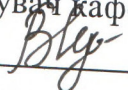


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри


«__» _____ 2024 р.

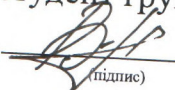
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля
K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації

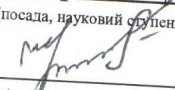
Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-23з

 **Костюков В.М.**
(підпис)

Керівник роботи:

професор кафедри ЕМ, д.т.н., професор
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

 **Грицук І.В.**
(підпис)

Первомайськ - 2024 р.

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

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

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

Студенту Костюков Віталій Михайлович

1. Тема роботи: «Удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації».

Керівник роботи Грицук І.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 09.09.2024 року за № 52.

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

3. Вихідні данні по роботі: Тепловоз ЧМЭЗ. Двигун-прототип – дизель K6S310DR.

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

Вступ. 1. Загальний опис тепловозу та його двигуна. 2. Аналіз способів і реалізацій в частині удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації. 3. Обґрунтування модернізації системи теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Загальний вигляд тепловоза ЧМЭЗ і схеми системи теплової підготовки. 2. Загальний вигляд дизеля K6S310DR. 3. Схема взаємодії елементів системи теплової підготовки і схема теплового акумулятора. 4. Результати виконаних розрахунків.

6. Консультанти роботи

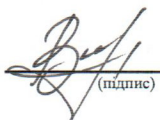
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прий

7. Дата видачі завдання «09»вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

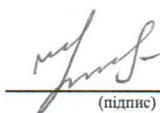
Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	
1	Вступ. Підготовка та проробка літературних джерел	18.09.2024	
2	Написання першого розділу	02.10.2024	
3	Написання другого розділу	16.10.2024	
4	Виконання розрахунків та написання третього розділу	30.10.2024	
5	Підготовка і написання розділу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

Студент


(підпис)

Костюков В.М.

Керівник
роботи


(підпис)

Грицук І.В.

Анотація

Були проаналізовані найбільш суттєві конструктивні особливості транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ. На підставі проведеного аналізу розроблено ряд заходів удосконалення теплової підготовки і умов роботи системи охолодження для розглянутого двигуна, а саме: проаналізовано особливості прогріву дизелів і системи та способи прогрівання тепловозів, виконаний аналіз конструкції допоміжних систем маневрового тепловозу ЧМЭЗ, здійснені аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини транспортних двигунів при використанні засобів теплової підготовки, систем комплексного прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів на основі теплових акумуляторів, використання зовнішніх джерел енергії для підігріву двигуна і заряджання теплових акумуляторів. Обґрунтовані заходи в частині модернізації системи теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації. Розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпеки праці персоналу при роботі і в надзвичайних ситуаціях.

Результати розрахунку дозволяють вважати, що запропоновані технічні рішення є ефективними і ведуть до покращення показників двигуна. Так, запропонована модернізація системи охолодження викликана удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації.

Ключові слова: дизельний двигун, шатун, надлишок повітря, розрахунок робочого циклу, індикаторна діаграма, шум, теплові акумулятори, охолодження водяної системи.

Abstract

The most significant design features of the transport diesel engine K6S310DR of the ChME3 locomotive were analyzed. Based on the analysis, a number of measures were developed to improve the thermal preparation and operating conditions of the cooling system for the engine under consideration, namely: the features of diesel engine warming-up and the systems and methods of warming-up diesel locomotives were analyzed, the design of auxiliary systems of the ChME3 shunting locomotive was analyzed, and the systems for regulating the temperature of the coolant of transport engines when using thermal preparation means, systems for complex engine warming-up and the use of additional thermal elements based on thermal accumulators, the use of external energy sources for heating the engine and charging thermal accumulators were analyzed. Measures were justified in terms of modernization of the thermal preparation system of the transport diesel engine K6S310DR of the ChME3 locomotive in operating conditions. A set of measures was developed to ensure the safety of personnel during work and in emergency situations. The calculation results allow us to assume that the proposed technical solutions are effective and lead to improved engine performance.

Thus, the proposed modernization of the cooling system is due to the improvement of the thermal preparation of the transport diesel engine K6S310DR of the ChME3 diesel locomotive under operating conditions.

Keywords: diesel engine, connecting rod, excess air, calculation of the duty cycle, indicator diagram, noise, thermal accumulators, cooling of the water system.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ТЕПЛОВОЗУ ТА ЙОГО ДВИГУНА	7
1.1 Загальні відомості про тепловоз ЧМЕ 3	7
1.2 Основні технічні характеристики тепловозу ЧМЕ3	8
1.3 Основні технічні характеристики тепловозного дизеля K6S310DR	9
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ І РЕАЛІЗАЦІЙ В ЧАСТИНІ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ K6S310DR ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	14
2.1 Загальні особливості прогріву дизелів	14
2.2 Огляд систем і способів прогрівання тепловозів	15
2.3 Аналіз конструкції допоміжних систем маневрового тепловозу ЧМЭЗ	17
2.4 Аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини транспортних двигунів при використанні засобів теплової підготовки	19
2.5 Аналіз систем комплексного прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів на основі теплових акумуляторів	35
2.6 Аналіз використання зовнішніх джерел енергії для підігріву двигуна і заряджання теплових акумуляторів	37
2.7 Обґрунтування виконання модернізації	43
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ K6S310DR ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	44
3.1. Дослідження процесу охолодження водяної системи в умовах експлуатації при зберіганні тепловозу ЧМЭЗ в місцях відстою	44

					<i>ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Костюков В.М.			<i>Пояснювальна записка</i>	Літ.	Арк.
Перевірів		Грицук І.В.					3
							109
Н. контр.		Грицук І.В.				<i>61-ТЕМмаг-23з</i>	
Затвердив		Чабанов І.І.					

3.2 Особливості конструкції і принцип роботи багатосекційного ТА системи теплової підготовки	49
3.3. Особливості робочого процесу багатосекційного теплового акумулятора у складі системи охолодження тепловозного дизеля	53
3.4 Модернізація системи охолодження тепловозного дизеля	56
3.5. Тепловий розрахунок дизеля K6S310DR	58
3.6 Особливості процесів знімання й віддачі теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в конструкції теплообмінника системи теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу	70
3.7 Рекомендації в частині формування системи теплової підготовки тепловозного дизеля на основі теплового акумулятора фазового переходу	85
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	90
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці	90
4.2 Розробка заходів з охорони праці	92
4.3. Пожежна безпека	97
4.4 Розрахунок заземлення електроустановок	102
ВИСНОВКИ	105
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	106
ДОДАТКИ	109
1. Специфікації	
2. Загальний вигляд тепловоза ЧМЕЗ і схеми системи теплової підготовки	
3. Загальний вигляд дизеля K6S310DR	
4. Схема взаємодії елементів системи теплової підготовки і схема теплового акумулятора	
5. Результати виконаних розрахунків	

ВСТУП

З огляду на зростаючий дефіцит традиційних джерел енергії, питання економії дизельного палива набуває особливого значення. Це визначає потребу у вдосконаленні та розробці різноманітних методів, спрямованих на скорочення витрат дизельного палива для прогріву тепловозів із застосуванням вторинних енергоресурсів. Оптимізація енергоспоживання та реалізація комплексних заходів щодо економії паливних ресурсів є надзвичайно актуальними для нашої країни з огляду на довгострокові негативні прогнози розвитку ринку енергоресурсів на наступні роки. Залізничний транспорт, здійснюючи значний обсяг перевезень, є одним з основних та стабільних споживачів енергії в країні. Через різке зростання вартості дизельного палива сукупні витрати на його придбання залишаються дуже великими. Для підвищення економічної ефективності транспорту передбачено зниження негативного впливу на довкілля та економію палива. Своєчасне й якісне обслуговування рухомого складу залізниць допомагає знизити витрати на експлуатаційні матеріали та ремонт, продовжити термін служби залізничного транспорту, а також підтримувати його технічний стан на належному рівні [1-5].

Через стрімкий розвиток залізничного транспорту актуальною стала проблема забруднення повітря токсичними речовинами, які містяться у відпрацьованих газах двигунів. Для вирішення цього питання вчені й конструктори покращують двигуни, приділяючи увагу оптимізації робочого процесу та економічності шляхом використання паливної апаратури вищої якості, а також розробці методів і пристроїв, що знижують токсичність відпрацьованих газів. Таким чином, удосконалення систем живлення й вихлопу має зменшити шкідливі викиди в атмосферу. З урахуванням зазначених питань у межах дипломного проєкту необхідно провести огляд та порівняльний аналіз методів і систем прогріву дизельних двигунів тепловозів у межах локомотивного депо. Для цього потрібно, по-перше, визначити умови виробничого процесу в існуючому депо, а по-друге, розглянути можливості застосування

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						5
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

спеціалізованого обладнання для реконструкції та технічного переоснащення. Проектом пропонується і обґрунтовується розробка удосконаленої системи підігріву, яку планується встановити в систему водяного охолодження локомотива ЧМТЗ в умовах депо. Проведено буде розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів системи, що дозволить значно покращити умови експлуатації та обслуговування тепловозів [1-5].

Мета дипломного проекту: розробити комплекс заходів для удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації за рахунок використання системи теплової підготовки

Задачі що вирішуються у дипломному проекті:

1. Аналіз стану проблеми розвитку сучасних двигунів і, зокрема, двигунів серії K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ.
2. Проведення аналізу для вибору найбільш ефективних методів удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля.
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.

Об'єкт дослідження - дизель K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в процесі модернізації системи теплової підготовки.

Апробація результатів дослідження – автор прийняв участь в Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт", яка проводилася ХНАДУ (м. Харків) 22-23 жовтня 2024 р. з доповіддю «Особливості функціонування системи теплової підготовки на основі багатосекційного фазоперехідного акумулятора в процесах забезпечення оперативної готовності енергетичної установки портового буксиру».

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ТЕПЛОВОЗУ ТА ЙОГО ДВИГУНА

1.1 Загальні відомості про тепловоз ЧМЕЗ

ЧМЕЗ (читається як "чме-три", що означає чехословацький маневровий (дизельний) локомотив з електричною передачею третього типу) — це тепловоз, вироблений чехословацькою компанією ČKD Praha, з осьовою формулою 30-30 [1-5]. На основі ЧМЕЗ було розроблено локомотив європейської колії для Чехословацьких залізниць (ČSD) серії T669, який відрізнявся типом колії і зчіпним обладнанням. Також створили кілька подібних тепловозів для інших країн [1-5].

У 1963 році компанія ČKD-Prague побудувала два дослідні зразки тепловозів T669, які отримали позначення ЧМЕЗ (чехословацькі маневрові локомотиви з електричною передачею третього типу). Після випробувань ці локомотиви почали використовувати для маневрових робіт. За підсумками тестувань у 1964 році випустили дослідну партію з 10 тепловозів ЧМЕЗ, а в 1965 році ČKD-Prague припинила виробництво ЧМЕ2 і перейшла на серійне виробництво ЧМЕЗ. Більшість локомотивів цього класу продавалися як ЧМЕЗ, а серію T669 також експортували за кордон під різними назвами: у Польщі вони відомі як S200, в Іраку — DES3100, у Сирії — LDE1500 [1-5].

Тепловози ЧМЕЗ мають капотний кузов, основна рама якого підтримується через чотири бічні підвіси на рамах двох тривісних візків. Тягове зусилля передається через центральні циліндричні шворні. Кабіна машиніста знаходиться між моторним і акумуляторним відділеннями, а в передній частині розташований рефрижератор [1-5].

Локомотив оснащений дизельним двигуном K6S310DK з шістьма вертикальними циліндрами, аналогічними тепловозу ЧМЕ2 (6C310-ДР). Потужність двигуна K6S310DK підвищена до 1350 к.с. при 750 об/хв завдяки

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						7
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

наддуву (1,6 кг/см²). Система охолодження — водяна, а запуск двигуна здійснюється від основного генератора від акумулятора [1-5].

Максимальна швидкість тепловоза становить 95 км/год. Система багатьох агрегатів дозволяє одному машиністу керувати двома з'єднаними тепловозами. З 1976 року (з №874) всі тепловози ЧМЕЗ обладнуються пристроями для безпечного керування однією людиною. З середини 1980-х (починаючи з номера в діапазоні 3775-3779) дах кабіни машиніста було вирівняно з капотом, що раніше трохи виступав над ним [1-5].



Рисунок 1.1 - Маневровий тепловоз ЧМЕЗ-6161 на залізничному перегоні

1.2. Основні технічні характеристики тепловозу ЧМЕЗ [1-5]

Осьова формула — 3₀-3₀

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		8

Потужність дизеля — 1350 л. с.
 Тотужність ТЭД — 6×134 кВт
 Максимальна швидкість — 95 км/ч.
 Конструктивна вага з 2/3 запасу палива, води і песку — 123 т.
 Навантвження ввід осі на рейки — 20,5 т
 Диаметр колеса — 1050 мм
 Передаточне відношення — 5,06
 Найменший радіус кривої — 80 м
 Габарит — 02-Т
 Довжина по осях автозчепок — 17 220 мм
 Ширина — 3 120 мм
 Висота — 4 637 мм
 Повна колісна база — 12 660 мм
 Відстань між шкворнями — 8 660 мм
 Колесна база возиків — 4 000 мм
 Тяга довготермінового режиму — 23 тс
 Швидкість довготермінового режиму — 11,4 км/ч
 Дотична потужність — 970 к. с.
 Запас палива — 6000 л
 Запас оливи — 650 л
 Запас песку — 1500 кг
 Запас води — 1100 л

1.3 Основні технічні характеристики тепловозного дизеля K6S310DR

Загальний вигляд дизеля K6S310DR показаний на рис. 1.2 [1-5].

Номінальна потужність при частоті обертання колінчастого валу 750 хв⁻¹, кВт (к. с.) - 993(1350).

З'єднання колінчастого валу дизеля з тягоим генератором - жорстке.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						9
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

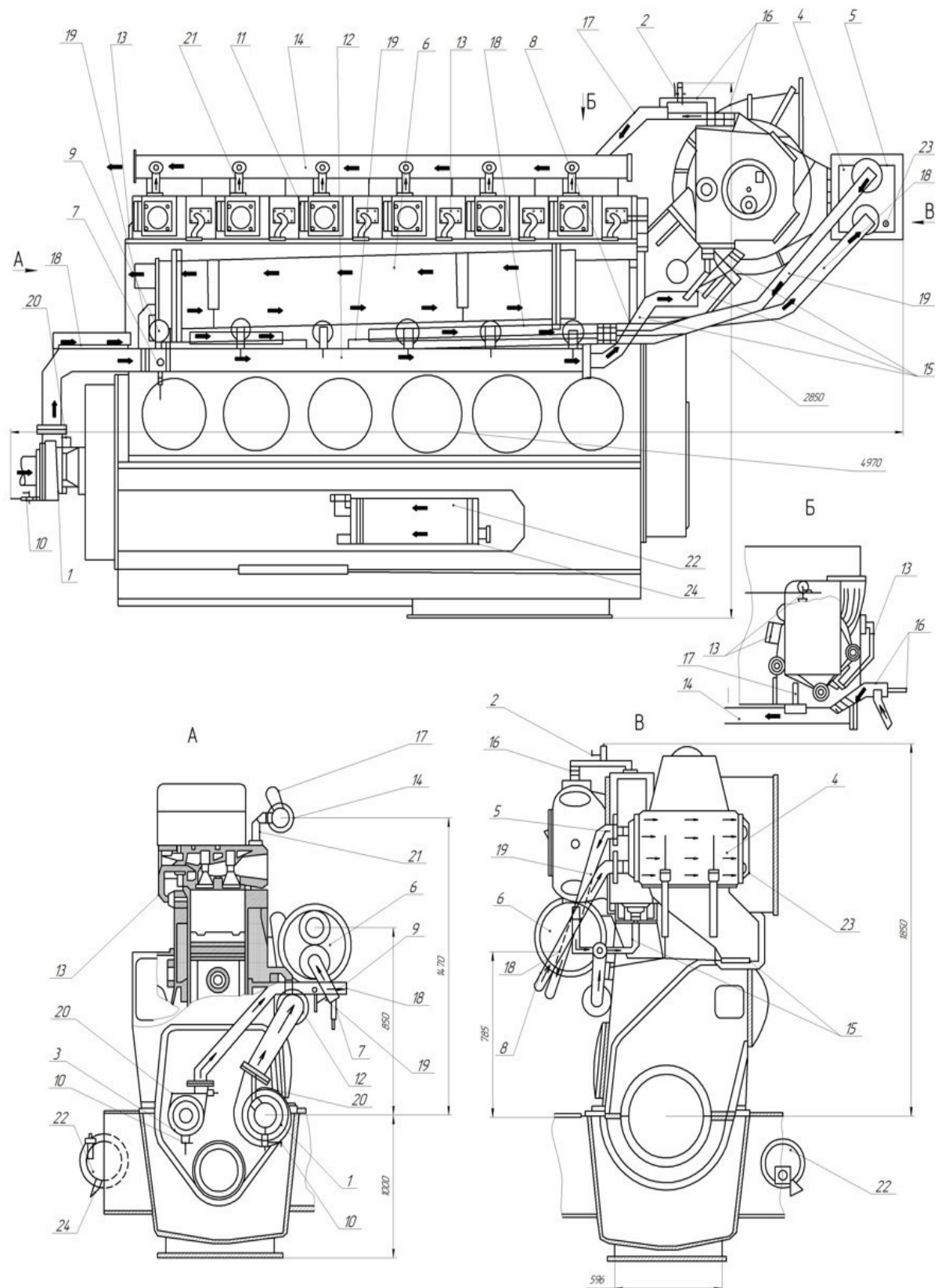


Рисунок 1.2. - Загальний вигляд дизеля K6S310DR
(позиції до рисунку наведені у додатку 1)

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ

Арк

10

Позначення сторін дизеля - правий і лівий бік визначаються, якщо дивитися з боку тягового генератора.

Кількість циліндрів – 6.

Порядок нумерації циліндрів - з боку приводу насосів.

Порядок работы циліндрів - 1-3-5-6-4-2.

Діаметр циліндра, мм – 310.

Ход поршня, мм – 360.

Об'єм циліндров, л: повний - 177; робочий - 163,2.

Об'єм камери стиснення циліндрів, л - 2,27.

Ступінь стиснення – 13.

Напрямок обертання колінчастого вала - проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку генератора

Діапазон робочих швидкостей колінчастого валу дизеля, хв^{-1} . 350 — 750.

Запуск дизельного двигуна здійснюється за допомогою тягового генератора, що працює в режимі стартерного електродвигуна.

Найменша частота обертання колінчастого валу при запуску дизеля, хв^{-1} – 80.

Максимальна частота обертання колінчастого вала, при якій спрацьовує регулятор ліміту дизеля, хв^{-1} - 835 ± 10 .

Середній хід поршня, м/с - 9,0

Тиск, МПа (кгс/см^2):

стискання- 4,0 — 5,7 (40 — 57);

згоряння - 7,0 — 9,0 (70 — 90);

середній ефективний на поршень - 1,0 (10);

наддувочного повітря для заряду 0,06 (0,6).

Наддув дизеля - відцентровий нагнітач з турбінним приводом.

Подача турбонагнітача, м /с (м /год) - 1,8 (6550).

Максимальна частота обертання ротора турбокомпресора, хв^{-1} - 18 800.

Максимальна температура відпрацьованих газів на вході у випускний колектор, $^{\circ}\text{C}$ – 490.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						11
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Допустима різниця температур відпрацьованих газів між циліндрами, °С – 60.

Допустима температура вихлопних газів перед турбокомпресором, °С – 600.

Подача паливного насоса, л/год – 2500.

Фільтр для очищення палива:

грубого очищення - пластинчасто-щільовий;

тонкого очищення - з фетровими пластинами або паперовими вставками.

Тиск палива в колекторі, МПа (кгс/см²) – 0,2 — 0,25 (2,0 — 2,51).

Тиск упорскування палива, МПа (кгс/см²) - 30-1 (300-10).

Питома витрата палива при номінальній частоті обертання колінчастого валу, г/кВт • год (г/к.с. • год) - 220±5%(162±5%).

Питома витрата масла, г/кВт • год (г/к.с. • год) - 2,7 — 5,4 (2 — 4).

Змащення деталей дизеля, що труться - циркуляція під тиском.

Головний масляний насос типу – шестеренчастий.

Подача головного масляного насосу, л/год - 49 400.

Тип маслопрокачуючого насосу - шестеренчастий з електроприводом.

Подача маслопрокачуючого насоса, л/год ...4300.

Фільтр очистки масла: грубого очищення - пластинчасто-щільовий; тонкого очищення - з паперовими вставками або відцентровий.

Тиск масла в колекторах, МПа (кгс/см) 0,45 - 0,6(4,5 — 6,0).

Наименьшее давление масла при частоте вращения коленчатого вала дизеля 350 хв⁻¹, МПа (кгс/см) - 0,15(1,5).

Температура масла, °С: рекомендуєма - 75-85; максимальна - 95.

Охолодження масла - в трубчастому теплообміннику з водою допоміжного контуру.

Охолоджувана поверхня трубок теплообмінника, м - 12,8.

Тепловіддача охолоджувача масла, кДж/год (ккал/год) 462 000 (110 000).

Захист від низького тиску масла в системі дизеля - при зниженні тиску масла до 0,2 МПа (2,0 кгс/см²) реле тиску масла знижує навантаження на

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						12
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

дизель, а при зниженні тиску масла до 0,1 МПа (1,0 кгс/см²) комбінований регулятор зупиняє дизель.

Охолодження дизеля - водяне, примусово в замкнутій системі.

Кількість контурів в системі охолодження – 2.

Тип водяних насосів – відцентрові.

Подача водяного насоса основного контура, л/год - 133 200.

Тиск позаду насоса в контурі, МПа (кгс/см²): основном - 0,069 (0,69);
допоміжному - 0,02 (0,2).

Подача водяного насоса допоміжного контуру, л/год - 32 400.

Рекомендована температура води основного контуру, °С - 70-80.

Максимальна температура води в контурі, °С: головному – 85;
допоміжному – 65.

Кількість води в дизелі, л – 400.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						13
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СПОСОБІВ І РЕАЛІЗАЦІЙ В ЧАСТИНІ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ K6S310DR ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Загальні особливості прогріву дизелів

Експлуатація тепловозів при низьких температурах оточуючого середовища має свої специфічні особливості, які необхідно враховувати під час обслуговування, виконання поїздної роботи та ремонту. Досвід експлуатації тепловозів у холодних кліматичних умовах свідчить, що навіть невеликі коливання зовнішньої температури істотно впливають на параметри роботи дизеля, його паливну економічність, а також збільшують динамічні навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму. Це пов'язано з подовженням затримки займання та зміною швидкості підвищення тиску робочого середовища під час згоряння палива [6-20].

Низькі температури впливають не лише на сам процес пуску дизеля, але й на його подальшу роботу до моменту досягнення нормального температурного режиму. Зниження температур теплоносіїв нижче допустимої норми може призвести до температурних деформацій при пуску дизеля, що викликає загустіння оливи, значне збільшення опору і перевищення нормативного тиску в трубопроводах. Пуск переохолодженого дизеля також може спричинити появу тріщин у блоці та інших вузлах, порушити герметичність з'єднань в системі охолодження і викликати інші негативні ефекти. Зокрема, переохолодження паливної системи сприяє утворенню парафінових відкладень, що засмічують фільтри та виводять її з ладу. Переохолодження циліндрових втулок може призвести до небезпечного зменшення зазорів між поршнем і втулкою, конденсації водяної пари на їх внутрішній поверхні та появи сітчастої кислоти, що посилює корозію.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						14
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Виділяють три теплові стани дизеля: нормальний (номінальний), прогрітий і холодний. Для підтримання мінімально допустимого рівня температури теплоносіїв (води, оливи) у холодний період проводиться прогрівання силової установки [6-20].

