

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Локомотиви»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

М. І. Капіца

«_____» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня ***«магістр»***

Галузь знань **27 Транспорт**

Спеціальність **273 Залізничний транспорт**

Освітньо-професійна програма ***Локомотиви та локомотивне господарство***

Тема **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ
СИЛОВИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ**

Theme **RELIABILITY ENHANCEMENT OF COOLING SYSTEMS OF
POWER UNITS FOR DIESEL LOCOMOTIVES**

Керівник дипломної
роботи

Д. М. Кислий

Нормоконтролер

Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1921

І. Ю. Бондаренко

Student

Bondarenko Ihor

Дніпро, 2020

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота на тему «Підвищення надійності систем охолодження силових установок тепловозів» загальним обсягом 5 плакатів демонстраційного матеріалу та 80 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 5 розділів. Проект містить 20 ілюстрацій, 8 таблиць та список літературних джерел з 13 найменувань.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає система охолодження силової установки тепловоза, а метою – підвищення надійності систем охолодження.

В роботі проаналізовано показники надійності систем охолодження силових установок тепловозів. Для розрахунку параметрів охолоджуючого пристрою тепловоза та потужності привода вентиляторів складено математичну модель, за допомогою якої розраховано параметри системи охолодження. Для підвищення експлуатаційної надійності систем охолодження силових установок тепловозів розглянуто концепцію систем керування температурою теплоносія, в тому числі сучасного дизелебудування. Оскільки при розрахунках показників надійності систем охолодження силових установок тепловозів було виявлено, що раптові відмови, які викликають непланові ремонти, виникають через зміну характеристик датчика-реле температури, запропоновано його замінити на датчики цифрового типу, оскільки вони мають достатньо високий ресурс використання й не контрактують безпосередньо з рідиною. Для опитування цих датчиків необхідно застосовувати мікроконтролери. Виконуючі елементи відкривання жалюзі пропонуємо замінити на крокові двигуни, а включення електровентиляторів – магнітні пускачі, включені через підсилювальні реле.

Ключовими словами в магістерській дипломній роботі виступають: СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, СИЛОВА УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА, ПІДВИЩЕННЯ, НАДІЙНІСТЬ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛІВ, РОБОТА СИСТЕМИ ТА ВИМОГИ ДО ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ	9
1.1 Огляд системи охолодження тепловоза 2ТЭ116	9
1.2 Вимоги до охолоджуючої рідини	19
2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ.....	22
2.1 Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання систем охолодження силових установок тепловозів до відмови	22
2.2 Визначення кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови систем охолодження силових установок тепловозів.....	32
3 РОЗРАХУНОК ОХОЛОДЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТЕПЛОВОЗА ТА ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДА З МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ	36
3.1 Складання математичної моделі для визначення параметрів системи охолодження та приводу	36
3.2 Розрахунок водяного контуру дизеля	42
3.3 Розрахунок водяного контуру охолодження наддувочного повітря та масла теплообмінника	45
3.4 Розрахунок теплообмінника.....	47
3.5 Розрахунок вентилятора холодильної камери.....	50

					<i>0032.150177.000.03MP.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Бондаренко І.</i>			<i>Підвищення надійності систем охолодження силових установок тепловозів</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Кислий</i>					5	
Реценз.						<i>ДНУЗТ, зр. ЛГ1921</i>		
Н. Контр.		<i>Колодій</i>						
Затверд.		<i>Капіца</i>						

4 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КЕРУВАННЯ	
ТЕМПЕРАТУРОЮ ТЕПЛОНОСІЯ ПРИ ПІДВИЩЕННІ НАДІЙНОСТІ	
СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК	
ТЕПЛОВОЗІВ	54
4.1 Концепція систем керування температурою теплоносія силових	
установок тепловозів	54
4.2 Апаратна частина системи керування температурою теплоносія	
силової установки	57
4.3 Програмування електронної частини системи керування	
температурою теплоносія силової установки	63
4.4 Компонування системи керування температурою теплоносія силової	
установки	65
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ	
КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ТЕПЛОНОСІЯ СИЛОВОЇ	
УСТАНОВКИ ПРИ ПІДВИЩЕННІ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ	
ОХОЛОДЖЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ	67
5.1 Підвищення ефективності виробництва	67
5.2 Витрати підприємства та їх облік	68
5.3 Розрахунок статей витрат на модернізацію системи керування	
температурою теплоносія силової установки	69
5.4 Визначення капітальних витрат, пов'язаних з модернізацією системи	
керування температурою теплоносія силової установки.....	70
5.5 Витрати на ремонт тепловоза до модернізації системи керування	
температурою теплоносія силової установки	72
5.6 Витрати на ремонт тепловоза після модернізації системи керування	
температурою теплоносія силової установки	74
5.7 Термін окупності та економічний ефект підвищення надійності	
системи керування температурою теплоносія силової установки.....	75
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79

ВСТУП

Залізничний транспорт забезпечує переміщення вантажів та населення країни. Перевезення вантажів та пасажирів здійснюється незалежно від кліматичних та погодних умов, пори року та часу доби.

Залізничний транспорт продовжує процес виробництва продукції у сфері обороту, здійснюючи доставку продукції до місця споживання. У цьому є основна роль залізниці у системі загального виробництва, цим же визначається й взаємозв'язок між залізницею та промисловими підприємствами.

Важливим кроком до забезпечення прибутковості та конкурентоспроможності залізничного транспорту є формування на її основі цілісної структури з централізованим управлінням і відносною автономністю окремих підприємств. З точки зору системного підходу, організація такої структури дозволяє отримати додатковий загальносистемний ефект в умовах використання інформаційно-керуючих технологій на базі логістичних принципів. Тому виникає наукова задача формування гнучкої технології роботи залізничного транспорту на основі й принципів логістики. В свою чергу, це викликає необхідність розробки та впровадження нових підходів до організації та управління вагомою структурою на залізничному транспорті.

Інтенсивність експлуатації локомотивів залежить від рівня їх надійності. Тому інтенсивність експлуатації локомотивів змушує по новому дивитись на надійність вузлів та агрегатів.

Важливу роль при експлуатації локомотивів відіграє кваліфікація локомотивних бригад і ремонтного персоналу. Від того наскільки правильно експлуатується локомотив, як він утримується і ремонтується, залежить його технічний стан, а значить і надійність роботи.

Підвищення ефективності роботи транспорту вимагає поліпшення використання транспортних засобів, збільшення потужності підприємств із ремонту рухомого складу і виробництву запасних частин.

Магістерська дипломна робота присвячена питанням підвищення надійності

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

систем охолодження силових установок тепловозів та розглядає такі питання: огляд загальних відомостей про систему охолодження тепловозних дизелів, вимоги до охолоджуючої рідини, регулювання роботи системи охолодження тепловоза; аналіз показників надійності систем охолодження силових установок тепловозів; підвищення їх надійності; моделювання роботи системи охолодження тепловоза; визначення ефективності підвищення надійності систем охолодження.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ, РОБОТА СИСТЕМИ ТА ВИМОГИ ДО ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ

1.1 Огляд системи охолодження тепловоза 2ТЭ116

Для відводу тепла, що виділяється при роботі дизель-генератора, служить система охолодження тепловоза закритого типу з примусовою циркуляцією. На тепловозі є два самостійних контури охолодження, кожен з яких має свій трубопровід, водяний насос, секції радіатора і мотор-вентилятори.

Контур охолодження дизеля призначений для охолодження втулок і кришок циліндрів дизеля, корпусу турбокомпресора і випускних колекторів. У холодну пору року охолоджуюча рідина використовується для підігріву палива, обігріву кабіни машиніста, підігріву води в баку санітарного пристрою. Цей контур передбачає як високотемпературне, так і низькотемпературне охолодження, причому перехід на високотемпературне охолодження допускається при тиску в розширювальному баку не менше 0,03 МПа. Перехід виконується вручну установкою тумблера на шафі апаратної камери; при цьому відключається реле, що забезпечує зняття навантаження дизель-генератора при температурі охолоджуючої рідини 96°C.

Водяний насос дизеля (правий по ходу тепловоза) нагнітає охолоджуючу рідину в охолоджувальні порожнини дизеля. Нагріта охолоджуюча рідина відводиться від дизеля в верхній колектор холодильника тепловоза, проходить через секції радіатора 21 (рис. 1.1) і з нижнього правого колектора надходить у всмоктувальну порожнину насоса, замикаючи коло циркуляції «гарячого» контуру [1].

На трубопроводі відведення охолоджуючої рідини з дизеля передбачені дві бонки 3 для електротермометрів, що вимірюють температуру рідини на виході з дизеля, а також п'ять бонок 20 для датчиків-реле температури, три з яких служать для управління холодильником тепловоза, а останні два призначені для зняття

					0032.150177.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

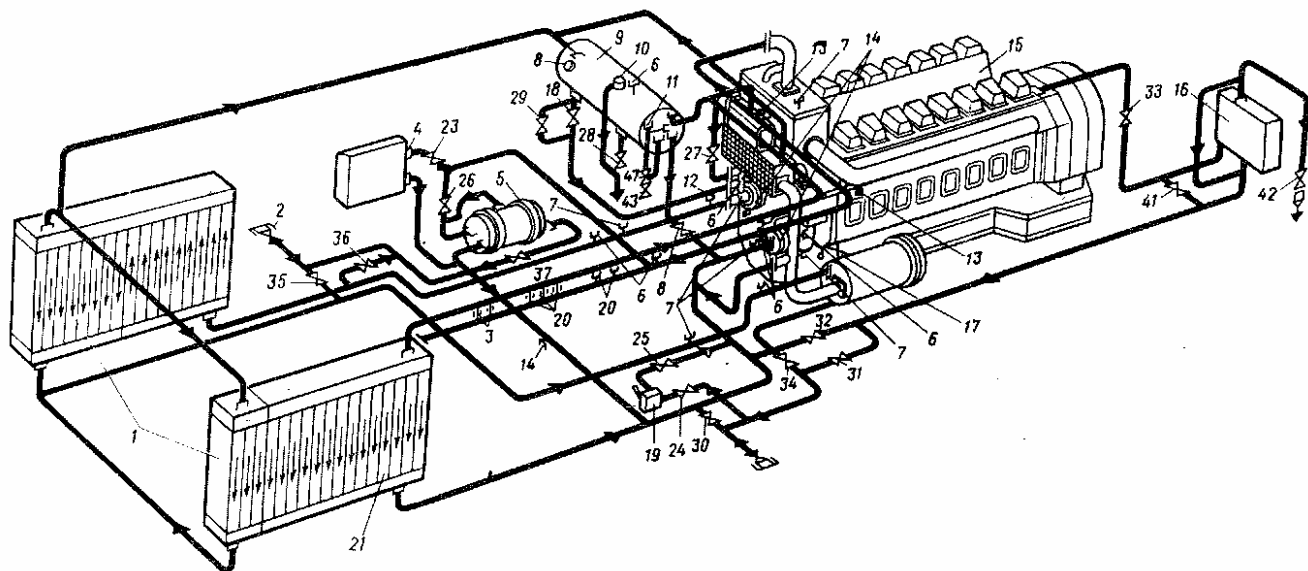


Рисунок 1.1 – Схема системи охолодження тепловоза серії 2ТЭ116

навантаження дизель-генератора при досягненні граничних температур охолоджувальної рідини при високотемпературному і низькотемпературному охолодженні. На цьому ж трубопроводі є штуцер 6 для манометра. Такий же штуцер є на трубопроводі підведення охолоджуючої рідини до всмоктуючої порожнини водяного насоса; поруч з ним встановлено патрубков 7 для ртутного термометра. На виході охолоджувальної рідини з дизеля від найвищої точки трубопроводу і від верхньої частини колекторів охолоджуючих секцій йдуть трубопроводи в розширювальний бак. Вони відводять пароповітряну суміш під час роботи дизель-генератора і повітря при заправці системи, завдяки чому виключається утворення в системі «пробки», яка може привести до порушення режиму охолодження [1].

Трубопровід на всмоктуванні з'єднаний через безповоротний клапан 18 з розширювальним баком, що забезпечує підживлення контуру системи охолодження. Крім того, стовп охолоджуючої рідини від розширювального бака до порожнини на всмоктуванні насоса створює підпір, що поліпшує умови роботи водяного насоса. Від контуру охолодження дизеля передбачено відбір гарячої води через вентиль 26 на підігрів палива. При відкритому вентилі 23 охолоджуюча рідина підігріває воду в баку 4 санітарного пристрою. Від задньої

частини дизель-генератора охолоджуюча рідина при відкритому вентилі 33 надходить в опалювально-вентиляційний агрегат. Для випуску охолоджуючої рідини з трубопроводу опалювально-вентиляційного агрегату необхідно відкрити вентиль 31 і крани 41 і 42. Кран 42 служить, крім того, для випуску повітря при заправці системи. Його необхідно також відкривати перед кожним пуском дизель-генератора після тривалої стоянки тепловоза щоб уникнути утворення повітряної «пробки» і замерзання в холодну пору року води в трубопроводі, що йде до опалювально-вентиляційного агрегату. Так як трубопровід опалювально-вентиляційного агрегату в зимовий час може піддаватися переохолодженню, то на ньому передбачена теплоізоляція.

Для поповнення системи охолоджувальною рідиною служить ручний водяний насос 19. Перед роботою ручним насосом потрібно з'єднати заправну головку з ємністю, заповнену підготовленою охолоджувальною рідиною, і відкрити вентилі 24 і 25. Після закінчення заправки необхідно ці вентилі перекрити і злити охолоджуючу рідину з насоса, вивернувши пробку в нижній частині його корпусу. Ручним насосом користуються в тих випадках, коли тепловоз знаходиться далеко від місць екіпіровки.

Заправляють систему охолодження через вентилі 30 і 35. При цьому відкривають вентиль 28, що з'єднує верхню порожнину розширювального бака з атмосферою. Для повного видалення охолоджуючої рідини з системи відвертають пробки зливу 13 і 14. Безповоротний клапан 18 запобігає викиду охолоджуючої рідини в розширювальний бак після зупинки дизель-генератора при високій температурі охолоджуючої рідини.

Контур охолодження масла і наддувочного повітря має свій водяний насос (лівий по ходу тепловоза), який нагнітає охолоджуючу рідину в лівий нижній колектор холодильника тепловоза, що надходить звідти по переднім секціях радіатора в лівий верхній колектор. З лівого верхнього колектора охолоджуюча рідина відводиться в правий верхній колектор, далі по лівим і правим заднім секціях радіатора опускається вниз, охолоджується і від нижніх колекторів

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

підводиться до охолоджувача масла. Охолодивши масло, рідина йде на охолодження наддувочного повітря і до всмоктуючої порожнини водяного насоса, замикаючи «холодний» контур системи охолодження. Усмоктувальна порожнину водяного насоса цього контуру також з'єднується з розширювальним баком через трубу з безповоротним клапаном 18. Паралельно цього клапана встановлений вентиль 29, який відкривають при заправці і зливі охолоджуючої рідини з системи. На трубопроводі даного контуру є штуцери 6 для манометрів і патрубки 7 для ртутних термометрів.

