} + 3\text{BaF}_2 + 2\text{Sn}$)	621	1
Ацетат-нітратна суміш (склад зразка: $39\text{KNO}_3 + 61\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}_5$)	483	2
Бінарна евтектична система нітратів калія і літія	40	3
Система з галогенідів калія і алюмінія та йодиду гафнія (склад зразка $30,1\text{KCl} + \text{AlCl}_3 + 47,8\text{HfI}_4$)	371	3
Поліетилен високої густини низького тиску	408	3

Нагрівальними елементами в даному випадку служать секції ТА. Система теплової підготовки включає (рис. 3.2): основний дизель 1, трубопровід системи охолодження допоміжного дизель-генератора 2, електрокеровані клапани 3, 5, 30, 31, 32, 33, 34, 35, допоміжний дизель-генератор 4, запірні вентилі 6, 24, 25, 26, паливний трубопровід допоміжного дизеля 7, штатний паливний трубопровід 8, трубопровід системи охолодження основного дизеля 9, масляний трубопровід 10, датчик температури води 11, датчик температури масла 12, розширювальний бак 13, водопаливний теплообмінник 14, водяні секції 15, масляні секції 16, блок управління 17, електромагнітні контактори 18, 19, 20, 42, штатний топливopодкачивающий насос 21, водяний насос 22, маслопрокачивающий насос 23 з електроприводами, вихлопної колектор 27, багатоходові газові крани 28 і 36,

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		66

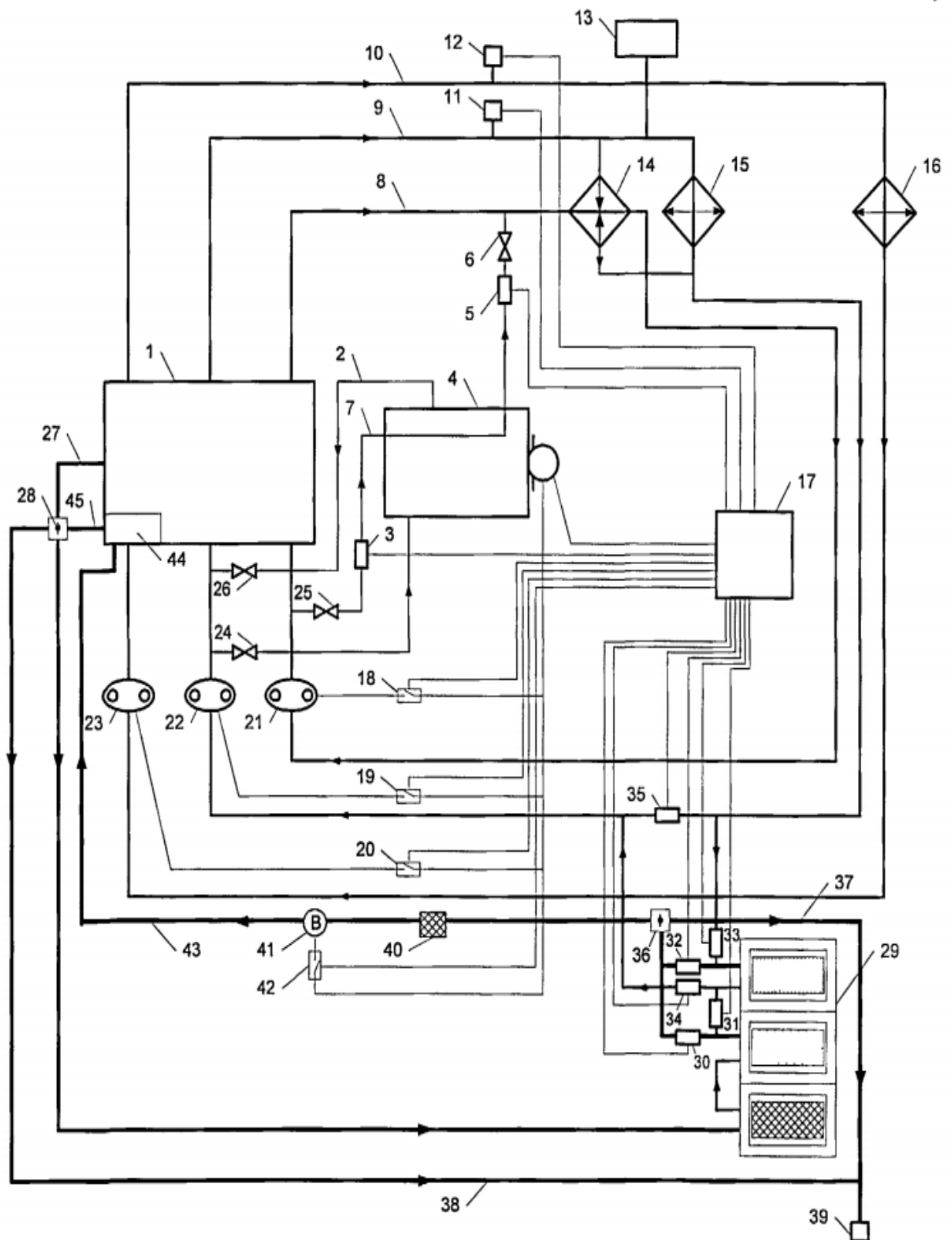


Рисунок 3.2 – Схема підключення вузлів системи теплової підготовки на основі багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ

Арк

67

трисекційний ТА 29, газові трубопроводи 37, 38, вихлопну трубу 39, фільтр 40, відцентровий вентилятор 41, повітропроводи 43, 45, картер 44 [6 - 15].

ТА виконаний з вакуумованого корпусу, всередині якого розміщені секції з фазоперехідним теплоакumuлюючим матеріалом (ТАМ), характеристики якого показані в табл. 3.1. Секції теплового акумулятора фазового переходу розташовані в порядку зменшення інтервалу робочих температур теплоакumuлюючого матеріалу і з'єднані за допомогою запорно-регулюючої арматури - багатоходових газових кранів 28 і 36 - з системою випуску відпрацьованих газів ДВЗ 1, що складається з газових трубопроводів 37, 38 і вихлопної труби 39. Для циркуляції теплоносія - повітря - є повітряна магістраль, що складається з повітропроводу 40, фільтра 41, відцентрового вентилятора 42, повітропроводів 24 і 45, що підводять і відводять повітря з картерного простору ДВЗ 1. Для циркуляції теплоносія - вода - є водна магістраль, що складається з трубопроводу штатної водяної системи дизеля 9, підключеного до третьої секції теплового акумулятора, і трубопроводу системи охолодження допоміжного дизель-генератора 2. Циркуляцію забезпечує водяний насос 22 [6 - 15].

Система обігріву працює наступним чином. При відсутності необхідності заряджати тепловий акумулятор 29 заслінка багатоходового газового крана 28 встановлюється в положення, при якому перекривається вхід в багатосекційний тепловий акумулятор. Потік вихлопних газів з ДВС 1 направляється по колектору 27, газового трубопроводу 38 і через вихлопну трубу 39 викидається в атмосферу [6 - 15].

Для накопичення тепловим акумулятором теплоти заслінка багатоходового газового крана 28 встановлюється в положення, при якому перекриваються входи в газовий трубопровід 38 і повітропровід 45, а заслінка багатоходового крана 36 - в положення, що перекриває вхід в повітропровід 40 [6 - 15]. Потік вихлопних газів з ДВЗ 1 надсилається до вихлопного колектора 27 в секції теплового акумулятора, потім по газовому трубопроводу 37 в вихлопну трубу 39.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						68
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

При цьому відбувається теплообмін між вихлопними газами і фазоперехідним теплоакумуючим матеріалом, в результаті якого останній нагрівається в твердій фазі до температури плавлення, плавиться, а потім нагрівається в рідкій фазі до температури теплової рівноваги з вихлопними газами. В процесі зберігання теплової енергії її дисипації перешкоджає вакуумований корпус теплового акумулятора [6 - 15].

Віддача теплоти здійснюється в наступних режимах [6 - 15].

Режим 1. При необхідності прогріву ДВЗ 1 при оперативному відстої буксиру в стані оперативної готовності заслінка багатогодового крана 28 встановлюється в положення, при якому перекриваються входи в вихлопної колектор 27 і газовий трубопровід 38, а заслінка багатогодового крана 36 встановлюється в положення, при якому закривається вхід в газовий трубопровід 37.

При включенні відцентрового вентилятора 42, що приводиться в роботу від акумуляторної батареї 47, виникає вимушена циркуляція повітря по замкнутому контуру: вентилятор 42 - повітропровід 44 - простір картера ДВЗ - повітропровід 45 - багатогодової газовий кран 28 - перша і друга секції теплового акумулятора - багатогодовий газовий кран 35 - повітропровід 40 - фільтр 41 - вентилятор 42, при цьому електроклапан 30 відкритий, а електроклапани 31, 32 закриті. В процесі проходження потоку повітря по першій і другій секціях повітря нагрівається, а теплоакумуючий матеріал охолоджується і зазнає оборотній фазовий перехід з рідкого стану в тверде, виділяючи при цьому приховану теплоту кристалізації. Гаряче повітря очищується від механічних домішок у фільтрі 41 і надходить в простір картера ДВЗ, де віддає частину своєї теплової енергії корінним і шатунним підшипників колінчастого валу, а також моторного масла, циркулюючому по масляному трубопроводу штатної масляної системи дизеля.

Режим 2. При необхідності підігріву води водяної системи суднового дизеля 33 і 34 електроклапани встановлюються в положення «відкрито», а 30, 31, 32 і 35 в положення «закрито». При включенні водяного насоса 22 штатної

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		69

водяної системи дизеля виникає вимушена циркуляція води по замкнутому контуру: трубопровід системи охолодження допоміжного дизель-генератора 2 - ДВЗ 1 - трубопровід штатної водяної системи дизеля 9 - третя секція теплового акумулятора - водяний насос 22 - трубопровід системи охолодження допоміжного дизель-генератора 2. При роботі допоміжного дизель-генератора 4 починає прогріватися штатна водяна система охолодження основного дизеля 1, так як вона підключена до системи охолодження допоміжного дизель-генератора, а також за рахунок проходження потоку води по третьої секції теплового акумулятора (вода нагрівається, а теплоакumuлюючий матеріал охолоджується).

Режим 3 - комбінований. Циркуляція теплоносіїв здійснюється одночасно по описаним вище траєкторіях, при цьому електроклапани 30, 34, 33 знаходяться в положенні «відкрито», а клапани 31, 32 і 35 - в положенні «закрито».

В цьому режимі можлива тепла підготовка водопаливного теплообмінника 14 за допомогою електроприводу топлівопідкачуючого насоса 21 підключається через електромагнітні контактори 18 до генератора допоміжного дизель-генератора 4 [6 - 15].

Знімання температурних значень теплоносіїв здійснюється датчиками температури води 11 і масла 12. Управління електроклапанами 3, 5, 30, 31, 32, 33, 34, 35 і електромагнітними контакторами 18, 19, 20, 42 здійснює блок управління 17. Допоміжний дизель-генератор 4 забезпечує також живлення електрокерованих клапанів 3, 5, 30, 31, 32, 33, 34, 35 і електроприводів паливopідкачуючого насоса 21, водяного насоса 22, маслопрокачуючого насоса 23, через електромагнітні контактори 18, 19, 20 [6 - 15].

Запірні вентилі 6, 24, 25, 26 служать для відключення водяний і паливної систем допоміжного дизель-генератора 4 при технічному обслуговуванні та ремонті [6 - 15].

Для роботи описаної системи достатньо потужності допоміжного дизель-генератора або акумуляторної батареї в межах 5 кВт для забезпечення

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						70
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

енергією лише пристроїв автоматичного управління і виконавчими механізмами установкою (електроклапани подачі газу, електроклапани подачі води (палива), електродвигун водяного насос штатної водяної системи дизеля, електродвигуни штатних паливо і маслопрокачуючих насосів, відцентровий вентилятор) [6 - 15].

3.5 Особливості процесів знімання й віддачі теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в конструкції теплообмінника системи утилізації теплової енергії з тепловим акумулятором фазового переходу

Тепловий баланс дизельного двигуна: Тепло, що виділяється при згорянні палива в циліндрах двигуна, не може бути повністю перетворено в корисну механічну роботу. В термодинамічному циклі ефективність перетворення тепла в роботу оцінюється термічним коефіцієнтом корисної дії η_t який завжди залишається менше одиниці внаслідок передачі частини тепла від холодного джерела. У реальному двигуні втрати тепла зростають через тертя, теплообміну, неповноти згорання та інших причин. У зв'язку із цим ефективний ККД циклу має менше значення в порівнянні з величиною η_t . [22]

Розподіл теплової енергії палива, що згорає в двигуні, наочно ілюструється складовими зовнішнього теплового балансу, які визначаються при сталому тепловому стані двигуна в процесі його випробувань. Наближено складові теплового балансу можна знайти аналітично по даними теплового розрахунку двигуна [4 - 5, 22 - 24].

Тепловий баланс дозволяє визначити тепло, перетворене в корисну ефективну роботу. Встановити ступінь досягнутого досконалості тепло споживання і намітити шляхи зменшення наявних втрат. Знання окремих складових теплового балансу дозволяє судити про тепло напруженість деталей двигуна, розрахувати схему охолодження, з'ясувати можливість використання теплоти відпрацьованих газів [4 - 5, 22 - 24].