Час прогрівання залежить від температури навколишнього середовища і технічного стану тепловоза. При температурах, близьких до 0°C, коли передпусковий прогрів дизеля тепловоза не виконується, час прогрівання до нормальної робочої температури становить 15–20 хвилин. При ще нижчих температурах, навіть за наявності передпускового підігріву, тривалість прогрівання дизеля зростає, досягаючи 15–20 % робочого часу [6-20].

2.2. Огляд систем і способів прогрівання тепловозів

2.2.1. Прогрів в режимі холостого ходу.

Робота дизельного двигуна на холостому ході є найменш ефективним методом прогріву як з погляду економічності, так і надійності експлуатації. При низькій температурі дизеля процес роботи погіршується: суттєво зростає коефіцієнт надлишкового повітря, що знижує температуру робочої суміші, подовжуючи період затримки займання. Крім того, паливо погано розпилюється і згорає, що призводить до його втрати у вихлопній системі, закоксовування поршневих кілець, утворення нагару на елементах випускного тракту і робочих частинах турбіни, а також до корозії втулок циліндрів через конденсацію водяної пари і розчинення в ній сірчистого ангідриду [6-20].

Низька повнота згоряння пального спричиняє розрідження моторної оливи паливом, викликаючи збільшений знос елементів тертя дизеля. Це знижує його ресурс і підвищує питому витрату пального. Аналіз [7] свідчить, що при призначенні режимів прогріву тепловозних дизелів заводи-виробники та депо мало враховують показник економічності прогрівання, хоча очевидно, що зупинка двигуна при збереженні "гарячого резерву" ефективна для економії пального. За даними Британських залізниць, 16-циліндровий дизель

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		15

на холостому ході витрачає близько 17,2 кг/год пального, а зупинка на 5 годин економить 2% пального [8]. Окрім цього, знижується рівень шуму і забруднення повітря на станціях.

При температурі повітря понад 30°C тепловозний двигун на відстої слід зупиняти [7], охолоджуючи водяну систему до 40°C, а прогрівати його періодичними пусками. Після запуску прогрівання до 70°C проводять на певних позиціях, залежно від температури повітря. При температурі нижче - 30°C двигун не варто вимикати [7]; прогрів здійснюють періодичним вмиканням на нульову та восьму позиції. На нульовій позиції робота дизеля не має перевищувати однієї години, а на восьмій – 10-20 хвилин, залежно від зовнішньої температури [7].

2.2.2. Огляд систем прогрівання.

Система прогрівання повинна забезпечувати підтримку оптимальної температури теплоносіїв силової установки тепловоза при вимкненому дизелі в умовах зимової експлуатації, як під час відстою, так і при русі з відключеними секціями локомотива, з мінімальними енергетичними затратами. Прогрівальні системи поділяються на бортові та стаціонарні [9]. Бортові системи встановлюються безпосередньо на одній або кількох секціях тепловоза і не залежать від стаціонарних джерел енергії, що є їхньою перевагою. Стаціонарні системи прогрівання використовують потужні котельні установки або електропідстанції, які можуть забезпечити одночасний прогрів декількох тепловозів. Це дозволяє знизити експлуатаційні витрати пального до 5% [10]. Однак недоліком таких систем є потреба в спеціальних коліях відстою, спорудженні теплопідготовчих пунктів, роздавальних колонок тощо, що утруднює реалізацію цих проектів в обмежених депо.

З огляду на це, стаціонарний прогрів зазвичай використовується лише в депо з розвиненою інфраструктурою. У спрощеній бортовій системі джерелом тепла слугує дизель, що під час роботи на холостому ході передає до 55% енергії на охолоджуючу рідину і масло [11]. Кількість енергії, необхідної для

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		16

прогріву, залежить від маси елементів, температурного діапазону, часу прогріву та ефективності джерела тепла [6-20]. Під час охолодження енергія використовується тільки для роботи циркуляційних насосів, а втрати пального зменшуються завдяки скороченню часу роботи дизеля в режимі прогрівання. Це досягається за допомогою теплоізоляції, додаткових циркуляційних насосів і електричних нагрівачів, що живляться від генератора тепловоза.

Прискорене прогрівання можливе при одночасній роботі дизеля й електронагрівачів. Завод «Луганськтепловоз» (2011 р., Україна) розробив декілька моделей підігрівальних котлів потужністю 45 і 90 кВт, а також 135 кВт [6-20]. Тестування показало, що котел на 90 кВт має масу 113 кг (без води) і забезпечує високий питомий теплос'єм з поверхні нагріву, об'єму та маси.

В останні роки у великих депо активно впроваджується система підігріву «Контур». Вона являє собою котел, що підключений до системи обігріву дизель-генератора і регулює температуру залежно від погоди. Основна частина системи розміщується на тепловозі, що дозволяє її використовувати в автономному режимі та підвищує ефективність за низьких температур [6-20].

Розробники з компанії «Делвей Менеджмент» (система «Гольфстрім» [12]) створили комплекс, що знижує витрати пального на холостому ході дизеля в шість разів. Він використовує дизельне паливо для основного живлення та додатковий акумулятор для допоміжних елементів. Під час роботи системи підігрівання акумулятор забезпечує енергією всі компоненти, а після запуску двигуна заряджається від нього, дозволяючи системі працювати без підключення до мережі [6-20].

2.3. Аналіз конструкції допоміжних систем маневрового тепловозу ЧМЭЗ

Аналіз конструкції допоміжних систем тепловоза ЧМЭЗ для виявлення найбільш охолоджуваних ділянок показав таке. Під час роботи дизеля тепло

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		17

накопичується в самому двигуні та системах тепловоза. Коли дизель вимкнено, теплосилова установка поступово віддає накопичене тепло в навколишнє середовище. Після зупинки дизеля на нього припадає значна частина маси всього механізму при відносно невеликій площі тепловідведення. До того ж, дизель ізольований від прямого контакту з повітрям. З огляду на це, можна очікувати, що охолодження дизеля відбуватиметься повільно [6-20].

Водяна система тепловоза ЧМЭЗ має два основних контури циркуляції: головний (перший, гарячий) та додатковий (другий, холодний). У головному контурі гаряча вода з дизеля потрапляє до водоповітряного радіатора, звідки її забирає насос і нагнітає назад у дизель для охолодження циліндрів. Другий контур призначений для охолодження або підігріву повітря наддуву: охолоджена в радіаторі вода прямує в повітроохолоджувач, а після нагрівання знову потрапляє в радіатор [6-20].

Після вимкнення дизеля циркуляція води практично припиняється, що призводить до різного ступеня охолодження компонентів системи; найбільш інтенсивно охолоджуються радіаторні секції через велику поверхню, що контактує з повітрям [6-20].

Система мащення тепловоза призначена для створення тиску, подачі масла до вузлів тертя дизеля та допоміжних агрегатів, відведення тепла, а також видалення продуктів зносу. Загалом масляна система тепловоза складається з внутрішньої та зовнішньої. Внутрішня система включає канали і трубки, що доставляють масло до всіх частин двигуна, а зовнішня забезпечує циркуляцію, очищення і охолодження масла, яке повертається з картера дизеля в його масляний колектор [6-20].

Після вимкнення двигуна більша частина масла стікає в картер дизеля. Однак на тепловозі ЧМЭЗ частина оливи залишається в секціях, що зумовлює інтенсивніше її охолодження.

Паливна система тепловоза призначена для зберігання, очищення, підігріву та подачі палива до насоса високого тиску. Вона аналогічна системам

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						18
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

інших тепловозів і включає бак, трубопроводи, фільтри грубої та тонкої очистки, паливопідкачуючий насос, підігрівач, клапани, вентилі та манометри. Після зупинки дизеля паливо стікає в бак, що контактує з повітрям, внаслідок чого його охолодження відбувається швидше, ніж охолодження масла в картері. Однак значна маса палива забезпечує високу теплоємність, тому надмірне охолодження малоімовірне [6-20].

Дослідження показали, що теплові втрати паливної системи складають невелику частину загальних тепловтрат установки: після двох годин охолодження ці втрати становлять 510 кДж, з яких паливна система втрачає лише 17-103 кДж або 3,3%. Найбільше тепла розсіюють водоповітряні радіатори водяної системи (до 90% загальних втрат системи), з них 35% припадає на секції першого контуру і 55% – на другий. У масляній системі теплові втрати розподілені більш рівномірно: картер дизеля втрачає до 60% загальних теплових втрат [6-20].

Отже, масляна і водяна системи дизеля, особливо другий контур, знаходяться в найгірших умовах збереження тепла. Тому вторинну теплову енергію в першу чергу спрямовують на підігрів масла та води другого контуру [6-20].

2.4 Аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини транспортних двигунів при використанні засобів теплової підготовки

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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		19

енергії системи охолодження і відпрацьованих газів (ВГ), утилізації теплової енергії ВГ в ТА, сторонніх джерел енергії тощо [6 - 8].

Для контролю температури використовуються термостати, які вимикають радіатор з системи охолодження під час запуску та при низьких навантаженнях, а також пристрої, що зупиняють вентилятор за тих же умов. Системи вимкнення вентилятора особливо ефективні для двигунів без термостатів, оскільки вони сприяють швидшому прогріву двигуна і зменшенню витрат пального на привід вентилятора [6 - 8]. Наприклад, дослідження впливу продуктивності вентилятора на швидкість нагрівання двигуна 4Ч12/14 [6 - 8] показало, що підвищення температури охолоджувальної рідини з 20 °С до 80 °С займає 44,6 хвилин із серійним приводом вентилятора, тоді як при його вимкненні цей процес відбувається в шість разів швидше. У результаті витрати пального на прогрів з використанням серійної системи охолодження склали 3,56 кг, а з відключеним вентилятором – 0,567 кг. Також у [6 - 8] виявлено, що серійна система охолодження потребує 15 хв для підвищення температури блоку з 14 °С до 37 °С, тоді як із вимкненим вентилятором підвищення температури з 17 °С до 76 °С досягається за 5 хв [6 - 8].

Зазвичай системи запуску двигунів, що включають додаткові елементи і обладнання, відрізняються складною конструкцією та великими розмірами. Для зниження масогабаритних характеристик системи запуску, спрощення конструкції, а також уникнення затримок потрапляння нагрітого масла в систему змащення при запуску, розробляються спеціальні системи регулювання температури охолоджувальної рідини ДВЗ [6 - 8]. На рис. 2.1 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 вхідних патрубках гідротеплоакумулятора 3 і теплового акумулятора 2, а 6 і 7 - на

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		20

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].

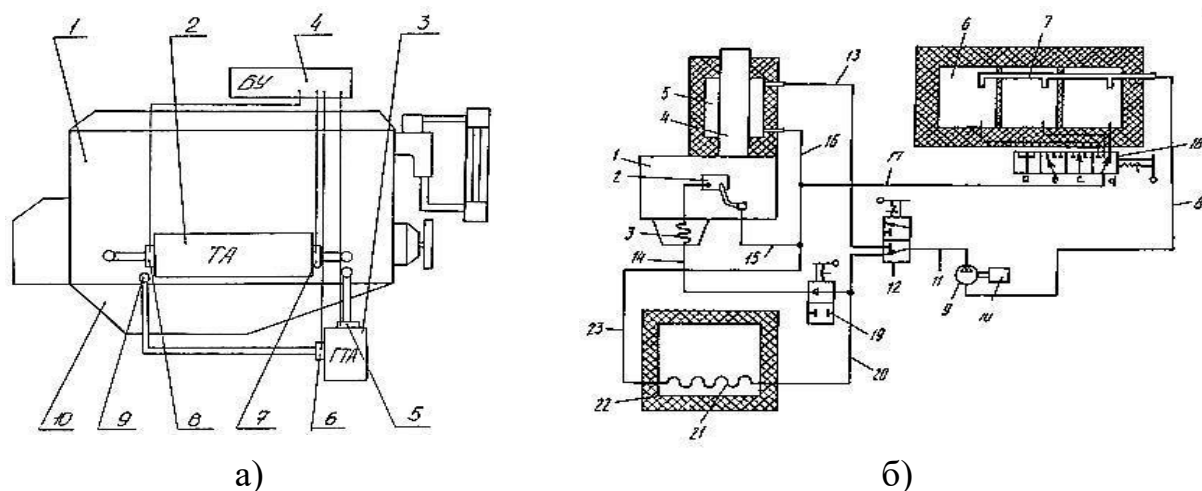


Рисунок 2.1 – Схема систем регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ (а) і пристрою передпускового прогріву (б)

Тепловий акумулятор (ТА) можна розглядати як перспективний індивідуальний засіб накопичення теплової енергії, призначений для передпускової підготовки двигуна енергетичних і транспортних засобів, обігріву кабіни та підігріву елементів трансмісії при вимкненому ДВЗ. Такий підхід до ТА зумовлений кількома чинниками: по-перше, існує значний запас перевірених і перспективних технічних рішень у цій галузі, по-друге, за останні роки з'явилося багато нових типів і конструкцій ТА, і, по-третє, їх виробництво організоване малими партіями як на вітчизняних, так і на іноземних підприємствах [6-20].

Теплове акумулювання енергії являє собою комплекс фізичних і хімічних процесів, завдяки яким акумулятор накопичує теплоту. Можливість акумуляції теплової енергії базується на фізичних або хімічних реакціях, що пов'язані з поглинанням і виділенням тепла. Основні процеси включають акумулювання-виділення внутрішньої енергії при нагріванні-охолодженні твердих або рідких речовин, фазові переходи з поглинанням-вивільненням

прихованої теплоти, процеси сорбції-десорбції та оборотні хімічні реакції з виділенням-поглинанням тепла (теплової енергії) [6 - 8]. Ці процеси реалізуються у спеціалізованих пристроях – теплових акумуляторах [6 - 8]. Речовини, що зберігають теплову енергію, називаються теплоакумуючими матеріалами (ТАМ). Види акумуляування тепла у ТА включають [6-8]: накопичення енергії в твердих і рідких тілах завдяки зміні температури речовини – теплоємнісна акумуляція; акумуляування тепла через фазові переходи; термохімічне накопичення теплової енергії [6-20] .

Підведення моторної оливи (рис. 2.1) до гідротеплоакумулятора 3 здійснюється з головної магістралі двигуна, а відвід через перехідник 9 у піддон 10. Патрубки, що з'єднують тепловий акумулятор 2 і гідротеплоакумулятор 3 з відповідними системами двигуна, теплоізовані і мають мінімальні розміри [6-20].

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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		22

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) 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. 2.1 а) з трисекційним теплоакумулятором теплоємкісного типу. Графік відведення теплоти від теплоакумулятора показано на рис. 2.2 б. Схема (рис. 2.1 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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		23

двигуна з'єднані з теплообмінним апаратом 5 та вхідним патрубком 17 і приєднані до багатопозиційного крана 18, встановленого на вході в теплоаккумулятор 6. Від крана 18 відведені окремі патрубки до кожної із трьох секцій теплоаккумулятора. 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 теплоаккумулятора [6 - 8].

Система передпускового прогріву приводу ґрунторійно-будівельної машини працює в наступних режимах: зарядка теплоаккумулятора, 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 13, 16 прокачується теплоносій (антифриз), який нагрівається в теплообмінному апараті 5. Далі нагрітий теплоносій 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 наступає 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 теплоносій 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 теплоносій, 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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						24
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

підключається друга (середня) секція теплоаккумулятора 6. Для цього переводять кран 18 у позицію *с*. 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 *д*) 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 початковий період після запуску та у процесі основної роботи на неповних навантаженнях. На рис. 2.2 а показано схему системи підтримки оптимального теплового режиму двигуна внутрішнього згорання [6 - 8].

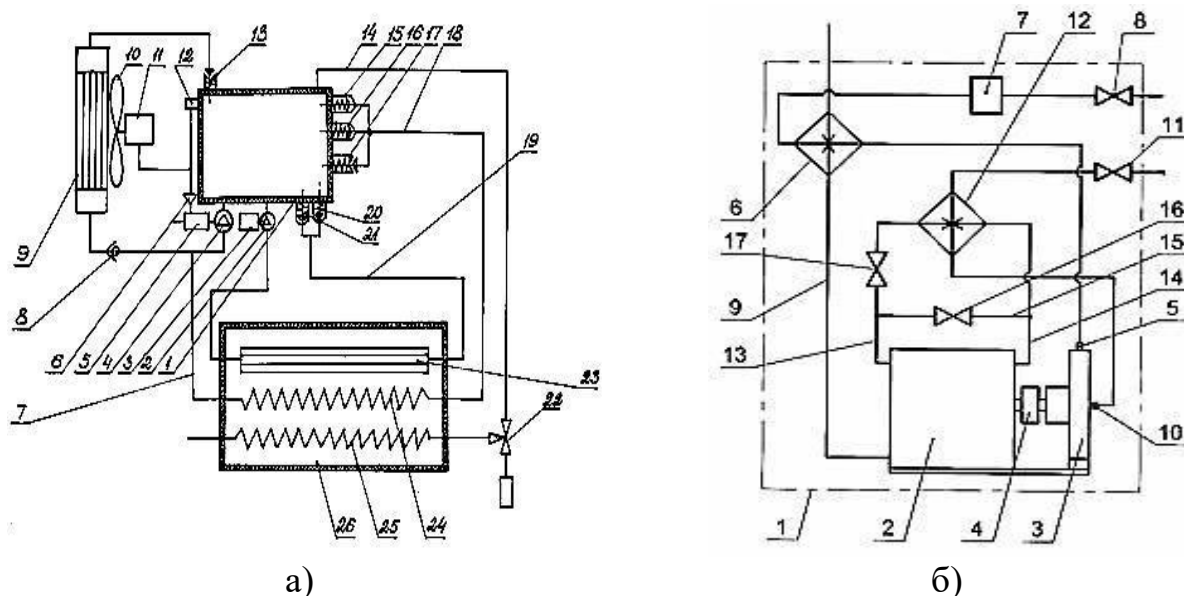


Рисунок 2.2 - Схеми систем підтримки оптимального теплового режиму двигуна внутрішнього згорання (а) і регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ за рахунок утилізації його теплової енергії, як джерела енергозабезпечення (б)

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 [6-20].

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 теплоакумулюючою 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 термоклапан 13 і насос 4, а за допомогою другого трубопроводу 18, у якому встановлено три термоклапани 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 термоклапани 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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						26
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

мінімальному навантаженні. При цьому термодіагностичні клапани 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 термодіагностичні клапани 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 теплою з теплоакумулятора. Основним джерелом теплової енергії для теплоакумулятора є відпрацьовані гази [6 - 8].

При нагріванні охолоджуючої рідини до +70 °С термодіагностичний клапан 15 закривається і двигун починає працювати на підвищення власної температури до +85 °С. При нагріванні до +85 °С термодіагностичний клапан 17 відкривається, включаючи при цьому привід 5 насоса 4, охолоджуюча рідина прокачується за контуром циркуляції і у каналах 24 віддає теплову енергію акумулятору теплової енергії 26, за рахунок чого сама охолоджується. При цьому термодіагностичний клапан 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 °С. При цьому термодіагностичний клапан 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 °С і відповідно термодіагностичний клапан 13 закривається, а вентилятор 10 вимикається. При зупинці двигуна автоматично відключаються клапани 15 і 20 і теплота, накопичена в теплоакумуляторі 26 шляхом спрацювання термодіагностичного клапана 16 при одночасному замиканні контактів включення приводу 5 насоса 4, підтримує температуру двигуна у межах 20 – 25 °С протягом міжзмінного часу і забезпечує при цьому ефективний запуск його після

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		27

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 теплоаккумулятора 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 термодіафрагми 20 і насоса 3 у комплекті із приводом 2, а в міжзмінний період - на мінімальному рівні $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за допомогою термодіафрагми 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 двигуна і збереження роботоздатності при будь-яких експлуатаційних режимах [6-20].

Особливості роботи і основні переваги теплообмінника-теплоутилізатора теплової енергії вихрового типу у вигляді вигнутих паралельних розрізних пластин детально описані в [6 - 8]. На рис. 2.2 б показана загальна схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ за рахунок утилізації його теплової енергії, як джерела енергозабезпечення [6-20].

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-теплоутилізатор 6, розширювальний резервуар 7 з'єднано з вихідним вентилем 8. Теплообмінник-теплоутилізатор 6 зв'язаний також із системою 9 відводу відпрацьованих газів двигуна 2. Між вхідним каналом 10 для підведення рідини в теплогенератор 3 і вхідним вентилем 11 додатково встановлено теплообмінник-

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		28

теплоутилізатор 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-теплоутилізатором 12 з'єднані пропускним каналом 15, оснащеним вентилем 16. Патрубок подачі 13 після пропускного каналу 15 оснащено вентилем 17 [6 - 8].

Теплообмінник-теплоутилізатор 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 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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		29

теплоспоживання. Температура його знижується. Через вхідний вентиль 11 охолоджений теплоносій переміщується до додаткового теплообмінника-теплоутилизатора 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 потік, підданий дії відцентрової сили і сили ваги, вступає в активну теплову взаємодію із трубопроводом 19 і з розрізними 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 обертових 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. 2.3 а [6 - 8] показана принципова схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ; на рис. 2.3 б [6 - 8] принципова схема теплового акумулятора фазового переходу [6-20] .

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		30

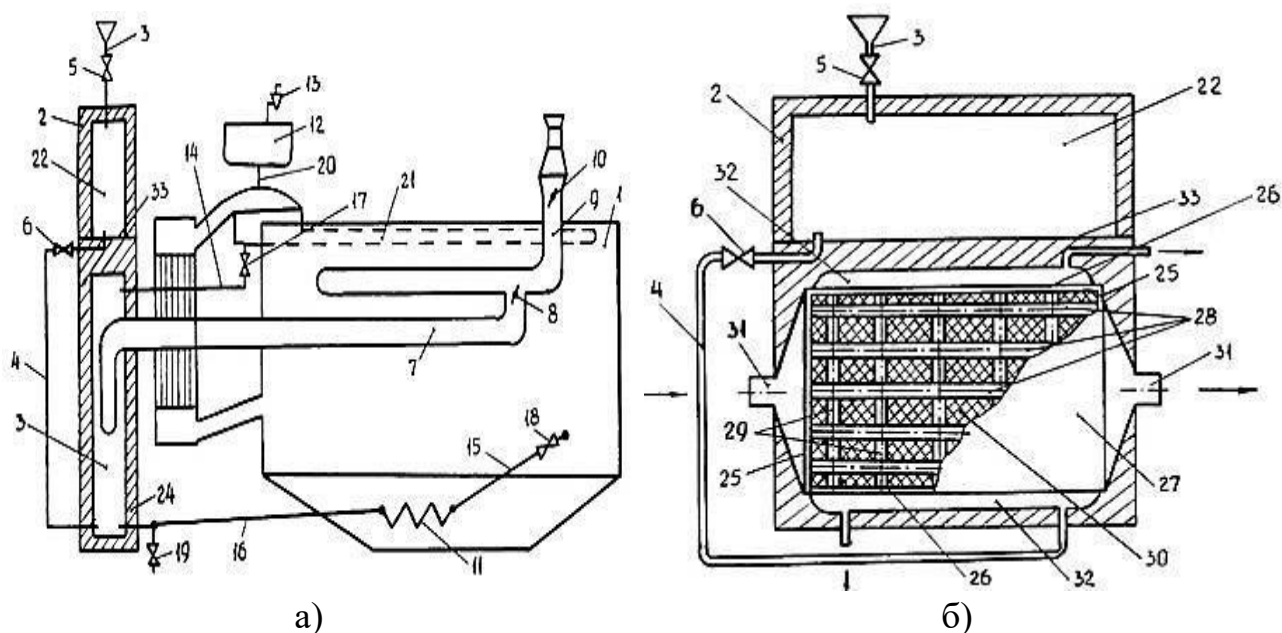


Рисунок 2.3 - Схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ (а) і принципова схема ТА фазового переходу (б) [6 - 8]

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; теплоізолюваний 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. Теплоізолюваний 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 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,

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						32
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

а потім у газові трубки 28 теплоакумулюючого ядра. Проходячи газовий теплообмінник відпрацьовані газы 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 теплова 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 насосом (на рис. 2.3 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 самопливом 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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		33

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 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 [6-20].