У холодну пору року при роботі дизель-генератора на малих позиціях контролера машиніста наддувочне повітря буває холодніше, ніж охолоджуюча його рідина, і спостерігається зворотний процес передачі тепла від охолоджувальної рідини до надувного повітря. В результаті цього процесу виникає небезпека переохолодження рідини «холодного» контуру. Тому в системі передбачений вентиль 27, при відкритті якого частина охолоджуючої рідини, що виходить з дизеля, потрапляє у всмоктувальну порожнину водяного насоса «холодного» контуру, а водяний насос «гарячого» контуру відбирає охолоджуючу рідину з «холодного» контуру після охолоджувача масла дизеля.

Температура охолоджуючої рідини регулюється відкриттям і закриттям бічних жалюзі, а також включенням і відключенням вентиляторів холодильника тепловоза з одночасним відкриттям і закриттям верхніх жалюзі. Автоматичне управління правими жалюзі і вентиляторами здійснюють датчики-реле температури, встановлені на виході охолоджувальної рідини з дизеля, а автоматичне керування лівими жалюзі і вентиляторами - датчики-реле, встановлені на виході масла з дизеля.

Розширювальний бак (рис. 1.2) призначений для компенсації теплових розширень охолоджуючої рідини, поповнення системи, створення напору на всмоктуванні циркуляційних насосів. Він являє собою циліндричну ємність об'ємом $0,34 \text{ м}^3$, розділену перегородкою 12, встановленої по центру пароповітряного клапана 11. Перегородка не доходить до верхньої і нижньої

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

частин обичайки 10, що забезпечує сполучення лівої і правої частин бака між собою. Одна частина бака повідомляється з контуром охолодження дизеля, а інша – з контуром охолодження масла і наддувочного повітря через патрубки 17, приварені до обичайки бака. У місці приварювання патрубків обичайка посилена накладками. Бак кріпиться до кронштейну в даху тепловоза за допомогою двох стрічок 9 і чотирьох болтів 8 [2].

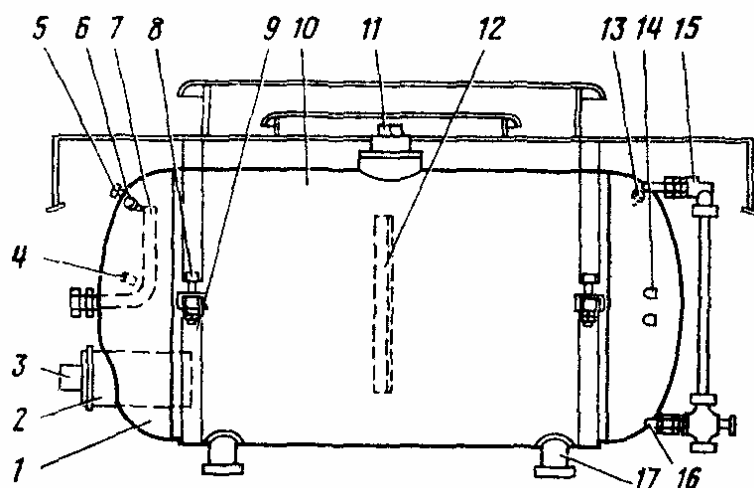


Рисунок 1.2 – Бак для води

Усередині бака встановлено труба 7, яка служить для випуску повітря з системи при заправці і в той же час не допускає переповнення бака охолоджувальною рідиною. Обсяг охолоджуючої рідини в баку при повністю заправленій системі становить 0,295 м³. З правого боку по ходу тепловоза до днища бака приварені два штуцера 16 для кріплення водомірного пристрою 15. Ці штуцера повідомляють порожнини бака і водомірного пристрою. За водомірного пристрою візуально контролюють рівень охолоджувальної рідини в баку. Для поліпшення видимості рівня передбачений світильник, укріплений на бонк 14. Трубки від контурів охолодження дизеля, масла і наддувочного повітря приєднуються до штуцерів 6 і 13. У днище бака з лівого боку вварено огорожу 2, в яку встановлено реле рівня 3. Коли рівень охолоджувальної рідини в баку стає нижче допустимого, реле замикає електричне коло лампочки, що знаходиться на пульті управління. Бонка 4 служить для кріплення електричних проводів до реле.

Штуцер 5 призначений для під'єднання трубопроводу до манометру, за допомогою якого контролюють тиск у розширювальному баку при високотемпературному режимі охолодження дизеля. Пароповітряний клапан 11 і реле рівня 3 ущільнені прокладками.

Водомірний пристрій (рис. 1.3), що показує рівень охолоджувальної рідини в розширювальному баку, являє собою посудину, з'єднана з баком. Вона кріпиться до штуцерів 2, ввареним в днище бака, за допомогою муфт 3 і контргаяк 4 [2].

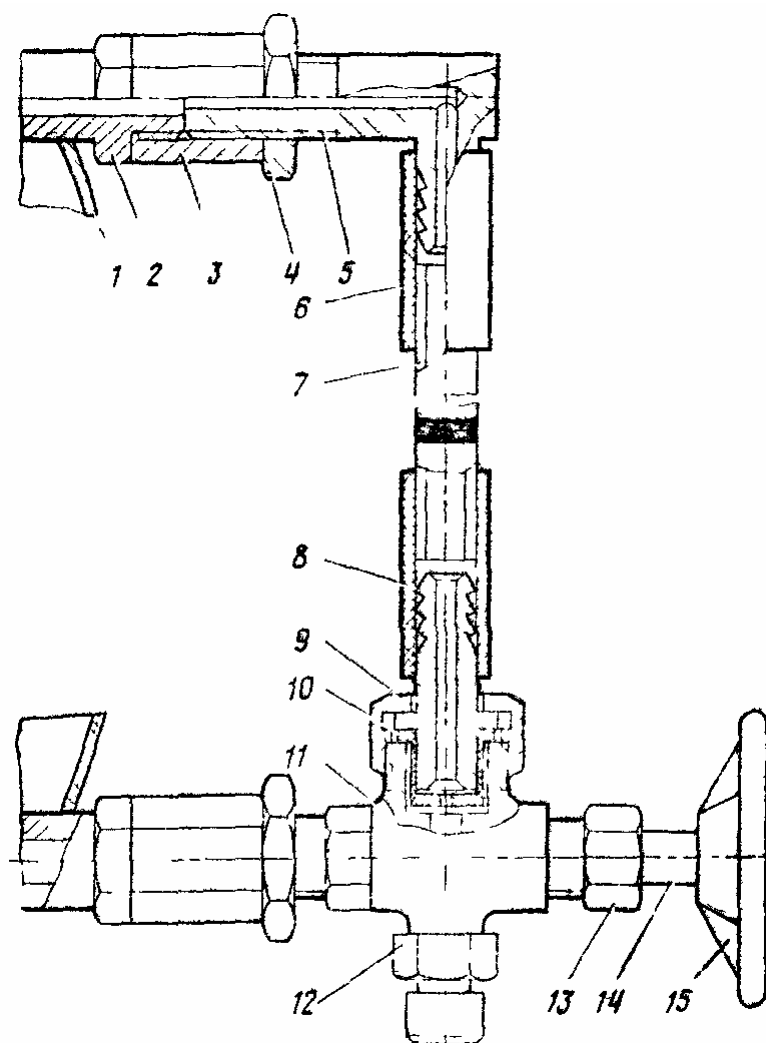


Рисунок 1.3 – Водомірний пристрій

Бак повідомляється з водомірним пристроєм у верхній частині через штуцер 5, а в нижній частині – через корпус крана 11. До верхньої частини корпусу крана

кріпиться за допомогою накидної гайки 9 наконечник 8. Корпус крана і наконечник ущільнені втулкою 10. На наконечник 8 і штуцер 5 надіті рукава 6, в які вставлена скляна трубка 7. Рукава 6 забезпечують герметичність з'єднань, а також оберігають скляну трубку від пошкоджень, виконуючи функцію амортизаторів. На скляній трубці червоною емаллю нанесені мітки нижнього і верхнього допустимих рівнів. Водомірний пристрій роз'єднується з розширювальним баком клапаном 14 крана. На хвостовику клапана закріплено маховичок 15. З боку маховичка в корпус крана 11 встановлені кільце, ущільнення і втулка сальника. Ущільнення виготовлено з асбестопроволочного набивання. Утворений таким чином сальник підтискається накидною гайкою 13. У нижню частину корпусу ввернуто штуцер 12, до якого приєднується водоспускний кран. Утворений таким чином сальник підтискається накидною гайкою 13. Щоб перевірити рівень охолоджувальної рідини в баку, необхідно відкрити кран водомірного пристрою обертанням маховичка 15. При цьому утворюються дві сполучені посудини: бак і водомірний пристрій. Охолоджуюча рідина з бака пройде через нижній штуцер, внутрішню порожнину корпусу крана 11, перехідник і заповнить скляну трубку. Повітря, витіснений охолоджувальною рідиною, піде з водомірного пристрою через верхні штуцера 5 і 2 в розширювальний бак. Рівень охолоджуючої рідини в скляній трубці буде відповідати рівню в розширювальному баку. Щоб перевірити правильність показань водомірного пристрою в експлуатації, необхідно закрити кран 11, відкрити водоспускальний кран і випустити охолоджуючу рідину з водомірного скла. Потім закрити водоспускальний кран, відкрити кран водомірного пристрою і після заповнення скляної трубки і припинення коливань меніска відзначити зайняте ним положення [2].

Пароповітряний клапан (рис. 1.4) призначений для підтримки тиску в розширювальному баку при високотемпературному режимі охолодження дизеля і для повідомлення бака з атмосферою при розрідженні в системі охолодження.

Клапан знаходиться у верхній частині бака. Для його установки в отвір

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

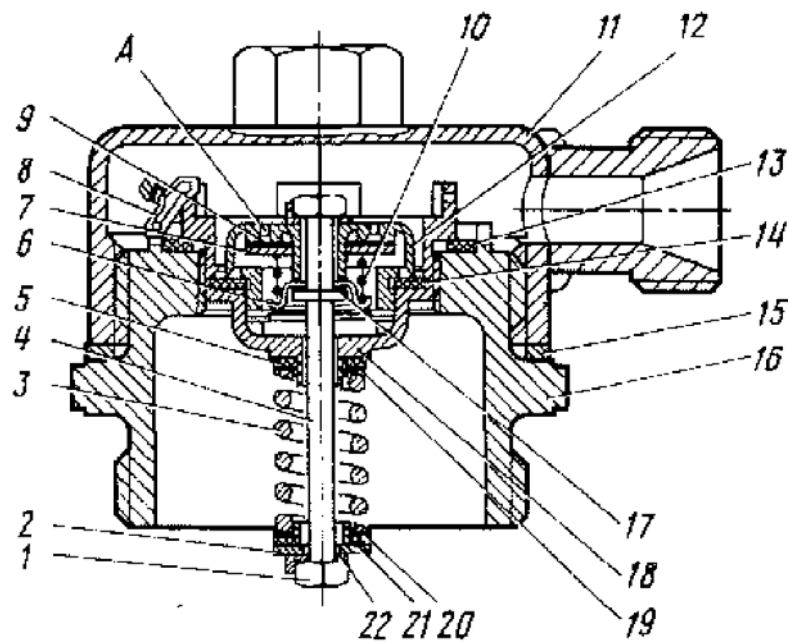


Рисунок 1.4 – Пароповітряний клапан

обичайки вварена гайка з різьбленням. На корпусі 16 клапана також нарізана різьба. При вкручуванні клапана між гайкою і фланцевою поверхнею корпусу встановлюють прокладку. Між ковпаком 11 і корпусом 16 є прокладка 15. До ковпака приварений штуцер, до якого підводиться труба, що з'єднується з атмосферою трубою розширювального бака після вентиля 28. У корпус 16 клапана ввернутий корпус 18 парового клапана, який ущільнений прокладкою 13. Для фіксації положення обох корпусів вони зашплінтовані дротом 8. Якщо тиск в баку стане більше 0,05-0,075 МПа, грибок 12 парового клапана, подолавши опір пружини 3, підніметься вгору. Після підняття грибка утворюється кільцева зазор між прокладкою 14 і посадкової поверхнею грибка. Через цей зазор пар почне виходити з бака по трубі в атмосферу. При сталому нормальному тиску в баку зусилля пружини 3, яка своїм нижнім кінцем тисне на шток 4 через опорну шайбу 20, нижній ізолятор 21, шайбу 2, контровочну шайбу 22 і гайку 1, стане досить для того, щоб грибок 12, жорстко закріплений у верхній частини штока, опустився вниз і притулився до прокладки 14. Це забезпечить герметичність бака і подальше зниження тиску в ньому припиниться.

При охолодженні води в розширювальному баку утворюється розрідження.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			16

Коли воно досягне 2-8 кПа, верхня тарілка 7 повітряного клапана під дією надлишкового атмосферного тиску опуститься, стиснувши пружину 10. При цьому внутрішня порожнину бака виявиться повідомленою з атмосферою через отвори А. Як тільки тиск в баку зрівняється з атмосферним, пружина 10 знову притисне верхню тарілку 7 до грибка 12. Герметичність закриття забезпечується кільцем ущільнювача 9.

Реле рівня призначене для дистанційного контролю за нижнім рівнем охолоджуючої рідини в розширювальному баку. При зниженні рівня охолоджуючої рідини нижче допустимого поплавков реле опускається і важелем впливає на контакти мікрореле, замикаючи їх. В результаті замикається електричне коло сигнальної лампи на пульті управління. Рівень охолоджуючої рідини, при якому спрацьовує реле, регулюють болтом, вкрученим в важіль поплавця з зовнішнього боку бака. При транспортуванні реле поплавков фіксують стопорним гвинтом, для чого поворотом гвинта за годинниковою стрілкою поєднують індекс на його голівці з буквою Т на кришці реле. При введенні реле в експлуатацію гвинт повертають на 180° проти годинникової стрілки до суміщення індексу на голівці гвинта з буквою Е на кришці реле.

Датчики-реле температури [3] (рис. 1.5) призначені для забезпечення роботи холодильника тепловоза в автоматичному режимі і для захисту дизеля від перегріву охолоджуючої рідини. Перевіряти і регулювати уставки датчиків-реле можна як в спеціальній посудині з поміщенням в нього ртутним термометром (при цьому термосистеми датчика-реле і термометра не повинні торкатися стінок і дна посудини), так і в системі тепловоза. Конструкція приладу допускає переналаштування на температури, необхідні для управління холодильником тепловоза і для захисту дизель-генератора від перегріву теплоносія. Після зміни уставки слід охолодити теплоносій до температури на 7-10°C менше уставки, а потім рівномірно зі швидкістю не більше 0,5°C в хвилину нагріваючи теплоносій, перевірити уставку спрацьовування датчика-реле. Повернення датчика-реле після спрацьовування в початкове положення відбувається при охолодженні теплоносія

					0032.150177.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

до температури, яка менше уставки на величину зони нечутливості (нерегульованої зони), що дорівнює 3-6°C [3].