У загальному вигляді зовнішній тепловий баланс двигуна може бути

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		71

представлений у вигляді наступних складових [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_o = Q_e + Q_{\Gamma} + Q_B + Q_{H.C.} + Q_{OCT.} = H_u G_T / 3,6$$

де Q_o - загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом; теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна за 1 с [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_e = 1000 N_e$$

теплота, втрачена з відпрацьованими газами [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_r = (G_T / 3,6) \left\{ M_2 \left[(mc_V)_{t_o}^{t_r} + 8,315 \right] t_r - M_1 (mc_V)_{t_o}^{20} + 8,315 \right\} t_o$$

Теплота, що передається охолоджуючому середовищі [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_B = ci D^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u) / (\alpha H_u)$$

де $c = 0,45 \dots 0,53$ - коефіцієнт пропорційності для чотирьохтактного двигуна. В розрахунках прийнято $c = 0,5$;

i - число циліндрів;

D - діаметр циліндра, см;

n - частота обертання колінчатого вала двигуна, хв^{-1} ;

m - $0,5 \dots 0,7$ - показник ступеня для чотирьохтактного двигуна. В розрахунках прийнято: $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$; $m = 1,6$, а на усіх останніх швидкісних режимах – $m = 0,65$;

Теплота, втрачена через неповне згоряння палива [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_{H.C.} = \Delta H_u G_T / 3,6$$

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						72
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Невраховані втрати теплоти [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_{ост.} = Q_o - (Q_e + Q_{\Gamma} + Q_B + Q_{н.с.})$$

Знання абсолютних значень складових теплового балансу дозволяє здійснити кількісну оцінку розподілу теплоти в двигуні. Якщо ж необхідно порівняти розподіл теплоти в різних двигунах або оцінити ступінь тепло споживання конкретного двигуна, то складові теплового балансу зручніше представляти в відносних величинах, наприклад, у відсотках по відношенню до всієї теплоті, підведеної з паливом [4 - 5, 22 - 24]:

$$q_o = q_e + q_{\Gamma} + q_B + q_{н.с.} + q_{ост.} = 100\%$$

Величини окремих складових теплового балансу двигуна не є постійними, а змінюються в процесі його роботи в залежності від навантаження, швидкохідності і інших чинників. Характер розподілу теплоти, що підводиться в циліндр з паливом, у процесі перетворення в корисну ефективну роботу наочно може бути представлений у вигляді кривих теплового балансу. Графічні залежності будуються на підставі визначення кожної складової в залежності від частоти обертання, навантаження, якості суміші. Необхідні для побудови зазначених кривих теплового балансу дані отримують при проведенні спеціальних випробувань двигуна або шляхом використання результатів раніше виконаних експериментів [4 - 5, 22 - 24].

Вихідна потужність двигуна Caterpillar 3512C складає 1620 кВт, частота обертання 1800 хв⁻¹. Діаметр циліндра 170мм, хід поршня 190 мм, робочий об'єм 51800 см³, температура охолоджуючої рідини при нормальних умовах роботи становить 90 °С, а при екстремальних 95 °С, питома витрата палива 0,220г/ (кВт год) [1 - 3].

Розрахунок витрати палива на 100 % навантаження [4 - 5, 22 - 24]:

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		73

$$G_T = N_e g_e = 1620 \cdot 0,220 = 356,4 \text{ кг/год; } 100\%$$

Загальна кількість теплоти, поданої в двигун з паливом для дизельного двигуна з наддувом [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_o = H_u G_T / 3,6 = \frac{42400 \cdot 356,4}{3,6} = 4197600 \text{ Дж/с; } 100\%$$

Теплота, еквівалентна ефективній роботі за 1 с, для дизельного двигуна з наддувом [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_e = 1000 N_e = 1000 \cdot 1620,0 = 1620000 \text{ Дж/с;}$$

Теплота, передана охолоджуючому середовищу (масло та охолоджуюча рідина), для дизельного двигуна з наддувом [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_B = C i D^{1+2m} n^m (1/a) = 0,53 \cdot 12 \cdot 17,0^{1+2 \cdot 0,68} \cdot 1800^{0,67} \cdot (1/1,7) = 454859 \text{ Дж/с;}$$

де C - коефіцієнт пропорційності (для чотиритактних двигунів $C = 0,45 \div 0,53$);

i - кількість циліндрів;

D - діаметр циліндра, см;

m - показник ступеня (для чотиритактних двигунів $m = 0,6 \div 0,7$);

n - частота обертання колінчастого вала двигуна, хв⁻¹.

Теплота, віднесена з відпрацьованими газами (в дизелі з наддувом частина теплоти відпрацьованих газів використовується в газовій турбіні) [17]:

$$Q_r = (G_T / 3,6) \left[M_2 (mc_p)_{t_o}^{t_r} t_r - M_1 (mc_p)_{t_o}^{t_K} t_K \right];$$

$$Q_r = \left(\frac{356,4}{3,6} \right) [0,8815 \times 31,605 \times 513 - 0,85 \times 29,144 \times 88] = 1196239,8 \text{ Дж/с;}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		74

де $(mc_p)_{t_0}^{t_r} = (mc_v)_{t_0}^{t_r} + 8,315 = 23,290 + 8,315 = 31605 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{град)}$;

$(mc_v)_{t_0}^{t_r} = 23,290$ - визначено по таблиці методом інтерполяції при $\alpha=1,9$ і

$t_r = T_r - 273 = 786 - 273 = 513^\circ\text{C}$; [16, 17, 18]

$(mc_p)_{t_0}^{t_K} = (mc_v)_{t_0}^{t_K} + 8,315 = 20,829 + 8,315 = 29,144 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{град)}$;

$(mc_v)_{t_0}^{t_K} = 20,829$ - визначено по таблиці [17], при $t_K = T_K - 273 = 361 - 273 =$

88°C ;

Невраховані втрати теплоти для дизеля з наддувом [4 - 5, 22 - 24]:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_B + Q_r)$$

$$Q_{ост} = 4197600 - (1620000 + 454859 + 1196239,8) = 926501,2 \text{ Дж/с.}$$

Складові теплового балансу представлені в табл. 3.2, та на рис. 3.3 представлено схематичне зображення втрат теплоти в ДВЗ.

Таблиця 3.2 – Складові теплового балансу двигуна

Складові теплового балансу	Дизель з наддувом	
	Q, Дж/с	q, %
Теплота, еквівалентна ефективній роботі	1620000	38,6
Теплота, передана охолоджуючому середовищу (охолоджуюча рідина)	309304	20,2
Теплота, передана охолоджуючому середовищу (масло)	145555	9,1
Теплота, віднесена з відпрацьованими газами	1196239,8	28,5
Невраховані втрати теплоти	926501,2	3,6
Загальна кількість теплоти, поданої в двигун з паливом	4197600	100

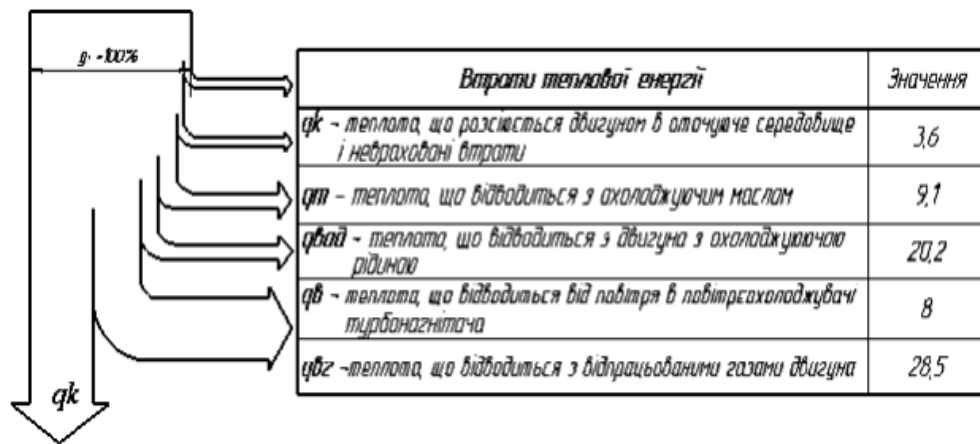


Рисунок 3.3 – Тепловий баланс дизельного двигуна

Для забезпечення роботоздатності запропонованої системи було розглянуто задачу утилізації енергії (теплоти) викидних (відпрацьованих) газів (ВГ) судновим двигуном внутрішнього згорання з метою отримати гарячі теплоносії в системі утилізації відпрацьованих газів з тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу [1 - 5, 22 - 24]. Для цього досліджується можливість вирішення поставленої задачі шляхом використання рекуперативного теплообмінника, а також можливість його застосування з метою отримання найбільшої ефективності при одночасному зменшенні габаритів та металоємності утилізаційної установки.

В якості об'єкта при визначенні особливостей процесів знімання й віддачі теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в конструкції теплообмінника системи утилізації теплової енергії з тепловим акумулятором фазового переходу було розглянуто теплообмінник з поперечним обтіканням рядів трубок, по яким рухається теплоносії, що підігрівається потоком відпрацьованих газів. Загальний характер взаємного руху потоку теплоносія та газового потоку - протиток. Як показали результати аналізу та результати розрахунків за допомогою розробленого математичного забезпечення, варто обмежитись схемою з шаховим розташуванням гладких трубок. Застосування будь-яких ребер з метою підвищення коефіцієнту тепловіддачі від газів до поверхні трубок виглядає недоцільним, оскільки це не тільки підвищує вартість установки та ускладнює її подальшу експлуатацію, але й призводить

до малої швидкості газового потоку, а отже і до малого значення коефіцієнту тепловіддачі у потік теплоносія. Конструктивно теплообмінник виконано у вигляді пакету змійовиків, кінці яких входять у відповідні вхідний та вихідний колектори. Самі змійовики зсунуті один відносно іншого таким чином, щоб у перетині утворювалась схема обтікання трубок газовим потоком.

При визначенні коефіцієнтів тепловіддачі від газу до поверхні трубок та падіння тиску в газовому потоці використовувались наявні залежності, які відносяться для трубного пакету в цілому [22 - 24]. Трубний пакет типу складається з N_2 шарів трубок, в кожному шарі міститься N_1 трубок довжиною L , з внутрішнім - d_B і зовнішнім - d_3 діаметрами [4 - 5, 22 - 24].

В трубчатому утилізаційному підігрівнику тепло передаюча рідина з витратою 0,04576 кг/с, (однакова з витратою рідини в системі охолодження) яка має підігріватись від 135 °С до 170 °С [4 - 5, 22 - 24]. Гріючим теплоносієм є відпрацьовані гази, які містять 12% CO₂ і 5% H₂O за об'ємом. Гази з витратою 1,5 м³/с і швидкістю 8 м/с поперечно обтікають пучок труб з діаметрами 16/14 мм і кроками між трубами $S_1 = 16$ мм і $S_2 = 12$ мм. Теплопередаюча рідина рухається в трубах зі швидкістю 1,43 м/с. Температура газів на вході в підігрівнику рідини складає 300 °С, а тиск газів 100 кПа [4 - 5, 17, 22 - 24].

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі. Кількість рядів труб 10. Матеріал труб – сталь ($\lambda = 45$ Вт/(м·К)). Середня температура теплопередаючої рідини [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\overline{t_p} = 0,5(t_p' + t_p'') = 0,5(135 + 170) = 152,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Теплофізичні властивості теплопередаючої рідини для середньої температури [4 - 5, 17, 22 - 24]:

Щільність теплопередаючої рідини $\rho_p = 1,04$ кг/м³;

Теплоємність теплопередаючої рідини $C_p = 1,67$ кДж/(кг·К);

Теплопровідність теплопередаючої рідини $\lambda_p = 0,258 \text{ Вт/(м·К)}$;
 Кінетична в'язкість теплопередаючої рідини $\nu_p = 28,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
 Число Прандтля для теплопередаючої рідини $Pr_p = 0,684$.
 Критерій Рейнольдса для потоку рідини [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$Re_p = \frac{w_p \cdot d_e}{\nu_p} = \frac{12 \cdot 0,032}{28,3 \cdot 10^{-6}} = 1,356 \cdot 10^4$$

Критерій Нуссельта для рідини [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\overline{Nu}_p = 0,023 \cdot Re_p^{0,8} \cdot Pr_p^{0,43} = 0,023 \cdot (1,356 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 0,684 \cdot 0,43 = 38,2$$

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки труби до рідини, Вт/(м·К) [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\overline{a}_p = \frac{\overline{Nu}_p \cdot \lambda_p}{d_e} = \frac{38,2 \cdot 0,258}{0,032} = 307$$

Оскільки кінцева температура відпрацьованих газів, їх середня температура та теплоємність невідомі беремо в першому наближенні $\overline{t}_z = 160 \text{ °C}$ [4 - 5, 22 - 24].

Середня температура газів, °C [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\overline{t}_z = 0,5(t'_z + t''_z) = 0,5(300 + 160) = 230$$

Теплоємність газів для середньої температури становить [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$C_{pz} = 1,1145 \text{ кДж/(кг·К)}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						78
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Середня теплоємність газів із рівняння теплового балансу, кДж/(кг·К):

$$\bar{C}_{p2} = \frac{Q}{G_z(t'_z - t''_z)} = \frac{5026}{19,6 \cdot (300 - 160)} = 1,83$$

Оскільки розбіжність між значеннями C_{pg} перевищує 3%, уточнюємо розрахунки. В другому наближенні беремо $t''_z = 150^\circ\text{C}$. Тоді $\bar{t}_z = 265^\circ\text{C}$; $C_{pz} = 1,111$ кДж/(кг·К), а $\bar{C}_{pz} = 1,113$ кДж/(кг·К) [4 - 5, 17, 22 - 24].

Отже, подальших уточнень робити не потрібно.

Теплофізичні властивості газів для середньої температури: $\bar{t}_z = 256^\circ\text{C}$; $\lambda_r = 0,045$ Вт/(м·К); $\nu_r = 41,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $Pr_r = 0,66$ [4 - 5, 17, 22 - 24].