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 [6-20].

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		34

2.5 Аналіз систем комплексного прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів на основі 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 [6-20].

Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 70168 UA) [6 - 8] містить газопоршневий двигун 1 (рис. 2.4) з приєднаним до нього генератором 2, теплообмінник 3, блок керування двигуном 5, який здійснює управління 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].

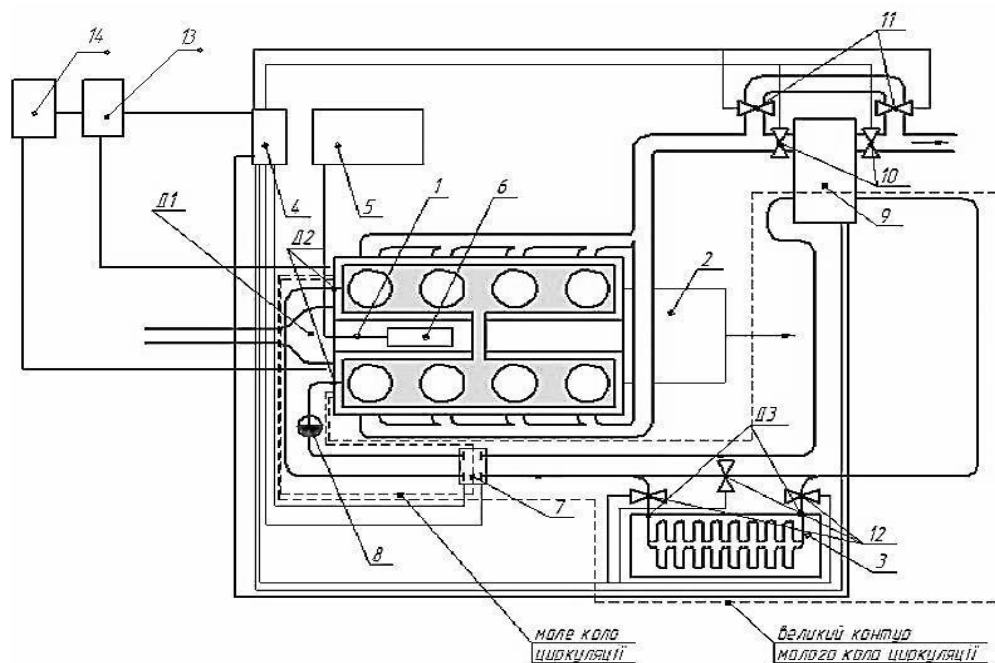


Рисунок 2.4 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 70168 UA)

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

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. 2.5) (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,

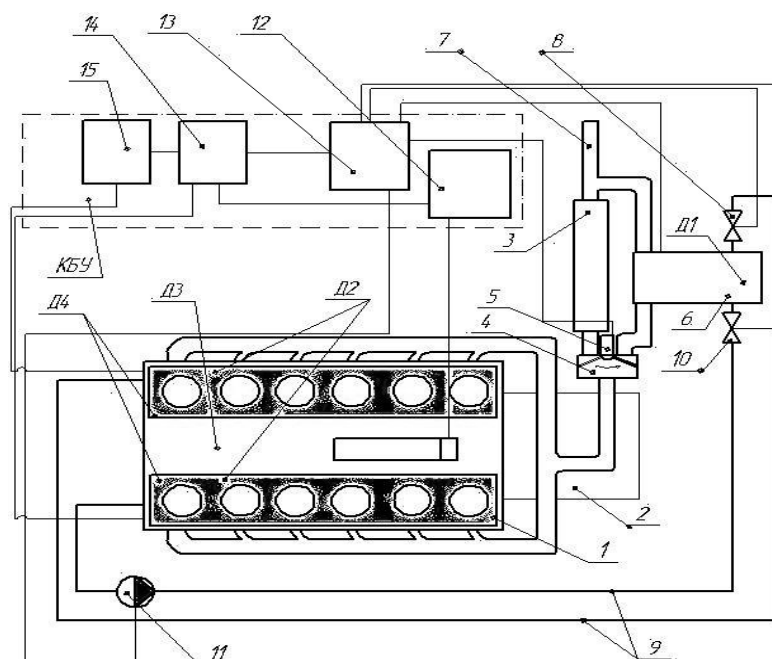


Рисунок 2.5 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором

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].

2.6 Аналіз використання зовнішніх джерел енергії для підігріву двигуна і заряджання теплових акумуляторів

Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 75300 UA) [6 - 8] містить газопоршневий двигун 1 (рис. 2.6) 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,

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		37

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 ДЗ [6-20].

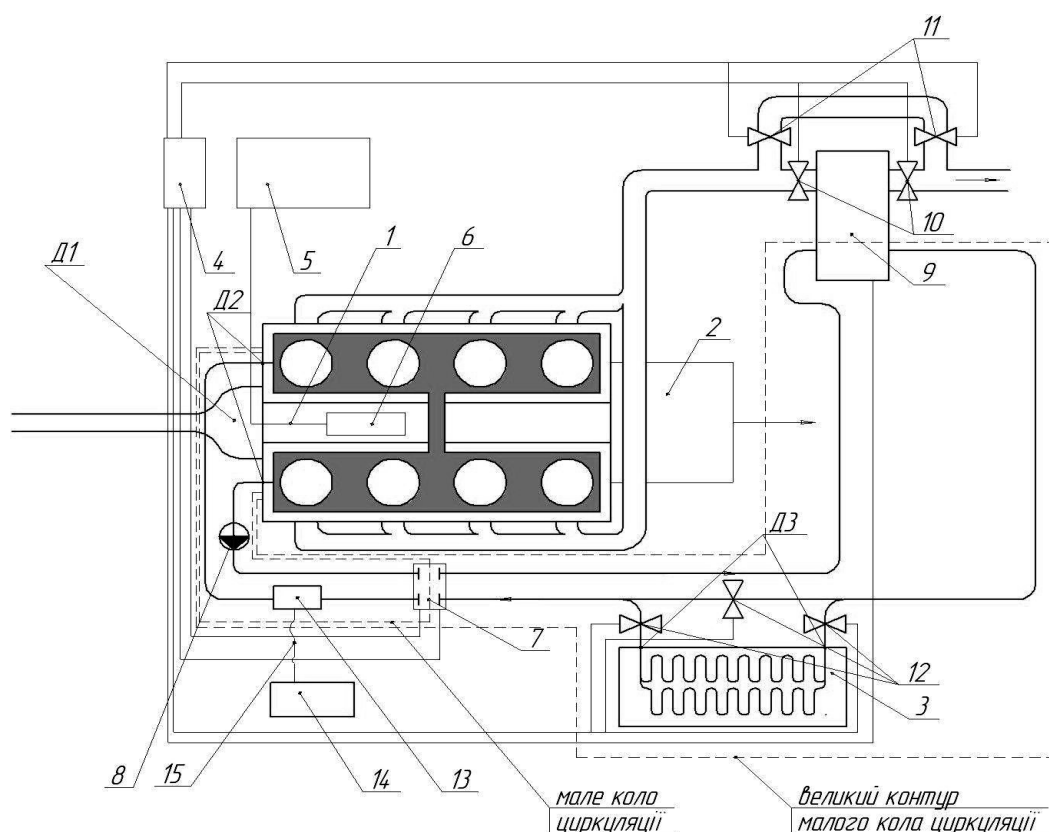


Рисунок 2.6 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловим акумулятором (патент № 75300 UA)

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 електropідігрівом (патент № 78983 UA) [6 - 8] містить дизель 1 (рис. 2.7) 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 керування пуском дизеля 15. Всі блоки системи, які спільно утворюють комплексний блок управління (КБУ) і сама система працюють в залежності

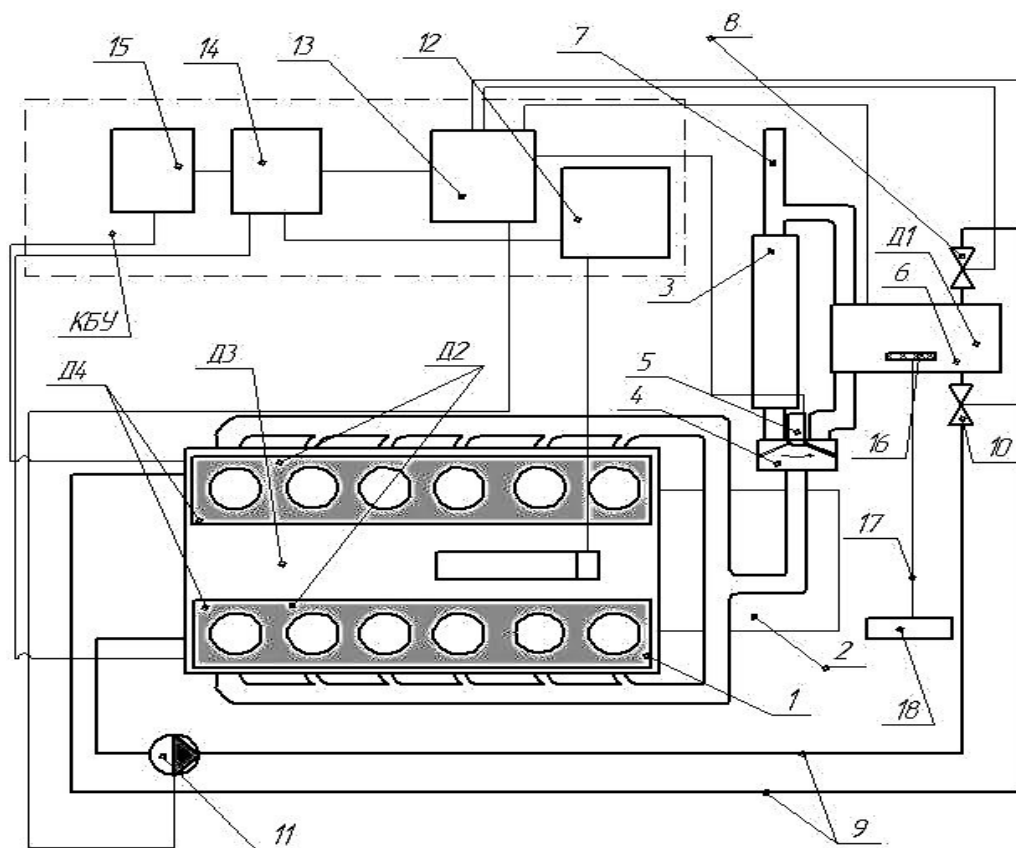


Рисунок 2.7 - Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором з електронігрівом (патент № 78983 UA)

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 [6-20] .

Перевагами цієї системи є здатність підтримувати температуру охолоджувальної рідини в межах "гарячого прогріву" навіть при вимкненому двигуні, а при зниженні температури теплоносія в теплому акумуляторі - автоматично включати короточасний режим роботи двигуна, чергуючи його роботу та зупинку. Це можливо завдяки наявності блоку керування для автоматичного передпускового прокачування оливи під час запуску двигуна, а також блоку керування запуском двигуна. Крім того, передбачено можливість додаткової зарядки теплового акумулятора за допомогою електронагрівача, який може отримувати живлення від електромережі, стаціонарного джерела або бортового електрогенератора [6-20] .

Для максимально ефективної утилізації теплової енергії вихлопних газів при низьких температурах використовується багатосекційний (три секції) тепловий акумулятор фазового переходу. Він включає теплоаккумулятори середньої та низької температури, здатні працювати в температурному діапазоні від 120 до 500 °С, що відповідає температурі відпрацьованих газів двигуна [6-20].

Відомий тепловий акумулятор фазового переходу складається з теплоізовованого вакуумованого корпусу з блоком капсул, що заповнені однаковим теплоакмулюючим матеріалом і розташовані коаксіально, з зазорами для рідкого теплоносія. Він містить кілька блоків капсул з різними матеріалами, розташованих в одному корпусі та під'єднаних через перепускні труби з запірними клапанами [6-20] .

Такий акумулятор забезпечує поглинання тепла від відпрацьованих газів в широкому температурному діапазоні, що дозволяє накопичувати і зберігати більшу кількість тепла, а також обирати оптимальний діапазон робочих температур [6-20].

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						40
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

При підборі низькотемпературних матеріалів слід враховувати, що при температурі нижче 100 °С у випускному колекторі дизеля починається конденсація вологи, що призводить до утворення сірчаних кислот і руйнування колектора. Тому нижня межа робочих температур ТАМ має становити 100-120 °С, а верхня - 500-525 °С, з оптимальною робочою межею 350 °С. Секції ТАМ мають такі температурні інтервали: 1 секція - 300-350 °С, 2 секція - 200-250 °С, 3 секція - 100-120 °С. Система прогріву працює в трьох режимах: 1 - нагрівання картера (активні секції 1 та 2), 2 - прогрівання водяної системи (секція 3), 3 - комбінований режим [6-20].

На рис. 2.8 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. 2.8). 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 послідовно, через впускні 10, 11 і випускную 13 трубу до блоку з низькотемпературним ТАМ (120 °С), 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 входними 3, 4, 5 і вихідними 6,

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						41
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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. [6-20]

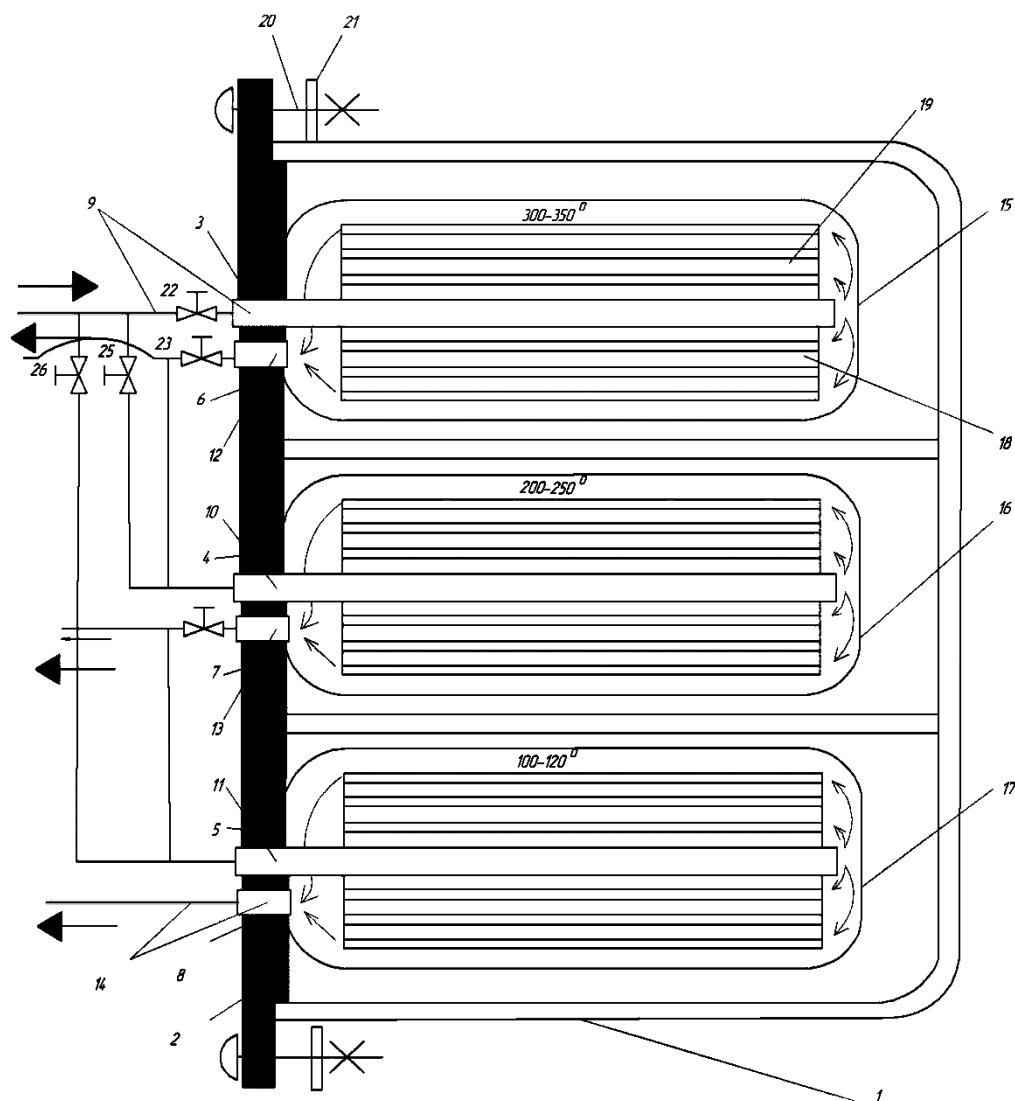


Рисунок 2.8 - Схема багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу [6 – 8, 14, 15]

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

поток, 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 [6-20].

2.7 Обґрунтування виконання модернізації

Розглянути можливості удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації шляхом встановлення системи теплової підготовки на основі багатосекційного теплового акумулятора фазового переходу. Він буде заряджатися від відпрацьованих газів самого двигуна під час його роботи. В періоди стоянки тепловоза накопичену теплову енергію теплового акумулятора можливо використовувати для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без підігріву двигуна традиційними способами.

Висновки: Проаналізовані можливості використання не традиційних засобів теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу. Цим може бути забезпечена значна економія палива при стоянці тепловоза в умовах експлуатації при гарантуванні теплової підготовки від теплового акумулятора.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		43

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ K6S310DR ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Для вирішення питання удосконалення системи теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації. Для цього в водяну систему дизеля K6S310DR тепловозу ЧМЭЗ планується встановити систему теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу для водяного контура і для кабіни машиніста в умовах локомотивного депо. Крім цього потрібно дослідити особливості процесів охолодження водяної системи тепловозу, розрахувати основні конструктивні і технологічні параметри означеної системи і її складових [6-20].

3.1. Дослідження процесу охолодження водяної системи в умовах експлуатації при зберіганні тепловозу ЧМЭЗ в місцях відстою

Одним з резервів сучасної енергозберігаючої технології технічної експлуатації дизеля транспортного засобу є своєчасне проведення його обігріву засобами системи теплової підготовки при відстої в умовах низької температури зовнішнього повітря. Регульованим об'єктом такої системи служить водяна система (ВС) енергоустановки. Вхідним впливом, тобто регулюючою величиною, тут є теплова потужність, передана водяній системі в результаті роботи дизеля до водяної системи [6-20] .

Динамічну модель подібних об'єктів прийнято описувати диференціальним рівнянням першого порядку

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		44

$$T_H \frac{d\xi}{d\tau} + \xi = \frac{P}{A}. \quad (3.1)$$

Закон зміни перегріву, як рішення рівняння (3.1)

$$\xi = \frac{P}{A} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_H}} \right) + \xi_H e^{-\frac{\tau}{T_H}}. \quad (3.2)$$

Однак встановлено, що реальний характер залежності температури від часу при нагріванні виробничих об'єктів у різній мері відрізняється від обумовленої рівнянням (3.2). Така ж закономірність підтверджується дослідженнями, проведеними на тепловозі ЧМЭЗ. Дослідженнями визначено, що температура навколишнього середовища в контрольованих місцях (досліджувальні точки) технічного відсіку на тепловозі ЧМЭЗ змінюється практично за лінійним законом у часі, тобто

$$t_{OK} = t_{OK.H} \mp \alpha \tau. \quad (3.3)$$

З огляду на це, закон нагрівання елемента водної системи буде мати вигляд

$$t_{\epsilon} = \frac{P}{A} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_H}} \right) + \xi_H \cdot e^{-\frac{\tau}{T_H}} + t_{OK.H} + \alpha \tau. \quad (3.4)$$

При охолодженні елемента $\frac{P}{A} = 0$, а $t_{OK} = t_{OKH} - \alpha \tau$, тому температура елемента ВС змінюється за законом

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						45
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$t_B = \xi_H e^{-\frac{\tau}{T_0}} + t_{OK.H} - \alpha \tau, \quad (2.5)$$

Для проведення досліджень було використано методику і комп'ютерну програму моніторингу теплових параметрів водяної системи тепловозу ЧМЭЗ за даними характеристики водяної системи. Розроблена методика може бути використана при дослідженнях процесів нагрівання й охолодження енергетичного встаткування, що працює в умовах мінливості температури навколишнього середовища. Результати проведеної роботи представлено на рис. 3.1-3.5, де зображені характеристики елементів водяної системи тепловозу ЧМЭЗ при їх охолодженні після зупинки дизеля під дією зовнішніх факторів при температурах оточуючого середовища $t = -20^\circ\text{C}$.