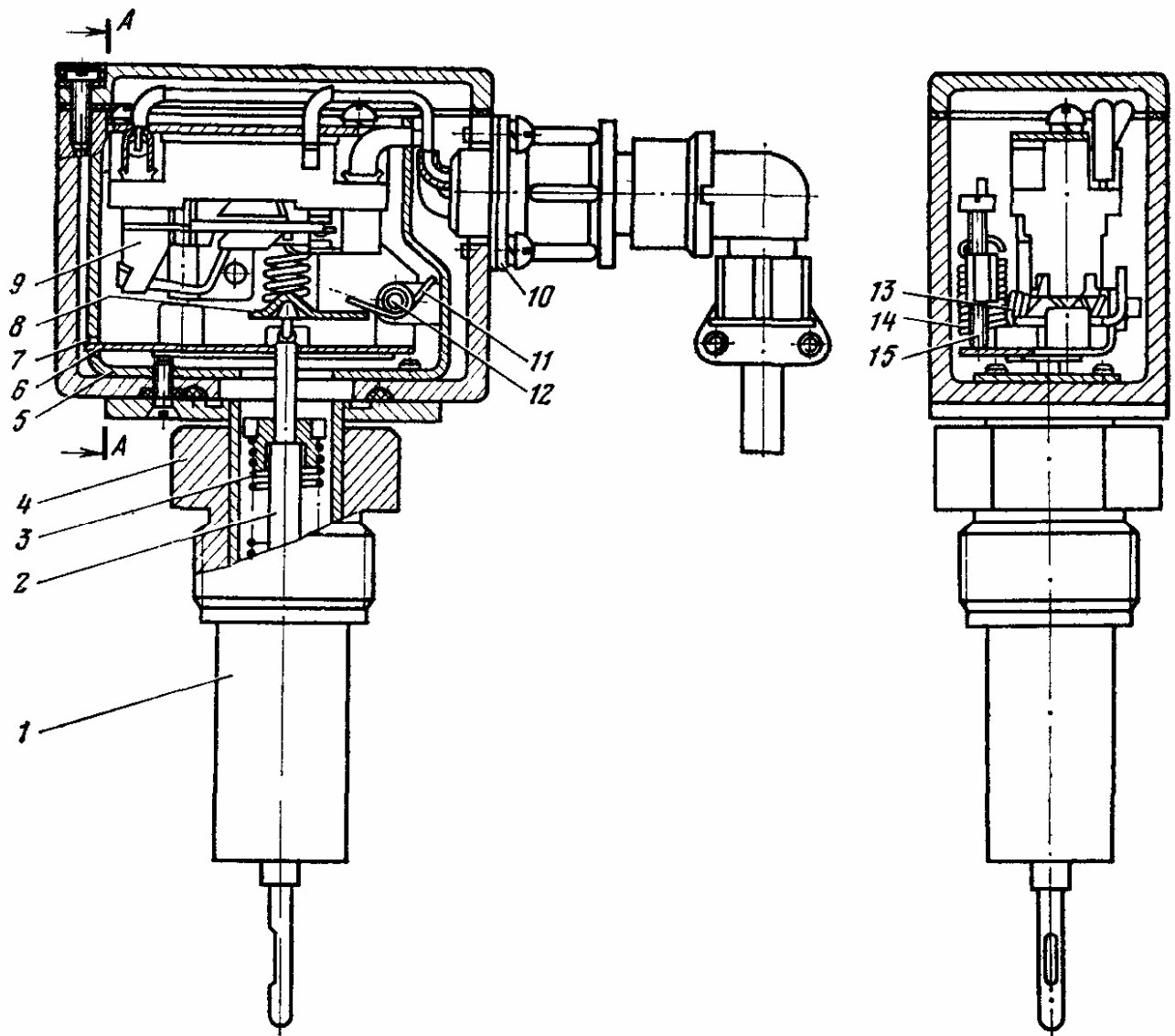


Рисунок 1.5 – Датчик-реле температури:

1 – термосистеми; 2 – шток; 3, 11, 13, 14 – пружини; 4 – гайка; 5 – корпус; 6, 8 – важелі; 7 – упор; 9 – перемикач; 10 – роз'їм; 12 – вісь; 15 – гвинт зміни уставки

Опалювально-вентиляційний агрегат (рис. 1.6) призначений для вентиляції і обігріву повітря в кабіні машиніста. Він зібраний на рамі 18 і встановлений в столі помічника машиніста. До підлоги кабіни агрегат кріпиться болтами, а до передньої стінки кабіни – планкою 14. Електродвигун 9 постійного струму приводить в обертання вентилятор 23, який по сполучному каналу подається

холодне повітря до нагрівальної секції 4. Гаряча охолоджуюча рідина по трубі 22 підводиться до колектора секції. Пройшовши по трубках секції і віддавши тепло через стінки трубок потоку повітря, охолоджуюча рідина по трубі 21 відводиться в контур охолодження дизеля. Підігріте повітря з нагрівальної секції 4 надходить в розподільний канал 7, а звідти – в канали підведення повітря в кабінку для обігріву лобових стекол і ніг машиніста. У розподільному каналі стоять заслінки. Збільшуючи або зменшуючи зазори між заслінками і стінками каналу, тим самим збільшують або зменшують потоки повітря. Положення заслінок регулюють рукоятками 5 [1].

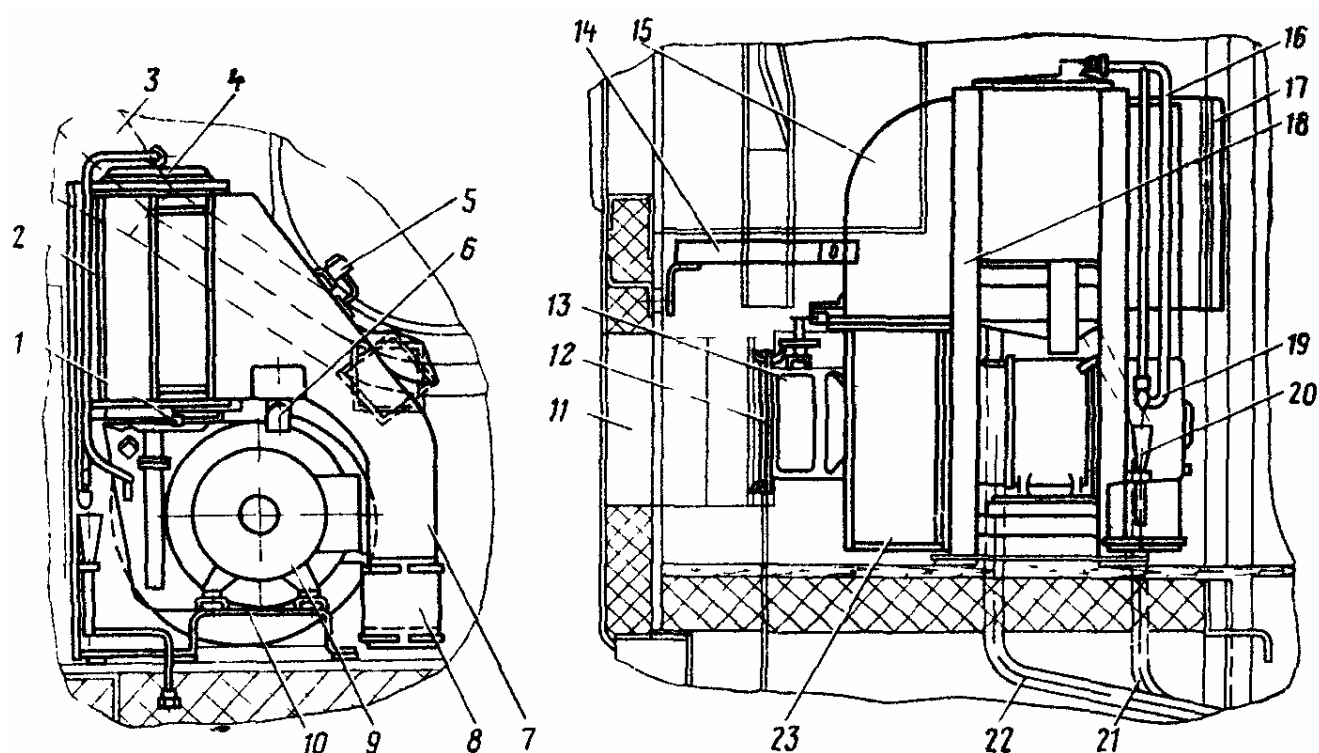


Рисунок 1.6 – Опалювально-вентиляційний агрегат

1.2 Вимоги до охолоджуючої рідини

Вимоги, що пред'являються до рідини для систем охолодження двигунів, дуже різні. Така рідина не повинна замерзати і кипіти в усьому робочому діапазоні температур двигуна, легко прокачуватися при цих температурах, не кипіти, чи не пінитися, не впливати на матеріали системи охолодження, бути

стабільною в експлуатації і при зберіганні, мати високу теплопровідність і теплоємність [1, 2].

Найбільшою мірою цим вимогам відповідають вода і водні розчини деяких речовин. Вода має цілий ряд позитивних властивостей: доступність, високу теплоємність, пожежобезпечність, нетоксичність, хорошу проточність при позитивних температурах. До недоліків води слід віднести: неприйнятно високу температуру замерзання і збільшення обсягу при замерзанні, недостатньо високу температуру кипіння і схильність до утворення накипу. Ці недоліки обмежують застосування води в якості охолоджуючої рідини.

Загальна жорсткість води є сумою карбонатної (тимчасової) і некарбонатних (головним чином, сульфатної) жорсткостей. Одиниця жорсткості – 1 мг-екв/л солей жорсткості, що відповідає 2004 мг іона кальцію або 1216 іона магнію в 1 л води.

Для попередження утворення накипу в систему охолодження вводять антинакипін або перед заливкою пом'ягчують воду.

Утворення накипу крім погіршення тепловідведення призводить до збільшення витрати палива. Так, при товщині накипу 1,5-2 мм витрата палива може зрости на 8-10%. Це відбувається внаслідок неприпустимого підвищення температурного режиму циліндропоршневої групи через термічний опору шару накипу.

Системи охолодження сучасних тепловозних двигунів герметичні, і рідина в них знаходиться під невеликим тиском, зазвичай близько 0,05 МПа, яке підтримується клапаном.

Погіршення властивостей охолоджуючої рідини при роботі двигуна відбувається внаслідок:

- накопичення в рідині кислих продуктів окислення етиленгліколю;
- зменшення концентрації інгібіторів;
- збільшення концентрації хлоридів і сульфатів, що потрапляють з випадкових джерел при заповненні. Зміст хлоридів понад 0,0007% вважається

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

неприпустимим;

– утворення під час роботи двигуна осаду з карбонатів (в жорсткій воді), а також з продуктів корозії, що утворюються в присутності хлоридів і сульфатів [1].

Жорстка вода призводить до осадження з рідини, що містить двозаміщений фосфат натрію, додаткових опадів у вигляді фосфатів кальцію і магнію, внаслідок чого відбувається подальше зниження концентрації інгібітору.

Корозійна агресивність охолоджуючої рідини випробовують шляхом визначення концентрації інгібітору корозії або ж безпосереднім випробуванням на комплекті металевих пластин, схильних до дії досліджуваної рідини в певних умовах.

Поліпшення експлуатаційних властивостей охолоджуючої рідини, яка вже пропрацювала деякий час в двигуні, зводиться до видалення шламу і забруднень. Вміст інгібіторів до рівня, необхідного нормативами, можна довести лише в лабораторних умовах. Зберігати рідину слід тільки в сталевих ємностях, а також в луджених або поліетиленових упаковках. Не слід вживати для цих цілей оцинковані ємності, так як рідина вступає в реакцію з цинком [1].

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ

2.1 Визначення основних характеристик та закону розподілу напрацювання систем охолодження силових установок тепловозів до відмови

Складні системи можуть досліджуватись як у цілому, так і на рівні компонент, пристроїв, підсистем. Наприклад, дослідження окремих компонент виробу на вплив зовнішніх факторів може виявити проблеми до того, як вони будуть виявлені на вищому рівні інтеграції. Недоліками таких досліджень є значні затрати часу і коштів. Для здешевлення і скорочення у часі досліджень можуть проводитись прискорені та застосовуватись методи планування експерименту та моделювання.

Все частіше застосовуються так звані прискорені дослідження у динамічно змінному середовищі у тому числі і структурно-складних систем з урахуванням їх старіння, втоми, зносу та деградації в ході їх експлуатації. Для цього в статистиці прискорених досліджень розроблені спеціальні моделі прискорення життя, котрі добре адаптовані для статистичного аналізу даних про відмови, що спостерігаються як при змінних у часі стресових навантаженнях, так і за наявності процесів деградації, які у свою чергу можуть залежати від цих стресових навантажень.

Надійність в техніці головним чином пов'язана з оцінкою вартісних показників. Вони стосуються тих небезпек з точки зору надійності, які можуть перерости в аварії, що приведуть до додаткових витрат коштів розробника. Це може статися через збитки з причини неготовності системи, несподівано високих витрат на запасні частини та ремонт, перерви у нормальній роботі тощо. Безпека ж відноситься до тих випадків прояву небезпек, які можуть призвести до потенційно тяжких наслідків від аварій. Вимоги з безпеки функціонально пов'язані з вимогами до надійності, але характеризуються вищим ступенем відповідальності. Безпека має справу з небажаними небезпечними подіями для

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

життя людей і навколишнього середовища в тому ж розумінні, що і надійність, але не пов'язана прямо з вартісними показниками і не має відношення до дій з відновлення після відмов та аварій. У безпеки інші рівні важливості відмов у суспільстві і контролю з боку держави. Безпека переважно перебуває під контролем держави (наприклад, атомна промисловість, космічна галузь, оборона, залізничний та авіаційний транспорт, нафтогазовий сектор тощо).

Найбільш об'єктивні відомості про надійність об'єктів можна одержати на основі використання статистичних даних про відмови, що отримані у процесі експлуатації (табл. 2.1). Без інформації про відмови, що міститься у первинної документації, неможливо визначити показники надійності, виявити недоліки конструкції, ступінь впливу на надійність умов експлуатації й на підставі цих даних прийняти заходи щодо підвищення надійності об'єкта. Але у первинної документації містяться невпорядковані дані, з яких важко доглянути будь-яку закономірність [4].

Таблиця 2.1 – Статистичні дані про відмови систем охолодження силових установок тепловозів

В тис км

Пробіг до відмови						
26,16	62,07	110,2	165,3	271,2	326,2	344,3
35,24	66,27	122,1	173,2	274,3	328,2	346,4
47,26	84,24	132,1	189,2	282,1	332,3	362,1
49,34	93,04	146,2	193,2	289,2	334,4	371,1
54,04	95,09	154,3	224,0	294,3	335,2	384,1
55,26	107,3	159,1	242,1	297,3	336,8	-
56,03	109,1	160,1	268,2	301,2	326,2	-

Діапазон зміни значень напрацювань, у середині якого мали місце відмови, визначаємо за формулою

$$R = l_{\max} - l_{\min} ; \quad (2.1)$$

$$R = 390,3 - 26,16 = 364,1 \text{ тис км.}$$

Для розрахунку оптимальної величини інтервалу Δl в км використовуємо формулу:

$$\Delta l = \frac{R}{1 + 3,322 \cdot \lg N}, \quad (2.2)$$

де N – кількість об'єктів спостереження, $N=353$ системи охолодження силових установок тепловозів.

$$\Delta l = \frac{364,1}{1 + 3,322 \cdot \lg 353} = 38,47 \text{ тис км.}$$

Кількість інтервалів визначаємо, виходячи зі такого співвідношення:

$$k = \frac{R}{\Delta l}; \quad (2.3)$$

$$k = \frac{364,1}{38,47} = 9,58.$$

Величину інтервалу округлюємо в більшу сторону до цілого значення. Приймаємо $k=10$.