Критерій Рейнольдса для потоку газів [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$Re_z = \frac{w_z \cdot d_{3H}}{\nu_z} = \frac{8 \cdot 0,038}{41,2 \cdot 10^{-6}} = 7378$$

Оскільки $10^3 < Re < 2 \cdot 10^5$, то режим обтікання шахового пучка перехідний. Відношення $S_1/S_2 = 16/12 = 1,3$ [4 - 5, 17, 22 - 24].

Поправочний коефіцієнт [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\varepsilon_S = 1,3^{1/6} = 1,033.$$

Критерій Нуссельта для газів [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\overline{Nu}_z = 0,4 \cdot Re_z^{0,6} \cdot P_{1_z}^{0,33} \cdot \varepsilon_S = 0,4 \cdot (7378)^{0,6} \cdot 0,66^{0,33} \cdot 1,033 = 75,3$$

Коефіцієнт тепловіддачі до третього ряду, Вт/дл/ (м²·К) [4 - 5, 17, 22 - 24]:

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						79
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\overline{a}_r = \frac{\overline{Nu}_r \cdot \lambda_r}{d_{3H}} = \frac{75,3 \cdot 0,045}{0,038} = 89$$

Для однакової поверхні нагріву рядів середній коефіцієнт тепловіддачі буде, Вт/(м²·К) [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\overline{a}_r = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z a_i = \frac{1}{10} (0,6a_{r3} + 0,7a_{r3} + 8a_{r3}) = 0,93 \cdot a_{r3} = 0,93 \cdot 89 = 83$$

Ефективна довжина променя в пучку труб, м [4 - 5, 22 - 24]:

$$l = 0,9d_s \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,038 \left(\frac{4}{3,14} \cdot \frac{0,016 \cdot 0,012}{0,016^2} - 1 \right) = 0,117$$

Добутки парціальних тисків газів на середню довжину променя, кПа [17]:

$$P_{CO_2} \cdot l = 100 \cdot 0,12 \cdot 0,117 = 1,44 \text{ або } 0,0144 \text{ м/бар};$$

$$P_{H_2O} \cdot l = 100 \cdot 0,05 \cdot 0,117 = 0,585 \text{ або } 0,00585 \text{ м/бар}.$$

Оскільки поглинання (випромінювання) газу здійснюється в певному об'ємі, його поглинальна здатність залежить від кількості молекул на довжині шляху променю, тобто від густини або тиску та товщини шару газу l . Випромінювання газів відрізняється від закону четвертого степеня. Однак для зручності в технічних розрахунках використовують закон Стефана-Больцмана, а відхилення від нього відносять за рахунок відносної випромінювальної здатності (ступеня чорноти) газу. Для технічних розрахунків основний інтерес являють ступені чорноти діоксиду вуглецю (*dioxide carbon*) і водяної пари, які утворюються в процесах згорання палива і для яких відомі надійні вимірювання цих величин [4 - 5, 17, 22 - 24].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						80
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Результати таких вимірювань наведені на рис. 3.4 а, б.

Ступінь чорноти газів [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\varepsilon_{CO_2} = 0,052;$$

$$\varepsilon_{H_2O} = 0,105;$$

Поправочний коефіцієнт $\beta=1,05$ [4 - 5, 17, 22 - 24]:

Ступінь чорноти газів [17]:

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \beta \cdot \varepsilon_{H_2O} = 0,052 + 1,05 \cdot 0,105 = 0,162$$

Для водяної пари вплив тиску Р дещо більший, ніж вплив товщини шару l, тому значення ε_{H_2O} , що визначено з рис. 3.4 а, потрібно помножити на поправочний множник β , який визначається із рис. 3.5.

Орієнтовна середня температура стінки труби з боку газів, °С [17, 22]:

$$\overline{t_{cm}} = \frac{(\overline{t_g} + \overline{t_p})}{2} = \frac{265 + 100}{2} = 182$$

Абсолютні температури, °С [4 - 5, 17, 22 - 24]:

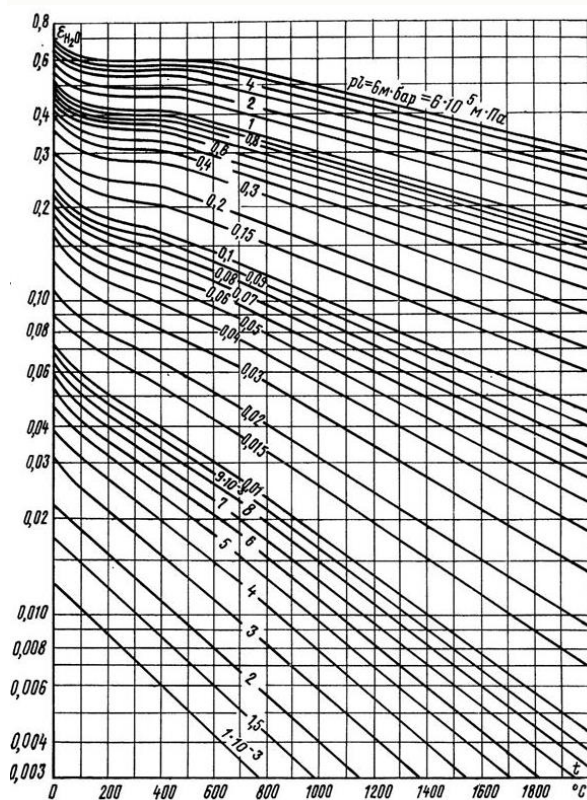
$$T_{ст} = \overline{t_{cm}} + 273 = 182 + 273 = 455;$$

$$T_r = \overline{t_g} + 273 = 265 + 273 = 538.$$

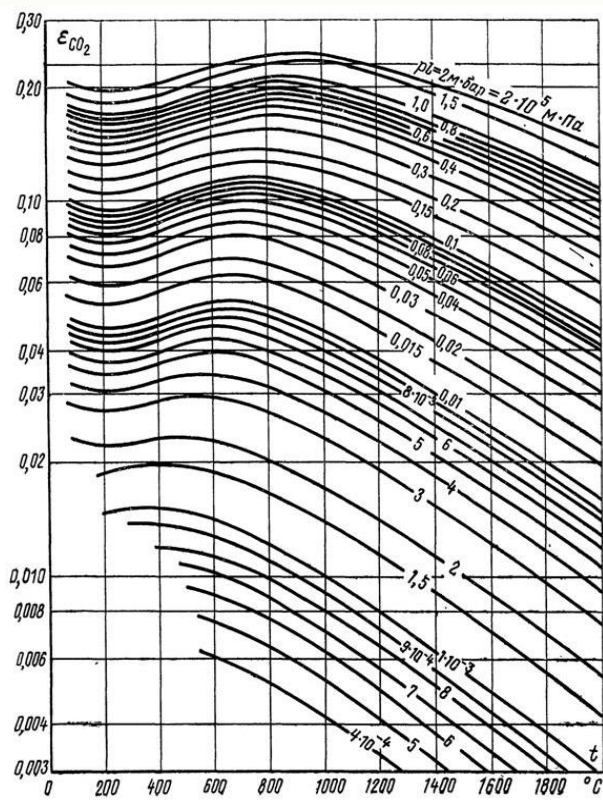
Питомий променистий тепловий потік, Вт/м² [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$q_g = \varepsilon_g \cdot C_0 \left[(T_r / 100)^4 + (T_{cm} / 100)^4 \right] = 0,162 \cdot 5,7 \left[(538 / 100)^4 - (478 / 100)^4 \right] = 280$$

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						81
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		



а)



б)

Рисунок 3.4 – Графіки залежність для водяної пари (а) і для двоокису вуглецю (б)

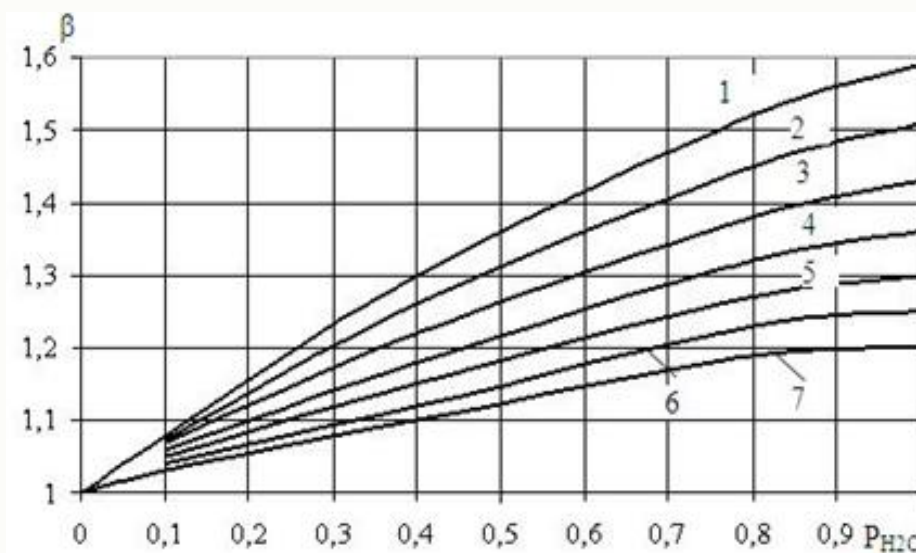


Рисунок 3.5 – Зміна поправочного коефіцієнту β в залежності від парціального тиску пари

Променистий коефіцієнт тепловіддачі від газів до зовнішньої стінки труби, Вт/(м²·К) [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\alpha_B = \frac{q_B}{t_r - t_{cr}} = \frac{280}{265 - 182} = 3,37$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі від газів, Вт/(м²·К) [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$\alpha_r = \bar{\alpha}_r + \alpha_{пр} = 83 + 3,37 = 86,37$$

Оскільки $d_3/d_B = 38/32 = 1,187 < 1,2$, то коефіцієнт теплопередачі можливо визначати як для плоскої стінки, тобто, Вт/(м²·К) [4 - 5, 17, 22 - 24]:

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_{cr}}{\lambda_{cr}} + \frac{1}{\alpha_r} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{89} + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{86,37} \right)^{-1} = 44,24$$

Розрахунок поверхні утилізаційного теплообмінника: За даними теплового балансу кількість теплоти, що відводиться від двигуна відпрацьованими газами: $Q_{\text{вз}} = 1196239,8 \text{ Дж/с}$; середня теплоємність відпрацьованих газів $c_{\text{вз}} = 1042 \text{ Дж/(кг·К)}$.

Витрата відпрацьованих газів від стаціонарної дизельної установки визначається за формулою

$$G_{\text{вз}} = 8,72 \cdot 10^{-6} \cdot b_{\text{в}} \cdot P_{\text{в}}, \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{вз}} = 8,72 \cdot 10^{-6} \cdot 208 \cdot 1620 = 2,94, \text{ кг/с}$$

де $b_{\text{в}}$ - питома витрата палива на експлуатаційному (або номінальному) режимі роботи двигуна, г/кВт.год;

$P_{\text{в}}$ – номінальна потужність двигуна.

Об'ємна витрата відпрацьованих газів визначається за формулою [17]:

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						83
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Q_{\text{гг}} = G_{\text{гг}} / \gamma_{\text{гг}}, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{\text{гг}} = 2,94/0,42 = 6,995$$

де $\gamma_{\text{гг}}$ - питома вага відпрацьованих газів, що розраховується за формулою:

$$\gamma_{\text{гг}} = \gamma_{\text{гг}} (\text{при } t=0^\circ\text{C}) / (1 + T_{\text{гг}}/273), \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\gamma_{\text{гг}} = 1,31/(1+573/273) = 0,42$$

де $\gamma_{\text{гг}}$ (при $t=0^\circ\text{C}$) - питома вага відпрацьованих газів при температурі 0°C ,

$$\gamma_{\text{гг}} (\text{при } t=0^\circ\text{C}) = 1,31 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$T_{\text{гг}}$ - температура відпрацьованих газів, К.

Об'ємна витрата відпрацьованих газів, що проходить через теплообмінник: $G_{\text{в}} = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$; середня щільність відпрацьованих газів $\rho_{\text{гг}} = 1,295 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Кількість відпрацьованих газів, що проходить через утилізаційний теплообмінник:

$$G'_{\text{гг}} = Q_{\text{гг}} / (c_{\text{гг}} \Delta T_{\text{гг}}) = 1196239,8 / (1042 \cdot 28) = 41 \text{ кг}/\text{с},$$

де $\Delta T_{\text{гг}} = 28$ - температурний перепад відпрацьованих газів, К.

Масова витрата відпрацьованих газів, що проходять через утилізаційний теплообмінник:

$$G'_{\text{г}} = G_{\text{г}} \rho_{\text{г}} = 41 \cdot 1,295 = 53,1 \text{ кг}/\text{с}.$$

Середня температура відпрацьованих газів, які проходять через утилізаційний теплообмінник:

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						84
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$T_{cp.гг} = \frac{T_{гг.пгч} + (T_{гг.пгч} - \Delta T_{гг})}{2} = \frac{573 + (573 - 10)}{2} = 568 \text{ К},$$

де $T_{гг.пгч} = 573$ - температура відпрацьованих газів перед утилізаційним теплообмінником, К; $\Delta T_{гг} = 10$ - температурний перепад в утилізаційному теплообміннику К.

Поверхня теплообміну утилізаційного теплообмінника:

$$F = \frac{Q_{гг}}{K(T_{cp.гг} - T_{cp})} = \frac{1196239,8}{89(568 - 548)} = 672 \text{ м}^2,$$

де $K = 89$ - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К).