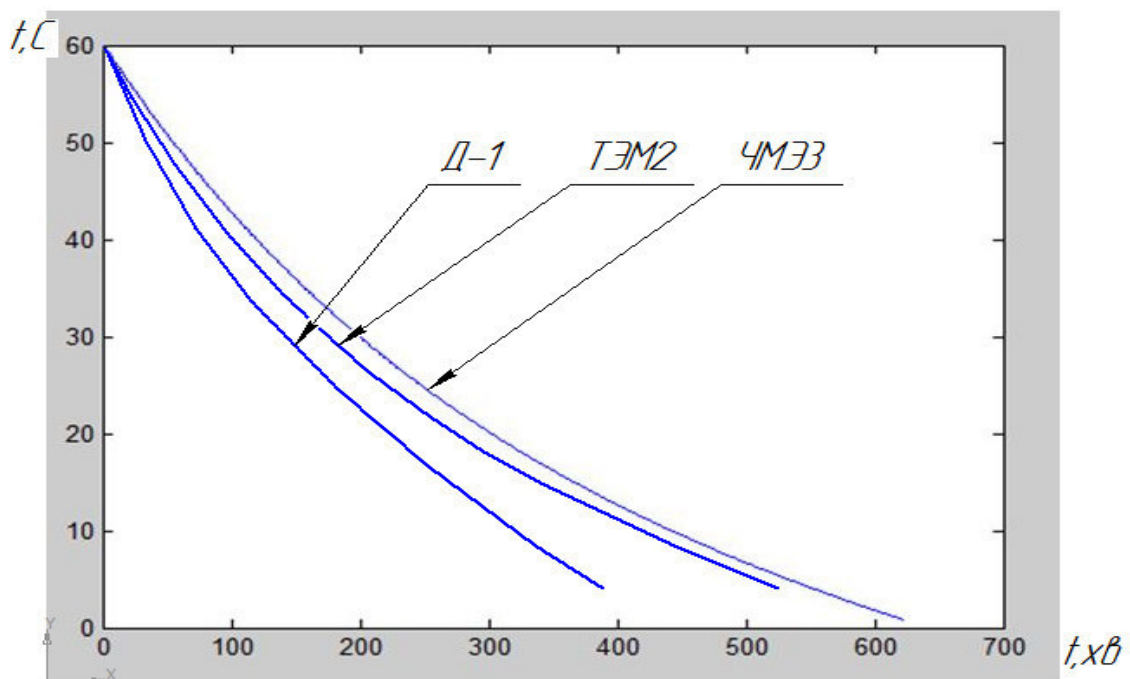


Рисунок 3.1 – Залежність температури охолоджуючої рідини ДВЗ локомотиву при зберіганні (охолодженні) від часу стоянки

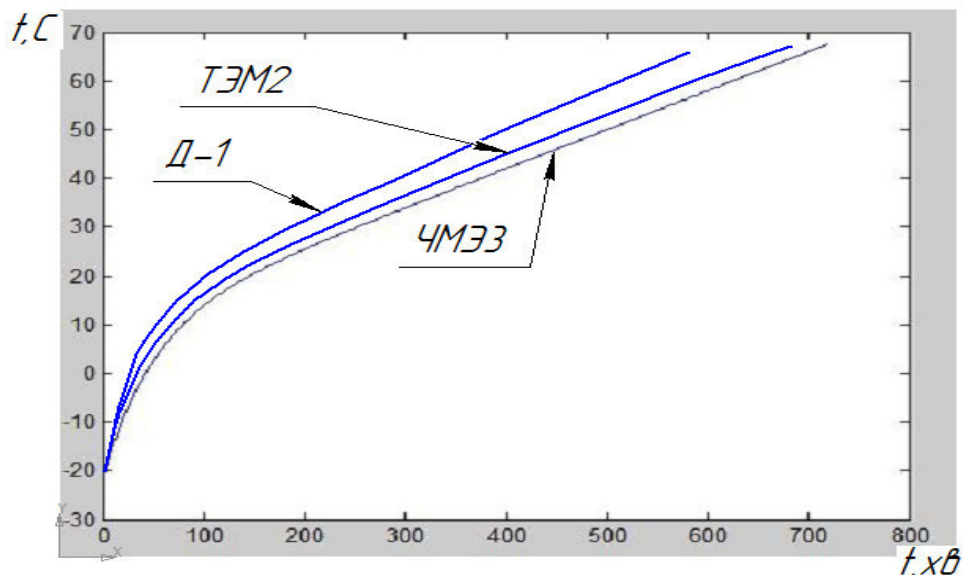


Рисунок 3.2 – Залежність температури охолоджуючої рідини ДВЗ локомотиву при прогріві від часу

Дослідження проводилось у умовах одного депо у порівнянні з аналогічними локомотивами ТЕМ2 і дизель-поїздом Д1. В результаті аналізу отриманих залежностей визначили, що домінуючим параметром при виборі критерію допустимого охолодження водяної системи тепловозу ЧМЭЗ є температура на виході з блоку циліндрів двигуна, по ній й проводились дослідження (рис. 3.1 і 3.2).

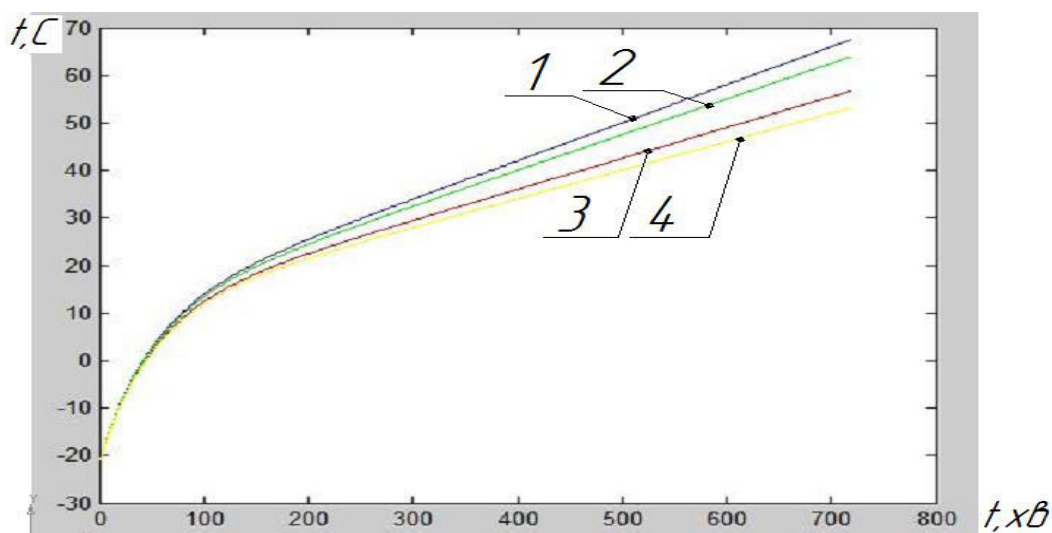


Рисунок 3.3 – Залежність температури елементів системи охолоджуючої рідини від температури під час нагрівання: 1 - верхній колектор холодильника

основного контуру, 2 – нижній колектор холодильника основного контуру, 3 – роздавальний водяний колектор на дизелі, 4 – розширювальний бак

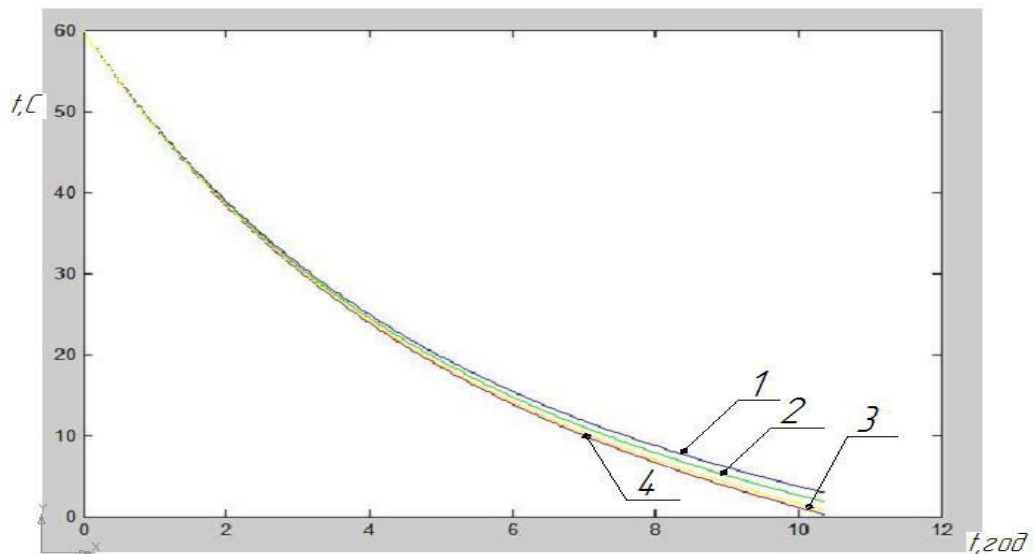


Рисунок 3.4 – Залежність температури елементів системи охолоджуючої рідини від температури під час охолодження: 1 - верхній колектор холодильника основного контуру, 2 – нижній колектор холодильника основного контуру, 3 – роздавальний водяний колектор на дизелі, 4 – розширювальний бак

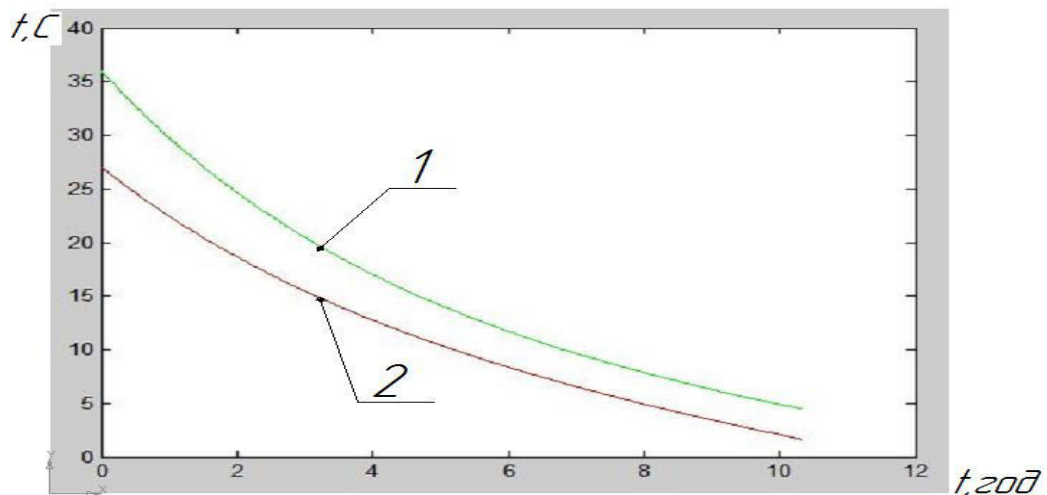


Рисунок 3.5 – Залежність температури елементів системи охолоджуючої рідини від температури під час охолодження: 1 – трубопровід подводу води до калориферу кабіни, 2 - патрубок обігріву ступеньки (в технічному відсіку тепловозу)

Аналізуючи отримані результати було з'ясовано, що процес нагрівання дизеля K6S310DR тепловозу ЧМЭЗ відбувається до температури 50°C за 570хв., а охолодження – за 7 годин від температури охолоджуючої рідини ДВЗ, що дорівнює 60°C, до температури 10°C. Процес охолодження з 36°C і 27°C до 10°C найбільш віддаленого трубопроводу від дизеля - трубопровід подводу води до калориферу кабіни й патрубок обігріву ступеньки (в технічному відсіку тепловозу), відбувається за 7 і 5 годин відповідно. Подальше охолодження проводити не бажано, у зв'язку із тим, що це може привести до пошкодження водяної системи тепловозу і системи охолодження дизеля .

3.2 Особливості конструкції і принцип роботи багатосекційного ТА системи теплової підготовки

Для покращення параметрів робочих процесів теплової підготовки двигуна внутрішнього згорання в напрямку створення і розвитку систем теплової підготовки ДВЗ в частині конструкції їх теплових акумуляторів фазового переходу, можливо запропонувати наступне технічне рішення.

На рис. 3.6 показано схему взаємодії елементів системи теплової підготовки для встановлення у конструкції системи охолодження транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ [6-20].

Тепловий акумулятор фазового переходу (патент № 75299 UA) [6 - 8] складається з вакуумованого корпусу 1 (рис. 3.7), 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. У середині корпусу знаходяться блоки секцій 19, 20, 21,

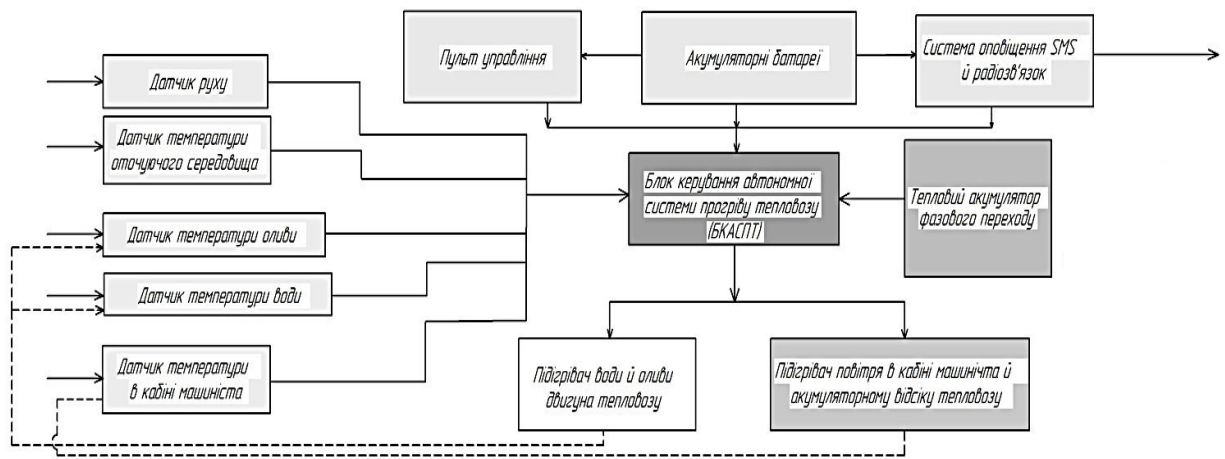


Рисунок 3.6 - Схема взаємодії елементів системи теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ

що складаються з циліндричних коаксіально розташованих капсул, заповнених фазоперехідним теплоакумуючим матеріалом 22 з кільцевими зазорами 23 для проходження 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 камери 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 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		50

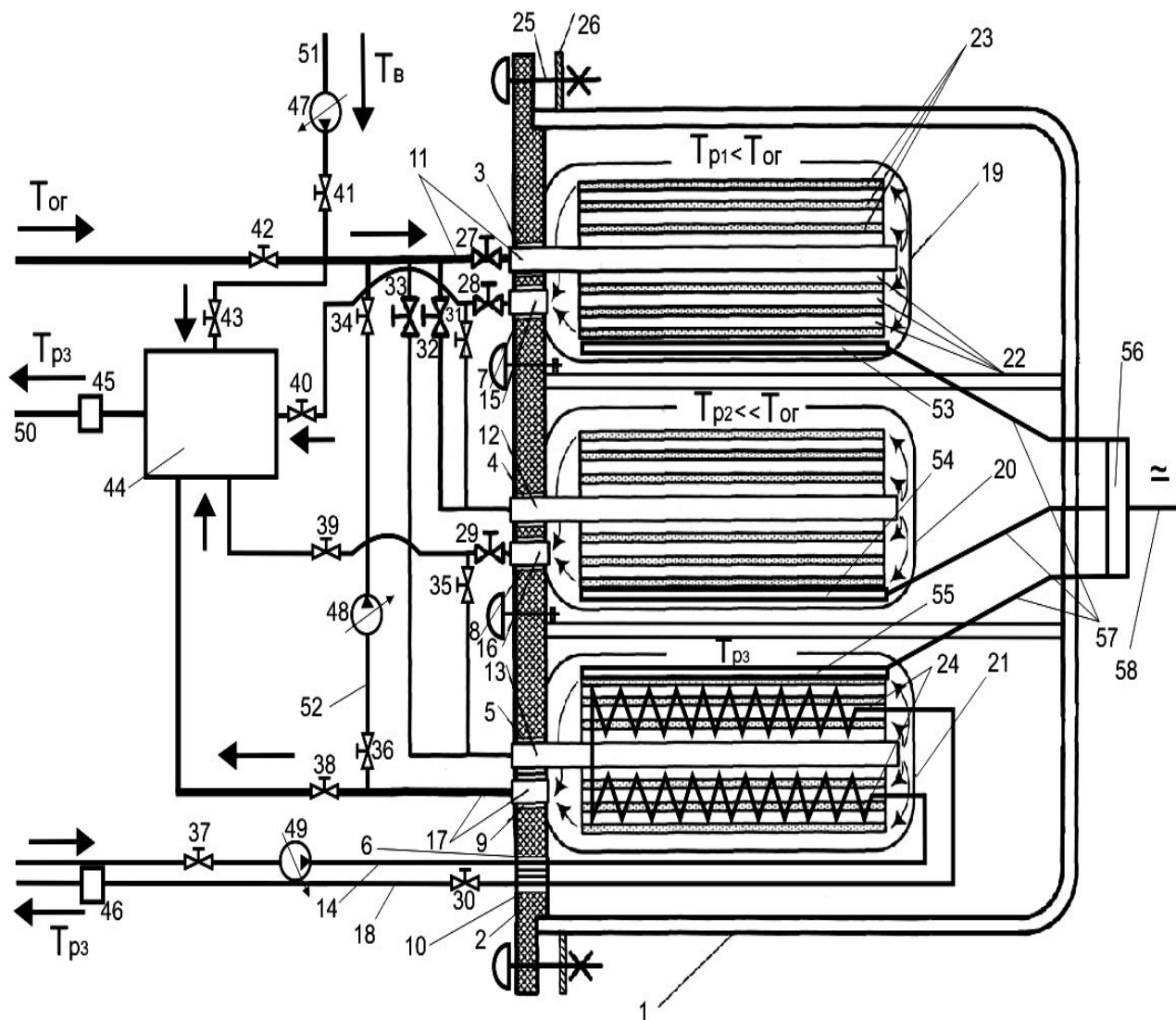


Рисунок 3.7 - Тепловий акумулятор фазового переходу [6 - 8]:
 1 - вакуумований корпус; 2 - знімна кришка; 3, 4, 5, 6 – вхідний отвір;
 7, 8, 9, 10 - вихідний отвір; 11 - впускний трубопровід газоподібного теплоносія; 12, 13 – впускний трубопровід блоку; 14 – впускний трубопровід рідинного теплоносія; 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) [6-20].

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 [6-20].

Запропоноване технічне рішення спрямоване на підвищення ефективності використання палива та утилізації вихлопних газів у більш широкому температурному діапазоні, а також на підтримання температури охолоджувальної рідини в системі при вимкненому двигуні в межах температури «гарячого прогріву» (50–70 °С, відповідно до експлуатаційних вимог та заводських інструкцій) за умов низьких зовнішніх температур. Якщо температура охолоджувальної рідини (оливи та палива) двигуна не відповідає зазначеним вимогам, система забезпечує підтримку температури теплоносіїв, які подаються до двигуна паралельно двома потоками — газоповітряним та рідинним, — з однаковою фіксованою температурою, що знаходиться у вузькому діапазоні та наближена до робочої температури двигуна. Окрім того, передбачено додаткове заряджання теплового акумулятора електронагрівальними елементами, що дозволяють заряджати його від електричної мережі, стаціонарного джерела електроенергії, генератора або рекуперативної системи транспортного засобу через блок керування та розподілу напруги електронагрівачів за допомогою силового електрокабелю [6-20].

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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		52

або стаціонарне джерело електроенергії, електрогенератор або рекуперативна система транспортного засобу [6-20].

Використання цього теплового акумулятора дає змогу [6-20]:

а) знизити витрати палива при прогріванні двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) у процесі експлуатації, що підвищує ефективність його роботи;

б) забезпечити більшу зручність в утилізації відпрацьованих газів у ширшому діапазоні температур;

в) підтримувати температуру охолоджувальної рідини в системі охолодження при вимкненому ДВЗ у межах температур «гарячого прогріву» (50–70 °С, залежно від експлуатаційних вимог та інструкцій виробника) або, якщо температура охолоджувальної рідини, мастила та палива двигуна не відповідає зазначеним вимогам;

г) одночасно підтримувати температури теплоносіїв, що надходять у ДВЗ двома потоками – газоповітряним та рідинним, з фіксованою однаковою температурою потоків з нижчим робочим діапазоном, наближеним до робочої температури ДВЗ;

д) автономно здійснювати перезарядку (підігрів) секції блоку з нижчим робочим діапазоном температур від секцій блоку з вищим температурним діапазоном;

є) додатково заряджати тепловий акумулятор за допомогою електронагрівальних елементів, що дозволяє заряджати його від електромережі, стаціонарного джерела живлення, електрогенератора або рекуперативної системи транспортного засобу.

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

При роботі ДВЗ (рис. 3.7) потік відпрацьованих газів $T_{ог}$ надходить через впускний трубопровід газоподібного теплоносія у впускний трубопровід

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						53
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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 випускний 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 випускний 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 випускного 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 випускного 18 трубопроводів рідинного теплоносія, що нагнітає насос 49 і запірного клапана 37, і подається в систему охолодження ДВЗ. Процес акумулювання 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 теплоакумуючому матеріалі [6 - 15].

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						54
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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 більш низьким діапазоном робочих температур. Після цього подача свіжого повітря з навколишнього середовища припиняється і теплоносієм, 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 тепловозного дизеля

В базовому варіанті не існує можливості застосування теплової підготовки і підтримання відповідного теплового стану тепловозного дизеля і системи охолодження без використання процесів згорання палива. Накопичення теплової енергії в елементах системи охолодження конструкцією тепловозного дизеля і самого тепловозу не передбачено. У результаті модернізації не змінюється швидкість руху тепловозу, але знижуються витрати на паливо і загальний об'єм (розмір) експлуатаційних витрат тощо. Пропонована модернізація стосується встановлення в системі охолодження додаткових елементів – системи теплової підготовки, а саме паралельно випускному трубопроводу встановлюється теплообмінник багатосекційного

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						56
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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 тепловозного дизеля 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 пропонується модернізація не ускладнює процес складання та розбирання, час на проведення обслуговування та ремонтних робіт системи охолодження є однаковим для базового і пропонуваного варіантів. Запропоновану модернізацію системи охолодження пропонується виконувати під час проведення чергових планових ремонтних робіт, що надасть можливість уникнути додаткового простою тепловозу [6 - 15].

Теплоакumuлюючі матеріали для секцій теплового акумулятора представлені в табл. 3.1 [6 - 20].

Таблиця 3.1 – Характеристики теплоакumuлюючих матеріалів для теплового акумулятора і рекомендації для їх посеkційного 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

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 передбачається обладнання тепловоза бортовою установкою, основою якої є вторинний енергоносіє у багатосекційному тепловому акумуляторі фазового переходу [6 - 15].

3.5. Тепловий розрахунок дизеля K6S310DR

Вихідні дані: Маневровий тепловоз з 4-х тактним дизелем, з вертикальним розташуванням циліндрів і водяником охолодження [21-23]

Ефективна потужність $N_e=993$ кВт (1350 л.с.)

Число оборотів $n=750$ об/хв

Двигун шестицилиндровий $i=12$

Буква К означає, що дизель має наддування. Застосування наддування дозволило збільшити потужність дизеля з 552 Квт до 993 кВт. Цифра 6 означає, що дизель шестицилиндровий, а 310- що внутрішній діаметр циліндра дорівнює 310 мм. Останні дві букви DR указують на те, що дизель спеціально призначений для залізниць, тобто для установки на тепловозах [21-23].

Паливо

Теплова енергія, необхідна для здійснення роботи в дійсному циклі, виходить при згорянні палива в циліндрах дизеля. Основним видом палива для

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		58

тепловозів є дизельні палива, одержувані шляхом прямої перегонки нафти, каталітичного реформинга, крекінгпроцесов і інших технологічних процесів.

Фізико-хімічні властивості палива, застосовуваного для дизелів, повинне відповідати визначеним вимогам, що залежать від типу двигуна, особливостей його конструкції, параметрів робочого процесу й умов експлуатації. У зв'язку з цим паливо повинне забезпечувати: повне згоряння палива з чи відсутністю з мінімально припустимим змістом у продуктах згоряння токсичних речовин, що забруднюють навколишнє середовище; прийнятну випаровуваність при різних температурах навколишнього середовища, що відповідає сучасним вимогам різних типів дизелів; надійні пускові якості і стійку працездатність систем сумішоутворення і харчування на всіх позиціях роботи дизеля в різних кліматичних умовах; м'яке протікання процесу згоряння з припустимими навантаженнями дизеля і без нагаро- і коксообразования; високі потужнісні і економічні показники дизеля на всіх режимах його роботи. Дизельне паливо одержують компаундуванням прямогіних і гідроочищених фракцій у співвідношеннях, що забезпечують стандартні вимоги по змісту сірки. Як сировину для гідроочищення використовують суміш среднестильяційних фракцій прямої перегонки і вторинних процесів, частіше прямогіного дизельного палива і легені газойля каталітичного крекінгу [21-23].

За ДСТ 305-82 виробляється дизельне паливо марок:

Л- літнє, застосовуване при температурі навколишнього повітря 0 0C і вище;

З- зимове, застосовуване при температурах до -20 0C, чи застосовуване при температурах до 30 0C.