Після цього проводимо об'єднання по інтервалах в табл. 2.2.

Середні значення напрацювань в i -му інтервалі визначаємо за формулою

$$\bar{l}_i = \frac{l_{\text{поч.}i} + l_{\text{кін.}i}}{2}, \quad (2.4)$$

де $l_{\text{поч.}i}$ – початкова величина напрацювання в i -му інтервалі, км;

$l_{\text{кін.}i}$ – кінцева величина напрацювання в i -му інтервалі, км.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку характеристик напрацювання систем
охолодження силових установок тепловозів

Межі інтервалу, тис км		Середнє значення напрацювання в інтервалі, тис км	Абсолютна частота відмов	Відносна частота відмов	Відносна накопичена частота відмов $\times 10^{-2}$	Щільність імовірності настання відмови $\times 10^{-4}$
26	63	44	8	2,27	2,27	46,7
63	99	81	4	1,13	3,40	23,4
99	135	117	5	1,42	4,82	29,2
135	172	154	5	1,42	6,23	29,2
172	208	190	3	0,85	7,08	17,5
208	245	226	2	0,57	7,65	11,7
245	281	263	3	0,85	8,50	17,5
281	317	299	5	1,42	9,92	29,2
317	354	336	5	1,42	11,33	29,2
354	390	372	7	1,98	13,31	40,9

$$\bar{l}_1 = \frac{26 + 63}{2} = 44 \text{ тис км.}$$

Відносну частоту відмов m_i обчислюємо за формулою

$$m_i = \frac{n_i}{N}. \quad (2.5)$$

Для першого інтервалу

$$m_1 = \frac{8}{353} = 2,27 \cdot 10^{-2}.$$

Відносна накопичена частота m'_i утворюється шляхом додавання попереднього значення відносної накопиченої частоти до поточного значення відносної частоти

$$m'_i = m'_{i-1} + m_i. \quad (2.6)$$

Для першого інтервалу

$$m'_1 = 0 + 2,27 \cdot 10^{-2} = 2,27 \cdot 10^{-2}.$$

Щільність імовірності настання відмови $\bar{f}(l_i)$ визначаємо за формулою

$$\bar{f}(l_i) = \frac{n_i}{\Delta l \cdot N}. \quad (2.7)$$

Для першого інтервалу

$$\bar{f}(l_1) = \frac{8}{38,47 \cdot 353} = 46,7 \cdot 10^{-4}.$$

Середнє напрацювання до першої відмови визначаємо за формулою:

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \cdot \bar{l}_i; \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \bar{l} &= \frac{1}{353} (8 \cdot 44 + 4 \cdot 81 + 5 \cdot 117 + 5 \cdot 154 + 3 \cdot 190) + \\ &+ \frac{1}{353} (2 \cdot 226 + 3 \cdot 263 + 5 \cdot 299 + 5 \cdot 336 + 7 \cdot 372) = 205 \text{ тис км.} \end{aligned}$$

Визначаємо середнє квадратичне відхилення

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{l}_i - \bar{l})^2 \cdot n_i}{N}}; \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \sigma = & \sqrt{\frac{(44 - 205)^2 \cdot 8 + (81 - 205)^2 \cdot 4 + (117 - 205)^2 \cdot 5 + (154 - 205)^2 \cdot 5}{353}} + \\ & + \sqrt{\frac{(190 - 205)^2 \cdot 3 + (226 - 205)^2 \cdot 2 + (263 - 205)^2 \cdot 3}{353}} + \\ & + \sqrt{\frac{(299 - 205)^2 \cdot 5 + (336 - 205)^2 \cdot 5 + (372 - 205)^2 \cdot 7}{353}} = 118,2 \text{ тис км.} \end{aligned}$$

Коефіцієнт варіації

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{l}}; \quad (2.10)$$

$$\nu = \frac{118,2}{205} = 0,577.$$

За результатами розрахунків будуюмо графік розподілу частоти, щільність імовірності розподілу напрацювань (рис. 2.1) та кумулятивну криву (рис. 2.2) відмов систем охолодження силових установок тепловозів [4].

Для побудови гістограми розподілу по осі абсцис відкладаємо межі інтервалів, а по осі ординат відповідні частоти n_i . Для кожного інтервалу будуюмо прямокутник шириною Δl та висотою n_i і з'єднуються середини інтервалів. Щільність імовірності розподілу напрацювань $\bar{f}(l_i)$ будуюмо на спільній з гістограмою осі абсцис, а масштаб осі ординат підбираємо так, щоб висота i -го прямокутника гістограми n_i співпадала зі значенням $\bar{f}(l_i)$. Кумулятивну криву будуюмо аналогічно, тільки по осі ординат відкладаємо значення накопиченої

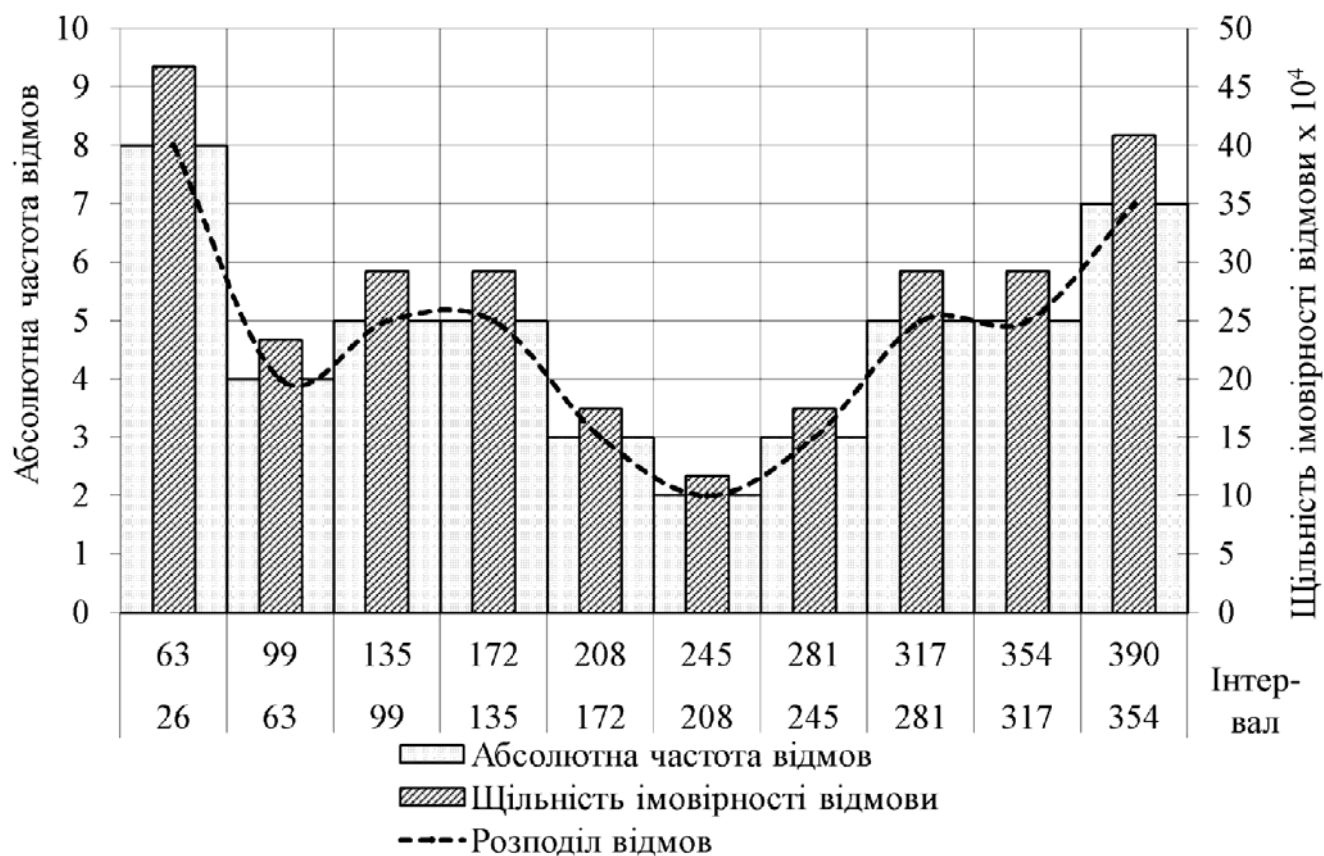


Рисунок 2.1 – Гістограма розподілу та щільність імовірності розподілу
напрацювань

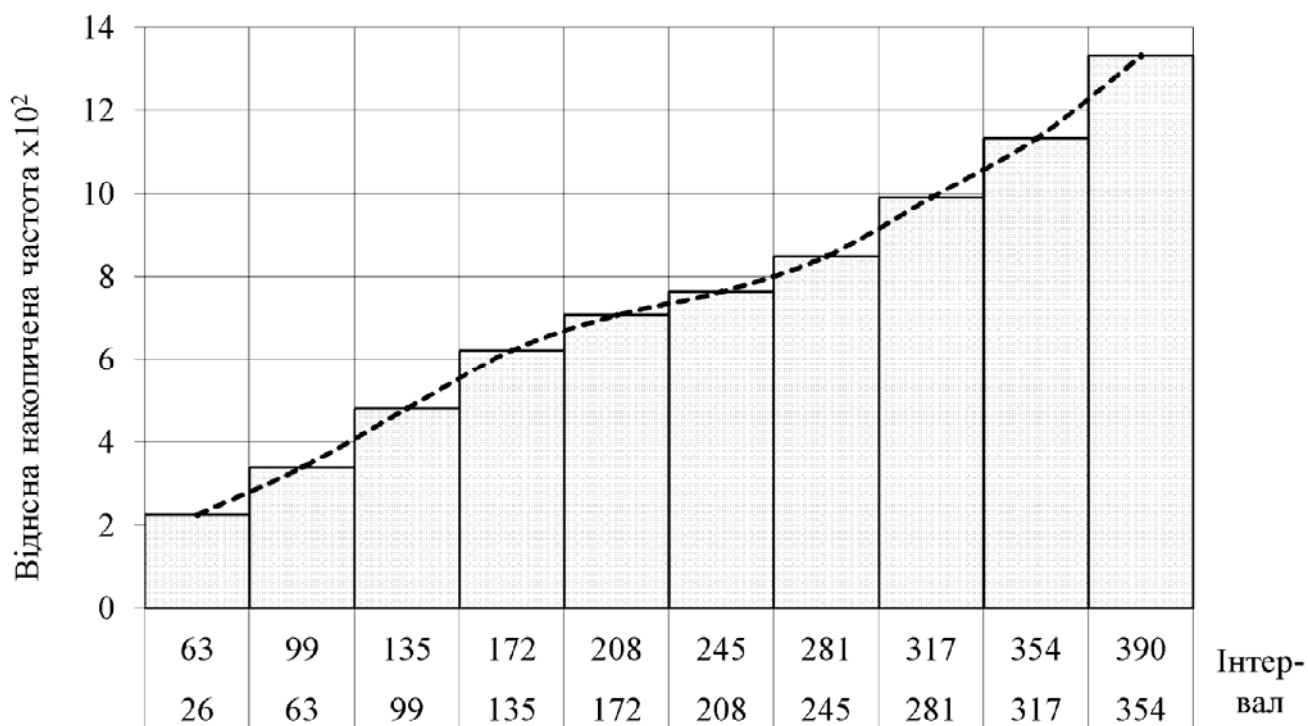


Рисунок 2.2 – Кумулятивна крива

частоти m'_i . На обох рисунках позначаємо та вказуємо значення $\bar{l}_i$.

Розраховуємо квантіль нормованого відхилення для обох меж кожного інтервалу $u_{поч.i}$ та $u_{кін.i}$ за формулами

$$u_{поч.i} = \frac{l_{поч.i} - \bar{l}}{\sigma}; \quad (2.11)$$

$$u_{кін.i} = \frac{l_{кін.i} - \bar{l}}{\sigma}. \quad (2.12)$$

За величинами $u_{поч.i}$ та $u_{кін.i}$ визначають величини функції Лапласа для обох меж кожного інтервалу $\Phi(u_{поч.i})$ та $\Phi(u_{кін.i})$.

Визначаємо теоретичну імовірність попадання напрацювання в i -й інтервал p_i як різниця між $\Phi(u_{кін.i})$ та $\Phi(u_{поч.i})$.

Розраховуємо теоретичну частоту попадання в i -й інтервал як добуток N та p_i .

Результати розрахунку зводимо в табл. 2.3.

Визначаємо величину «хі-квадрат» за формулою

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - p_i N)^2}{p_i N}; \quad (2.13)$$

$$\chi^2 = 5,19 + 17,9 + 23,5 + 29,7 + 37,4 + 38,7 + 32,3 + 22,2 + 14,8 + 5,17 = 227.$$

Накладаємо значення ймовірностей теоретичного нормального розподілу p_i на гістограму емпіричних частот (рис. 2.3).

Перевіряємо гіпотезу про відповідність емпіричного розподілу нормальному закону за критеріями узгодження К. Пірсона та В. І. Романовського [4].