За отриманими даними був обраний стандартний трубчастий утилізаційний теплообмінний апарат, основні масогабаритні розміри утилізаційного теплообмінника представлені в табл. 2. [17]. Таким чином, отримані основні технічні характеристики стандартного теплообмінника для виконання вказаної задачі [4 - 5, 17, 22 - 24]:

- зовнішній діаметр, мм 800;
- кількість трубок, шт. 717;
- поверхня теплообміну, м² 90;
- довжина трубок, м 2;
- число ходів 4;
- діаметр труб, мм 25x2

За отриманими значеннями и з використанням залежностей [6 - 8] був визначений час зберігання температури в багатосекційному тепловому акумуляторі для можливості забезпечення оперативної готовності суднового двигуна в умовах експлуатації. Отримані розрахункові залежності динаміки зміни температур теплового акумулятора в процесі розрядки (зберігання теплоти) показані на рис. 3.6.

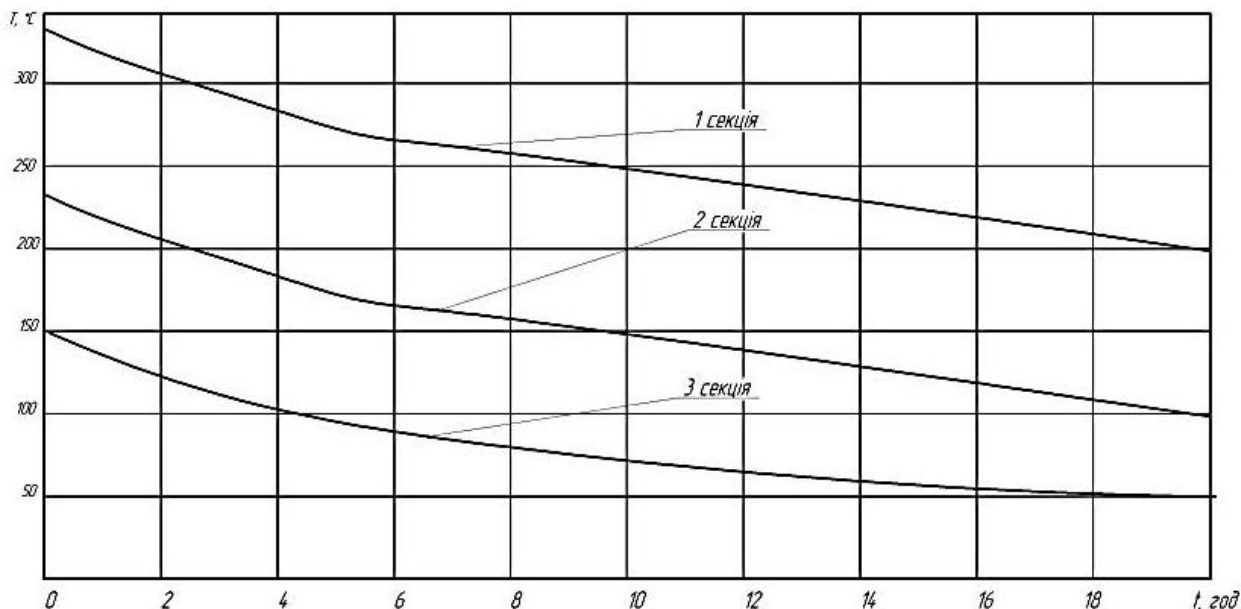


Рисунок 3.6 – Розрахункова динаміка зміни температур теплового акумулятора в процесі розрядки (зберігання теплоти)

3.6 Рекомендації для формування системи теплової підготовки суднового двигуна на основі теплового акумулятора фазового переходу

При розробці системи теплової підготовки (СТП) суднового двигуна Caterpillar 3512C судна «ANTARES» потрібно враховувати зовнішні та внутрішні фактори, які впливають на точність роботи системи, надійність та зручність в експлуатації, а також вимогам безпеки в частині вибухобезпечності та пожежобезпечності.

Формування СТП повинно починатися з визначення параметрів багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу (БСТАФП), обумовлених умовами експлуатації суднового двигуна.

Виходячи з положення, що вибір оптимального теплоакумуючого матеріалу ТА завжди являє собою певний компроміс між властивостями речовин, що застосовуються [6 - 8], ефективне акумулююче середовище на основі фазового переходу повинно мати наступні властивості [8 - 14]: високу ентальпію фазового переходу і щільність; зручну для експлуатаційних умов температуру плавлення; високу теплоємність в твердій і рідкій фазах; високу

теплопровідність в твердій і рідкій фазах; слабку хімічну активність, що дозволяє використовувати недорогі конструкційні матеріали для виготовлення теплових акумуляторів і допоміжного обладнання; безпека (відсутністю отруйних парів, а також небезпечних реакцій з робочим або теплообмінним середовищем);

До основних рекомендацій щодо розробки конструкції СТП з БСТАФП фазового переходу можливо віднести наступні положення, що стосуються особливостей формування [8 - 14]:

1. Розробка СТП повинна починатися з визначення призначення БСТАФП для використання в судновому двигуні. На цьому етапі необхідно визначитись с температурним режимом, який буде потрібен для виконання технологічних операцій і визначити відповідні задачі, що будуть виконуватись при визначених температурах, а саме – забезпечення тільки пуску після виконання передпускового прогріву, передпусковий прогрів до температур «гарячого прогріву» для виконання одночасного пуску и прийняття навантаження тощо.

Крім цього, необхідно визначитись с режимами роботи суднового двигуна, режимами при якій відбувається робота двигуна та пуск ДВЗ, а також інтервали між зупинкою та пуском ДВЗ в процесі експлуатації. Саме від цього залежать основні технологічні параметри БСТАФП і його експлуатаційних особливостей в частині рідин і газів, а в першу чергу відпрацьованих газів.

2. Визначити основні значення параметрів навколишнього середовища, на які повинен був розрахований БСТАФП, як екстремальні, так і поточні температури, та їх періодичність появи на протязі календарного року.

3. Визначити параметри можливої утилізації теплоти, що відводяться / підводяться технологічними рідинами та повітряними масами (відпрацьованими газами) суднового двигуна.

4. Після цього необхідно уточнити вихідні параметри - характеристики умов, в яких буде працювати БСТАФП, а саме циклічність фазових перетворень, інтервал робочих температур тощо.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		87

5. Визначити основні технологічні параметри БСТАФП - необхідну кількість теплоти, яку він повинен накопичувати / віддавати / зберігати. При визначенні необхідної кількості теплоти і об'єму БСТАФП необхідно виконувати наступні вимоги відносно ТАМ: вага ТАМ повинна розраховуватися із умови забезпечення прогріву СДВЗ при максимально низькій експлуатаційній температурі навколишнього середовища, та максимально тривалому інтервалі між зупинкою та пуском СДВЗ.

6. Розробити можливі варіанти конструктивного виконання БСТАФП фазового переходу для суднового двигуна у відповідності до можливих конструктивних варіантів виконання. Виконати попередній відбір декількох варіантів ТАМ, які за своїми температурами фазового переходу, питомою теплотою фазового переходу і питомою масовою теплоємністю відповідають умовам експлуатації суднового двигуна. Можливо виключити з розгляду ТАМ, які в рідкій фазі можуть мати значний перегрів, що може призвести до підвищення тиску в теплоакумуючій ємності БСТАФП. З попередньо відібраних ТАМ залишаються речовини, що володіють найбільшою щільністю акумулювання теплоти, тобто її кількістю, що запасається одиницею об'єму ТАМ. З відібраних за умовами ТАМ вибираються речовини з найбільш високими теплообмінними властивостями.

Теплообмінні властивості ТАМ характеризуються коефіцієнтами теплопровідності у твердій $\lambda_{тв}$ і рідкій λ_p фазах [8 - 14]. На даному етапі методики слід виключити з розгляду ТАМ, що володіють найбільш низькими значеннями $\lambda_{тв}$ і λ_p [8 - 14]. Однак, дана вимога не повинна бути критично жорсткою, тому що низькі теплообмінні властивості ТАМ можливо компенсувати застосуванням спеціальних конструктивних рішень БСТАФП, наприклад, встановленням ребер на теплообмінних поверхнях ТА фазового переходу [8 - 14].

7. В частині розгляду параметрів теплоізоляції БСТАФП - теплоізоляція повинна забезпечувати збереження накопиченої теплової енергії на період часу, який відповідає максимально тривалому інтервалу між зупинкою та

пуском суднового ДВЗ. Це може бути виражено параметрами зменшення температури ТАМ (охолодження) з максимально досягнутої при зарядці до температури фазового переходу (подальше охолодження не бажане в умовах експлуатації). Вибір параметрів теплоізоляції БСТАФП потрібно виконувати за рекомендаціями відповідних довідників [8 - 14].

8. Перевірка за показниками безпеки - токсичність, вибухобезпечність і пожежобезпечність, а також радіаційна безпека. На цьому етапі з відібраних за умовами ТАМ слід виключити вибухо і пожежонебезпечні речовини; речовини, що небезпечні в радіаційному відношенні, а також сполуки, здатні виділяти отруйні пари і вступати в небезпечні реакції з теплообмінним середовищем і елементами БСТАФП.

9. Теплоносій, який заряджає БСТАФП повинен відповідати наступним вимогам: ефективно виконувати зарядку бути неагресивним до ТАМ та елементів системи зарядки, бути безпечним на всіх режимах роботи системи.

10. Відбір за показниками економічності полягає в оцінюванні сумарної вартості витрат на створення БСТАФП для суднового ДВЗ, яка повинна наближатися до мінімальної.

11. Остаточню ТАМ для БСТАФП вибирається із багатоваріантного компромісу для багатьох параметрів, до яких відносяться: термоциклічність, схильність до значних переохолоджень, конгруентність плавлення і ступінь теплового розширення, щільність накопичення теплової енергії, параметрів теплоносіїв, які заряджають та розряджають БСТАФП (температура та витрата теплоносіїв), температура та теплоємність фазового переходу, характеристики теплообміну між ТАМ та елементами системи зарядки-розрядки ТА, безпека в експлуатації, вартість. Якщо на цьому етапі деякі негативні властивості будуть критичними, то необхідно спробувати негативний вплив цих властивостей значно зменшити аж до повного їх усунення.

12. Система прискореного прогріву ДВЗ повинна забезпечувати більш швидкий прогрів суднового ДВЗ, у порівнянні зі штатною системою охолодження ДВЗ. Це досягається при використанні електричного

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						89
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

циркуляційного насосу та системи електромагнітних клапанів, які входять в до системи передпускового прогріву. Електричні циркуляційні насоси повинні забезпечувати необхідну витрату охолоджуючої рідини в системі охолодження та мати можливість автоматично або за допомогою електронного керування змінювати витрату охолоджуючої рідини, для забезпечення необхідних показників роботи системи відповідно до режиму роботи енергетичної установки в цілому. Електромагнітні клапани системи передпускового прогріву повинні забезпечувати необхідну витрату охолоджуючої рідини, мати швидкість закриття-відкриття на рівні 0,1...0,2 с. Елементи конструкції клапанів повинні бути стійкими до корозії, та мати робочій інтервал температур від -30 °С до + 150 °С.

13. Система технічного обслуговування БСТАФП в частині заходів і періодів виконання робіт повинна органічно вписуватись систему технічного обслуговування суднового ДВЗ.

Висновок. В результаті модернізації системи охолодження було запропоновано використовувати для підвищення оперативної готовності головного двигуна буксира використовувати багатосекційний тепловий акумулятор фазового переходу для підтримання параметрів прогрітого суднового двигуна без запуску його від накопиченої теплової енергії. Запропонована схема теплового акумулятора, механізм і технологічна схема його використання в системі охолодження двигуна в умовах експлуатації. Визначені параметри його заряджання і динаміка зміни температур теплового акумулятора в процесі розрядки (зберігання теплоти). Розроблені рекомендації щодо формування системи теплової підготовки суднового двигуна на основі теплового акумулятора фазового переходу. В цілому цілі, що ставились в роботі досягнуті.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						90
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1 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 [20-21].

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

- 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 [20-21]:

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

Марпол 73-78 – міжнародна конвенція щодо запобігання забруднення морського середовища суднами.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		91

СОЛАС 74 – конвенція по охороні життя людини на морі. Основні цілі конвенції СОЛАС – визначення мінімальних стандартів по конструкції, обладнанню та плаванню судин, відповідаючи за їх безпеку.

Також до цього списку можна додати МКУБ (ISMcode), ПДНВ (STCW 95/98) та інструкції, що розробляються спеціально роботодавцем.

4.1.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у машинному відділенні. На людину в процесі його діяльності можуть впливати різні небезпечні й шкідливі фактори. Судно в комплексі з наявністю в ньому різного устаткування і механізмів являє собою об'єкт підвищеної небезпеки зі значною кількістю небезпечних і шкідливих факторів. До числа цих факторів відносяться [20-21]:

Таблиця 4.1 - Потенційні небезпеки й шкідливі фактори на судні [20-21]

Види потенційно можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів	
1. Фізичні виробничі фактори:	
1.1. Шкідливі:	
- шум; - вібрація; - наявність електромагнітних полів; - підвищена загазованість; - підвищене виділення тепла; - підвищена вологість.	
1.2. Небезпечні:	
- небезпека вибуху; - небезпека виникнення пожежі; - небезпека ураження електрострумом; - відкрито рухаються й обертаються частини машин.	
2. Хімічні виробничі фактори:	
2.1. Шкідливі:	
- подразнюючі речовини: кислоти, луги, розчинники, кислі гази.	
2.2. Небезпечні:	
- канцерогенні речовини: сполуки алюмінію, бензин, гас, 3,4-бенз(α)пирен (міститься у вихлопних газах двигунів).	
3. Біологічні виробничі фактори:	
3.1. Небезпечні:	
- бактерії.	