Основним показником дизельного палива є цитанове число, що у першу чергу визначає здатність палива до самозапалювання, що є необхідною умовою роботи дизеля з запаленням від стиску. Цетанове число дизельного палива чисельно дорівнює змісту цитана в суміші з d - метилнафталином, що по температурі займистості еквівалентна випробуваному дизельному паливу.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		59

Для теплового розрахунку дизеля приймаємо дизельне паливо марки Л-літнє. Цитанове число палива - не менш 45 [21-23].

Середній елементарний склад рідкого палива:

$$C=0,86; H=0,135; O=0,005;$$

Нижча теплота згоряння палива:

$$H_u = 33,91C + 125,60H - 10,89(O - S) - 2,51(9H + W);$$

$$H_u = 33,91 \times 0,86 + 125,60 \times 0,135 - 10,89 \times 0,005 - 2,51 \times 9 \times 0,135 = 43,015 \text{ Мдж / кг}$$

Параметри робочого тіла [21-23]

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{3} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,86}{12} + \frac{0,135}{4} - \frac{0,005}{32} \right) = 0,508 \text{ кмоль/возд / кгтопл.};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \times 0,86 + 8 \times 0,135 - 0,005 \right) = 14,644 \text{ кгвозд / кгтопл.};$$

Коефіцієнт надлишку повітря. Зменшення коефіцієнта надлишку повітря до можливих меж зменшує розміри циліндра і, отже, підвищує літрову потужність дизеля, але одночасно з цим значно зростає теплонапруженість двигуна, особливо деталей поршневої групи, збільшується димність випускних газів. Кращі зразки сучасних дизелів з наддуванням зі струминним сумішоутворенням стійко працюють на номінальному режимі без істотного перегріву при $\alpha=2,1$ [21-23].

Кількість свіжого заряду

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						60
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$M_1 = \alpha L_0 = 2,1 \times 0,508 = 1,607 \text{ кмоль св.заряда / кг топл.};$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння при $\alpha=2,1$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,86}{12} = 0,072 \text{ кмоль } CO_2 / \text{кг топл.};$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,135}{2} = 0,0675 \text{ кмоль } H_2O / \text{кг топл.};$$

Загальна кількість продуктів згоряння [21-23]

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} = 0,072 + 0,0675 + 0,106 + 0,845 = 1,091 \text{ кмоль прсг / кг топл.};$$

Параметри навколишнього середовища і залишкові гази [21-23].

Атмосферні умови $p_0=0,1013$ МПа; $T_0=293$ К;

Тиск навколишнього середовища для дизеля: $p_k=0,2$ МПа - за завданням.

Температура навколишнього середовища для дизелів:

$$T_K = T_0 (p_R / p_0)^{(n_r - 1) / n_r} = 293 (0,2 / 0,1013)^{(1,36 - 1) / 1,36} = 351^0 \text{ К},$$

де n_k - показник політропи стиску (згідно досвідченим даної $n_k=1,36$).

Температура і тиски залишкових газів. Досить високе значення $\epsilon=13$ дизеля з наддуванням знижує температуру і тиск залишкових газів, а підвищена частота обертання колінчатого вала трохи збільшує значення T_r і p_r . Тому можна прийняти так [21-23]:

$$T_r = 800 \text{ К}, p_r = 0,95 \times p_r = 0,95 \times 0,2 = 0,19 \text{ МПа};$$

Процес впуску [21-23].

Температура підігріву свіжого заряду. Дизель, що розраховується, не має спеціального пристрою для підігріву свіжого заряду. Однак природний

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		61

підігрів заряду в циліндрі за рахунок зменшення температурного перепаду між деталями дизеля і температурою надувочного повітря скорочується. Тому приймаємо $T=10\text{ C}$.

Щільність заряду на впуску [21-23]

$$\rho_K = p_R \times 10^6 / (R_B \times T_R) = 0,1 \times 10^6 / (287 \times 351) = 1,985 \text{ кг/м}^3.$$

де R_B - питома газова постійна для повітря $R_B=287\text{ Дж/кг*}^\circ\text{C}$

Утрати тиску на впуску:

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{en}) \omega_{en}^2 \rho_K 10^{-6} \div 2 = 2,7 \times 70^2 \times 1,985 \times 10^{-6} \div 2 = 0,013 \text{ МПа};$$

Тиск наприкінці впуску

$$p_a = p_R - \Delta p_O = 0,2 - 0,013 = 0,187 \text{ МПа};$$

Коефіцієнт залишкових газів

$$\gamma_r = \frac{T_R + \Delta T}{T_r} \frac{p_r}{p_a - p_r} = \frac{351 + 10}{800} \frac{0,19}{13 \times 0,187 - 0,19} = 0,038.$$

Температура наприкінці впуску

$$T_a = (T_R + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r) = (351 + 10 + 0,038 \times 800) / (1 + 0,038) = 377^\circ \text{ K}.$$

(

Коефіцієнт наповнення

$$\eta_V = T_R (p_a - p_r) / [(T_K + \Delta T)(\varepsilon - 1)p_R] = 351(13 \times 0,187 - 0,19) / [(35 + 10)(13 - 1)0,2] = 0,908.$$

Процес стиску [21-23].

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		62

Середні показники адіабати і політропи стиску. При роботі дизеля на номінальному режимі можна з достатнім ступенем точності прийняти показник політропи стиску приблизно рівним показнику адіабати, що визначається по номограмі [21-23]:

$$n_1 \approx k_1 = 1,376;$$

Тиск наприкінці стиску

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 0,187 \times 13^{1,376} = 6,377 \text{ МПа.}$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 377 \times 13^{1,376 - 1} = 988^0 \text{ К};$$

Температура наприкінці стиску

Середня мольна теплоємність наприкінці стиску

$$(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \times 10^{-3} t_c :$$

а) повітря

$$(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \times 10^{-3} \times 715 = 22,486 \text{ кДж / (кмоль} \times \text{град)},$$

б) залишкових газів (визначається методом інтерполяції);

$$(mc_v)_{t_0}^c = 23,848 \text{ кДж / (кмоль} \cdot \text{град)};$$

в) робочої суміші

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		63

$$(mc'_v)_{t_0}^c = [1/(1 + \gamma_r)] [(mc_v)_{t_0}^c + \gamma_r (mc''_v)_{t_0}^c]$$

$$(mc'_v)_{t_0}^c = [1/(1 + 0,038)] [22,486 + 0,038 \times 23,848] = 22,536 \text{ кДж / (кмоль} \cdot \text{град)}.$$

Процес згоряння [21-23]

Коефіцієнт молекулярної зміни свіжої суміші:

$$\mu_0 = M_2 / M_1 = 1,091 / 1,067 = 1,022;$$

Коефіцієнт молекулярної зміни робочої суміші:

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) = (1,022 + 0,038) / (1 + 0,038) = 1,021.$$

Теплота згоряння робочої суміші в дизелях [21-23]:

$$H_{\text{раб.см.}} = H_u [M_1 (1 + \gamma_r)] = 43015 [1,067 (1 + 0,038)] = 47641 \text{ кДж / кмоль раб.см.};$$

Середня мольна теплоємність продуктів згоряння в дизелях:

$$(mc''_v)_{t_0}^z = (1 / M_2) [M_{CO_2} (mc''_{vCO_2})_{t_0}^z + M_{H_2O} (mc''_{vH_2O})_{t_0}^z + M_{O_2} (mc''_{vO_2})_{t_0}^z + M_{N_2} (mc''_{vN_2})_{t_0}^z]$$

$$(mc''_v)_{t_0}^z = 31,866 + 0,00156 t_z;$$

$$(mc''_p)_{t_0}^z = (mc''_v)_{t_0}^z + 8,315;$$

Коефіцієнт використання теплоти для сучасних дизелів з наддуванням у зв'язку з підвищенням теплонапряженности двигуна і створенням більш сприятливих умов для протікання процесу згоряння [21-23]

$$\xi^{\Sigma} = 0,80$$

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		64

Ступінь підвищення тиску в дизелі в основному залежить від величини циклової подачі палива. З метою зниження газових навантажень на деталі кривошипно-шатунного механізму доцільно мати максимальний тиск згоряння не вище 13 МПа. У зв'язку з цим доцільно прийняти для дизеля з наддуванням [21-23]

$$\lambda = 1,2$$

Температура наприкінці видимого процесу згоряння

$$\xi_Z H_{\text{раб.см}} + [(mc'_V)_{t_0}^c + 8,315\lambda] t_C + 2270(\lambda - \mu) = \mu (mc''_P)_{t_0}^Z t_Z :$$

$$0,8 \times 47641 + [22,536 + 8,315 \times 1,2] 715 + 2270(1,2 - 1,021) = 1,021(31,866 + 0,00156 t_Z) t_Z$$

чи

$$0,001625 t_Z^2 + 32,537 t_Z - 61767 = 0$$

відкіля

$$t_Z = \left(-32,537 + \sqrt{32,537^2 + 4 \times 0,001625 \times 61767} \right) / (2 \times 0,001625) = 1746^0 \text{ C};$$

$$T_Z = t_Z + 273 = 2019^0 \text{ K}.$$

Максимальний тиск згоряння для дизелів:

$$p_Z = \lambda p_C = 1,2 \times 6,377 = 7,652 \text{ МПа};$$

Ступінь попереднього розширення:

$$\rho = \mu T_Z / (\lambda T_C) = 1,021 \times 2019 / 1,2 \times 988 = 1,739.$$

Процес розширення [21-23]

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						65
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Ступінь наступного розширення

$$\delta = \varepsilon / \rho = 13 / 1,739 = 7,48.$$

Середні показники адіабати і політропи розширення для дизелів вибираються в такий спосіб. На номінальному режимі можна прийняти показник політропи розширення з обліком досить великих розмірів циліндра, трохи менше показника адіабати розширення, що визначається по номограмі [21-23]. Для дизелів:

$$\delta = 7,48; \quad T_z = 2019^0 K; \quad \alpha = 2,1 \quad k_2 = 1,294, \quad n_2 = 1,27;$$

при

Тиск і температура наприкінці розширення

$$p_b = p_z / \delta^{n_2} = 7,652 / 7,48^{1,27} = 0,594 \text{ МПа};$$

$$T_b = T_z / \delta^{n_2-1} = 2019 / 7,48^{1,27-1} = 1173^0 K.$$

Перевірка заздалегідь прийнятої температури залишкових газів:

$$T_r = T_b / \sqrt[3]{p_b / p_r} = 1173 / \sqrt[3]{0,594 / 0,19} = 802^0 K;$$

$$\Delta = 100(802 - 800) / 802 = 0,2\%,$$

що допустимо.

Індикаторні параметри робочого циклу.

Теоретичний середній індикаторний тиск [21-23]

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						66
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) \right];$$

$$p_i' = \frac{6,377}{13 - 1} \left[1,2(1,739 - 1) + \frac{1,2 \times 1,739}{1,27 - 1} \left(1 - \frac{1}{7,48^{1,27 - 1}} \right) - \frac{1}{1,376 - 1} \left(1 - \frac{1}{13^{1,376 - 1}} \right) \right] = 1,317 \text{ МПа}.$$

Середній індикаторний тиск для дизелів:

$$p_i = \varphi_u p_i' = 0,99 \times 1,317 = 1,304 \text{ МПа}.$$

Індикаторний КПД для дизелів:

$$\eta_i = p_i l_0 \alpha / (H_u p_K \eta_v);$$

$$\eta_i = 1,304 \times 14,644 \times 2,1 / (43,015 \times 1,985 \times 0,908) = 0,517.$$

Індикаторна питома витрата палива:

$$g_i = 3600 / (H_u \eta_i) = 3600 / (43,015 \times 0,517) = 162 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч};$$

Ефективні показники двигуна [21-23].

Середній тиск механічних втрат

$$p_m = 0,089 + 0,0118 v_{n,np} = 0,089 + 0,0118 \times 8 = 0,1834 \text{ МПа},$$

$$v_{n,np} = 8 \text{ м/с}.$$

де середня швидкість поршня попередньо прийнята:

Середній ефективний тиск і механічний КПД:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		67

$$p_e = p_i - p_m = 1,304 - 0,1824 = 1,1206 \text{ МПа};$$

$$\eta_m = p_e / p_i = 1,1206 / 1,304 = 0,859 \text{ МПа}.$$

Ефективний КПД і ефективна питома витрата палива:

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,517 \times 0,859 = 0,444;$$

$$g_e = 3600 / (H_u \eta_e) = 3600 / (43,015 \times 0,444) = 188,5 \text{ г / (кВт} \cdot \text{ч)}.$$

Основні параметри дизеля і циліндра [21-23].

Літраж двигуна

$$V_d = 30 \pi N_e / (p_e n) = 30 \times 4 \times 993 / (1,1206 \times 750) = 141,8 \text{ л}.$$

Робочий обсяг циліндра

$$V_h = V_d / i = 141,8 / 6 = 23,6 \text{ л}.$$

Діаметр і хід поршня дизеля, як правило, виконуються з відношенням ходу поршня до діаметра циліндра

$$S / D \geq 1.$$

Однак зменшення S/D для дизеля, знижує швидкість поршня і підвищує механічний КПД. У зв'язку з цим доцільно прийняти S/D=1:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						68
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$D = 100 \times \sqrt[3]{4V_h / (\pi S / D)} = 100 \times \sqrt[3]{4 \times 23,6 / (\pi \times 1)} = 310,89 \text{ мм.}$$

Остаточно приймаємо $D=S=320$ мм.

По остаточно прийнятих значеннях D і S визначаються основні параметри і показники двигуна [21-23]:

$$V_{\pi} = \pi D^2 S_i / (4 \times 10^6) = 3,14 \times 320^2 \times 320 / (4 \times 10^6) = 154,416 \text{ л;}$$

$$F_{\pi} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \times 320^2 / 4 = 80425 \text{ мм}^2 = 804 \text{ см}^2 = 0,0804 \text{ м}^2;$$

$$v_{n.нр} = S n / (3 \times 10^4) = 320 \times 750 / (3 \times 10^4) = 8 \text{ м/с},$$

що дорівнює раніше прийнятому значенню.

$$N_e = p_e V_{\pi} n / (30 \tau) = 1,1206 \times 141,8 \times 750 / (30 \times 4) = 993 \text{ кВт};$$

$$G_T = N_e g_e = 993 \times 188,5 = 187,181 \text{ кг/ч};$$

$$M_e = 3 \times 10^4 \times N_e / (\pi m) = 3 \times 10^4 \times 993 / (3,14 \times 750) = 12643,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$N_{\pi} = N_e / V_{\pi} = 993 / 141,86 = 7,003 \text{ кВт/л} \cdot \text{дм}^3.$$

Висновки: Для зниження експлуатаційних витрат, матеріальних витрат на паливо і збільшення моторесурса, підвищення екологічних показників із зниженням викидів сажі й оксидів сірки в умовах експлуатації було обґрунтовано, розроблено заходи і розраховано параметри дизеля K6S310DR тепловозу ЧМЕЗ для його конвертації на газодизельний процес. В результаті конвертації може бути забезпечена значна економія палива в умовах експлуатації при виконанні запропонованих заходів. Досягнуто поліпшення параметрів роботи двигуна в цілому, досягнуті високі експлуатаційні показники у вигляді ефективних показників роботи двигуна.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		69

3.6 Особливості процесів знімання й віддачі теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в конструкції теплообмінника системи теплової підготовки 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 [6-15, 21 - 23].

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 теплонапруженість деталей двигуна, розрахувати схему охолодження, з'ясувати можливість використання теплоти відпрацьованих газів [6-15, 21 - 23].

У загальному вигляді зовнішній тепловий баланс двигуна може бути представлений у вигляді наступних складових [6-15, 21 - 23]:

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

де Q_o - загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом; теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна за 1 с [6-15, 21 - 23]:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						70
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Q_e = 1000N_e$$

теплота, втрачена з відпрацьованими газами [6-15, 21 - 23]:

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

Теплота, що передається охолоджуючому середовищі [6-15, 21 - 23]:

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

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: $n = 750 \text{ хв}^{-1}$; $m = 1,6$, а на усіх останніх швидкісних режимах – $m = 0,65$;

Теплота, втрачена через неповне згоряння палива [6-15, 21 - 23]:

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

Невраховані втрати теплоти [6-15, 21 - 23]:

$$Q_{OCT.} = Q_o - (Q_e + Q_\Gamma + Q_B + Q_{H.C.})$$

Знання абсолютних значень складових теплового балансу дозволяє здійснити кількісну оцінку розподілу теплоти в двигуні. Якщо ж необхідно

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						71
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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 [6-15, 21 - 23]:

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

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 [6-15, 21 - 23].

Вихідна потужність двигуна K6S310DR складає 993 кВт, частота обертання 750 хв⁻¹. Діаметр циліндра 310мм, хід поршня 360 мм, робочий об'єм 163200 см³, температура охолоджуючої рідини при нормальних умовах роботи становить 88 °С, а при екстремальних 95 °С, питома витрата палива 0,220г/ (кВт год) [1 - 3].

Розрахунок витрати палива на 100 % навантаження [6-15, 21 - 23]:

$$G_T = N_e g_e = 993 \cdot 0,220 = 218,46 \text{ кг/год}; 100\%$$

Загальна кількість теплоти, поданої в двигун з паливом для дизельного двигуна з наддувом [6-15, 21 - 23]:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		72

$$Q_o = H_u G_T / 3,6 = \frac{42400 \cdot 218,46}{3,6} = 2572973 \text{ Дж/с}; \quad 100\%$$

Теплота, еквівалентна ефективній роботі за 1 с, для дизельного двигуна з наддувом [6-15, 21 - 23]:

$$Q_e = 1000 N_e = 1000 \cdot 993 = 993000 \text{ Дж/с};$$

Теплота, передана охолоджуючому середовищу (масло та охолоджуюча рідина), для дизельного двигуна з наддувом [6-15, 21 - 23]:

$$Q_B = C i D^{1+2m} n^m (1/a) = 0,53 \cdot 6 \cdot 31^{1+2 \cdot 0,68} \cdot 750^{0,67} \cdot (1/1,7) = 522046,88 \text{ Дж/с};$$

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]:

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

$$Q_r = \left(\frac{356,4}{3,6} \right) [0,8815 \times 31,605 \times 513 - 0,85 \times 29,144 \times 88] = 733297,3 \text{ Дж/с};$$

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						73
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

$$(mc_v)_{t_o}^K = 20,829 - \text{визначено по таблиці [17], при } t_k = T_k - 273 = 361 - 273 = 88 \text{ }^\circ\text{C};$$

Невраховані втрати теплоти для дизеля з наддувом [6-15, 21 - 23]:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_B + Q_r)$$

$$Q_{ост} = 2572973 - (993000 + 522046,88 + 733297,3) = 926270 \text{ Дж/с.}$$

Складові теплового балансу представлені в табл. 3.2, та на рис. 3.8 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	993000	38,6
Теплота, передана охолоджуючому середовищу (охолоджуюча рідина)	519740,5	20,2
Теплота, передана охолоджуючому середовищу (масло)	234140,5	9,1
Теплота, віднесена з відпрацьованими газами	733297,3	28,5
Невраховані втрати теплоти	926270	3,6
Загальна кількість теплоти, поданої в двигун з паливом	2572973	100

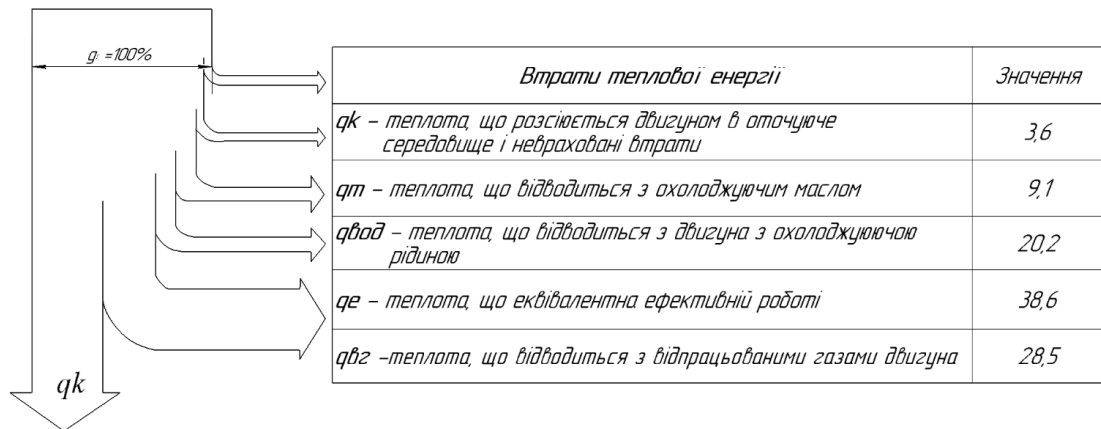


Рисунок 3.8 – Тепловий баланс дизельного двигуна

Для забезпечення працездатності запропонованої системи розглянуто питання утилізації енергії (тепла) відпрацьованих газів (ВГ) тепловозного дизеля з метою одержання гарячих теплоносіїв у системі утилізації відпрацьованих газів з тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу [6-15, 21 - 23]. Для цього досліджується можливість реалізації поставленої задачі шляхом застосування рекуперативного теплообмінника, а також оцінюється його ефективність з точки зору мінімізації розмірів і маси установки.

Як об'єкт при визначенні особливостей процесів знімання й передачі тепла відпрацьованих газів у конструкції теплообмінника системи утилізації з тепловим акумулятором фазового переходу розглянуто теплообмінник з поперечним обтіканням рядів трубок, по яких циркулює теплоносіїв, що нагрівається потоком ВГ. Загальний характер взаємного руху потоку теплоносія і газового потоку — протиток. Аналіз і розрахунки за допомогою створеного математичного забезпечення показали, що доцільно обмежитись схемою з шаховим розташуванням гладких трубок. Додавання ребер для підвищення коефіцієнта тепловіддачі від газів до поверхні трубок недоцільне, оскільки це збільшує вартість установки, ускладнює експлуатацію і призводить до зменшення швидкості потоку газу, а отже, до зниження коефіцієнта тепловіддачі в потік теплоносія. Конструкція теплообмінника являє собою пакет змійовиків, кінці яких входять у вхідний і вихідний колектори. Змійовики зсунуті відносно один одного так, щоб у перетині утворювалася схема обтікання трубок газовим потоком [6-15, 21 - 23].

Для визначення коефіцієнтів тепловіддачі від газу до поверхні трубок і падіння тиску в газовому потоці використовувались відомі залежності, що відповідають трубному пакету в цілому [6-15, 21 - 23]. Трубний пакет має N2 шарів трубок, у кожному шарі розміщено N1 трубок довжиною L з внутрішнім діаметром dВ і зовнішнім діаметром dЗ [6-15, 21 - 23].

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 [6-15, 21 - 23]. 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 S₁ = 16 мм і S₂ = 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 [6-15, 21 - 23].

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі. Кількість рядів труб 10. Матеріал труб – сталь (λ = 45 Вт/(м·К)). Середня температура теплопередаючої рідини [6-15, 21 - 23]:

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

Теплофізичні властивості теплопередаючої рідини для середньої температури [6-15, 21 - 23]:

Щільність теплопередаючої рідини ρ_p = 1,04 кг/м³;

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

Теплопровідність теплопередаючої рідини λ_p = 0,258 Вт/(м·К);

Кінетична в'язкість теплопередаючої рідини ν_p = 28,3·10⁻⁶ м²/с;

Число Прандтля для теплопередаючої рідини Pr_p = 0,684.