За критерієм К. Пірсона гіпотеза про нормальний закон розподілу не

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку на відповідність нормальному закону розподілу відмов систем охолодження силових установок тепловозів

$l_{поч.i} - l_{кін.i}$, тис км		n_i	$u_{поч.i} - u_{кін.i}$		$\Phi(u_{поч.i}) - \Phi(u_{кін.i})$		p_i	$p_i \cdot N$	$\frac{(n_i - p_i \cdot N)^2}{p_i \cdot N}$
26	63	8	-1,51	-1,20	-0,4350	-0,3853	0,050	17,5	5,19
63	99	4	-1,20	-0,89	-0,3853	-0,3139	0,071	25,2	17,86
99	135	5	-0,89	-0,59	-0,3139	-0,2211	0,093	32,8	23,52
135	172	5	-0,59	-0,28	-0,2211	-0,1103	0,111	39,1	29,73
172	208	3	-0,28	0,03	-0,1103	0,0119	0,122	43,2	37,37
208	245	2	0,03	0,34	0,0119	0,1327	0,121	42,6	38,71
245	281	3	0,34	0,65	0,1327	0,2404	0,108	38,0	32,26
281	317	5	0,65	0,95	0,2404	0,3293	0,089	31,4	22,17
317	354	5	0,95	1,26	0,3293	0,3965	0,067	23,73	14,79
354	390	7	1,26	1,57	0,3965	0,4422	0,046	16,1	5,17
Сума		47						310	227

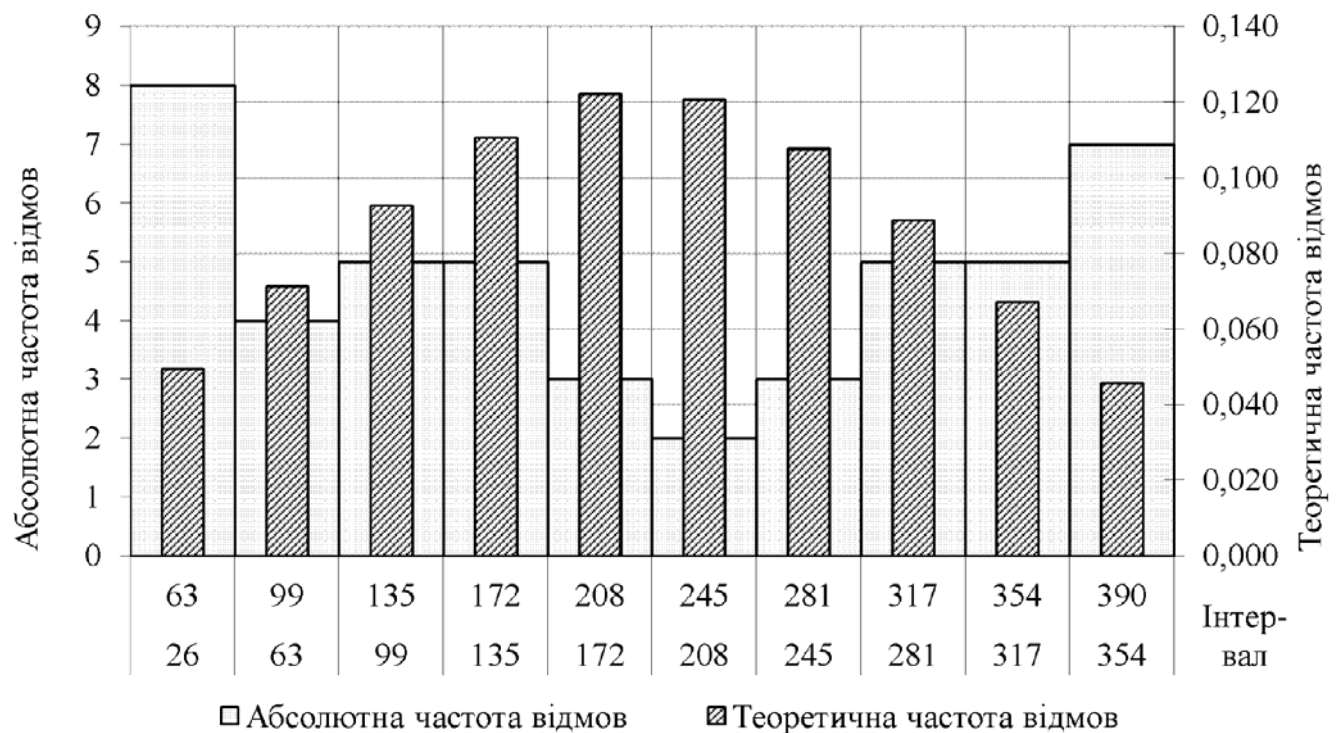


Рисунок 2.3 – Ймовірність теоретичного нормального розподілу p_i

спростовується та розбіжності між теоретичними і емпіричними частотами пояснюються впливом випадкових обставин при виконанні нерівності [4]

$$\chi^2 \leq \chi_m^2, \quad (2.14)$$

де χ_m^2 – критичне значення величини «хі-квадрат».

χ_m^2 залежить від довірчої імовірності α та числа степенів свободи r .

Величина довірчої імовірності $\alpha=0,95$, а число степенів свободи визначаємо за формулою

$$r = k - 3; \quad (2.15)$$

$$r = 10 - 3 = 7.$$

При $r = 7$ та $\alpha=0,95$ $\chi_m^2=14,07$.

Оскільки $\chi^2 > \chi_m^2$, то за критерієм К. Пірсона гіпотеза про нормальний закон розподілу спростовується [4].

За критерієм В. І. Романовського визначаємо величину

$$R = \frac{\chi^2 - r}{\sqrt{2r}}; \quad (2.16)$$

$$R = \frac{227^2 - 7}{\sqrt{2 \cdot 7}} = 13775.$$

Гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини не спростовується, якщо $R < 3$ [4].

Так як $13775 > 3$, то гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини спростовується.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.2 Визначення кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови систем охолодження силових установок тепловозів

Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності фазорозщеплювачів наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку кількісних характеристик надійності систем охолодження силових установок тепловозів

Межі інтервалу, тис км		Кількість відмов
26	63	8
63	99	4
99	135	5
135	172	5
172	208	3
208	245	2
245	281	3
281	317	5
317	354	5
354	390	7

Імовірність безвідмовної роботи за статистичними даними про відмови визначаємо за формулою

$$P^c(l) = \frac{N - n(l)}{N}, \quad (2.17)$$

де $n(l)$ – кількість об'єктів, що відмовили за час l .

Ймовірність відмови за статистичним даними розраховуємо за формулою

$$Q^c(l) = \frac{n(l)}{N}. \quad (2.18)$$

Частота відмов за статистичним даними про відмови визначається виразом

$$f^c(l) = \frac{\Delta n(l)}{N \cdot \Delta l}, \quad (2.19)$$

де $\Delta n(l)$ – кількість об'єктів, що відмовили протягом пробігу Δl .

Інтенсивність відмов за статистичним даними про відмови визначаємо за формулою

$$\lambda^c(l) = \frac{\Delta n(l)}{N_{\text{сер}}(l) \cdot \Delta l}, \quad (2.20)$$

де $N_{\text{сер}}(l)$ – кількість працездатних об'єктів в середині інтервалу напрацювання Δl .

Середнє напрацювання безвідмовної роботи об'єкта за статистичним даними оцінюється виразом

$$L_{\text{сер}}^c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i, \quad (2.21)$$

де l_i – час безвідмовної роботи i -го об'єкта.

Розрахунки зводимо в табл. 2.5. Графічна інтерпретація кількісних характеристик надійності наведена на рис. 2.4-2.6.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови електроапаратів

Межі інтервалу, км		Середнє напрацювання в інтервалі	Кількість відмов за напрацювання	Ймовірність безвідмовної роботи $P^c(l)$	Ймовірність відмови $Q^c(l)$	Частота відмов $f^c(l) \times 10^4$	Інтенсивність відмов $\lambda^c(l) \times 10^4$
26	63	44	8	8	0,98	0,02	5,96
63	99	81	4	12	0,97	0,03	3,03
99	135	117	5	17	0,95	0,05	3,84
135	172	154	5	22	0,94	0,06	3,90
172	208	190	3	25	0,93	0,07	2,37
208	245	226	2	27	0,92	0,08	1,59
245	281	263	3	30	0,92	0,08	2,40
281	317	299	5	35	0,90	0,10	4,05
317	354	336	5	40	0,89	0,11	4,12
354	390	372	7	47	0,87	0,13	5,88

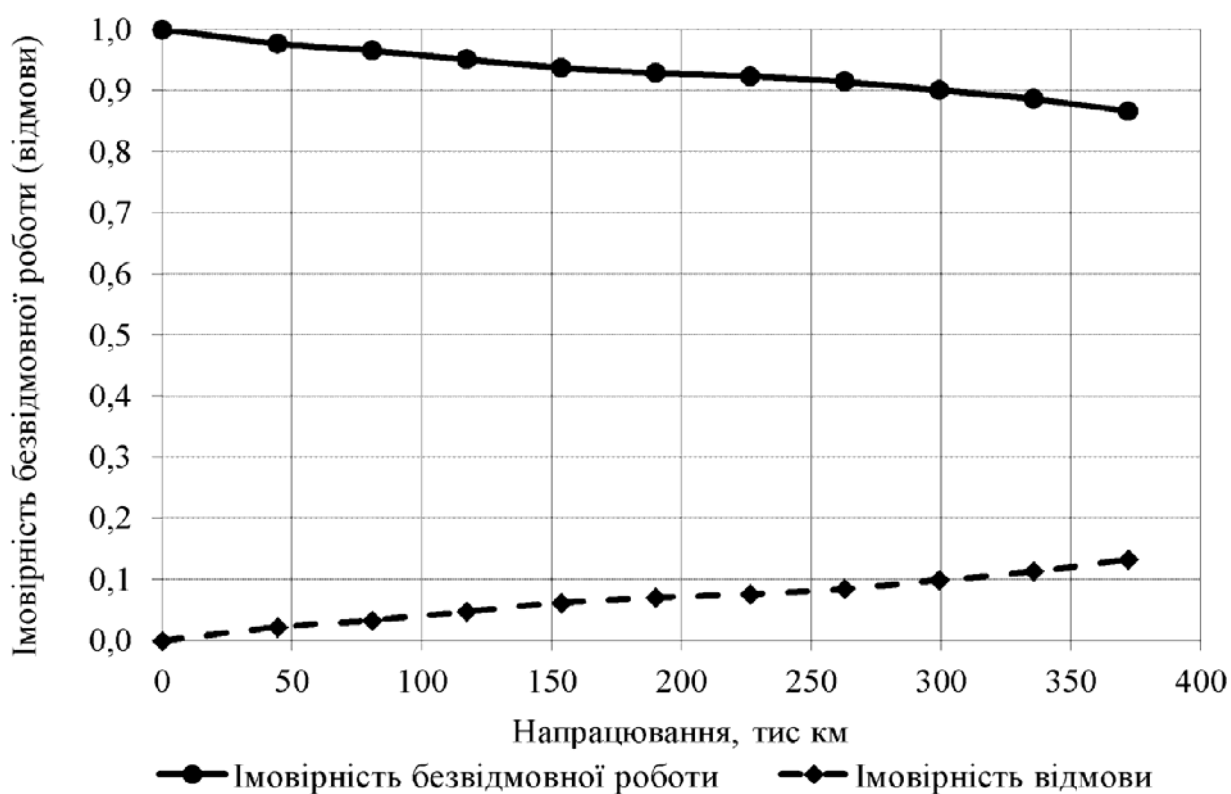


Рисунок 2.4 – Ймовірність безвідмовної роботи $P^c(l)$ та ймовірність відмови $Q^c(l)$ систем охолодження силових установок тепловозів

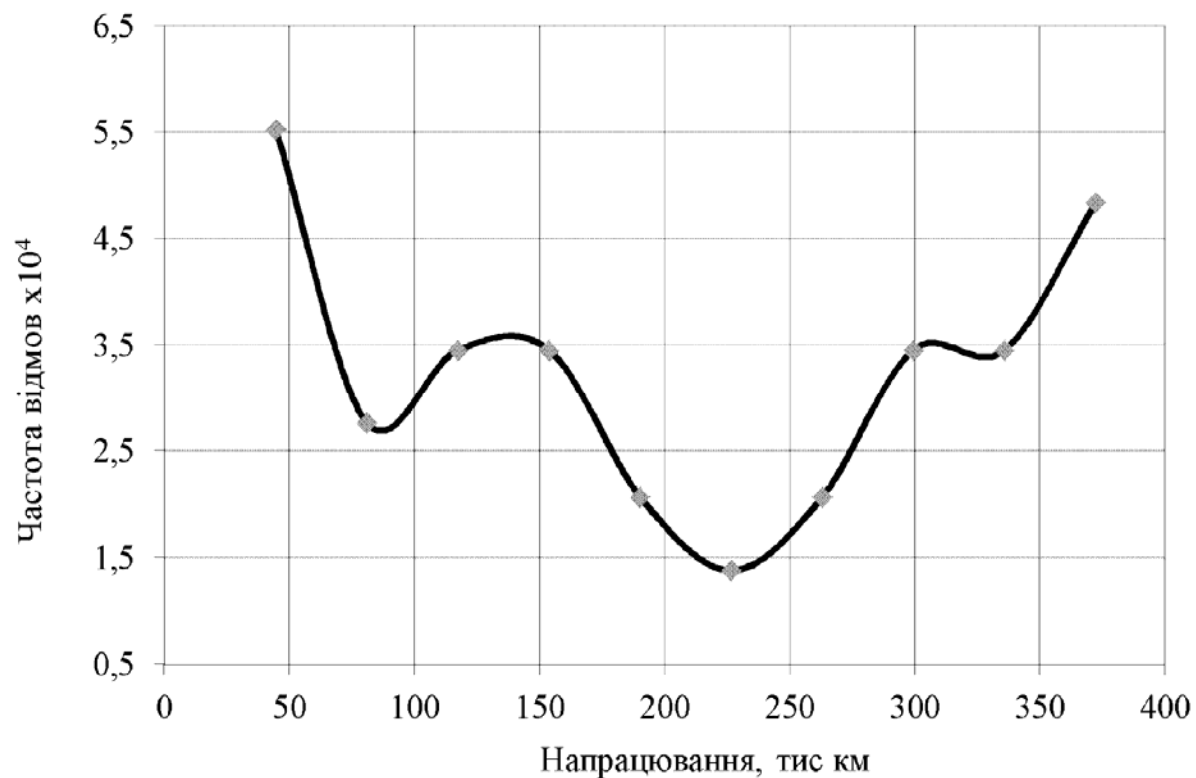


Рисунок 2.5 – Частота відмов $f^c(l)$ систем охолодження силових установок тепловозів

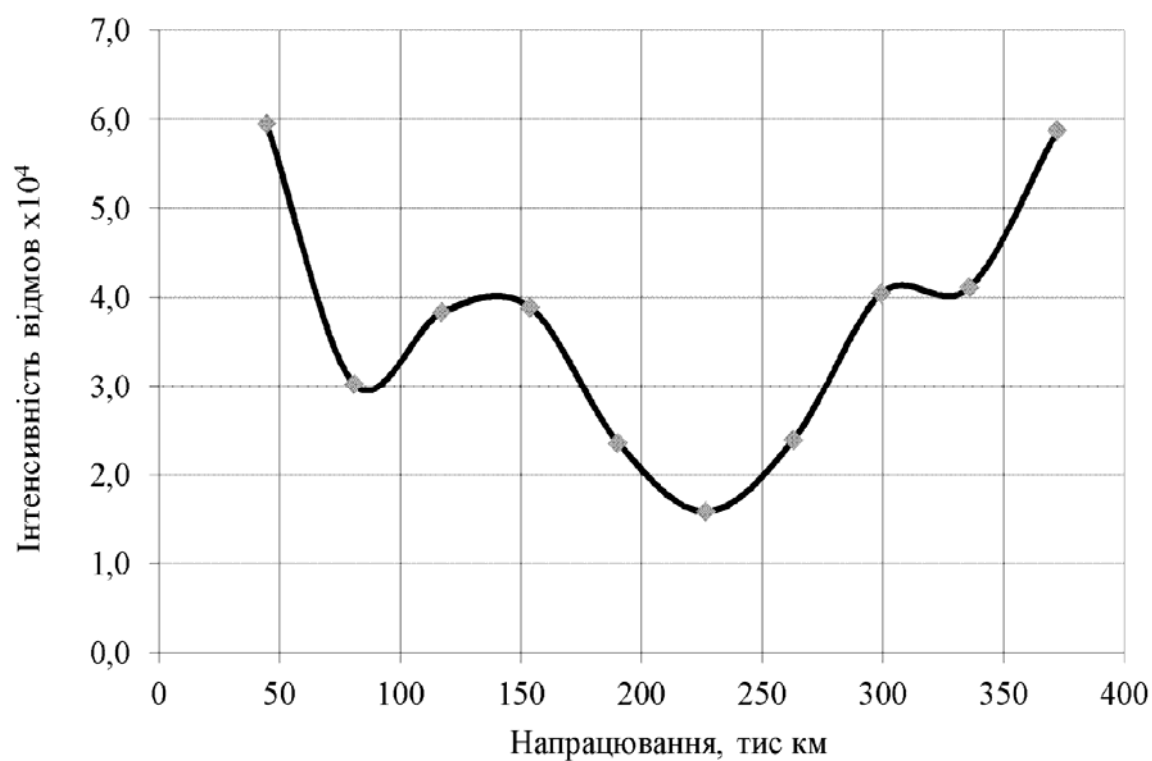


Рисунок 2.6 – Інтенсивність відмов $\lambda^c(l)$ систем охолодження силових установок тепловозів

3 РОЗРАХУНОК ОХОЛОДЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТЕПЛОВОЗА ТА ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДА З МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ

3.1 Складання математичної моделі для визначення параметрів системи охолодження та приводу

3.1.1 Класифікація моделей в залежності від параметрів моделі

В залежності від основних параметрів математичні моделі можна класифікувати на групи (рис. 3.1) [5].