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 [20-21].

Одним з таких факторів є живлення 380 В трифазним змінним струмом для електродвигунів і 220 В однофазним змінним струмом для системи автоматизації. Електричні машини є джерелом вібрації. Вібрація негативно позначається на людях, що перебувають у приміщенні, і працюючі в зоні підвищеної вібрації люди можуть занедужати віброхворобою. По нормативних документах, рівень шуму повинен бути залежним від октавної смуги в межах 92...108 дБ, устаткування повинне безвідмовно працювати при вібраціях із частотою 3...50 Гц і амплітудою в 1 мм. Шкідливим фактором є також рівень шуму, що нормує документом для рівня шуму є державний стандарт [20-21].

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 діючих стандартів робоче місце повинне забезпечувати максимально можливу зручність проведення робіт у положенні сидячи й стоячи. Кут зору для охопту інформаційного поля повинен бути не більше 120°. Робоча зона повинна бути не менш 1 м. Завдяки математичному моделюванню, стає можливим істотно зменшити вплив небезпечних і шкідливих факторів на персонал при випробуваннях і наступній експлуатації валогенераторної установки суден, завдяки вибору оптимального режиму роботи [20-21].

Підвищена запиленість і загазованість. З основних забруднень, що можуть бути присутні у МВ – вуглеводні, сірчаний і сірчистий ангідрид, у

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		93

концентрації вище, ПДК діють на організм людини. За діючим стандартом встановлені ПДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони [20-21].

Захист – вентиляція, а також газо-пилоуловлюючі засоби індивідуального захисту й устаткування [20-21].

Температура повітря, вологість, швидкість повітря. Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це веде до зниження працездатності і може стати причиною травматизму. Низька температура може викликати місцеве чи загальне охолодження організму. Для підтримки нормальної температури передбачається вентиляція з підігрівником і охолоджувачем повітря. Для підтримки гарного самопочуття людей немаловажне значення має температура поверхонь, огорожуючих приміщень. Щоб їхнього відпрівання вона повинна бути не нижче температури повітря в приміщенні більш ніж 6°C і не менше крапки роси [20-21].

Освітленість. У МВ судна застосовується штучне освітлення. Нерівномірність освітлення робочих місць підвищує стомлюваність органів зору від частоті переадаптації зору – при перекладі погляду з більш освітленої поверхні на менш освітлену. Наявність тіней на робочих поверхнях, а також близькості, відбитої від робочих поверхонь устаткування. Створюють несприятливі умови для роботи органів зору. Найкращий розподіл світла на робочих місцях створює загальне освітлення. При аварійному висвітленні освітленість робочих поверхонь повинна бути не менш 25 % установлених для робочого освітлення норм, а на сходах трапа і проходах – не менш 5 лк. Норми освітленості регламентуються діючими нормами штучного освітлення на судах морського флоту ГОСТ 2506-81. У МВ загальне освітлення на палубі згідно цих норм повинне бути не менш 20 лк, на шкалах приладів – 75 лк, на сходах трапа – 20 лк [20-21].

Запобігання пожежі на судні. Головною метою боротьби з пожежею є – швидке взяття її під контроль та гасіння, яке можливе лише в тому випадку,

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		94

коли вогнегасний засіб доставлений до пожежі швидко й в достатній кількості. Це можливо забезпечити за допомогою стаціонарних систем пожежогасіння.

Вуглекислий газ - широко розповсюджений засіб пожежогасіння на судах. Ліквідація пожеж у суднових приміщеннях вуглекислим газом здійснюється методом об'ємного гасіння. Для підвищення ефективності гасіння рекомендується герметизація приміщенні, у яких застосовується вуглекислота [20-21].

Будучи в 1,5 рази важчим за 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, і т.д [20-21].

На судах вуглекислота зберігається в сталевих балонах місткістю 30...40 л, у яких вона 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 розміщують групами по 8...16 шт. у вертикальному положенні головками нагору. Вони повинні бути надійно закріплені в місцях, розташованих удалині від житлових і службових приміщень, тому що вуглекислота ставиться до задущлиивих газів і при високій концентрації в повітрі (22 % і вище) небезпечна для життя [20-21].

При виході з балонів і раптовому розширенні вуглекислота випаровується, перетворюючись у газ. При цьому обсяг її збільшується більш ніж в 500 разів. Частина вуглекислоти в результаті переохолодження переходить у твердий стан – сніжні пластівці, які, потрапляючи у вогнище горіння, миттєво перетворюються в газ. Вуглекислий газ, 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 вуглекислоти в атмосфері приміщення (22...23%) [20].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		95

4.1.3 Розрахунок приточно-витяжної вентиляції в машинному 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 [20-21].

Кратність повітрообміну n показує, скільки разів переміняється повітря в приміщенні за одну годину і визначається за рівнянням [20-21]:

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

де L — обсяг подаваного в приміщення або видаленого з нього повітря, м³/год;

V — об'єм робочого приміщення, $V = 19000$ м³.

Подача повітря розраховується за виразом [20-21]:

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

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

c — питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К), $c = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

γ — густина повітря, при 20 °С і нормальному атмосферному тиску

$\gamma = 1,3$ кг/м³;

ΔT — допустима різниця повітря між зовнішнім повітрям та повітрям у машинному відділенні, $\Delta T_{\text{літо}} = 12^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{зима}} = 27^\circ\text{C}$.

Кількість тепла, що потрапляє до машинного відділення від головного двигуна розраховуємо за виразом [20-21]:

$$Q_T = K_T \cdot N_e \cdot B \cdot q_e, \quad (4.3)$$

де K_T – коефіцієнт, що враховує кількість тепла, що виділяється дизелем.
 При водо-водяній системі охолодження $K_T = 0,02$. В залежності від моделей двигуна, необхідна кількість відведеного тепла може досягати до 5 % від тепла, що підводиться паливом;
 N_e – ефективна потужність дизелів, кВт, $N_e = 48000$ кВт;
 B – нижча теплота згоряння, $B = 42500$ кДж/кг;
 q_e – питома витрата палива, кг/(кВт·год), $q_e = 0,173$ кг/(кВт·год).
 Тоді:

$$Q_T = 0,02 \cdot 42500 \cdot 48000 \cdot 0,173 = 7058400 \text{ кДж/год.}$$

Кількість витяжного повітря з МО підраховується як різниця приточного повітря й повітря, споживане працюючими головними двигунами (якщо двигуни забирають повітря з МВ) [20-21]:

$$L'_e = L_b - L_d, \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.4)$$

Кількість повітря, споживаного двигунами [20-21]:

$$L_d = 14,6 \cdot q_e \cdot \alpha \cdot N_e, \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.5)$$

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

Тоді $L_d = 14,6 \cdot 0,173 \cdot 2,48 \cdot 48000 = 300671,2 \text{ м}^3/\text{год.}$

Підставляємо отримані значення в (4.2), проводимо розрахунок [20-21]:

$$L_{\text{літо}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 7058400 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 12) \approx 447981,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$L_{\text{зима}} = Q_{\text{заг}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T) = 7058400 / (1,01 \cdot 1,3 \cdot 27) \approx 199102,98 \text{ м}^3/\text{год.}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		97

Підставляємо отримані значення до (4.4), та проводимо розрахунок:

- для літа $L'_g = 447981,7 - 300671,2 = 147310,5 \text{ м}^3/\text{год}$;
- для зими $L'_g = 199102,98 - 300671,2 = -101568,22 \text{ м}^3/\text{год}$.

Згідно з (4.1) розрахункова кратність вентиляції машинного відділення становить для літа [20-21]

$$n_{\text{літо}} = L_{\text{літо}} / V = 147310,5 / 19000 \approx 7,75 \text{ год}^{-1}.$$

На судні встановлено систему вентиляції машинного відділення, що забезпечує умови праці.

Цей розрахунок виконаний з метою визначення необхідної кількості циркулюючого повітря в машинному відділенні згідно загальних санітарно-гігієнічних умов даної кількості циркулюючого повітря вистачає для підтримки метеорологічних умов на оптимальному рівні а встановленої потужності вентиляторів марки SMC8 – 100 дозволяють підтримувати необхідні параметри в межах 40...60 % при наявності повітряного опалення, у літню пору нормалізується. Для підтримки необхідних параметрів повітря у МКВ на судні застосована система приливно-витяжної вентиляції та опалення.

Мікроклімат у машинному відділенні визначається наступними параметрами: вологість, температура, рухливість повітря, тиск повітря, теплота, що виділяється від нагрітого повітря, устаткування та механізмів [21].

Підвищена температура повітря в робочому приміщенні викликає швидку стомлюваність організму, перегрів. Це веде до зниження працездатності і може стати причиною травматизму. Низька температура викликати місцеве чи загальне охолодження організму. Для підтримки нормальної температури передбачається вентиляція з підігрівником і охолоджувачем повітря. Для гарного самопочуття людей немаловажне значення має температура робочих поверхонь. Щоб уникнути їхнього впливу

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						98
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

температура повинна бути не нижче температури повітря допустимого в приміщенні и не менше крапки роси [20-21].

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 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 [20-21].

Капітан судна відповідає за створення атмосфери співробітництва, необхідної для забезпечення пожежної безпеки його судна [20-21].

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 [20-21].

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 [20-21].

Використання штатних і переносних електронагрівальних приладів, електропобутових приладів і телерадіоапаратури визначається капітаном судна із призначенням відповідальних осіб за контроль їх безпечного стану й використання [20-21].

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 [20-21].

Зберігання легкозаймистих рідин (ЛЗР), обтиральних матеріалів і інших легкозаймистих матеріалів постачання проводиться в спеціальних приміщеннях і місцях під контролем відповідальних осіб [20-21].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		99

Обтиральний матеріал після використання й інше технічне й побутове сміття необхідно збирати в спеціальних місткостях й здавати на берегові збирачі. Знищення сміття в інсинераторах проводиться з дозволу відповідальної особи й відома вахтової служби із заповненням необхідних документів про операцію [20-21].

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 [20-21].

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 [20-21].

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 (А, В, С і D і їх комбінації); 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 [20-21].

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 [20-21].

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		100

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 [20-21].

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 [20-21].

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 [20-21].

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

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		101

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 [20-21]:

- 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 [20-21].

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 акваторія Південно-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 [20-21].

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 [20-21].

Можливі випадки, коли під час стоянки судна в порту пірати проникають на судно, ховаються, а потім після виходу в море забезпечують

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		102

доступ на борт своїм спільникам, що доганяють судно на швидкохідних катерах [20-21].

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) [20-21].

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 [20-21]:

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.

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 .

3. Конвенція ООН про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства 1988 року, що

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		103

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 співробітничать 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.

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 30 країн та ініційоване США.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		104

Оскільки для нашої держави проблема морського піратства має особливу актуальність, державні органи України вивчали питання залучення кораблів ВМС України до операції Євросоюзу [20-21].

4.2.2 Підвищений рівень вібрації

Вібрація на судах обумовлюється роботою головних енергетичних установок, гребних гвинтів і різних допоміжних механізмів, а також виникає внаслідок ударів хвиль об корпус. У разі збігу власних коливань корпусу судна з вимушеними від роботи механізмів може наступити резонанс, що супроводжується значним посиленням вібрації (що досягає в деяких випадках віброзміщення до 2 мкм). Вібрація на економічному ході судів зазначається, як правило, в кормовій частині, а при максимальному - в середній і носовій частині корпусу. Деякі механізми, наприклад дизель-генератори, компресори, насоси, можуть бути джерелами місцевої вібрації з обмеженим радіусом поширення [20-21].

Для приміщень суден найбільш характерною є ходова вібрація з частотним діапазоном від 5 до 80 Гц.

4.2.2.1 Запобігання та контроль впливу вібрації на організм людини типи вібрацій. Параметри вібрації на палубах і в житлових приміщеннях на більшості суднах можуть досягати високих рівнів, перевищуючи гігієнічні нормативи і, отже, впливати на організм людини навіть при обмеженому часі впливу.

При дії вібрації нижче 1...2 Гц можуть проявлятися симптоми хвороби руху - морської хвороби. При закачуванні переважаючими ефектами є реакції вестибулярної системи, що дало підставу виділити її в якості ведучої в механізмі дії низькочастотної вібрації і визначити специфічний рецептор сприйняття цих коливань [20-21].

Ручна (або передана вручну) вібрація виникає через використання ручного електроінструменту або іншого вібраційного устаткування.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		105

Регулярний і частий вплив вібрації переданої вручну може привести до негативних наслідків для здоров'я. Випадковий вплив не викличе негативних наслідків [20-21].

Вібрація всього тіла відбувається шляхом струшування або тряски тіла через опорну поверхню, наприклад при управлінні або плаванні на судні з високою швидкістю в морях з мінливим хвилюванням, з використанням мобільного устаткування або поруч з головними двигунами або генераторами судна. Вібрація всього тіла також може бути посилена завдяки поганій конструкції робочого середовища, неправильній позі моряків і впливу ударів і поштовхів. Первинний симптом вібрації всього тіла - біль в спині. В табл. 4.2 наведені норми впливу вібрації на моряка в залежності від типу вібрації [20-21].

Таблиця 4.2 - Норми впливу вібрації

Значення впливу вібрації	Ручна (або передана вручну) вібрація	Вібрація всього тіла	Дії при даному рівні вібрації
Значення денного впливу	2,5 м/с ²	0,5 м/с ²	Вище цієї межі компанії зобов'язані зменшити вплив вібрації на моряка
Граничне значення денного впливу	5 м/с ²	1,15 м/с ²	Максимальний рівень вібрації, якому моряк може піддаватися в будь-який день

Заходи зі зменшення вібрації Зменшення вібрації, що передається вручну [21].