Критерій Рейнольдса для потоку рідини [6-15, 21 - 23]:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						76
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Критерій Нуссельта для рідини [6-15, 21 - 23]:

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

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки труби до рідини, Вт/(м·К) [6-15, 21 - 23]:

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

Оскільки кінцева температура відпрацьованих газів, їх середня температура та теплоємність невідомі беремо в першому наближенні $\overline{t}_z = 160 \text{ }^\circ\text{C}$ [6-15, 21 - 23].

Середня температура газів, $^\circ\text{C}$ [6-15, 21 - 23]:

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

Теплоємність газів для середньої температури становить [6-15, 21 - 23]:

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						77
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Оскільки розбіжність між значеннями C_{pr} перевищує 3%, уточнюємо розрахунки. В другому наближенні беремо $t_z'' = 150^\circ\text{C}$. Тоді $\bar{t}_z = 265^\circ\text{C}$; $C_{pz} = 1,111 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, а $\bar{C}_{pz} = 1,113 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ [6-15, 21 - 23].

Отже, подальших уточнень робити не потрібно.

Теплофізичні властивості газів для середньої температури: $\bar{t}_z = 256^\circ\text{C}$; $\lambda_r = 0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\nu_r = 41,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $Pr_r = 0,66$ [6-15, 21 - 23].

Критерій Рейнольдса для потоку газів [6-15, 21 - 23]:

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

Оскільки $10^3 < Re < 2 \cdot 10^5$, то режим обтікання шахового пучка перехідний. Відношення $S_1/S_2 = 16/12 = 1,3$ [6-15, 21 - 23].

Поправочний коефіцієнт [6-15, 21 - 23]:

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

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, $Вт/дл/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [6-15, 21 - 23]:

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

Для однакової поверхні нагріву рядів середній коефіцієнт тепловіддачі буде, $Вт/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [6-15, 21 - 23]:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						78
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Ефективна довжина променя в пучку труб, м [6-15, 21 - 23]:

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

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 [6-15, 21 - 23].

Результати таких вимірювань наведені на рис. 3.9 а, б.

Ступінь чорноти газів [6-15, 21 - 23]:

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		79

Поправочний коефіцієнт $\beta=1,05$ [6-15, 21 - 23]:

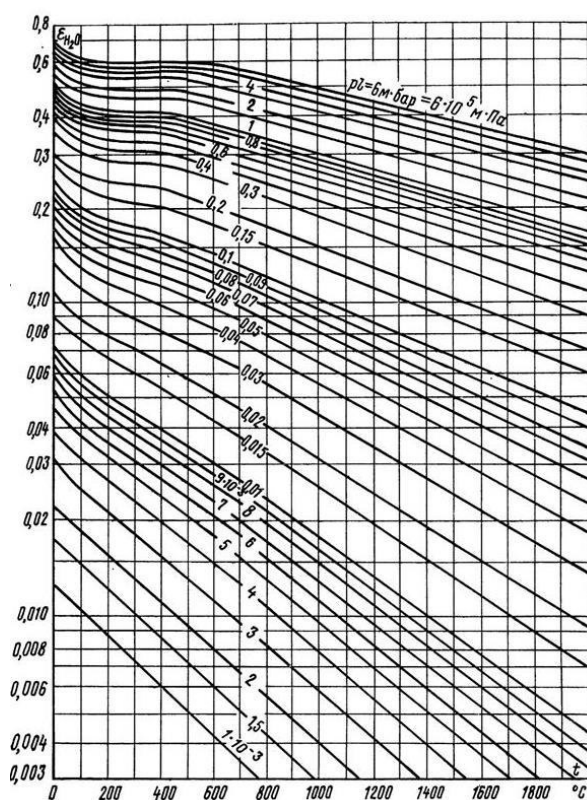
Ступінь чорноти газів [17]:

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

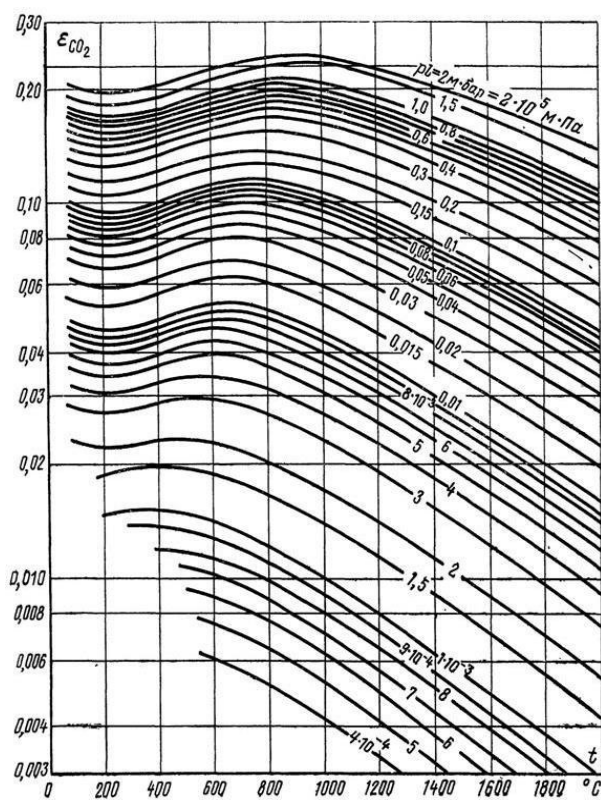
Для водяної пари вплив тиску P дещо більший, ніж вплив товщини шару l , тому значення ε_{H_2O} , що визначено з рис. 3.9 а, потрібно помножити на поправочний множник β , який визначається із рис. 3.10.

Орієнтовна середня температура стінки труби з боку газів, $^{\circ}C$ [17, 22]:

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



а)



б)

Рисунок 3.9 – Графіки залежність для водяної пари (а) і для двоокису вуглецю (б)

Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

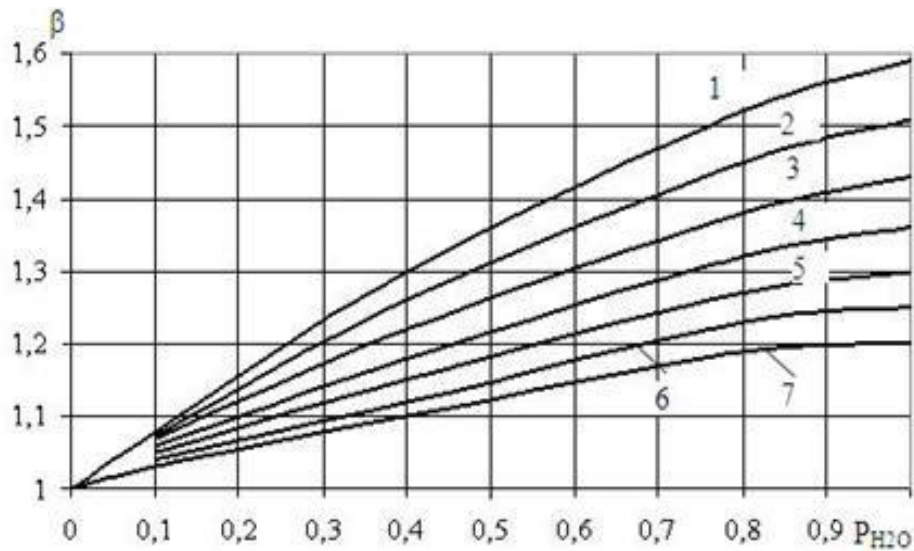


Рисунок 3.10 – Зміна поправочного коефіцієнту β в залежності від парціального тиску пари

Абсолютні температури, °C [6-15, 21 - 23]:

$$T_{\text{ст}} = \bar{t}_{\text{cm}} + 273 = 182 + 273 = 455;$$

$$T_{\text{г}} = \bar{t}_{\text{г}} + 273 = 265 + 273 = 538.$$

Питомий променистий тепловий потік, Вт/м² [6-15, 21 - 23]:

$$q_{\text{с}} = \varepsilon_{\text{с}} \cdot C_0 \left[(T_{\text{г}} / 100)^4 + (T_{\text{cm}} / 100)^4 \right] = 0,162 \cdot 5,7 \left[(538/100)^4 - (478/100)^4 \right] = 280$$

Променистий коефіцієнт тепловіддачі від газів до зовнішньої стінки труби, Вт/(м²·K) [6-15, 21 - 23]:

$$\alpha_{\text{в}} = \frac{q_{\text{в}}}{\bar{t}_{\text{г}} - \bar{t}_{\text{ст}}} = \frac{280}{265 - 182} = 3,37$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі від газів, Вт/(м²·K) [6-15, 21 - 23]:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		81

$$\alpha_{\Gamma} = \bar{\alpha}_{\Gamma} + \alpha_{пп} = 83 + 3,37 = 86,37$$

Оскільки $d_3/d_B = 38/32 = 1,187 < 1,2$, то коефіцієнт теплопередачі можливо визначати як для плоскої стінки, тобто, Вт/(м²·К) Абсолютні температури, °С [6-15, 21 - 23]:

$$T_{ст} = \bar{t}_{cm} + 273 = 182 + 273 = 455;$$

$$T_{\Gamma} = \bar{t}_{\epsilon} + 273 = 265 + 273 = 538.$$

Питомий променистий тепловий потік, Вт/м² [6-15, 21 - 23]:

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

Променистий коефіцієнт тепловіддачі від газів до зовнішньої стінки труби, Вт/(м²·К) [6-15, 21 - 23]:

$$\alpha_B = \frac{q_B}{\bar{t}_{\Gamma} - \bar{t}_{ст}} = \frac{280}{265 - 182} = 3,37$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі від газів, Вт/(м²·К) [6-15, 21 - 23]:

$$\alpha_{\Gamma} = \bar{\alpha}_{\Gamma} + \alpha_{пп} = 83 + 3,37 = 86,37$$

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

Розрахунок поверхні утилізаційного теплообмінника: За даними теплового балансу кількість теплоти, що відводиться від двигуна

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						82
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

відпрацьованими газами: $Q_{\text{вг}} = 1196239,8 \text{ Дж/с}$; середня теплоємність відпрацьованих газів $c_{\text{вг}} = 1042 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$.

Витрата відпрацьованих газів від стаціонарної дизельної установки визначається за формулою

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

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

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

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

$$Q_{\text{вг}} = G_{\text{вг}} / \gamma_{\text{вг}}, \text{ м}^3/\text{с}$$
$$Q_{\text{вг}} = 2,94 / 0,42 = 6,995$$

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

$$\gamma_{\text{вг}} = \gamma_{\text{вг}} (\text{при } t=0^{\circ}\text{C}) / (1 + T_{\text{вг}} / 273), \text{ кг/м}^3$$
$$\gamma_{\text{вг}} = 1,31 / (1 + 573 / 273) = 0,42$$

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

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

$T_{\text{вг}}$ - 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 $\rho_{\text{вг}} = 1,295 \text{ кг/м}^3$.

Кількість відпрацьованих газів, що проходить через утилізаційний теплообмінник:

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		83

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

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

Масова витрата відпрацьованих газів, що проходять через утилізаційний теплообмінник:

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

Середня температура відпрацьованих газів, які проходять через утилізаційний теплообмінник:

$$T_{\text{ср.вг}} = \frac{T_{\text{вг.поч}} + (T_{\text{вг.поч}} - \Delta T_{\text{вг}})}{2} = \frac{573 + (573 - 10)}{2} = 568 \text{ К},$$

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

Поверхня теплообміну утилізаційного теплообмінника:

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

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 [6-15, 21 - 23]:

- зовнішній діаметр, мм

800;

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		84

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

За отриманими значеннями α з використанням залежностей [6 - 8] був визначений час зберігання температури в багатосекційному тепловому акумуляторі системи теплової підготовки тепловозного дизеля для можливості удосконалення її в умовах експлуатації. Отримані розрахункові залежності динаміки зміни температур теплового акумулятора в процесі розрядки (зберігання теплоти) показані на рис. 3.11.

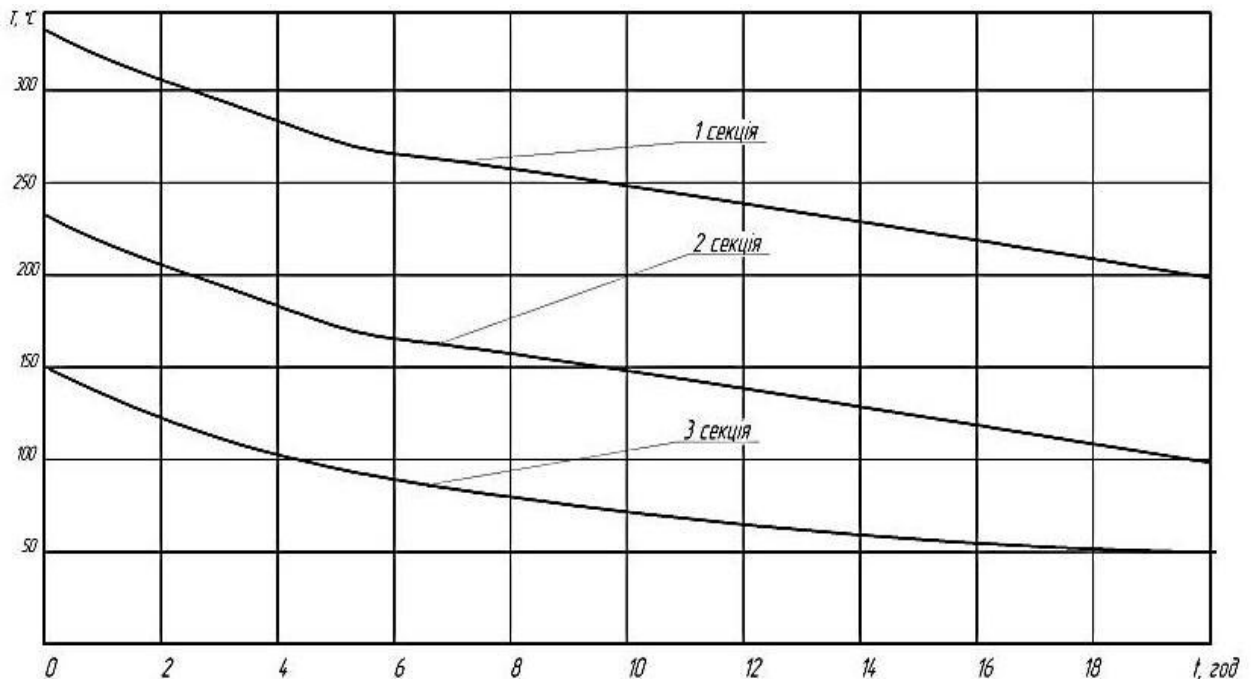


Рисунок 3.11 – Розрахункова динаміка зміни температур теплового акумулятора в процесі розрядки (зберігання теплоти)

3.7 Рекомендації в частині формування системи теплової підготовки тепловозного дизеля на основі теплового акумулятора фазового переходу

При розробці системи теплової підготовки тепловозного двигуна потрібно враховувати зовнішні та внутрішні фактори, які впливають на стабільність 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 тепловозного дизеля.

Виходячи з положення, що вибір оптимального теплоакumuлюючого 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 тепловозному дизелі. 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 з режимами роботи тепловозного дизеля, 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) тепловозного дизеля.

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

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 тепловозного дизеля 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 тепловозного дизеля. 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

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		87

акумулювання теплоти, тобто її кількістю, що запасасться 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 тепловозного дизеля. 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.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						88
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

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

11. Остаточнo 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 тепловозного дизеля, у порівнянні зі штатною системою охолодження ДВЗ. Це досягається при використанні електричного 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 тепловозного ДВЗ.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						89
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Висновок. В результаті модернізації системи охолодження встановленням системи теплової підготовки було запропоновано як складовою частиною її використати багатосекційний тепловий акумулятор фазового переходу для підтримання параметрів прогрітого тепловозного дизеля від накопиченої теплової енергії без його запуску. 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 тепловозного дизеля на основі теплового акумулятора фазового переходу. В цілому цілі, що ставились в роботі досягнуті.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						90
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Система управління охороною праці (СУОП) забезпечує виконання комплексу заходів щодо охорони праці. Головна мета СУОП – забезпечення безпечних і здорових умов праці на виробництві – досягається шляхом рішення наступних задач: забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування, будівель і споруджень; створення нормальних умов праці; організація професійного навчання і пропаганда охорони праці; забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту; нормалізація санітарно-побутового обслуговування.

4.1. Аналіз умов праці на робочому місці

Умовами праці підприємства залізничного транспорту є сукупні показники виробничого середовища, які роблять вплив на здоров'я і працездатність людини в процесі праці. Ці показники різні за своєю природою, формами прояву, характеру дії на людину. Серед них особливу групу представляють небезпечні й шкідливі виробничі показники (НШВП). Відповідно до стандартів небезпечні та шкідливі виробничі показники підрозділяються на наступні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні [24, 25].

На підприємствах залізничного транспорту найбільш поширені перші дві групи. До них відносяться [24, 25]:

1. Фізичні НШВП: рухомі локомотиви, вагони і механізми; рухомі частини виробничого устаткування; вироби, що пересуваються, заготівки,

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						91
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

матеріали; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло людини; відсутність або недолік природного освітлення; недостатня освітленість робочої зони; гострі кромки, задири, шорсткість на поверхні заготовок, інструментів, устаткування.

2. Хімічні НШВП. По характеру дії на організм людини бувають [24, 25]:

- загальнотоксичні - окис вуглецю, етиловий бензин, сурикові фарби;
- сенсibiliзуючі (діючі як алергени) - різні розчинники і лаки на основі нітроз'єднань і інші.

При технічному обслуговуванні (ТО) і поточному ремонті (ПР) локомотивів можливе виникнення різних НШВП: самих рухомих локомотивів, незахищених рухомих елементів виробничого устаткування, підвищеної загазованості приміщень відпрацьованими газами двигунів локомотивів, підвищеної вогкості в мийних відділеннях, підвищених рівнів шуму при випробуванні двигунів внутрішнього згорання, небезпеки ураження електричним струмом при роботі з електроінструментом тощо. Вимоги безпеки при ТО і ПР локомотивів встановлені стандартами, Санітарними правилами організації технологічних процесів і гігієнічними вимогами до виробничого устаткування, правилами технічної експлуатації рухомого складу залізничного транспорту і правилами пожежної безпеки для підприємств залізничного транспорту. Устаткування повинне відповідати вимогам стандартів. Для забезпечення безпеки і нешкідливості робіт, зниження трудомісткості, підвищення якості ТО і ПР локомотивів роботи слід проводити на спеціально обладнаних постах, оснащених необхідними пристроями, приладами, пристосуваннями й інвентарем [24, 25].

При установці локомотива на пост обслуговування його загальмовують гальмом і спеціальними упорами. Обов'язково для безпеки обслуговування локомотиву на дизельному двигуні перекривають подачу палива. В кабіні при цьому вивішують попереджувальний плакат з написом «Двигун не пускати - працюють люди». Під колеса локомотива встановлюють не менше двох

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		92

противовідкатних упорів [24, 25].

Роботи з високо розташованими агрегатами і деталями проводять із стійких підставок або драбин. На нижні кінці драбин при їх установці на бетонних, асфальтових і металевих підлогах повинні бути надіті гумові черевики. При установці на ґрунті кінці повинні мати гострі металеві наконечники. Зняття агрегатів і деталей, пов'язане з великими фізичними напруженнями, незручностями, виконують за допомогою спеціальних знімачів. Агрегати, заповнені рідинами, заздалегідь звільняють від них і лише після цього знімають з локомотиву. Легкі деталі й агрегати переносять вручну, важкі агрегати масою більше 20 кг знімають, транспортують і встановлюють за допомогою підйомно-транспортних механізмів з пристосуваннями, що забезпечують повну безпеку робіт . [24, 25]

Щоб уникнути забруднення повітря відпрацьованими газами робота двигунів у місцях ТО і ПР локомотивів забороняється. Короткочасна робота можлива лише при регулюванні двигуна (системи живлення), але при цьому рекомендується влаштовувати місцеве відсмоктування [24, 25] .

4.2. Розробка заходів з охорони праці

Для забезпечення безпеки праці в першу чергу необхідно забезпечити безпеку виробничого устаткування і технологічних процесів. Загальне керівництво з охорони праці (ОП) в підприємствах залізничного транспорту покладено на директора підприємства, який керує роботою інженера з ОП.

Інструктажі з питань ОП по характеру і часу проведення поділяються на: вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий. Об'єм і зміст інструктажу визначається у кожному окремому випадку залежно від причин і обставин, що викликали необхідність їх проведення [24, 25].

Для збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці особливе значення має стан повітряного середовища: чистота повітря, метеорологічні умови в робочих приміщеннях. Багато виробничих процесів у

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		93

локомотивному депо супроводжуються виділенням в повітря робочої зони шкідливих речовин, до яких відносяться різні гази, пари і пил. Шкідливі речовини виділяють двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) у складі відпрацьованих газів, при зварювальних роботах, зарядці акумуляторів, митті деталей локомотивів, паянні, обробці металу і дерева, забарвленні, заправці локомотивів і агрегатів паливом, маслами і технічними рідинами і у ряді інших випадків. Ці речовини проникають в організм людини через дихальні шляхи, а також через шкіру і травний тракт і можуть викликати роздратування і травмування слизових оболонок дихальних шляхів, хвороби шкірного покриву, опіки, отруєння й інші зміни в організмі людини. Ступінь і характер змін залежать від кількості, тривалості дії, шляхів проникнення, хімічної структури шкідливої речовини, температури середовища, стану організму і багатьох інших чинників [24, 25] .

В цілях безпеки працюючих кількість шкідливих речовин у повітрі робочої зони обмежується гранично допустимими концентраціями (ГДК). Гранично допустимими концентраціями шкідливих речовин у повітрі робочої зони є такі концентрації, які при щоденній роботі протягом 8 годин або при іншій тривалості, але не більш 41 годин в тиждень, протягом всього робочого стажу не можуть викликати захворювань або відхилень в стані здоров'я, що знаходяться сучасними методами досліджень у процесі роботи або у віддалені терміни життя справжнього і подальших поколінь. Дані про ГДК шкідливих речовин, що зустрічаються в повітрі робочої зони приміщень локомотивного депо, встановлені ГОСТ 12.1.005-76 «Система стандартів безпеки труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»:

Стандарт встановлює, що при тривалості роботи в атмосфері, що містить окисел вуглецю, не більш 1 години її ГДК може бути підвищена до 50 мг/м³, при тривалості роботи не більш 30 хв - до 100 мг/м³, не більш 15 хв - до 200 мг/м³. Повторні роботи в умовах підвищеного вмісту окислу вуглецю в повітрі робочої зони можуть виконуватися з перервою не менше 2 годин [24, 25].

Норми ГДК розповсюджуються на повітря робочої зони всіх робочих

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		94

місць незалежно від їх розташування (у виробничих приміщеннях, на відкритих майданчиках, транспортних засобах тощо). Для захисту від шкідливих речовин, що містяться в повітрі робочої зони, на підприємствах залізничного транспорту застосовують комплекс організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і медико-біологічних заходів [24, 25]:

- своєчасний контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- спеціальна підготовка й інструктаж обслуговуючого персоналу;
- вдосконалення технологічних процесів і їх раціоналізація, зокрема із заміною шкідливих речовин нешкідливими;
- вдосконалення конструкції устаткування з метою виключення або зменшення виділення шкідливих речовин (герметизація, використання спеціальних кабін або камер, заміна прогресивнішим устаткуванням);
- своєчасний і якісний ремонт устаткування;
- пристрій місцевої витяжної вентиляції для видалення шкідливих речовин безпосередньо від місць їх утворення (від вихлопних труб ДВЗ, постів зварювання і паяння, місць приготування фарб, зарядки акумуляторів тощо);
- регулярне прибирання приміщень, що характеризуються значним виділенням пилу;
- застосування засобів індивідуального захисту працюючих (спецодягу, захисних окулярів, дерматологічних засобів, респіраторів, протигазів тощо);
- попередні і періодичні медичні огляди, профілактичне харчування і дотримання правил особистої гігієни.