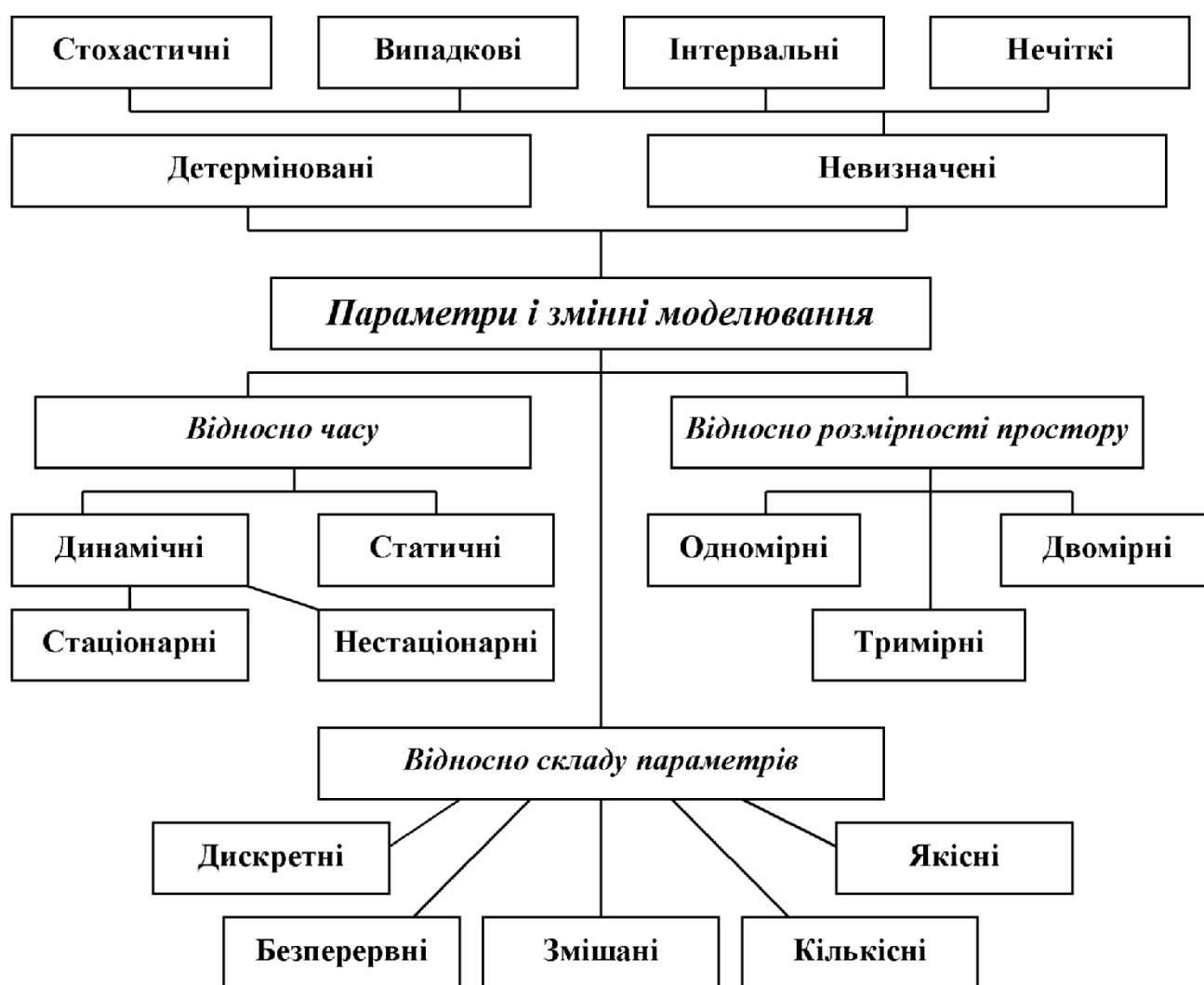


Рисунок 3.1 – Класифікація математичних моделей в залежності від параметрів моделювання [5]

Структурні моделі представляють об'єкт як систему з своєю структурою і механізмом функціонування.

Функціональні моделі не використовують таких уявлень і відображають тільки ззовні сприйману поведінку (функціонування) об'єкту. В їх граничному виразі вони називаються також моделями «чорної скрині». В такому випадку описують з відомою точністю зв'язок між входами X і виходом Y системи на основі експериментальних даних без аналізу внутрішньої структури системи, яку можна розглядати як “чорну скриню”. Модель відрізняється універсальністю методології збирання експериментальної інформації і будови моделей. До недоліків варто віднести складність різносторонньої інтерпретації параметрів моделей і обмеженість області їх дії з відповідною точністю рамок тих конкретних об'єктів, для яких вони побудовані.

Фінальна математична конструкція називається *формальною моделлю* або просто математичною моделлю, отриманою в результаті формалізації даної змістовної моделі (предмоделі).

Побудова змістовної моделі може проводитися за допомогою набору готових ідеалізацій, як в механіці, де ідеальні пружини, тверді тіла, ідеальні маятники, пружні середовища і т.п. дають готові структурні елементи для змістовного моделювання. Проте в областях знання, де не існує повністю завершених формалізованих теорій (передній край фізики, біології, економіки, соціології, психології, і більшості інших областей), створення змістовних моделей різко ускладнюється. Перш за все будують деяку інженерну концептуальну модель, яка виражається на початку словами в термінах даної науки (матеріалознавство, технологія). Ця концептуальна модель описується далі абстрактно-знаково за допомогою диференціальних або алгебраїчних рівнянь, геометричних співвідношень, логічних операцій тощо.

В основі математичної моделі лежить уява про те, що поведінка реального об'єкту аналогічна поведінці концептуальної моделі. Перевага моделі полягає у наочності «фізичної» інтерпретації об'єкта. Недолік полягає в тому, що описати

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

математичними символами можна концепцію, яка далека від реальності.

Метою *deskриптивних* моделей є встановлення законів зміни параметрів моделі. Приклад *deskриптивної* моделі – модель теплової схеми теплоенергетичного чи теплотехнологічного об'єкту. Параметри моделі – теплові потужності, температурні графіки протягом року (вхідні), температури і витрати теплоносіїв в елементах схеми (власні параметри). Кінцевими параметрами будуть потужності генерувального обладнання, витрати палива та коефіцієнт корисної дії установки в довільний момент часу.

Оптимізаційні моделі призначені для визначення оптимальних (якнайкращих) з погляду деякого критерію параметрів модельованого об'єкту або ж для пошуку оптимального (якнайкращого) режиму управління деяким процесом. Як правило, дані моделі будуються з використанням однієї або декількох *deskриптивних* моделей і включають деякий критерій, що дозволяє порівнювати різні варіанти наборів значень кінцевих параметрів між собою з метою вибору якнайкращого. На область значень вхідних параметрів можуть бути накладені обмеження у вигляді рівностей і нерівностей, пов'язані з особливостями даного об'єкту або процесу. Для більшості реальних процесів, конструкцій потрібне визначення оптимальних параметрів відразу по кількох критеріях, тобто ми маємо справу з так званими багатокритеріальними задачами оптимізації. При цьому нерідкими є ситуації суперечності критеріїв.

Складність задачі полягає в наявності невизначеності як за початковою інформацією (неповні дані про кандидатів) і характеру дії зовнішніх умов (випадкове: вибраний кандидат захворів або відмовився; ігрове: міністерство проти вибраної кандидатури), так і по меті (суперечливі вимоги до вибраної кандидатури: повинен бути добрим фахівцем і адміністратором, досвідчений, енергійний, молодий і ін.) [5].

3.1.2 Етапи побудови моделі

Процес створення математичних моделей трудомісткий, довготривалий і

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

пов'язаний з використанням висококваліфікованої праці. Особливістю математичних моделей, створених в даний час, є їх комплексність, пов'язана з складністю модельованих об'єктів. На даний час характерне представлення об'єкту моделювання у вигляді складної системи взаємодіючих елементів.

Все це приводить до ускладнення моделі і необхідності сумісного використання декількох теорій, застосування сучасних обчислювальних методів і обчислювальної техніки. Впровадження обчислювальної техніки у всі сфери діяльності привело до повсюдного використання математичних моделей. Зауважимо, що ЕОМ — це тільки «залізо», а «розумним» і корисним його роблять програми, які в більшості випадків є реалізаціями алгоритмів відповідних математичних моделей.

У разі складних об'єктів задовольнити всім вимогам, що пред'являються, в одній моделі звичайно неможливо. Доводиться створювати цілий спектр моделей одного і того ж об'єкту (в деяких випадках — ієрархічну сукупність «вкладених» одна в іншу моделей). Для зменшення витрат розробку моделей і імовірності виникнення помилок розроблений алгоритм створення математичних моделей (рис. 3.2).

Основним завданням обстеження об'єкту є підготовка змістовної постановки задачі моделювання. *Змістова постановка задачі* — це перелік сформульованих у змістовній (словесній) формі основних питань, на які повинна відповідати розроблена модель, опис її основних характеристик. В реальних умовах на цьому етапі необхідно зібрати великий об'єм інформації і потім з цього об'єму мало формалізованої різноманітної інформації, з нечітко поставлених та сформульованих побажань виділити такі вимоги, які з одного боку задовольняють замовника, з іншого — дозволяють реалізувати модель у визначені терміни і в рамках виділених матеріальних засобів. Для вирішення такого завдання необхідні спеціалісти, що знають можливості та обмеження обчислювальних машин.

Під час обстеження об'єкту виконують такі завдання:

- виявлення основних факторів, механізмів, що впливають на поведінку

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



Рисунок 3.2 – Етапи математичного моделювання [5]

- об'єкта, методів визначення параметрів, що описують об'єкт;
- збір і перевірка наявної експериментальної інформації про об'єкти-аналоги, проведення при необхідності додаткових експериментів;
- аналітичний огляд наявної літературної та іншої інформації, аналіз розроблених раніше моделей даного об'єкту або подібного;
- аналіз та узагальнення всього накопленого матеріалу, розробка загального плану створення моделі.

З використанням накопленого матеріалу виконують змістовну постановку задачі. Звичайно в подальшому можуть вноситись доповнення, але вони повинні носити частковий, непринциповий характер.

Змістовна постановка задачі може бути оформлена у вигляді *технічного*

завдання на розробку моделі. Етап створення технічного завдання може займати до 30% часу, відпущеного на розробку моделі [5].

3.1.3 Математична постановка задачі

На даному етапі виконується спочатку *концептуальна постановка задачі* – сформованих у термінах певної науки (фізики, хімії, біології тощо) перелік основних питань, що повинна вирішувати модель, а також сукупність гіпотез відносно властивостей і поведінки об'єкта моделювання.

Концептуальна модель будується як ідеалізована модель об'єкта. Згідно з прийнятими гіпотезами визначається набір параметрів, що описують стан об'єкта, та перелік законів, що описують поведінку об'єкта, взаємозв'язок між параметрами та об'єкта із навколишнім середовищем.

Важливою складовою концептуальної моделі є вибраний *критерій якості об'єкту*. Призначення критерію – встановлення переважного варіанта виконання об'єкта в задачах оптимізації. Для масових оптимізаційних задач в системах, що знаходяться на нижніх ієрархічних рівнях, в якості критерія оптимальності обирають мінімум зведених витрат. Це показник, що враховує первинні та експлуатаційні витрати в грошових показниках.

Поряд з таким критерієм розглядають і додаткові – екологічні обмеження, перспективність прийнятих рішень з врахуванням технічного прогресу, підвищення продуктивності праці тощо. Чим вищий рівень системи тим більший вплив мають саме додаткові критерії.

Математична постановка задачі (математичний опис об'єкта) – це сукупність математичних співвідношень, що описують поведінку об'єкта моделювання.

Найбільш простий математичний опис складається з алгебраїчних рівнянь. Але область застосування таких моделей дуже обмежена. Для створення моделей складних систем використовують знання, що сконцентровані у аксіомах, теоремах, законах, що мають чітке математичне формулювання.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Відокремлюють закони, справедливі для всіх типів задач і співвідношення, що описують поведінку окремих об'єктів. До першого класу відносяться, наприклад, закони збереження маси, кількості руху і енергії. До другого – співвідношення між параметрами у вигляді рівнянь стану, наприклад, закон Гука, Клапейрона, Стефана-Больцмана та ін. Співвідношення другого класу мало вивчені, іноді навіть необхідно розробляти власні замикаючі співвідношення, наприклад, по інтенсивності тепловіддачі в певних умовах тощо.

В більшості випадків математичний опис об'єкту включає звичайні диференціальні рівняння, особливо для динамічних моделей, диференціальні рівняння у частинних похідних, інтегродиференціальні рівняння тощо. Обов'язковим елементом математичної постановки задачі є прийняті допущення і спрощення при побудові моделі [5].

3.2 Розрахунок водяного контуру дизеля

Вихідні дані до розрахунку охолоджуючого пристрою тепловоза надано в табл. 3.1 [6].

Кількість тепла, що вводиться в дизель тепловоза з паливом

$$Q_{\partial} = \frac{g_e \cdot N_e \cdot Q_H^p}{3600}; \quad (3.1)$$

$$Q_{\partial} = \frac{0.214 \cdot 2130 \cdot 42500}{3600} = 5381,2 \text{ кДж/с.}$$

Тепловідведення в воду дизеля

$$Q_{\partial} = \frac{q_B}{100} \cdot Q_{\partial}; \quad (3.2)$$

$$Q_{\partial} = \frac{14}{100} \cdot 5381,2 = 753,3 \text{ кДж/с.}$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до розрахунку охолоджуючого пристрою тепловоза

Параметр	Значення
Тип дизеля	1А-5Д49
Ефективна потужність дизеля	$N_e = 2130$ кВт
Питома витрата палива дизелем	$g_e = 0,214$ кг/(кВт×год)
Тепловідведення: – в воду дизеля	$q_g = 14\%$
– в масло дизеля	$q_m = 7,8\%$
– в воду, яка охолоджує наддувочне повітря	$q_{nn} = 6,3\%$
Число коліс вентиляторів у холодильній камері	4
Робоча довжина секції холодильної камери	1206 мм
Подача масляного насоса	$B_m = 100$ м ³ /год
Швидкість в теплообміннику: – масла	$v_{mm} = 1,4$ м/с
– води	$v_{BT} = 2,0$ м/с
Розрахункова схема охолоджувального пристрою	Рис. 1.1
Питома теплоємність: – води	$c_v = 4,19$ кДж/(кг · К)
– повітря	$c_p = 1$ кДж/(кг · К)
Нижня теплота згоряння дизельного палива	$Q_H^p = 42500$ кДж/кг
Температура: – води на виході з дизеля	$t_1^g = 90^\circ \text{C}$
– масла на виході з дизеля	$t_1^m = 85^\circ \text{C}$
– зовнішнього повітря	$\tau_1 = 40^\circ \text{C}$
– води на виході з охолоджувача наддувочного повітря	$t_1^{gnm} = 76^\circ \text{C}$
Масова швидкість повітря в водяних секціях	$u_g = 8$ кг/(м ² · с)
Питома маса масла	$\rho_m = 900$ кг/м ³

З табл. Б.1 [8] обираємо розрахункові параметри водяних секцій типу ВВ12:

– площа живого перетину для проходження повітря $\omega_1^6 = 0,149 \text{ м}^2$, а для проходження води – $\omega_2^6 = 0,00132 \text{ м}^2$;

– поверхня теплообміну, що омивається повітрям $F_1^6 = 29,6 \text{ м}^2$.