Компанія повинна проектувати робочі місця таким чином, щоб звести до мінімуму навантаження на руки та зап'ястя моряків і при необхідності, використовувати такі пристрої, як пристосування і системи підвіски, щоб зменшити необхідність жорсткого захоплення важких інструментів [20-21].

Необхідно вибрати інструмент, що забезпечує найнижчий рівень вібрації, який підходить для ефективного виконання робіт. Слід уникати використання інструментів з високим рівнем вібрації.

Рекомендується, щоб компанія проводила політику закупівлі відповідного обладнання з урахуванням вібраційної емісії, ефективності та будь-яких конкретних вимог [20, 21].

Повинні бути розроблені відповідні програми технічного обслуговування обладнання для запобігання можливого збільшення вібрації за рахунок використання застарілого або пошкодженого обладнання або витратних матеріалів [20, 21].

Моряки, які використовують обладнання, здатне викликати вібрацію, повинні бути забезпечені відповідною підготовкою та інструкцією по її правильному використанню.

Компанія повинна планувати завдання, щоб моряки не піддавалися вібрації протягом тривалих безперервних періодів.

Зменшення вібрації всього тіла [20-21].

Вібрація може бути зменшена шляхом регулярного обслуговування двигунів та механізмів, регулювання швидкості роботи або інших налаштувань. Морякам слід надати інформацію про те, як мінімізувати вібрацію таким чином. По можливості слід уникати сильних ударів або поштовхів [20, 21].

Коли вплив вібрації неминучий, ризик пошкодження може бути зменшений шляхом [20, 21]:

- планування роботи таким чином, щоб уникнути тривалого періоду дії вібрації протягом одного дня;
- моряки не повинні сидіти в одному положенні занадто довго;
- забезпечення збереження правильної постави під час роботи, наприклад, максимально спростити завдання, щоб уникнути скручування і розтягування;
- забезпечення достатнього періоду відпочинку.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		107

4.2.2.2 Машини, механізми та частини обладнання, що рухаються

Небезпека цього фактора полягає у травматизмі вахтового персоналу у зв'язку зі здійсненням різних рухів машинами, обладнанням, що знаходиться в приміщеннях судна. У проекті судна передбачаються наступні міри безпеки: установка огорожень, установка запобіжних захисних засобів, призначених для автоматичного відключення агрегатів і машин, блокувальні пристрої, що виключають можливість проникнення людини в небезпечну зону, пристрої що сигналізують, що дають інформацію про роботу обладнання, а також про небезпечні і шкідливі фактори, що при цьому виникають, системи дистанційного керування, яким притаманне здійснення контролю і регулювання роботи обладнання з ділянок, віддалених від небезпечної зони.

Усі частини машин і механізмів, що рухаються, повинні бути надійно огорожені і захищені кожухами. Усі люки, площадки, трапи повинні мати леєрне огороження висотою не менш 110 мм. Ширина проходів повинна бути не менш 600 мм. Механізми й устаткування повинні встановлюватися і закріплюватися на міцних і твердих фундаментах. Плити настилів і площадок повинні бути закріплені [20, 21].

Кожне машинне відділення і приміщення повинне мати не менш двох виходів, розташованих по протилежних бортах, через які забезпечується вихід на палубу. Усі двері і кришки вхідних і світлових люків повинні відкриватися зовні й усередині одним механізмом [20, 21].

Особливості роботи на морському транспорті вимагають строгого дотримання правил техніки безпеки. У МКВ розташовано безліч машин і механізмів, що рухаються, частини яких викликають підвищену небезпеку для обслуговуючого персоналу. Тому для створення сприятливих умов праці в МКВ, виконані наступні вимоги Регістру [20, 21]:

Частини механізмів, що рухаються, мають захисні кожухи або огороження.

Площадки і трапи обгороджені леєрами, висотою 1,1 м.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		108

Настили в МКВ виконані з рельєфного металу, а конструкція решіток забезпечує безпеку переходів по них і можливість проходу повітря для вентиляції.

На судні передбачено два виходи з МКВ, розташованих на різних бортах судна, на максимально можливій відстані один від одного. Ширина проходів у МКВ не менш 0,6 м. Усі виходи з МКВ мають огороження [16].

4.2.3 Електричний струм

В період експлуатації на суднах різного призначення роботи з технічного обслуговування електрообладнання здійснюються електротехнічним персоналом під керівництвом старшого електромеханіка (електромеханіка) за погодженням із старшим механіком при повному або частковому знятті напруги, а у виняткових випадках - без зняття напруги при дотриманні необхідних заходів безпеки.

4.2.3.1 Засоби захисту від електричного струму Основні. При виконанні робіт з електрообладнанням повинні використовуватися електрозахисні засоби - основні і додаткові. До основних електрозахисних засобів відносяться: ізолюючі штанги, покажчики напруги, електровимірювальні кліщі та ін.

Додаткові. До додаткових засобів відносяться: діелектричні рукавички, діелектричні килимки, діелектричні калоші та боти, ізолюючі підставки, огорожувальні пристрої, знаки безпеки, переносні заземлення та ін.

4.2.3.2 Підготовка робочого місця. Для підготовки робочого місця при роботах з частковим або повним зняттям напруги слід:

- провести необхідні відключення на ГРЩ і вжити заходів, що перешкоджають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового чи самовільного включення комутаційної апаратури;

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		109

- вивісити застережні знаки і встановити огороження; застосовувати електрозахисні засоби - діелектричні рукавички, килимки і т.п .;
- переконатися в справності приладів і перевірити відсутність напруги на частини установки, призначеної для роботи;
- в необхідних випадках накласти переносне заземлення і вивісити табличку з написом: "ПРАЦЮВАТИ ТУТ" [20, 21].
- накладення переносного заземлення є мірою захисту працюючих від випадкової появи напруги живлення або наведеного (потенціалу). Переносне заземлення застосовується при виконанні робіт в розподільчих щитах, шафах і пускових станціях при повному знятті напруги, на кабельних магістралях і в разі, коли місце виконання робіт пов'язано з розгалуженим ланцюгом.

Необхідність накладення переносного заземлення в кожному конкретному випадку визначається електромеханіком судна.

Заземлення повинні бути накладені на струмопровідні частини всіх фаз відключеною для виконання робіт частини електроустановки з усіх боків, звідки може бути подана напруга (в тому числі і внаслідок зворотної трансформації).

Ці заземлення можуть накладатися за допомогою спеціальних пристосувань (перемичок, штанги тощо) та повинні бути відділені від струмоведучих частин або обладнання, на якому безпосередньо проводиться робота, автоматами, роз'єднувачами, вимикачами, рубильниками, знятими запобіжниками, демонтованими дільницями тощо . При цьому на рукоятках зазначеної комутаційної апаратури і клемх запобіжників повинні бути вивішені знаки, "ЗАЗЕМЛЕНИЙ" в кількості, що дорівнює числу накладених заземлень [20, 21].

Накладення заземлення проводиться тільки електротехнічним персоналом після перевірки відсутності напруги [20, 21].

Переносне заземлення має бути попередньо приєднано до корпусу судна, а потім (після перевірки відсутності напруги на частинах, що

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		110

підлягають заземленню) накладається на струмопровідні частини і надійно кріпиться до них за допомогою струбцин, затискачів та інших пристосувань.

Знімати заземлення слід в зворотному порядку, тобто спочатку зняти його з струмоведучих частин, а потім від'єднати від корпусу.

Забороняється користуватися для заземлення будь-якими провідниками, не призначеними для цієї мети, а також приєднувати заземлення шляхом їх скручування [20, 21].

4.2.3.3 Робота під напругою На струмопровідних частинах допускається як виняток виробництво аварійних робіт під напругою. Така робота повинна проводитися кваліфікованими і досвідченими особами електротехнічного персоналу з дозволу старшого електромеханіка за погодженням із старшим механіком під керівництвом електромеханіка.

При цьому необхідно:

- працювати в діелектричних рукавичках і калошах або стояти на діелектричному килимку;
- користуватися електромонтажних інструментом з ізольованими рукоятками;
- тримати ізолюючий інструмент за ручки - захопи не далі обмежувального кільця;
- працюючи на струмопровідних частинах однієї фази, захищати струмопровідні частини інших фаз гумовими матами, міканітом і та ін.;
- торкаючись ізолюючим інструментом до струмоведучих частин, не торкатися до навколишніх предметів: бортів, перегородок, деталей набору судна, корпусів механізмів і пристроїв і та ін.;
- не торкатися осіб, що стоять поруч.

Забороняється застосування ножівок, напилків, металевих рулеток, міток і іншого неізолюючого інструменту при роботах на ділянках, що знаходяться під напругою.

Все включення і відключення на ГРЩ з метою випробування в роботі брашпиля, шпиля, швартових, вантажних і буксирних лебідок виконує електротехнічний персонал (а також вахтовий механік).

Включення з метою випробування в роботі рульового пристрою, системи дистанційного керування головного двигуна, стабілізаторів качки, підрулюючого пристрою повинен виконувати електротехнічний персонал спільно з другим механіком [20, 21].

При виявленні несправностей, які можуть призвести до нещасних випадків з людьми, поломки технічних засобів, вахтовому електромеханіку (електрику) з відома вахтового механіка дозволяється самостійно виробляти необхідні відключення і включення з наступним повідомленням старшого механіка або електромеханіка [20, 21].

На рукоятках автоматів, вимикачів, роз'єднувачів, рубильників, на ключах і кнопках управління, а також на підставах запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, особою, яка провадить відключення, вивішується табличка з написом: "НЕ ВКЛЮЧАТИ! ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ". При цьому запобіжники повинні бути вийняті з гнізд.

Зняття табличок і включення електроживлення можуть бути зроблені після закінчення робіт особою, що встановив застережливі знаки [20, 21].

4.2.3.4 Робота при частковій напрузі При роботах з частковим зняттям напруги невідключені струмопровідні частини, доступні випадковому дотику, повинні бути огорожені тимчасовими огорожами, діелектричними матами, щитами тощо [20, 21].

На робочому місці має бути виставлено тимчасове огороження і вивішені попереджувальні знаки "СТІЙ! НЕБЕЗПЕКА ДЛЯ ЖИТТЯ" (для установок напругою до 1000 В) і "СТІЙ! ВИСОКА НАПРУГА" (для установок напругою 1000 В і вище).

Особа, яка проводить роботу поблизу струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, повинно розташовуватися так, щоб ці

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		112

струмопровідні частини були перед ним. Забороняється проводити роботу, якщо знаходяться під напругою струмоведучі частини розташовані ззаду або з двох бічних сторін, а також працювати в зігнутому положенні, якщо при випрямленні можна торкнутися струмоведучих частин, що знаходяться під напругою [20, 21].

Роботи виконуються під наглядом другої особи - страхує.

У приміщеннях, особливо небезпечних щодо ураження людей електричним струмом, виробництво робіт на невідключених струмопровідних частинах не допускається [20, 21].

Висновок. У данному розділі проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що мають місце при експлуатації, ремонті та технічному обслуговуванні суднових механізмів. Розглянуто заходи безпеки при технічному обслуговуванні та ремонті суднових технічних засобів. Надано рекомендації, щодо її екіпажу в надзвичайних ситуаціях. Проведено розрухунок вентиляції машинного відділення.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						113
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Були проаналізовані найбільш суттєві конструктивні особливості сучасного суднового двигуна моделі 3512С фірми Caterpillar судна «ANTARES». На підставі проведеного аналізу розроблено ряд заходів щодо поліпшення умов роботи системи охолодження для розглянутого двигуна, а саме: проаналізовано основні тенденції розвитку сучасних дизелів, що використовуються у якості головних; проаналізовано основні тенденції розвитку сучасних систем охолодження двигунів; виконаний розрахунок системи утилізації теплоти для запропонованого багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу. Розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпеки персоналу в надзвичайних ситуаціях.

Результаті розрахунку дозволяють сподіватися, що запропоновані технічні рішення є ефективними і ведуть до покращення показників двигуна. Так, запропонована модернізація системи охолодження, що викликана забезпеченням паливо-енергетичних ресурсів і підвищенням оперативної готовності суднового двигуна для повноцінного виконання технологічних операцій судном портового класу.

Крім того, встановлення багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу в систему охолодження забезпечує повну оптимізацію протікання робочого процесу теплової підготовки двигуна в діапазоні основних режимів роботи судна в умовах експлуатації. При цьому, для забезпечення теплової підготовки, не відбувається зниження показників суднового двигуна і не виникає потреба запускати двигун для підтримання теплових параметрів у встановлених межах. В цілому цілі, що ставились в роботі досягнуті.

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						114
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://craneship.ua/files/structure/2420180827135134.pdf>.
2. <http://www.vesseltracking.net/ship/antares-9793521>.
3. <https://www.korabel.ru/fleet/info/11737.html>
4. Возницький І.В. Сучасні суднові середньооборотні двигуни. Санкт-Петербург: вид. ДМА ім. адм. С. О. Макарова. 2006. - 142 с.
5. Технічна експлуатація суднових дизельних установок. Навчальний посібник для вишів. Вид. 3-тє, перераб. та дод. М.: Транспорт, 1985. - 288 с.
6. Волков В.П. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, і др. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2015.- 314с.
7. Грінберг Л.С., Коровін Н.Г. Запуск дизеля при низьких температурах / Механізація та електрифікація сільського господарства, 1990 № 2 -С.48.
8. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів: монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, і др. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014.- 230 с.
9. Шульгін В.В. Теплові акумулятори автотранспортних засобів/В.В.Шульгін/СПб.: Видавництво Політехн. ун-ту, 2005. – 268 с.
10. Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров І.В., Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Зб.наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2011– Випуск №27. с. 117-126
11. Левенберг В.Д. Акумулювання тепла/В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем// Київ: Техніка. 1991. – 112 с.
12. Гутаревич Ю.Ф. До вибору теплоакumuлюючих матеріалів теплового акумулятора збереження теплового стану ДВЗ / Гутаревич Ю.Ф., Александров В.Д., Грицук І.В., Постніков В.О., Добровольський О.С., Адров

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		115

Д.С. // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Випуск 26., стор. 127-132.