Засоби індивідуального захисту призначені для захисту працюючих від небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Залежно від призначення вони підрозділяються на наступні класи: ізолюючі костюми; засоби захисту органів дихання; одяг спеціальний захисний – спецодяг; взуття спеціальне захисне - спецвзуття; засоби захисту рук; засоби захисту голови; засоби захисту людини; засоби захисту очей; засоби захисту органів слуху; захисні дерматологічні засоби, запобіжні пристосування. Засоби індивідуального

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		95

захисту видаються безкоштовно робітникам і службовцям тих професій і посад, які передбачені у відповідних виробництвах, цехах, дільницях і видах робіт типових галузевих норм.

Оптимальні та допустимі значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень з урахуванням теплонадлишків, тяжкості виконуваної роботи і періодів року встановлені Санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень. Нормальні метеорологічні умови в приміщеннях локомотивного депо забезпечуються за рахунок виконання різних заходів. До них можна віднести застосування дистанційного керування тепловипромінюваними і вологовиділяємими процесами й апаратами (наприклад, дистанційне керування миттям локомотивів), що дозволяє вивести людину з несприятливих умов. Впровадження раціональніших технологічних процесів і устаткування (наприклад, заміна гарячого способу обробки металу холодним, полум'яного нагріву індукційним), теплоізоляція гарячих поверхонь устаткування дозволяє понизити надходження тепла в приміщення. Установка захисних екранів і пристрій повітряних завіс захищають робочі місця від теплових випромінювань термічних печей. Проте основним і найпоширенішим заходом є пристрій раціональної вентиляції і опалювання [24, 25].

Вентиляція передбачається для забезпечення у виробничих, допоміжних і побутових приміщеннях локомотивного депо параметрів повітряного середовища, задовольняючих санітарно-гігієнічним вимогам. За способом переміщення повітря вентиляція підрозділяється на природну і механічну. Поєднання природної і механічної вентиляції називають змішаною вентиляцією. На локомотивному депо дільниці ПР і ТО обладнані механічною загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією. Аварійну вентиляцію в зоні ремонту влаштовують у виробничому приміщенні, в повітря якого поступають великі кількості шкідливих або вибухонебезпечних газів. На локомотивному депо при технічному обслуговуванні і ремонті локомотивів працюючі піддаються дії шуму, ультразвуку і вібрації, є рухомі локомотиви, з

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		96

працюючими ДВЗ, металообробні верстати, компресори, ковальські сурми, вентиляційні системи, гальмівні стенди, ручний електро- і пневмоінструмент й інше устаткування. Ультразвук генерує ультразвукові установки, використовувані для очищення і миття деталей, механічної обробки крихких і твердих матеріалів, дефектоскопії і травлення [24, 25].

Для боротьби з шумом, ультразвуком і вібрацією в локомотивному депо використовують різні засоби і методи колективного захисту, а коли вони виявляються неефективними, застосовують засоби індивідуального захисту. В якості методів (засобів) колективного захисту від шуму використовують архітектурно-планувальні методи, акустичні засоби і організаційно-технічні методи. Із засобів індивідуального захисту застосовуються, рукавиці з пружнодемпфуючими вкладишами, рукавиці та рукавички з м'якими наладонниками, спеціальне взуття на віброгасячій підшві [24, 25].

Природне освітлення здійснюється через вікна в зовнішніх стінах, які розташовані з двох сторін, через світлові отвори в покритті. Природне освітлення не постійне в часі й змінюється в широких межах залежно від часу дня або пори року. На нього впливає мікроклімат. Якість природного освітлення визначається нерівномірністю розподілу природної освітленості по приміщенню, залежного від ступеня забрудненості стекол, світлових отворів, стін і стель [24, 25].

Штучне освітлення призначене для освітлення в темний час доби, а також при недостатньому природному освітленні. Його застосовують як в приміщенні, так і на території, відкритих майданчиках, проходах і проїздах локомотивного депо. Як джерела штучного світла застосовують газорозрядні лампи і лампи розжарювання. Залежно від функціонального призначення штучне освітлення підрозділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове [24, 25].

Робоче освітлення проектується загальним або комбінованим, коли до загального додають місцеве освітлення. Загальне освітлення в свою чергу може бути рівномірним або локалізованим. Норми штучного освітлення

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						97
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

регламентовані СНиП II – 4-79 «Естественное и искусственное освещение», який передбачає використання газорозрядних джерел світла. На постах поточного ремонту освітленість підлоги складає 200 лк, а місцеве –150 лк. Норми освітленості при аварійному освітленні встановлені у розмірі 5% від освітленості, нормованої для робочого освітлення при загальному освітленні. При цьому освітленість складає не менше 2 лк на робочих поверхнях в робочих приміщеннях і не менше 1 лк на території локомотивного депо. Для евакуаційного освітлення освітленість підлоги в приміщеннях не менше 0,5 лк. Як джерела евакуаційного освітлення в приміщенні використовуються світильники аварійного освітлення, які харчуються від постійного джерела. Охоронне освітлення забезпечує освітленість на рівні землі не менше 0,5 лк. У вибухонебезпечних приміщеннях локомотивного депо застосовується світильники у вибухозахищеному виконанні, а в пожежонебезпечних – у вологонепроникному і пилонепроникному, закритому виконанні. Освітлення робочих місць люмінесцентними або загальними світильниками напругою 127...220 В допускається при умові, що проводка робиться прихованою з надійною електро- і гідроізоляцією [24, 25].

Для попередження ураження працюючих електричним струмом електромеханічне обладнання заземлюють або зануляють. При виконанні робіт під локомотивом робітників забезпечують лежачими для попередження простудних захворювань.

4.3. Пожежна безпека

4.3.1 Аналіз стану пожежної безпеки при удосконаленні тепловозу системою теплової підготовки

Територія локомотивного депо і розташовані на ній будівлі, споруди, майданчики і місця для зберігання локомотивів задовольняють вимогам санітарних, будівельних і протипожежних норм, а також «Правилам по охороні праці на залізничному транспорті». Територія локомотивного депо

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		98

утримується в чистоті і порядку. Виробничі відходи і сміття систематично вивозяться за територію підприємства на спеціально відведені для цього ділянки. Промаслені обтиральні матеріали і виробничі відходи, перш ніж їх вивозять з території локомотивного депо, збирають і зберігають в спеціально відведених місцях в металевих баках або ящиках, що щільно закриваються. Різні паливо-мастильні матеріали негайно забираються. Дороги, проїзди, під'їзди до будівель, пожежних водоймищ, протипожежні розриви між будівлями і спорудами, підступи до пожежного інвентаря і устаткування завжди вільні. На території локомотивного депо поблизу майданчиків і місць для зберігання локомотивів палити і користуватися відкритим вогнем, а також зберігати горючі матеріали заборонено [24, 25].

На територію складів легкозаймистих і горючих речовин в'їзд транспортних засобів допускається тільки за наявності у вихлопних трубах іскрогасників. На робочих місцях у виробничих приміщеннях легкозаймисті та горючі рідини зберігаються в щільно закритих місткостях, і їх кількість не перевищує змінну потребу. Всі виробничі приміщення, технологічне і допоміжне устаткування періодично очищується від горючого пилу й інших горючих відходів відповідно до термінів, регламентів й інструкцій по пожежній безпеці. Палити на території підприємства допускається тільки в місцях, де є напис «Місце для куріння», обладнаних бочкою з водою або ящиком з піском. Всі виробничо-складські приміщення мають на входних дверях напис про категорію приміщення по вибухопожежонебезпечності. У зоні поточного ремонту для локалізації невеликих спалахів і пожеж застосовують первинні засоби пожежогасіння, до яких відносяться переносні та пересувні вогнегасники, ящики з піском, кошма, азбестові покривала, резервуари з водою [24, 25].

Первинні засоби пожежогасіння і пожежний інвентар утримуються в справному стані та знаходяться на видному місці. Пожежні щити забарвлені відповідно до вимог стандарту в білий колір з червоною смугою по периметру. Всі засоби пожежогасіння забарвлені в червоний колір. Оскільки територія

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						99
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

локомотивного депо складає 45030 м², то таких щитів необхідно 6 штук. На кожному такому щиті розташований наступний набір протипожежного інвентаря і засобів пожежогасіння: вогнегасники: пінні – 2; вуглекислотні – 1; ящик з піском – 1; повстяне полотно – 1; лом - 2; багор – 3; сокира – 2; лопата – 2; пожежні відра – 2. Пожежні крани внутрішнього протипожежного водопроводу у всіх приміщеннях обладнані рукавами і стовбурами, що добре скачані та приєднані до кранів і стовбурів [24, 25].

Основними причинами виникнення пожеж в локомотивному депо є необережне поводження з вогнем, порушення правил пожежної безпеки при зварювальних й інших вогняних роботах, порушення правил експлуатації електроустаткування, несправність опалювальних приладів і термічних печей, порушення режиму експлуатації пристроїв для підігріву засобів пересування, порушення правил пожежної безпеки при акумуляторних і фарбувальних роботах, порушення правил зберігання легкозаймистих і горючих рідин, самозаймана змащувальних і обтиральних матеріалів, статична й атмосферна електрика тощо [24, 25].

При експлуатації рухомого складу найчастішими причинами виникнення пожеж є несправність електроустаткування локомотивів, негерметичність системи живлення, скупчення на двигуні бруду і масла, застосування легкозаймистих і горючих рідин для миття двигуна, подача палива самопливом, куріння в безпосередній близькості від системи живлення, застосування відкритого вогню для підігріву двигуна і при визначенні й усуненні несправностей механізмів тощо.

4.3.2 Організація пожежної охорони, засоби гасіння пожеж

Відповідно до чинного законодавства відповідальність за забезпечення пожежної безпеки в локомотивному депо несуть їх керівники. Відповідальність за пожежну безпеку місць для стоянок, приміщень ТО і ПР локомотивів, окремих цехів, дільниць і складів покладається на керівників відповідних служб або інших посадовців, спеціально призначених наказом

					<i>ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ</i>	Арк
						100
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

керівника локомотивного депо. Таблички з вказівкою осіб, відповідальних за пожежну безпеку, вивішені на видних місцях [24, 25].

Важливу роль в проведенні протипожежних профілактичних заходів у локомотивному депо виконують пожежно-технічні комісії. До складу комісій входять: головний інженер (голова), начальник пожежної охорони (дружини), головний механік (енергетик), інженер з охорони праці й інші особи по розсуду керівника підприємства. До складу комісії вводять також представників від профспілкової організації. У задачі пожежно-технічної комісії входять: виявлення пожежонебезпечних порушень і недоліків у технологічних процесах ремонту локомотивів, в роботі агрегатів, установок, виробничих ділянок, на складах, які можуть призвести до виникнення пожежі, вибуху або аварії, і розробка заходів, направлених на усунення цих порушень і недоліків; сприяння пожежній охороні підприємства в організації і проведенні пожежно-профілактичної роботи і встановленні суворого протипожежного режиму у виробничих приміщеннях, на складах, в адміністративних будівлях і побутових приміщеннях; організація раціоналізаторської і винахідницької роботи з питань пожежної безпеки; організація допомоги пожежній охороні в організації масово-роз'яснювальної роботи серед робочих, службовців і інженерно-технічних працівників з питань дотримання правил пожежної безпеки і протипожежного режиму. Всі інженерно-технічні працівники, службовці і робочі локомотивного депо при прийомі на роботу зобов'язані пройти первинний протипожежний інструктаж, а потім безпосередньо на робочому місці - вторинний протипожежний інструктаж. Як правило, первинний інструктаж проводить начальник пожежної охорони, а де їх немає, спеціальна особа з інженерно-технічних працівників, призначена наказом по локомотивному депо. Вторинний інструктаж проводить особа, відповідальна за пожежну безпеку даної дільниці, виробничої дільниці тощо. Надалі вторинний інструктаж проводять щокварталу.

В даний час для припинення горіння в локомотивному депо використовують широкий асортимент різних вогнегасних засобів. До

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						101
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

найпоширеніших відносяться наступні. Вода надає розбавляючу та охолоджуючу дію. Її використовують як в чистому вигляді, так і з добавками різних поверхнево-активних речовин, що збільшують її змочувальну здатність і ефективність. Не можна застосовувати воду для гасіння електроустановок і апаратів, що знаходяться під напругою, оскільки вода електропровідна.

Порошкові вогнегасячі склади також в основному призводять до гальмування реакції горіння і, крім того, вони викликають розбавлення горючого середовища. Порошковий склад загального призначення ПСБ на основі бікарбонату натрію використовують для гасіння нафтопродуктів, спиртів, трансформаторів, горючих газів. Для гасіння лужноземельних і лужних металів ефективні порошкові склади спеціального призначення типу ПС-1 на основі карбонату натрію. Для гасіння кремній- і металоорганічних сполук використовують порошок типу D-2 на основі великопористого силікагелю, насиченого рідким хладоном R114B2.

Для локалізації і ліквідації невеликих загорянь і пожеж в початковій стадії їх розвитку в локомотивному депо застосовують первинні засоби пожежогасіння, до яких відносяться переносні і пересувні вогнегасники, ящики з піском, кошма, азбестові покривала, резервуари з водою тощо. Найбільш широко застосовують в локомотивному депо переносні вогнегасники типів ОХП-10, ОВП-10, ОУ-5, ОП-10.

Локомотиви, що направляються на ТО, ПР і зберігання, не повинні мати течі палива, а горловина паливних баків транспортних засобів повинна бути закрита кришками. При необхідності зняття паливного бака та при ремонті паливопроводів паливо зливають. Злив палива обов'язковий при ТО і ПР локомотивів.

Для евакуації людей в локомотивному депо розробляють плани евакуації і намічають евакуаційні шляхи з урахуванням розташування евакуаційних виходів. Вивішують плани евакуації з приміщень на видних місцях поблизу евакуаційних виходів. Число евакуаційних виходів з будівель з кожного

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		102

поверху і з приміщень повинне бути не менше двох. Ширина шляхів евакуації повинна бути не менше 1 м, а дверей - не менше 0,8 м [24, 25].

4.4 Розрахунок заземлення електроустановок

Захисне заземлення - умисне електричне з'єднання з землею або з еквівалентом механічних частин, що знаходяться не під напругою, і можуть виявитися під напругою. Призначення захисного заземлення - усунення небезпеки ураження людей електрострумом при виникненні напруги на конструктивних частинах електроустаткування, тобто при замиканні на корпус [24, 25].

З метою використання цього рішення застосовуємо контурне заземлення. Для контуру використовуємо труби діаметром 58 мм, довжиною 3м і заглибленням 1 м. Смуга зв'язку - сталева, шириною 40 мм. Напруга живлення – 220/380 В, потужність споживачів - 6 кВт.

У відповідності до "Правил устрою електроустаткування", максимальна допустима величина опору пристроїв для заземлення не повинна перевищувати 4 Ом [24, 25].

Опір одного заземлення дорівнює:

$$R = \frac{\rho}{2\pi I} \left(\ln \frac{2l}{\rho_o} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + 7 \cdot l}{l + 7 \cdot t} \right) \quad (4.1)$$

де ρ - питомий опір ґрунту, для суглинку опір складає $\rho = 1,2 \cdot 10^2$ Ом.м.

l - довжина заземлення, $l = 3$ м;

ρ_o - радіус стрижня, $\rho_o = 0,06$ м;

t - глибина заглиблення заземлення, $t = 1$ м.

$$R = \frac{1,2 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,056} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1 + 7 \cdot 3}{3 + 7 \cdot 1} \right) = 32,69 \text{ Ом}$$

Орієнтована кількість одиночних заземлень, що входять у контур :

$$n = R_k / (\eta_o \cdot R_n) \quad (4.2)$$

де η_o - орієнтований коефіцієнт використання заземлення, $\eta_o = 1$;

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		103

R_n - опір устрою, що заземлюється, $R_n = 4$ Ом.

Тоді $n = 32.69/(1 \cdot 4) = 9,17$.

Варто взяти $n = 9$ труб.

Труби розташовуються у ряд з інтервалом 3 м.

Опір вертикальних заземлень, що складають контур [24, 25]:

$$R_h = R_k / (n \cdot \eta_k) \quad (4.3)$$

де η_k - коефіцієнт використання заземлювачів з труб, без обліку впливу смуги зв'язку, $\eta_k = 0,645$ при $n = 9$.

Тоді $R_h = 32,69/(9 \cdot 0,645) = 5,631$ Ом.

Опір сполучних смуг без обліку коефіцієнту використання:

$$R_k^i = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{b \cdot t}} \quad (4.4)$$

де l - довжина смуги зв'язку, при $n = 9$, розташованих з інтервалом 3 м, складає:

$$l = 3 \cdot (9 - 1) = 24 \text{ м.}$$

b - ширина смуги, згідно вихідних даних, $b = 0,04$ м.

Тоді

$$R_k^i = \frac{1,2 \cdot 10^9}{3,14 \cdot 24} \cdot \ln \frac{1,5 \cdot 24}{\sqrt{0,04 \cdot 1}} = 8,269 \text{ Ом}$$

Опір сполучних смуг з урахуванням коефіцієнту використання:

$$R_k = R_k^i / \eta_h \quad (4.5)$$

де η_h - коефіцієнт використання єднальних смуг, при відношенні відстані між заземленнями до їх довжини $a/l = 1$ $\eta_h = 0,77$.

Тоді $R_k = 8,269 / 0,77 = 10,739$ Ом.

Опір контуру:

$$R_o = \frac{R_h \cdot R_k}{R_h + R_k} \quad (4.6)$$

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						104
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

$$R_0 = \frac{5.631 \cdot 10.739}{5.631 + 10.739} = 3.694 \text{ Ом}$$

$$3,694 \text{ Ом} < 4,0 \text{ Ом.}$$

Висновок. У данному розділі проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що мають місце при експлуатації, ремонті та технічному обслуговуванні локомотивів і їх двигунів. Розглянуто заходи безпеки при технічному обслуговуванні та ремонті двигунів і удосконаленні системи теплової підготовки. Надано рекомендації щодо дій в надзвичайних ситуаціях. Проведено розрахунок заземлення при удосконаленні системи теплової підготовки в .

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						105
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Були проаналізовані найбільш суттєві конструктивні особливості транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ. На підставі проведеного аналізу розроблено ряд заходів удосконалення теплової підготовки і умов роботи системи охолодження для розглянутого двигуна, а саме: проаналізовано особливості прогріву дизелів і системи та способи прогрівання тепловозів, виконаний аналіз конструкції допоміжних систем маневрового тепловозу ЧМЭЗ, здійснені аналіз систем регулювання температури охолоджуючої рідини транспортних двигунів при використанні засобів теплової підготовки, систем комплексного прогріву двигуна і використання додаткових теплових елементів на основі теплових акумуляторів, використання зовнішніх джерел енергії для підігріву двигуна і заряджання теплових акумуляторів. Обґрунтовані заходи в частині модернізації системи теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації. Розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпеки праці персоналу при роботі і в надзвичайних ситуаціях.

Результаті розрахунку дозволяють вважати, що запропоновані технічні рішення є ефективними і ведуть до покращення показників двигуна. Так, запропонована модернізація системи охолодження викликана удосконалення теплової підготовки транспортного дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в умовах експлуатації.

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 тепловозного дизеля в умовах експлуатації. При цьому, для забезпечення теплової підготовки не відбувається зниження показників тепловозного дизеля і не виникає потреба запускати двигун для підтримання теплових параметрів у встановлених межах. В цілому цілі, що ставились в роботі досягнуті.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						106
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%9C%D0%AD3>
2. Дизель K6S310DR. Інструкція з експлуатації двигуна тепловоза ЧМЕЗТ. - ŠKD Прага, 1988.
3. Правила капітальних ремонтів КР-1, КР-2 тепловозів серії ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЕ. К. ТОВ «Світ», – 2006 р. - 280 с.
4. Методика оцінки експлуатаційних характеристик тепловозів. В. В. Грачов, А. В. Грищенко, В. А. Кручек, М. Н. Панченко // Проблеми науки. – No1(80). – 2019.
5. Нові тепловози для маневрової та залізничної роботи // Залізниці світу. – 2012. – No 10. – С. 38–42.
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. 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
10. Левенберг В.Д. Акумуляування тепла/В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем// Київ: Техніка. 1991. – 112 с.
11. 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 Д.С. // Вісник

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		107

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

12. Бекман Г., Гіллі П. Теплове акумулювання енергії. К. - 1987. - 256 с.

13. Забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів. І.В. Грицук, В.П. Волков, О.М. Вольська, Т.В. Волкова. – Одеса: ОЛДІ+, 2024. – 368 с. . ISBN 978-966-289-832-3

14. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників транспортних засобів з системою теплової підготовки: монографія / І.В.Грицук, В.П. Волков, Д.С. Погорлецький, Т.В. Волкова, В.П. Кужель – Харків- Херсон – Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К», 2022. – 178с.

15. Оперативний контроль технічного стану транспортних засобів: монографія / І.В.Грицук, В.П. Волков, І.В. Худяков, Т.В. Волкова, В.П. Кужель – Харків- Херсон – Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К», 2022. – 197с.

16. Основи функціонування систем теплової підготовки транспортних засобів. В. Грицук, В.П. Волков, Р.В. Симоненко, Т.В. Волкова, Херсон, ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 314 с

17. Gritsuk I., Mateichyk V., Smieszek M., Volkov V., Gutarevych Y., Aleksandrov V., Symonenko R., Verbovskiy V. Improving the Vehicular Engine Pre-Start and AfterStart Heating by Using the Combined Heating System. HVAC System, Chapter 7:101-122, 2018, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79467>

18. Александров В.Д., Гутаревич Ю.Ф., Грицук І.В., Прилепський Ю.В., Постніков В.А., Гущин А.М., Адров Д.С., Вербовський В.С., Краснокутська З.І. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів. - Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2014.- 230 с. ISBN 978-966-8707-45-2

19. Хомич А. З., Тупчихін О. І., Сімсон А. Е. Економіка палива та технічна модернізація тепловозів. К., Транспортне Інф., 1975. – 264 с. : іл.

20. Фофанов Г. А., Пахомов Є. А., Лосєв А. А. Режимы работы тепловозів і шляхи підвищення їх паливної економічності / Г. А. Фофанов, Е.

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		108

А. Пахомов, А. А. Лосєв // Сучасні проблеми науки і освіти.– Но 6. – С. 21 – 25.

21. Двигуни внутрішнього згоряння: Теорія поршневих та комбінованих двигунів. Підручник для втузів 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.

22. Білоусов Є.В. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. Тепловий, кінематичний, динамічний та міцнісний розрахунок ДВС. Методичний посібник для виконання курсового проекту. Херсон: вид. ХДМІ – 2008. – 138 с.

23. 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.

24. 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.