За кривою (рис. Б.3 [8]) для $u_B = 8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ знаходимо коефіцієнт теплопередачі для стандартних водяних секцій:

$$K_6 = 52,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) = 0,0523 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Витрата води через секції

$$G_6 = \nu_6 \cdot \omega_2^6 \cdot z_6 \cdot \rho_6, \quad (3.3)$$

де ν_B – лінійна швидкість течії води в трубках секцій, $\nu_B = 1 \text{ м/с}$;

$$G_6 = 1 \cdot 0,00132 \cdot z_6 \cdot 1000 = 1,32 z_6. \quad (3.4)$$

Витрата повітря через секції

$$G_n = u_6 \cdot \omega_1^6 \cdot z_6 = 8 \cdot 0,149 \cdot z_6 = 1,192 z_6. \quad (3.5)$$

Система рівнянь теплового балансу [8]

$$\begin{cases} Q_6 = G_6 \cdot c_6 \cdot (t_1^6 - t_2^6); \\ Q_6 = G_n \cdot c_p \cdot (\tau_2^6 - \tau_1); \\ Q_6 = K_6 \cdot F_6 \cdot z_6 \cdot \left(\frac{t_1^6 + t_2^6}{2} - \frac{\tau_1 + \tau_2^6}{2} \right), \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\begin{cases} 753.3 = 1.32z_{\theta} \cdot 4.19 \cdot (90 - t_2^{\theta}), \\ 753.3 = 1.192z_{\theta} \cdot 1 \cdot (\tau_2^{\theta} - 40), \\ 753.3 = 0.0523 \cdot 29.6 \cdot z_{\theta} \cdot \left(\frac{90 + t_2^{\theta}}{2} - \frac{40 + \tau_2^{\theta}}{2} \right), \end{cases} \quad (3.7)$$

Приймаємо $y_{\theta} = \frac{1}{z_{\theta}}$, і після перетворення отримаємо

$$\begin{cases} 136.2y_{\theta} = 90 - t_2^B, \\ 631.96y_{\theta} = \tau_2^B - 40, \\ 973.2y_{\theta} = 50 + t_2^B - \tau_2^B; \end{cases} \quad (3.8)$$

Вирішивши систему рівнянь, отримаємо

$$y_{\theta} = 0.0573 \rightarrow z_{\theta} = 18 \text{ шт.}$$

$$t_2^{\theta} = 82.2^{\circ} \text{ C}, \tau_2^{\theta} = 76.2^{\circ} \text{ C}.$$

3.3 Розрахунок водяного контуру охолодження наддувочного повітря та масла теплообмінника

Кількість тепла відводиться в навколишнє середовище [8]

$$Q_{\theta}^{nm} = \frac{q_m + q_{nm}}{100} \cdot Q_d, \quad (3.9)$$

$$Q_{\theta}^{nm} = \frac{7,8 + 6,3}{100} \cdot 5381,2 = 758,7 \text{ кДж/с.}$$

На підставі даних, що розраховані раніше, складаємо систему рівнянь теплового балансу цього контуру

$$\begin{cases} Q_{\epsilon}^{nm} = G_{\epsilon} \cdot c_{\epsilon} \cdot (t_1^{\epsilon nm} - t_2^{\epsilon nm}), \\ Q_{\epsilon}^{nm} = G_n \cdot c_p \cdot (\tau_2^{\epsilon nm} - \tau_1), \\ Q_{\epsilon}^{nm} = K_{\epsilon} \cdot F_{\epsilon} \cdot z_{\epsilon m} \cdot \left(\frac{t_1^{\epsilon nm} + t_2^{\epsilon nm}}{2} - \frac{\tau_1 + \tau_2^{\epsilon nm}}{2} \right); \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\begin{cases} 758.7 = 1.32 z_{\epsilon m} \cdot 4.19 \cdot (76 - t_2^{\epsilon nm}), \\ 758.7 = 1.192 z_{\epsilon m} \cdot 1 \cdot (\tau_2^{\epsilon nm} - 40), \\ 758.7 = 0.0523 \cdot 29.6 \cdot z_{\epsilon m} \cdot \left(\frac{90 + t_2^{\epsilon m}}{2} - \frac{40 + \tau_2^{\epsilon m}}{2} \right); \end{cases} \quad (3.11)$$

Позначимо $y_{\epsilon m} = \frac{1}{z_{\epsilon m}}$, після перетворення, отримаємо

$$\begin{cases} 137,2 y_{\epsilon m} = 90 - t_2^{\epsilon nm}, \\ 636.5 y_{\epsilon m} = \tau_2^{\epsilon nm} - 40, \\ 980,2 y_{\epsilon m} = 36 + t_2^{\epsilon nm} - \tau_2^{\epsilon nm}; \end{cases} \quad (3.12)$$

Вирішивши систему рівнянь, отримаємо

$$y_{\epsilon m} = 0.0408 \rightarrow z_{\epsilon m} = 26 \text{ шт.}$$

$$t_2^{\epsilon nm} = 70,4^{\circ} \text{ C}, \tau_2^{\epsilon nm} = 66^{\circ} \text{ C}.$$

Згідно з розрахунком, водяний контур охолодження води дизеля має $z_{\text{в}} = 18$ секцій, інший контур (охолодження наддувочного повітря і масла теплообмінника) – $z_{\text{в.м}} = 26$ секцій. Згідно з завданням – система охолодження з однорядним розміщенням водяних секцій, з використанням водомасляного теплообмінника і чотири вентилятори. З огляду на те, що поверхні секцій засмічуються і теплорозсіювальна здатність знижується, а також для більш раціонального розміщення секцій, приймаємо кількість секцій для охолодження води дизеля $z_{\text{в}} = 20$. Тоді в холодильній камері вийде по 23 секції на бік [8].

3.4 Розрахунок теплообмінника

Кількість тепла, яке відводиться в масло

$$Q_{\text{м}} = \frac{q_{\text{м}}}{100} \cdot Q_{\text{д}}; \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{м}} = \frac{7,8}{100} \cdot 5381,2 = 419,7 \text{ кДж/с.}$$

Температура масла на виході з теплообмінника

$$t_2^{\text{м}} = t_1^{\text{м}} - \frac{3600 \cdot Q_{\text{м}}}{\rho_{\text{м}} \cdot B_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}}}, \quad (3.14)$$

де $c_{\text{м}}$ – питома теплоємність масла, для заданого значення $t_1^{\text{м}} = 85^\circ \text{C}$ –

$c_{\text{м}} = 2,07 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$, (рис. Б.1 [8]);

$$t_2^{\text{м}} = t_1^{\text{м}} \cdot \frac{3600 \cdot Q_{\text{м}}}{\rho_{\text{м}} \cdot B_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}}}; \quad (3.15)$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$t_2^M = 85 \cdot \frac{3600 \cdot 419.7}{900 \cdot 100 \cdot 2.07} = 76.9^\circ \text{C}.$$

Витрата води через водомасляний теплообмінник

$$G_{внм} = \frac{B_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}}{3600}, \quad (3.16)$$

де $B_{\text{в}}$ – подача водяного насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$$B_{\text{в}} = 3600 \cdot \nu_{\text{в}} \cdot \varpi_2^{\text{в}} \cdot z_{\text{вм}}; \quad (3.17)$$

$$B_{\text{в}} = 3600 \cdot 1 \cdot 0.00132 \cdot 26 = 123,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$G_{внм} = \frac{123,6 \cdot 1000}{3600} = 34,3 \text{ кг/с}.$$

Температура води на вході в теплообмінник

$$t_3^{внм} = t_2^{внм} + \frac{Q_{\text{м}}}{G_{внм} \cdot c_{\text{в}}}; \quad (3.18)$$

$$t_3^{внм} = 70,4 + \frac{419,7}{34,4 \cdot 4,19} = 73,4^\circ \text{C}.$$

Середня температура води і масла в теплообміннику

$$t_{\text{ср}}^{внм} = \frac{t_2^{внм} + t_3^{внм}}{2}; \quad (3.19)$$

$$t_{\text{ср}}^{внм} = \frac{70,4 + 73,4}{2} = 71,9^\circ \text{C};$$

					0032.150177.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$t_{cp}^M = \frac{t_1^M + t_2^M}{2}; \quad (3.20)$$

$$t_{cp}^M = \frac{85 + 76.9}{2} = 80.95^\circ \text{C}.$$

Площа поверхні теплообміну теплообмінника

$$F_{mo} = \frac{Q_M}{K_{mo} \cdot (t_{cp}^M - t_{cp}^{enM})}, \quad (3.21)$$

де K_{mo} – коефіцієнт теплопередачі теплообмінника, за графіком рис. Б.5 [8]

знаходимо $v_{mt} = 1,4 \text{ м/с}$ и $v_{em} = 2,0 \text{ м/с}$ – $K_{mo} = 0.88 \text{ кВт/(м}^2\text{К)}$

$$F_{mo} = \frac{419.7}{0.88(80.95 - 71.85)} = 52.4 \text{ м}^2$$

Приймаємо діаметр трубок $d = 0,01 \text{ м}$, тоді повна довжина трубок теплообмінника

$$L = \frac{F_{mo}}{\pi \cdot d}; \quad (3.22)$$

$$L = \frac{54,2}{3,14 \cdot 0,01} = 1669 \text{ м}.$$

При робочій довжині трубки $l = 2,0 \text{ м}$ число трубок теплообмінника

$$n_m = \frac{1669}{2} = 835 \text{ шт.}$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3.5 Розрахунок вентилятора холодильної камери

Вибираємо вентилятор типу УК-2М з кутом установки лопатей $\alpha = 30^\circ$ [8]

Опір секцій холодильника

$$h_c = 4,6 \cdot u_g^{1,83}; \quad (3.23)$$

$$h_c = 4,6 \cdot 8^{1,83} = 206,7 \text{ Н/м}^2.$$

Опір жалюзі

$$h_{жс} = 0,2 \cdot h_c; \quad (3.24)$$

$$h_{жс} = 0,2 \cdot 206,7 = 41,34 \text{ Н/м}^2.$$

Опір від звужень, розширень проходів і поворотів повітряного потоку в холодильній камері (шахті холодильника)

$$h_{хк} = 0,8 \cdot h_c; \quad (3.25)$$

$$h_{хк} = 0,8 \cdot 206,7 = 165,4 \text{ Н/м}^2.$$

Динамічні втрати потоку за вентиляторами

$$h_{\partial} = 0,9 \cdot h_c; \quad (3.26)$$

$$h_{\partial} = 0,9 \cdot 206,7 = 186,03 \text{ Н/м}^2.$$

Динамічні втрати потоку за вентилятором

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$h'_{\partial} = \frac{h_{\partial}}{4}; \quad (3.27)$$

$$h'_{\partial} = \frac{186,03}{4} = 46,5 \text{ Н/м}^2$$

Напір вентилятора

$$H_{\partial} = h_{жс} + h_c + h_{хк} + h'_{\partial}; \quad (3.28)$$

$$H_{\partial} = 41,34 + 206,7 + 165,4 + 46,5 = 459,9 \text{ Н/м}^2.$$

Витрата повітря через секції холодильної камери

$$G_n^{\partial} = U_{\partial} \cdot \omega_1^{\partial} \cdot z_{\partial}; \quad (3.29)$$

$$G_n^{\partial} = 8 \cdot 0.149 \cdot 20 = 23.8 \text{ м/с.}$$

$$G_n^{\partial nm} = U_{\partial} \cdot \omega_1^{\partial} \cdot z_{\partial m}; \quad (3.30)$$

$$G_n^{\partial nm} = 8 \cdot 0.149 \cdot 26 = 31 \text{ м/с.}$$

Щільність повітря перед вентилятором

$$\rho_n = \frac{100000}{R_n \cdot (\tau_{2cp} + 273)}, \quad (3.31)$$

де R_n – питома газова стала повітря, $R_n = 287 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;

τ_{2cp} – середня температура повітря в холодильній камері, $^{\circ}\text{C}$;

$$\tau_{2cp} = \frac{\sum_{i=1}^K (G_n^i \cdot \tau_2^i)}{\sum_{i=1}^K G_n^i} = \frac{(G_n^6 \cdot \tau_2^6) + (G_n^{6nm} \cdot \tau_2^{6nm})}{G_n^6 + G_n^{6nm}}; \quad (3.32)$$

$$\tau_{2cp} = \frac{(23,8 \cdot 76,2) + (31 \cdot 66)}{23,8 + 31} = 70,4^\circ C.$$

$$\rho_n = \frac{100000}{287 \cdot (70,4 + 273)} = 1,015 \text{ кг/м}^3.$$

Подача вентиляторів

$$B = \frac{G_n^6 + G_n^{6nm}}{\rho_n}; \quad (3.33)$$

$$B = \frac{31 + 23,8}{1,015} = 54 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Подача одного вентилятора

$$B' = \frac{B}{4}; \quad (3.34)$$

$$B' = \frac{54}{4} = 13,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По графіку (рис. Б.6 [8]) визначаємо, що максимальний ККД ($\eta_{6max} = 0.83$) при $\alpha = 30^\circ$ досягається при $\bar{B} = 0.3$, що відповідає $\bar{H} = 0.078$.