13. Бекман Г., Гіллі П. Теплове акумулювання енергії. М.: Мир. - 1987. - 256 с.

14. Чертиковцева Н.В. Розробка системи прогріву тепловозного дизеля на основі вторинних енергоносіїв [Текст]/Н.В. Чертиковцева, Д.Я. Носирев // Вісник РГУПС. – 2008. – №2. – С.35-42.

15. Носирев Д.Я. Підвищення ресурсу тепловозних дизелів з допомогою застосування нетрадиційних технічних засобів [Текст] / Д.Я. Носирев, Н.В. Чертиковцева // Вісті Самарського наукового центру РАН. Спеціальний випуск «Проблеми залізничного транспорту на етапі розвитку». – Самара: Видавництво СНЦРАН, 2007. – С. 145-149.

16. Двигуни внутрішнього згоряння: Теорія поршневих та комбінованих двигунів. Підручник для вузів за спеціальністю Двигуни внутрішнього згоряння / Вирубов Д.М., Іващенко Н.А., Івін В.І. та ін.; За ред. Орліна А.С., Круглова М.Г. - 4-те вид., Перероб. та дод. - М.: Машинобудування, 1983. - 372 с.

17. Самсонов В.І., Худов Н.М., Мірющенко А.А. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. М.: - Транспорт. - 1981.

18. Чиняєв, І. А. Суднові системи: Підручник для вузів / - 2-ге вид., перераб. та дод. - М.: Транспорт, 1977. - 224 с.

19. Горбов В.М. Оцінка енергоефективності морського судна: методичні рекомендації щодо виконання розділу випускної кваліфікаційної роботи / В.М. Горбів та ін. - Херсон: ХДМА, 2019 – 68с.

20. Іванов Б.М., Колегаєв М.О., Касілов Ю.І., Іванов О.І. Основи охорони праці на морському транспорті. Підручник для студентів вищих навчальних закладів. - Одеса: КОМПАС, 2003.-416с.

21. Кахт І.О. та ін. Охорона праці на морському транспорті. - М.: Транспорт, 1975. - 263 с.

22. Білоусов Є.В. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. Тепловий,

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		116

кінематичний, динамічний та міцнісний розрахунок ДВС. Методичний посібник для виконання курсового проекту. Херсон: вид. ХДМІ – 2008. – 138 с.

23. Горбов, В.М. Основні двигуни сучасних транспортних судів: навч. посібник/В. М. Горбов, Ю. А. Шаповалов, І. А. Ратуганяк. - Миколаїв: УДМТУ, 1999. - 74 с.

24. Дизелі. Довідник Видання 3-тє перероблене та доповнене. За ред. В. А. Ваншейдта, Н. Н. Іванченко, Л. К. Коллерова - Л.: Машинобудування, Ленінградське відділення, 1977. - 479 с.

25. Підвищення ефективності експлуатації енергетичної установки судна «AIDACOSMA» за рахунок використання газових палив в умовах портової інфраструктури / Грицук І.В., Туріца В.М., Шпирко А.Ю., Шпаков Р.І., Федоров Д.В. - Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців", 23-25 жовтня 2023 р., (Посвідчення УкрІНТЕІ № 572 від «19» грудня 2022 р.), Харків, ХНАДУ, 2023, 284 с., С. 110-115

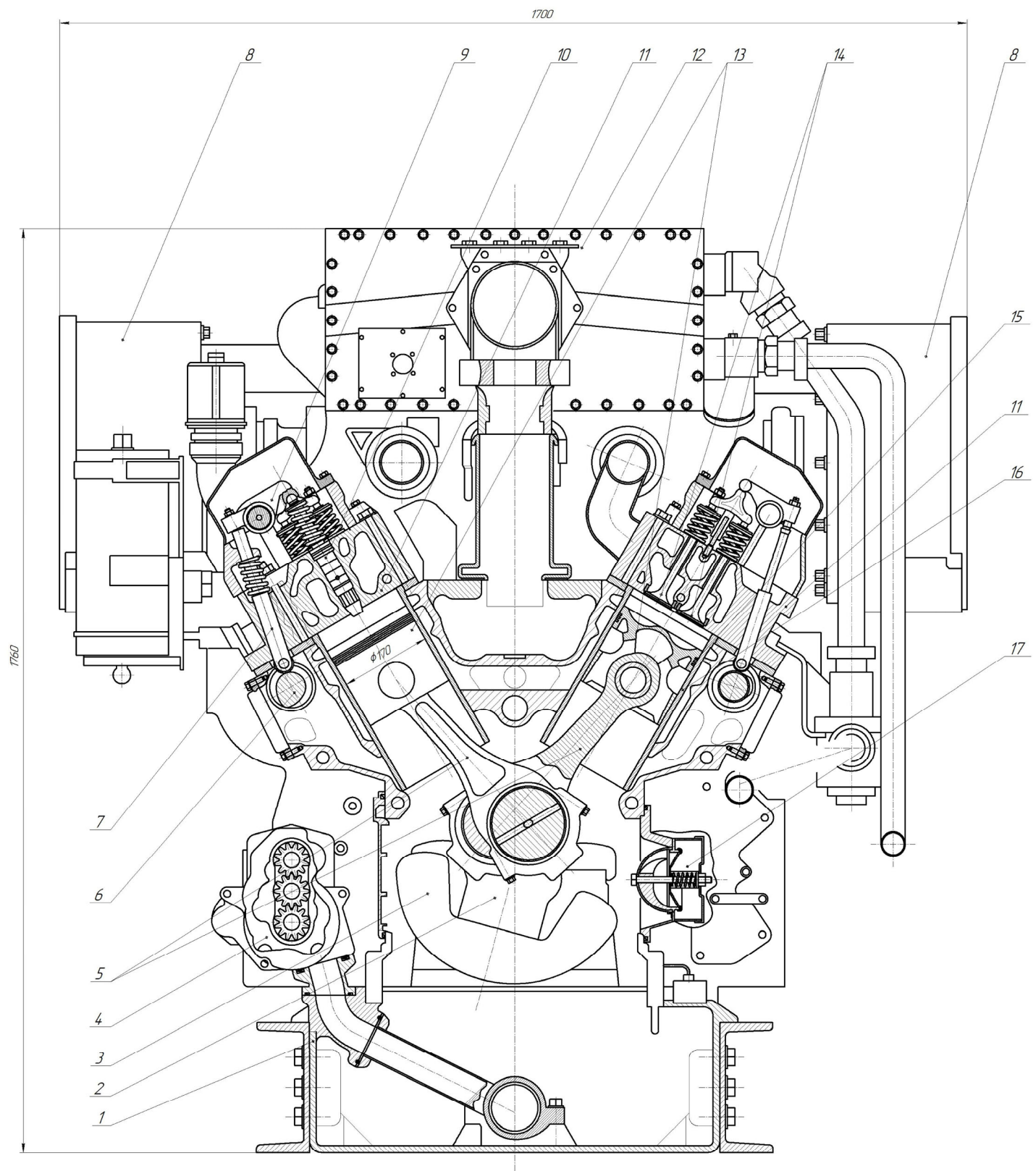
					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						117
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Додатки

					ПННІ НУК 131.61.23.27. ПЗ	Арк
						118
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Поз. обозначення	Найменування	Кол.	Примічання
1	Головний розподільний щит	1	
2	Теплообмінник прісної води	2	
3	Насос водопоживний спеціальний	2	
4	Головний двигун CAT 3512C	2	
5	Дизель-генератор CAT C4.4 DITA	2	
6	Котел водогрійний	1	
7	Насос заборний води агрегата кондиціювання	1	
8	Електростанція стоянкова	2	
9	Насоси перекачки палива	2	
10	Гвинто-кормова коліска	2	
11	Витратна цистерна	1	10 м³
12	Насос перекачки масла ГД	2	
13	Генератор палива	1	
14	Насос осушувальний	1	
15	Поживний насос	1	
16	Насос морської води	1	
17	Насос нафтовмісних вод	1	

				ПНН НУК 1316123.27.01			
Мат.	Лист	№ докум.	Вид.	Лист	Арт.	Масштаб	Місцевість
Розроб.		Шкала А/В			Н		150
Проек.		Шкала В/В					
Констр.		Шкала В/В			Лист	Листов	1
Начальн.		Шкала В/В					
Умол.		Наставка					



Лист 1
Лист 2
Лист 3
Лист 4
Лист 5
Лист 6
Лист 7
Лист 8
Лист 9
Лист 10
Лист 11
Лист 12
Лист 13
Лист 14
Лист 15
Лист 16
Лист 17
Лист 18
Лист 19
Лист 20
Лист 21
Лист 22
Лист 23
Лист 24
Лист 25
Лист 26
Лист 27
Лист 28
Лист 29
Лист 30
Лист 31
Лист 32
Лист 33
Лист 34
Лист 35
Лист 36
Лист 37
Лист 38
Лист 39
Лист 40
Лист 41
Лист 42
Лист 43
Лист 44
Лист 45
Лист 46
Лист 47
Лист 48
Лист 49
Лист 50
Лист 51
Лист 52
Лист 53
Лист 54
Лист 55
Лист 56
Лист 57
Лист 58
Лист 59
Лист 60
Лист 61
Лист 62
Лист 63
Лист 64
Лист 65
Лист 66
Лист 67
Лист 68
Лист 69
Лист 70
Лист 71
Лист 72
Лист 73
Лист 74
Лист 75
Лист 76
Лист 77
Лист 78
Лист 79
Лист 80
Лист 81
Лист 82
Лист 83
Лист 84
Лист 85
Лист 86
Лист 87
Лист 88
Лист 89
Лист 90
Лист 91
Лист 92
Лист 93
Лист 94
Лист 95
Лист 96
Лист 97
Лист 98
Лист 99
Лист 100

- 1. Об'єм циліндрів, л 51,8
- 2. Частота обертання, хв⁻¹ 1800
- 3. Діаметр циліндра, мм 170,0
- 4. Хід поршня, мм 162,0
- 5. Потужність, кВт 220
- 6. Питомі витрати палива, г/(кВт год) АДЕМ А3
- 7. Регулятор

Поз. озна-чення	Наименование	Кол.	Примечание
1	Картер	1	
2	Вал колінчастий	1	
3	Протидіага	13	
4	Насос масляний	1	
5	Шпиль	12	
6	Вал кулачковий	2	
7	Штанга	24	
8	Газотурбонагнітач	2	
9	Карамисла	12	к-тмб
10	Насос-форсунка	12	
11	Кришка циліндра	12	
12	Охолоджувач повітря наддуву	1	
13	Поршень	12	
14	Клапан випускний	24	
15	Кільця поршневі	12	к-тмб
16	Втулка циліндрова	12	
17	Клапан захисний	6	