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

26. Особливості функціонування системи теплової підготовки на основі багатосекційного фазоперехідного акумулятора в процесах забезпечення оперативної готовності енергетичної установки портового буксиру / Грицук І.В., Кальченко В.В., Іванов М.Я., Костюков В.М., Куровська С.Ю. - Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт", 22-23 жовтня 2024 р., (Посвідчення УкрІНТЕІ № 572 від «19» грудня 2022 р.), Харків, ХНАДУ, 2024, 284 с., С. 110-115

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		109

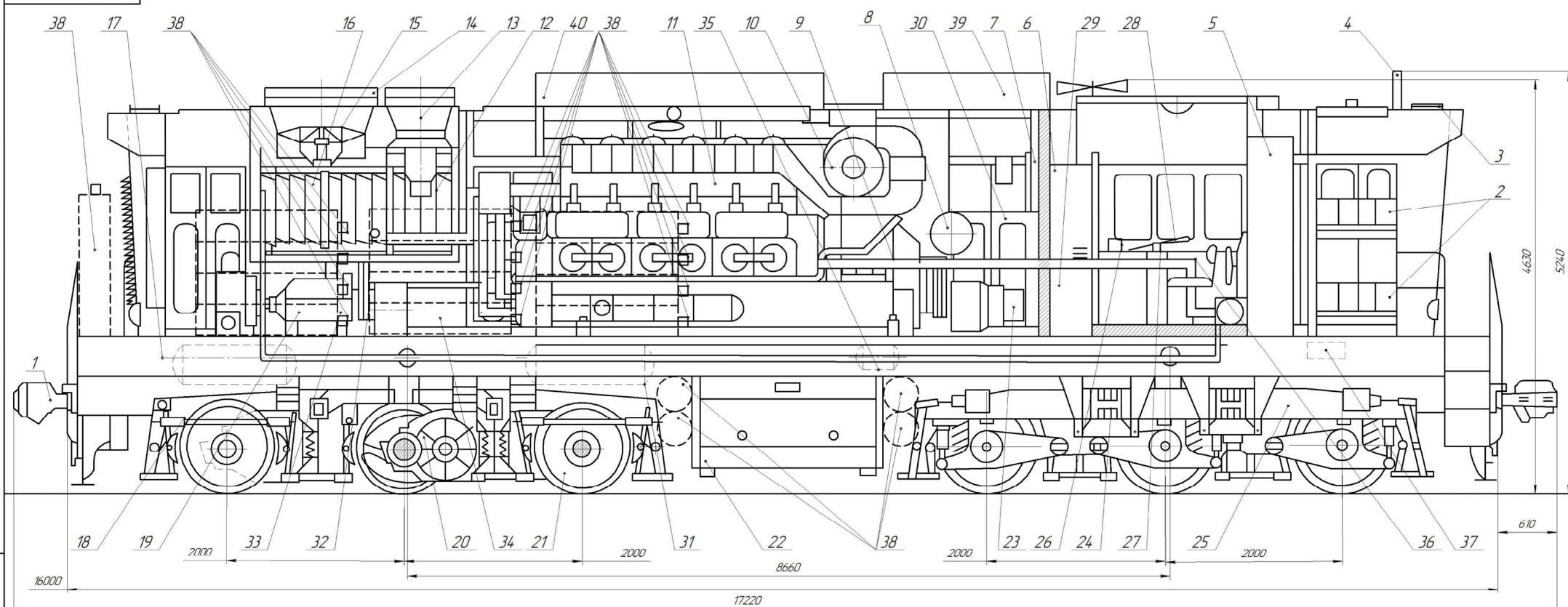
Додатки

					ПННІ НУК 131.61.23.10. ПЗ	Арк
						110
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

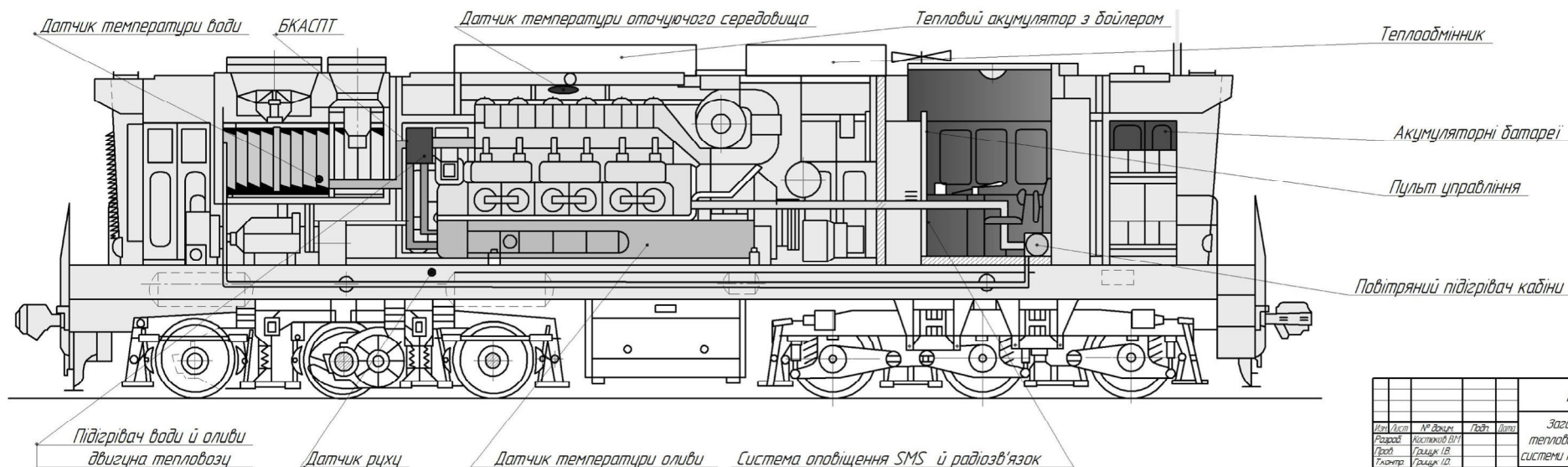
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №					Документация			
				ПННІ НУК 131.61.23.10.01	Складальне креслення	1		
					Сборочные единицы			
			1		Автосцепка	1		
			2		Акумуляторна батарея	1		
			3		Кришка бункера для піску	1		
			4		Антенна	1		
			5		Апаратна камера	1		
			6		Інструментальна шухляда	1		
			7		Тепло- і звукоізолююча стінка	1		
			8		Резервуар керування (100л)	1		
			9		Тяговий генератор	1		
			10		Турбонагнітач	1		
			11		Дизель	1		
	Подп. и дата					Водяні секції радіатора допоміжного контура	1	
			13		Вентилятор допоміжного контура	1		
			14		Верхні жалюзі шахти холодильника	1		
			15		Головний вентилятор	1		
			16		Водяні секції радіатора	1		
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.10.01	
		Разраб.	Костюков В.М.					
	Пров.	Грицук І.В.						
	Н.контр.	Грицук І.В.						
	Утв.	Чабанов І.І.				Загальний вигляд тепловоза ЧМЭЗ		
						Лит.	Лист	Листов
						Н	1	2

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
					ПНИ НУК 131.61.23.10.02	Вид загальний	1	
						<u>Сборочные единицы</u>		
				1		Відцентровий насос охолоджуючого контуру дизеля	1	
				2		Повітревипускний кран	1	
				3		Відцентровий насос охолоджуючого контуру проміжного повітреохолоджувача	1	
				4		Проміжний охолоджувач повітря наддуву	1	
				5		Повітревипускний кран	1	
				6		Оливоохолоджувач	1	
				7		Випускний кран з трубою	1	
				8		Пробка отвору для термоменту	1	
				9		Випускний кран з трубою	1	
				10		Випускний кран	1	
				11		Глухий фланець	1	
				12		Головна розподільна трубка	1	
		ПНИ НУК 131.61.23.10.02 Загальний вигляд дизеля K6S310DR Лит. Лист Листов						
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
		Разраб.		Костюков В.М.				
		Пров.		Грицук І.В.				
		Н.контр.		Грицук І.В.				
		Утв.		Чабанов І.І.				

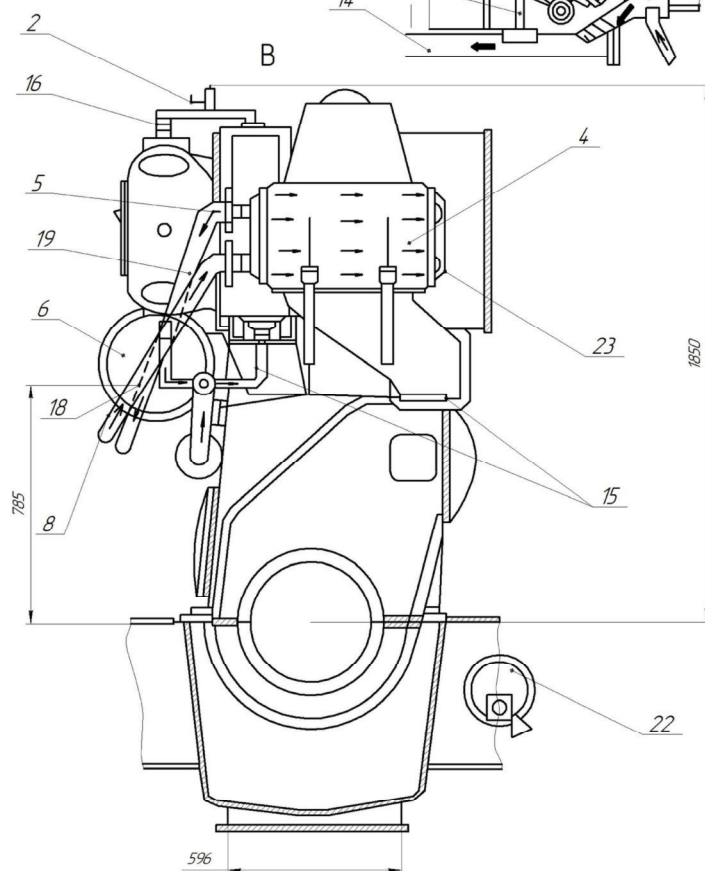
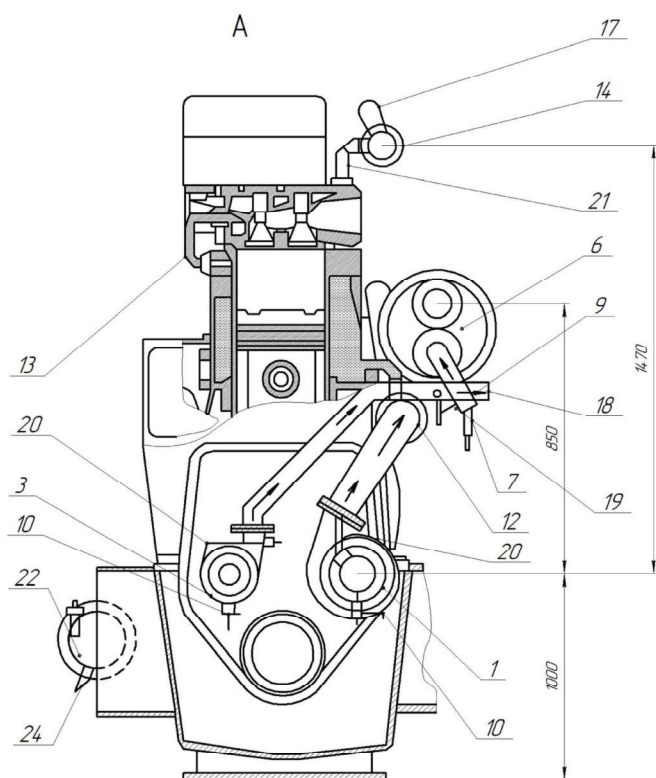
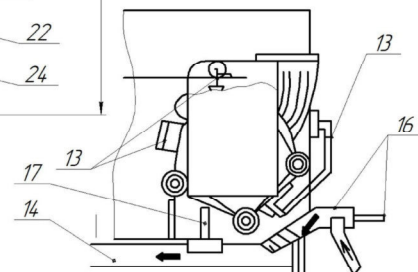
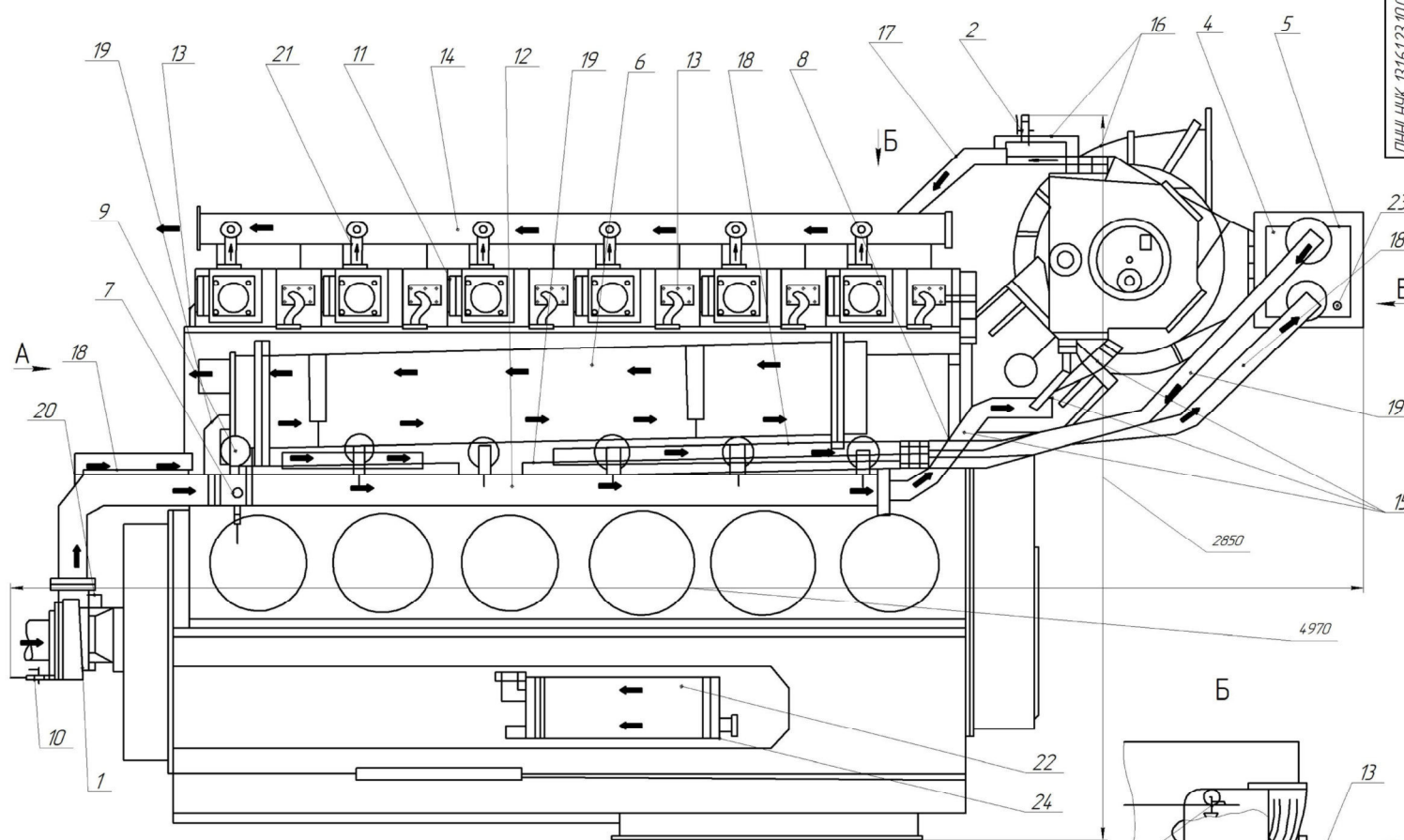
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		13		Перепуск води з картера до головки циліндрів	1	
		14		Головний колектор води (із головок циліндрів)	1	
		15		Трубопровід підводящий для охолодження турбоповітредувки	1	
		16		Трубка виходу води з турбоповітредувки	1	
		17		Колектор води з турбоповітредувки	1	
		18		Підводячий трубопровід до проміжного повітреохолоджувача	1	
		19		Трубопровід для отводу води з проміжного повітреохолоджувача до оливоохолоджувача	1	
		20		Трубка для охолодження водяного сальника вала відцентрового насосу	1	
		21		Колено виходу води з головок циліндрів	1	
		22		Обігрівач палива	1	
		23		Пробки для випуску води з проміжного охолоджувача наддува повітря	1	
		24		Кран для випуску води з обігрівача палива	1	
Інв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПННІ НУК 131.61.23.10.02	
Інв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Лист	2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Копировал	Формат А4



Розміщення елементів удосконаленої системи теплової підготовки на тепловозі ЧМЕ 3 (місця встановлення)



					ПНН НУК 13.16.123.10.01			
					Загальний вигляд			
Віст	Автом	№ докум	Розд	Пити	Віст	Рисун	Місця	
Рисун	Автомобіль 517				H			
Віст	Грузик 12				системи теплової підготовки			
Грузик	Грузик 12				Автом	Автом		?
Нинтер	Грузик 12							
517	Числовий 11							



Основні технічні характеристики двигуна:

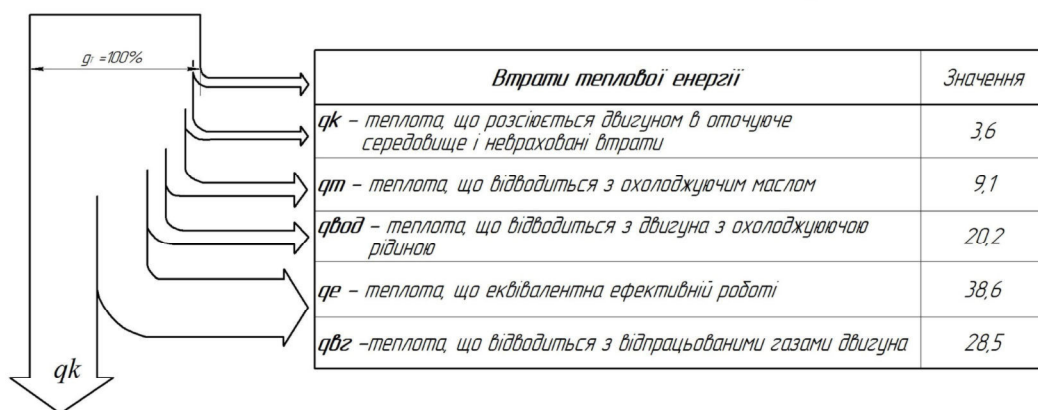
1. Тип – K6S310DR, чотирьохтактний, з вертикальним розташуванням циліндрів, водяним охолодженням і надувком
2. Номінальна потужність при частоті обертання колінчастого валу 750 об/хв, кВт (к. с.) 993 (1350)
3. Число циліндрів – 6
4. Порядок роботи циліндрів 1-3-5-6-4-2
5. Діаметр розташування циліндрів, мм 310
6. Хід поршня, мм 360
7. Ступінь стиску 13
8. Діапазон робочих частот обертання колінчастого валу дизеля, об/мин . 350 – 750
9. Паливо дизельне ГОСТ 305 – 82 із вмістом сіри не більш 1 %
10. Масло М14Б2 ТУ38–101–264–72 або М14Б2 ГОСТ 12337 – 84
11. Вид охолодження – рідинна

					ПНН НУК 1316123.10.02			
Мат/Аван	№ докум	Плат	Аван		Задолжний бухгалтер бухгалт К653100Р			
Рассуд	Кассовый бл				А/м	Масса	Масштаб	
Прот	Грунт IB				H			
Гидро	Грунт IB				Аван		1	
Насит	Грунт IB							
См	Кабель II							

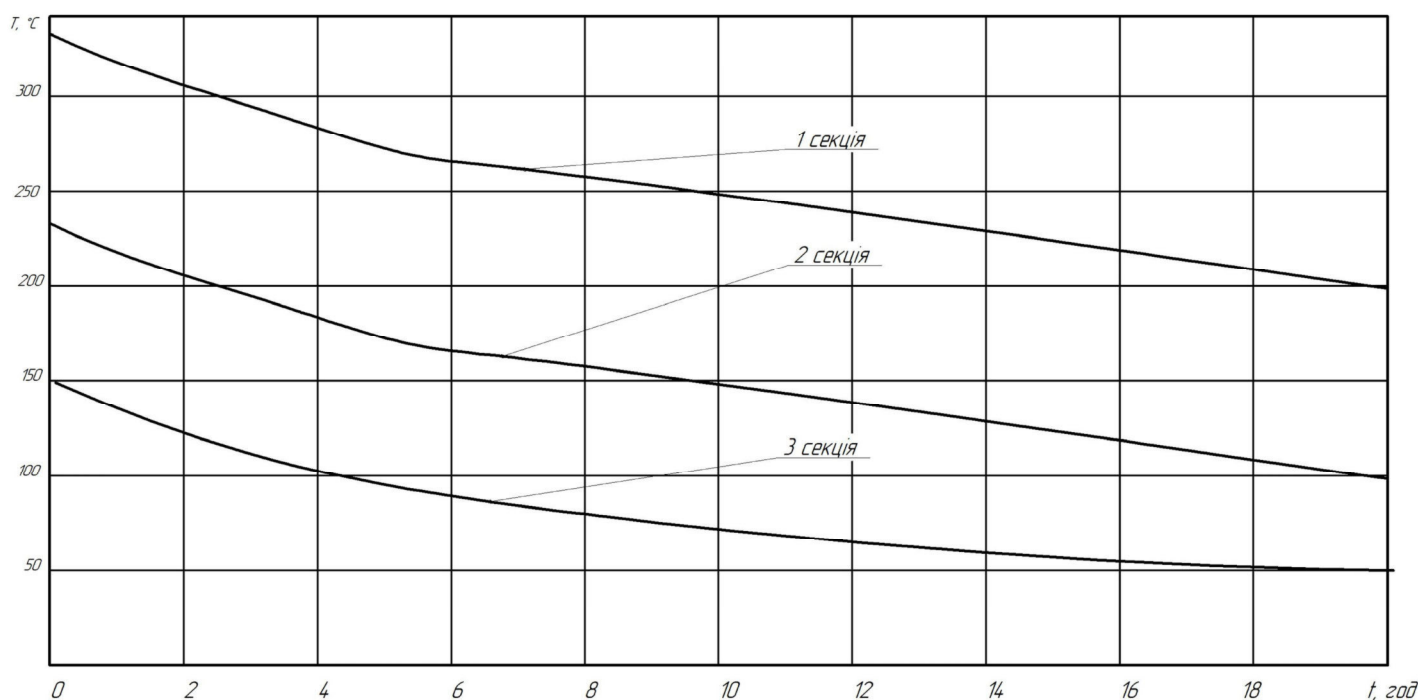
*Характеристики теплоакumuлюючих матеріалів для теплового акумулятора
і рекомендації для їх посекційного розміщення*

Склад теплоакumuлюючого матеріалу	Температура фазового переходу плавлення-кристалізації, К	Секція теплового акумулятора
Гідроксид натрію NaOH	573	1
Система з фторидів натрію, калія, літія і барія (склад зразка: $10,34\text{NaF} + 39,73\text{Kf} + 3\text{BaF}_2 + 2\text{Sn}$)	621	1 (варіант 1)
Ацетат-нітратна суміш (склад зразка: $39\text{KNO}_3 + 61\text{CH}_3\text{COONa}$)	483	2
Бінарна евтектична система нітратів калія і літія	406	3
Система з галогенідів калія і алюмінія та йодиду гафнія (склад зразка: $30,1\text{KCl} + 1\text{AlCl}_3 + 4,7\text{HfI}_4$)	371	3 (варіант 1)
Поліетилен високої густини низького тиску	408	3 (варіант 2)

Тепловий баланс дизеля тепловозу



Розрахункова динаміка зміни температур теплового акумулятора в процесі віддачі теплоти



						ПНН НУК 1316123.10.04				
						Результати виконаних розрахунків				
							Лист	Макс	Масимум	
						Н				
							Лист	Листов	1	