ПНН НУК 1316123.27.02

Дизельний двигун CAT3512C

Лист 1

Лист 2

Лист 3

Лист 4

Лист 5

Лист 6

Лист 7

Лист 8

Лист 9

Лист 10

Лист 11

Лист 12

Лист 13

Лист 14

Лист 15

Лист 16

Лист 17

Лист 18

Лист 19

Лист 20

Лист 21

Лист 22

Лист 23

Лист 24

Лист 25

Лист 26

Лист 27

Лист 28

Лист 29

Лист 30

Лист 31

Лист 32

Лист 33

Лист 34

Лист 35

Лист 36

Лист 37

Лист 38

Лист 39

Лист 40

Лист 41

Лист 42

Лист 43

Лист 44

Лист 45

Лист 46

Лист 47

Лист 48

Лист 49

Лист 50

Лист 51

Лист 52

Лист 53

Лист 54

Лист 55

Лист 56

Лист 57

Лист 58

Лист 59

Лист 60

Лист 61

Лист 62

Лист 63

Лист 64

Лист 65

Лист 66

Лист 67

Лист 68

Лист 69

Лист 70

Лист 71

Лист 72

Лист 73

Лист 74

Лист 75

Лист 76

Лист 77

Лист 78

Лист 79

Лист 80

Лист 81

Лист 82

Лист 83

Лист 84

Лист 85

Лист 86

Лист 87

Лист 88

Лист 89

Лист 90

Лист 91

Лист 92

Лист 93

Лист 94

Лист 95

Лист 96

Лист 97

Лист 98

Лист 99

Лист 100

Лист 1

Лист 2

Лист 3

Лист 4

Лист 5

Лист 6

Лист 7

Лист 8

Лист 9

Лист 10

Лист 11

Лист 12

Лист 13

Лист 14

Лист 15

Лист 16

Лист 17

Лист 18

Лист 19

Лист 20

Лист 21

Лист 22

Лист 23

Лист 24

Лист 25

Лист 26

Лист 27

Лист 28

Лист 29

Лист 30

Лист 31

Лист 32

Лист 33

Лист 34

Лист 35

Лист 36

Лист 37

Лист 38

Лист 39

Лист 40

Лист 41

Лист 42

Лист 43

Лист 44

Лист 45

Лист 46

Лист 47

Лист 48

Лист 49

Лист 50

Лист 51

Лист 52

Лист 53

Лист 54

Лист 55

Лист 56

Лист 57

Лист 58

Лист 59

Лист 60

Лист 61

Лист 62

Лист 63

Лист 64

Лист 65

Лист 66

Лист 67

Лист 68

Лист 69

Лист 70

Лист 71

Лист 72

Лист 73

Лист 74

Лист 75

Лист 76

Лист 77

Лист 78

Лист 79

Лист 80

Лист 81

Лист 82

Лист 83

Лист 84

Лист 85

Лист 86

Лист 87

Лист 88

Лист 89

Лист 90

Лист 91

Лист 92

Лист 93

Лист 94

Лист 95

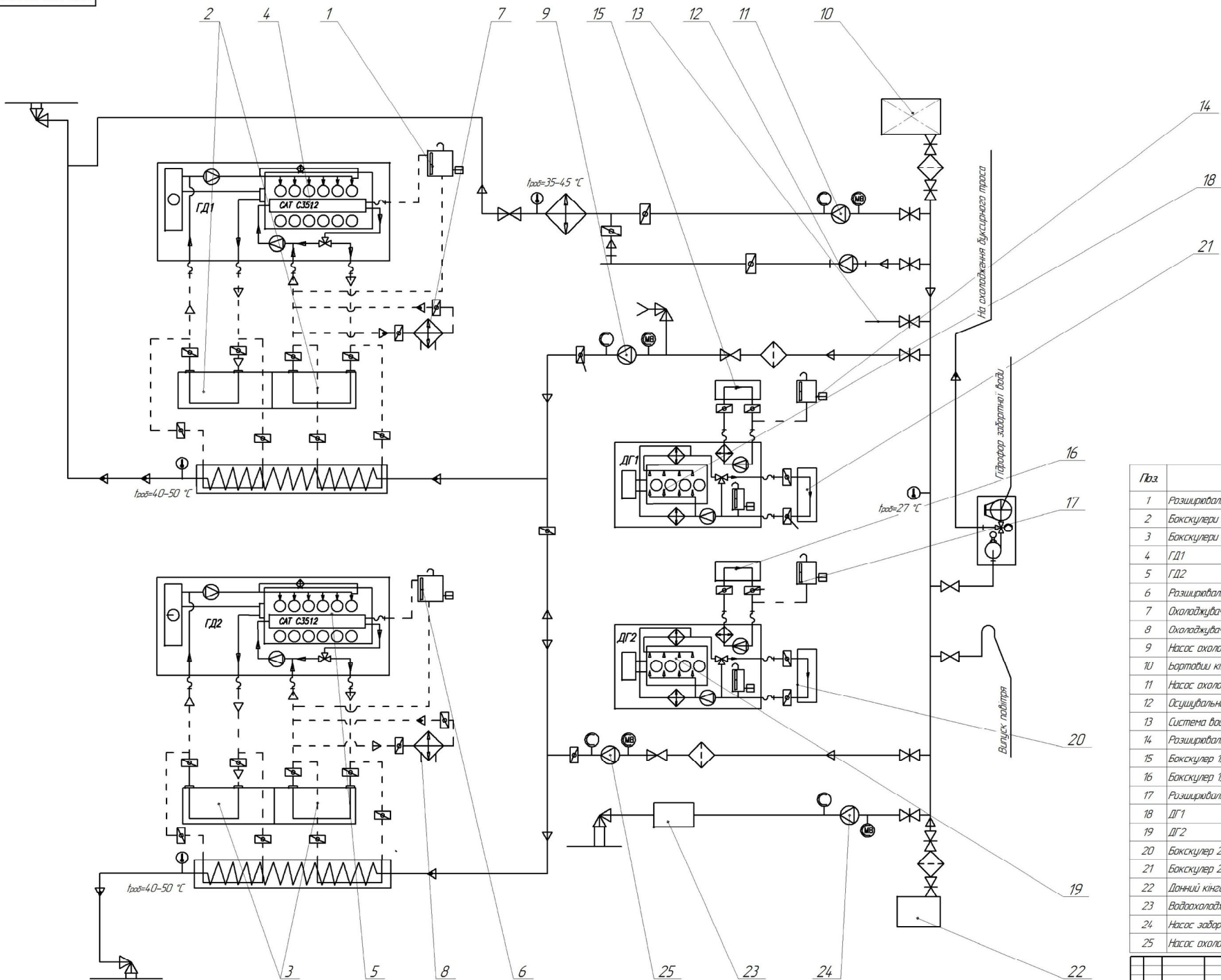
Лист 96

Лист 97

Лист 98

Лист 99

Лист 100

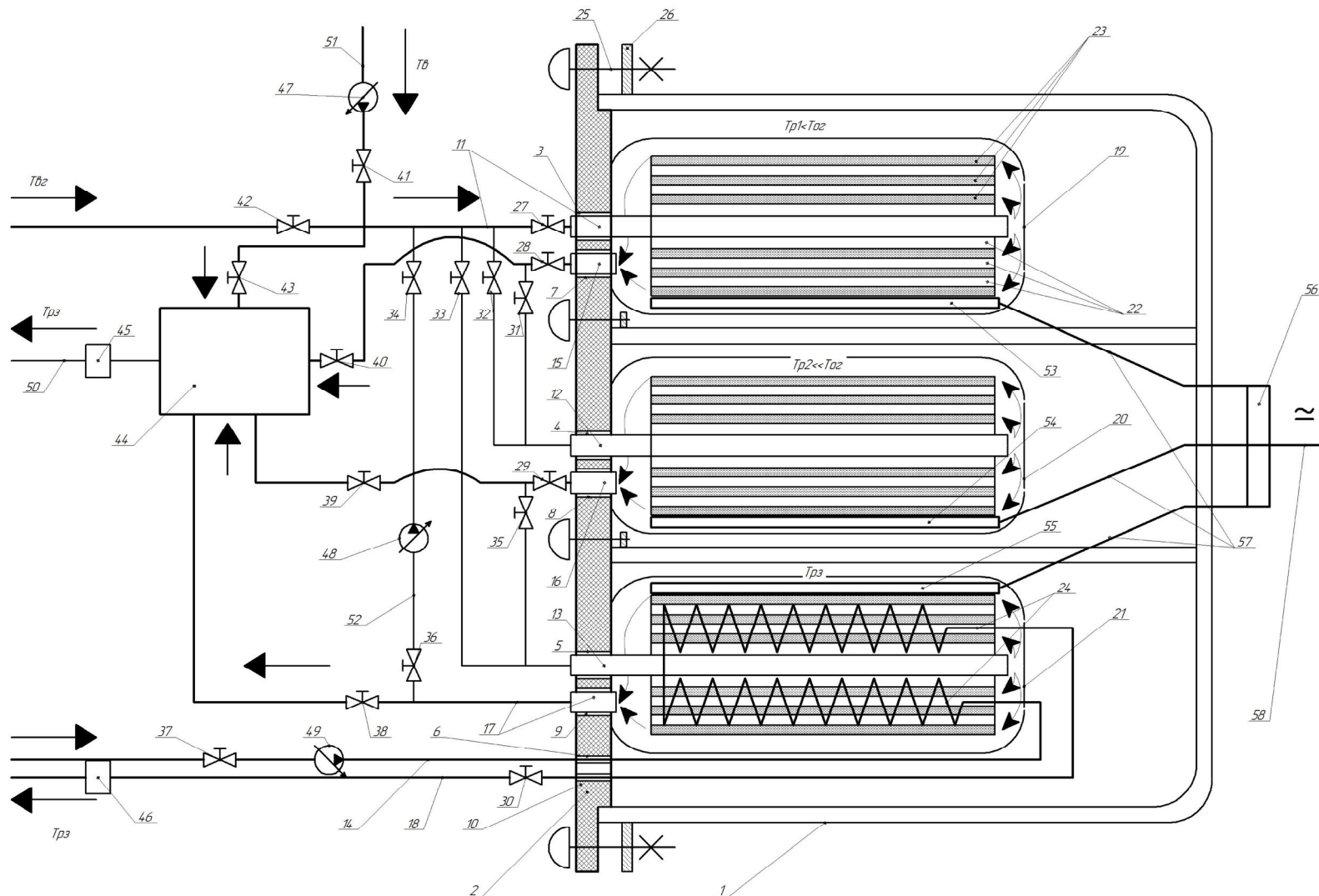


Поз	Найменування	Кіл	Примітка
1	Розширювальна цистерна ГД1	2	
2	Бокскулери ГД1	2	
3	Бокскулери ГД2	2	
4	ГД1	1	
5	ГД2	1	
6	Розширювальна цистерна ГД2	1	
7	Охолоджувач відсічного палива ГД1	1	
8	Охолоджувач відсічного палива ГД2	1	
9	Насос охолодження ГД1	1	
10	Вартовий кінгстонний ящик	1	
11	Насос охолодження масла гідроліки	1	
12	Осушувально-баластний насос	1	
13	Система водоположення	1	
14	Розширювальна цистерна ДГ1	1	
15	Бокскулери ДГ1	1	
16	Бокскулери ДГ2	1	
17	Розширювальна цистерна ДГ2	1	
18	ДГ1	1	
19	ДГ2	1	
20	Бокскулери ДГ2	1	
21	Бокскулери ДГ1	1	
22	Доплиний кінгстонний ящик	1	
23	Водохолоджуюча машина СКВ	1	
24	Насос забору води	1	
25	Насос охолодження ГД2	1	

ПНН НУК 131.6123.27.03

Схема системи охолодження

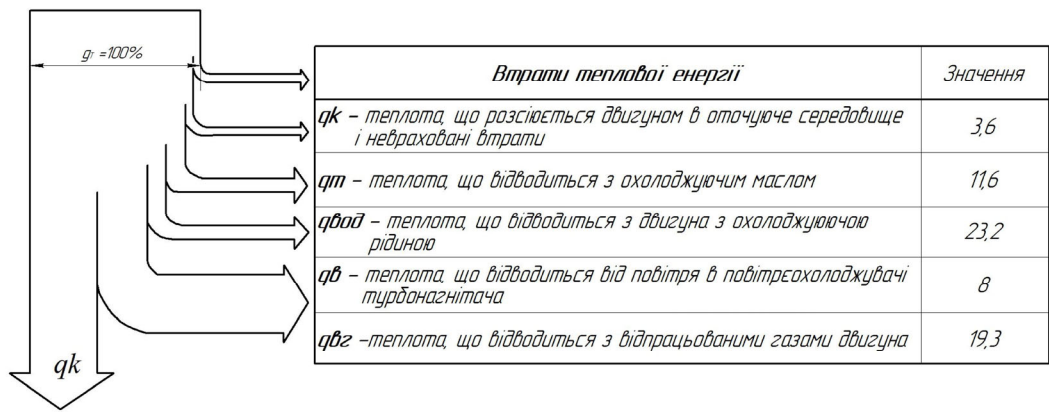
Лист	Всього	Лист	Всього
1	1	1	1



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Вакуюваний корпус	1	
2	Знижна кришка	1	
3, 4, 5, 6	Вихідний отвір	4	
7, 8, 9, 10	Вихідний отвір	4	
11	Впускний трубопровід газоподібного теплоносія	1	
12, 13	Впускний трубопровід блоку	1	
14	Впускний трубопровід рідинного теплоносія	1	
15, 16, 17	Випускний трубопровід блоку	1	
18	Випускний трубопровід рідинного теплоносія	1	
19, 20	Блок секції	1	
21	Блок секції з більш низьким діапазоном робочих температур	1	
22	Фазоперехідний теплоакumuлюючий матеріал	1	
23	Кільцевий зазор для проходу газоподібного теплоносія (відпрацьовані гази ДВЗ)	1	
24	Нагрівальні елементи рідинного теплоносія блоку секції з більш низьким діапазоном робочих температур	1	
25	Комплекти болтового з'єднання	4	
26	Елемент кріплення корпусу	1	
27 - 43	Запірний клапан	1	
44	Знищувальна камера	1	
45, 46	Датчик робочої температури	1	
47 - 49	Нагнітаючий насос	1	
50	Випускний трубопровід газоподібного теплоносія	1	
51	Побиттяний трубопровід	1	
52	Перепускний трубопровід	1	
53 - 55	Електронагрівальний елемент секції теплового акумулятора	1	
56	Блок керування і розподілу напруг електронагрівачів	1	
57	Силовий електричний кабель	1	
58	Джерело електричної енергії	1	

					ПННН НУК 1316123.27.04			
Вид	Акт	№ докум.	Год	Лист	Теплоуі акумулятор			
Розроб	Широко АМ							
Проф	Гричук ІВ				Н			
Тематр	Гричук ІВ				Акт		Листов 1	
Начальн б/м	Гричук ІВ							
	Нестаренко							

Тепловий баланс головного суднового дизельного двигуна



Характеристики теплоакumuлюючих матеріалів для теплового акумулятора і рекомендації для їх посекційного розміщення

Склад теплоакumuлюючого матеріалу	Температура фазового переходу плавлення-кристалізації, К	Секція теплового акумулятора
Гідроксид натрія NaOH	573	1
Система з фторидів натрія, калія, літія і барія (склад зразка 10,34NaF + 39,73Kf + 3BaF2 + 2Sn)	621	1
Ацетат-нітратная суміш (склад зразка: 39KNO3 + 61CH3COONa)	483	2
Бінарна евтектична система нітратів калія і літія	406	3
Система з галогенідів калія і алюмінія та йодиду гафнія (склад зразка 30,1KCl + AlCl3 + 47,8HfJ4)	371	3
Поліетилен високої густини низького тиску	408	3

Розрахункова динаміка зміни температур теплового акумулятора в процесі розрядки