Вимірювач подачі вентилятора

$$K_6 = \frac{B'}{\bar{B}}; \quad (3.35)$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$K_{\epsilon} = \frac{13.5}{0.3} = 45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вимірювач напору

$$K_H = \frac{H_{\epsilon}}{\bar{H}}; \quad (3.36)$$

$$K_H = \frac{459.9}{0.078} = 5896 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр вентиляторного колеса

$$D_K = 4 \sqrt[4]{\frac{16 \cdot \rho_n}{\pi^2} \cdot \frac{K_{\epsilon}^2}{K_H}}; \quad (3.37)$$

$$D_K = 4 \sqrt[4]{\frac{16 \cdot 1,015}{3,14^2} \cdot \frac{45^2}{5896}} = 0,87 \text{ м}.$$

Частота обертання вентилятора колеса

$$n = 4 \sqrt[4]{\frac{1}{16 \cdot \pi^2 \cdot \rho_n^3} \cdot \frac{K_H^3}{K_{\epsilon}^2}}; \quad (3.38)$$

$$n = 4 \sqrt[4]{\frac{1}{16 \cdot 3,14^2 \cdot 1,015^3} \cdot \frac{5896^3}{45^2}} = 28,0 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність, яка витрачається на привід вентилятора

$$N_{\epsilon} = \frac{B' \cdot H_{\epsilon}}{1000 \cdot \eta_{\epsilon \max}}; \quad (3.39)$$

$$N_{\epsilon} = \frac{13.5 \cdot 459.9}{1000 \cdot 0.83} = 7.48 \text{ кВт}.$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		53

4 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ТЕПЛОНОСІЯ ПРИ ПІДВИЩЕННІ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ

При розрахунках показників надійності систем охолодження силових установок тепловозів було виявлено, що відмови, які викликають непланові ремонти, виникають через зміну характеристик датчика-реле температури. При збільшенні температури спрацьовування будь-якого з датчиків на 1-2 градуси, відбувається загальне збільшення температури всієї силової установки, зокрема й теплонапружених елементів, таких як циліндрово-поршнева група, циліндрові кришки та ін. [10].

Пропонуємо замінити штатні датчики-реле температури на датчики цифрового типу (DS18B20). Вони мають достатньо високий ресурс використання й не контактують безпосередньо з рідиною. Для опитування цих датчиків необхідно застосовувати мікроконтролери, наприклад типу АТМega. Виконуючі елементи відкривання жалюзі пропонуємо замінити на крокові двигуни.

4.1 Концепція систем керування температурою теплоносія силових установок тепловозів

4.1.1 Класифікація автоматичних систем керування

Автоматична система керування – це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв [10].

На відміну від автоматизованої системи керування ця система самодіюча і реалізує встановлені функції процесу автоматично, без участі людини (крім етапів пуску та налагодження системи). На практиці часто послуговуються терміном-аналогом система автоматичного керування (САК).

Автоматичним регулюванням називають підтримку на заданому рівні певної фізичної величини, що характеризує процес, або зміну її згідно із заданим законом.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Автоматичне керування – ширше поняття, в цьому випадку здійснюється сукупність впливів на процес, вибраних з певної множини можливих.

Автоматичні систем керування можна класифікувати за різними ознаками:

- інформативним принципом;
- кількістю керованих параметрів і контурів;
- виглядом статичних і динамічних характеристик;
- структурними особливостями тощо.

Одним з поширених принципів класифікації автоматичних систем керування на сьогодні при бурхливому розвитку інформаційних технологій є інформативний, в основі якого лежать особливості здобуття і використання інформації. Відповідно до цього принципу виділяють системи: з повною і з неповною початковою інформацією. Перші називають звичайними, вони мають початкову інформацію, достатню для розв'язання поставленого завдання на період всього часу роботи системи. З неповною початковою інформацією або кібернетичні є системами, які для розв'язання поставлених завдань повинні в процесі роботи діставати додаткову інформацію, аналіз якої дає змогу сформулювати потрібні команди керування. Їх можна розділити на дві характерні групи, що відрізняються як принципом керування, так і особливостями функціонування. Перша – це замкнуті автоматичні систем керування відносно вихідної (керованої) величини, що діють на основі принципу керування за відхиленням керованої величини, їх ще називають системами із зворотним зв'язком. Друга – розімкнуті автоматичні систем керування відносно тієї ж величини, що базуються на принципі керування за збуренням.

Замкнуті, в свою чергу, бувають трьох видів: стабілізації, програмні й слідкуючі.

Системи стабілізації повинні забезпечувати стале значення керованої величини.

Програмні автоматичні системи керування повинні забезпечувати зміну керованої величини за деякою заздалегідь відомою програмою.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Слідкуючі автоматичні системи керування також забезпечують зміну керованої величини за деякою заздалегідь відомою програмою, але принципова їх відмінність від програмних систем полягає в тому, що потрібний для виконання закон зміни керованої величини заздалегідь не відомий, а формується в ході роботи системи.

Розімкнуті бувають двох видів: компенсаційні й програмного керування.

Компенсаційні забезпечують формування таких сигналів керування на вході об'єкта, які компенсують дію на нього відповідного збурення.

Системи програмного керування, на відміну від програмних автоматичних систем керування, крім того, що мають розімкнуту схему, повинні згідно із заданою заздалегідь програмою ще й забезпечувати відповідну зміну режиму роботи об'єкта.

Статичні й астатичні автоматичні системи керування. Основною з ознак цих систем є вигляд керувальної характеристики, що показує залежність керованої величини в статичному положенні від витрат робочого середовища.

Неперервною є система, в якій структура всіх зв'язків у процесі роботи не змінюється і величина на виході кожного елемента є неперервною функцією збурення (вхідної величини) і часу. В перервних системах при роботі системи можливі зміни структури зв'язків, через що сигнали на виході елементів або системи є перервною функцією часу або вхідної величини. Існують два види перервних систем – релейні й імпульсні. Релейною (імпульсною) називають систему, в складі якої є хоча б одна релейна (імпульсна) ланка (елемент), що має релейну (імпульсну) характеристику [10].

4.1.2 Загальні характеристики ланок автоматичних систем контролю

Властивості автоматичних систем контролю багато в чому залежать від особливостей ланок, з яких складається відповідна система. Загальним призначенням ланок є якісне і кількісне перетворення сигналів, що надходять від попередньої ланки системи, і передача їх до наступної ланки. За допомогою

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

відповідних ланок виконуються вимірні, керуючі, виконавчі та інші функції в систем. За характером цих функцій ланки поділяються на: вимірювальні (чутливі), підсилювачі, стабілізатори, реле, електричні двигуни, логічні ланки. Вимірювальні ланки перетворюють неелектричні величини (температуру, тиск, витрати, рівень тощо) в параметри електричних сигналів. Підсилювачі мають ту особливість, що їх вхідна і вихідна величини є величинами одного і того самого типу, а зростання вихідної величини ланки здійснюється за рахунок потужності зовнішнього джерела електричної мережі. Стабілізатори підтримують вихідну величину на сталому рівні при зміні вхідної величини. Електричний двигун – ланка, яку використовують в автоматичних системах контролю як силовий привод об'єкта керування (насоса, компресора, вентилятора тощо) або допоміжний двигун (сервопривод), що приводить у дію виконавчі механізми системи.

Отже, для нашого випадку найбільш підходить розімкнута системи програмного керування з астатичною характеристикою.

Для передаточних ланок підходять вимірювальні прилади, описані в розділі 2, а також програмний мікроконтролер типу Atmega328 та кроковий двигун лінійного переміщення.

4.2 Апаратна частина системи керування температурою теплоносія силової установки

4.2.1 Опис та характеристики мікроконтролера ATmega328

Мікроконтролер ATmega328 є 8-ми розрядним CMOS мікроконтролером з низьким енергоспоживанням, заснованим на вдосконаленій AVR RISC архітектурі.

ATmega328/P – мікроконтролер сімейства AVR, як і всі інші має 8-бітний процесор і дозволяє виконувати більшість команд за один такт.

Пам'ять:

- 32 kB Flash (пам'ять програм, що має можливість самопрограмування);

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- 2 кВ оперативно запам'ятовуючих пристроїв;
- 1 кВ EEPROM (постійна пам'ять даних).

Периферійні пристрої:

- два 8-бітних таймера / лічильника з модулів порівняння і дільниками частоти;
- 16-бітний таймер / лічильник з модулем порівняння і дільником частоти, а також з режимом запису;
- лічильник реального часу з окремим генератором;
- шість каналів ШІМ (аналог ЦАП);
- 6-канальний ЦАП з вбудованим датчиком температури;
- програмований послідовний порт USART;
- послідовний інтерфейс SPI;
- інтерфейс I2C;
- програмований очікувальний таймер з окремим внутрішнім генератором;
- внутрішня схема порівняння напруг;
- блок обробки переривань і пробудження при зміні напруги на висновках мікроконтролера

Спеціальні функції мікроконтролера ATmega328:

- скидання при включенні живлення і програмне розпізнавання зниження напруги живлення;
- внутрішній тактовий генератор;
- обробка внутрішніх і зовнішніх переривань;
- 6 режимів сну (знижене енергоспоживання і зниження шумів для більш точного перетворення АЦП);

Напруги живлення та швидкість процесора:

- 1,8 – 5,5 В при частоті до 4 МГц;
- 2,7 – 5,5 В при частоті до 10 МГц;
- 4,5 – 5,5 В при частоті до 20 МГц.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

4.2.2 Крокові двигуни

Крокові двигуни (КД) – безщіткові двигуни постійного струму, які перетворюють електричні імпульси напруги керування в дискретні кутові або лінійні переміщення ротора з можливою його фіксацією в потрібних положеннях.

Переваги крокового двигуна:

- кут повороту ротора визначається числом імпульсів, які подані на драйвер, немає необхідності у зворотному зв'язку, а швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів;
- точне позиціонування і повторюваність, помилка не накопичується від кроку до кроку;
- швидкий старт, реверс;
- можливість отримання низьких швидкостей, а отже, відсутня необхідність у застосуванні редуктора;
- відсутність колектора, отже, висока надійність;
- у двигунах з постійними магнітами є фіксуючий момент (коли статор знеструмлений), рівний приблизно 10% від моменту утримання.

Недоліки крокового двигуна:

- Номінальне споживання потужності, навіть без навантаження (окрім режиму очікування);
- можливий пропуск кроку, отже, втрата контролю положення;
- явище резонансу (момент дорівнює нулю на частоті резонансу);
- низька питома потужність крокового приводу;
- складності керування на високих швидкостях;
- ускладнена робота на високих швидкостях, внаслідок не миттєвого наростання струму.

По конструкції крокові двигуни діляться на три основні типи:

- двигуни зі змінним магнітним опором (реактивні);
- двигуни з постійними магнітами;
- гібридні двигуни.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

За способом живлення КД бувають біполярні та уніполярні (рис. 4.1).

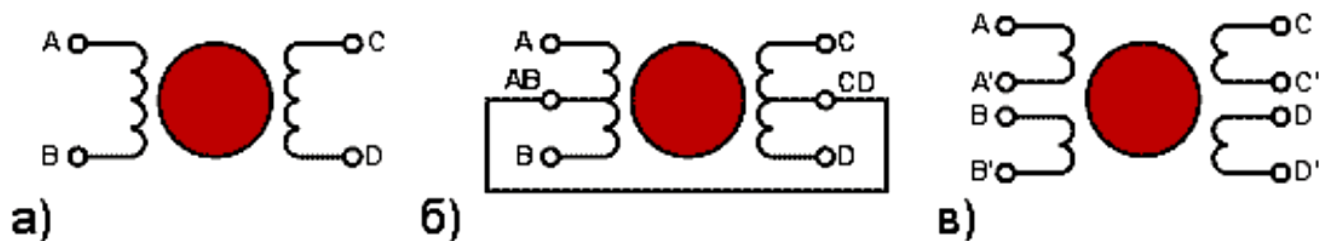


Рисунок 4.1 – Типи крокових двигунів:

Біполярний КД (а), уніполярний (б) и чотирьохобмотковий (в)

Уніполярний (однополярний) КД оснащено однією обмоткою в кожній фазі, середина обмотки має вивід. Кожна секція обмотки включається так, щоб забезпечувати певний напрям магнітного поля. Біполярні крокові двигуни з постійними магнітами сконструйовані більш простіше, ніж уніполярні двигуни, обмотки в них не мають центрального відведення. Принцип дії всіх КД заснований на дискретній зміні стану електромагнітного поля в повітряному проміжку. Це досягається імпульсним збудженням (або перемиканням) її обмоток. Цим вимогам відповідає широкий клас пристроїв: електромагніти з поворотною пружиною храповим, анкерним або фрикційним механізмом, синхронні електричні машини, асинхронні електричні машини з пустотілим ротором, сельсини.

Лінійні крокові двигуни (рис. 4.2) (актуатори) – це об'єднання крокового двигуна і гвинтової передачі, виконаних в єдиному блоці. Це компактне і надійне рішення перетворення обертання двигуна в лінійне переміщення.

Оскільки кроковий двигун з прямим приводом може не впоратись з поставленою задачею за браком потужності, пропонуємо використати кроковий двигун з лінійним редукторним приводом (рис. 4.3).

Даний тип привода забезпечить переміщення шестерні приводу розподільчого валу для коригування кута випередження подачі палива, а лінійний кроковий двигун (рис. 4.2) доцільно використовувати як окремий індивідуальний привод жалюзі.



Рисунок 4.2 – Лінійний кроковий двигун



Рисунок 4.3 – Кроковий двигун з лінійним редукторним приводом

4.2.3 Н-міст керування кроковим двигуном

Н-міст – це електронна схема, яка дає можливість прикласти напругу до навантаження в різних напрямках. Ця схема дуже часто використовується в робототехніці, щоб змінювати напрямок обертання мотора. Н-мости представлені у вигляді інтегральних схем, а також можуть бути побудовані з окремих радіодеталей.

Термін Н-міст з'явився завдяки графічному зображенню цієї схеми

(рис. 4.4), що нагадує букву Н. Н-міст збирається з 4 перемикачів, електронних або механічних. Коли ключі S1 і S4 замкнуті, а S2 і S3 розімкнуті, мотор крутиться в одну сторону, коли ж S2 і S3 замкнуті, а S1 і S4 розімкнуті, мотор крутиться в іншу сторону. Також Н-міст надає можливість електрично гальмувати обертання двигуна, коротко замикаючи його виводи.

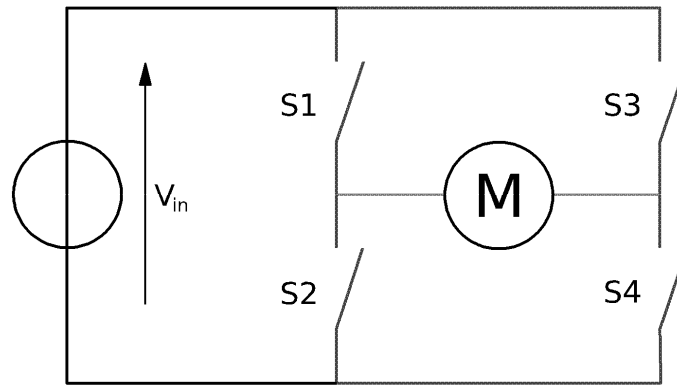


Рисунок 4.4 – Структура Н-моста

Також зі схеми випливає, що ключі S1 і S2, або S3 і S4 ніколи не повинні замикатися разом, так як це призведе до короткого замикання джерела живлення.

Зазвичай Н-міст використовується для зміни полярності живлення мотора (реверс), але також він може і гальмувати мотор, коротко замикаючи його висновки (в разі простого мотора постійного струму). Таблиця нижче показує, чого можна домогтися, змінюючи стан ключів S1-S4 (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Стани Н-моста

S1	S2	S3	S4	Результат
1	0	0	1	Мотор крутиться вправо
0	1	1	0	Мотор крутиться вліво
0	0	0	0	Вільне обертання мотора
0	1	0	1	мотор гальмується
1	0	1	0	мотор гальмується
1	1	0	0	Коротке замикання джерела живлення
0	0	1	1	Коротке замикання джерела живлення

Дуже часто Н-мости будуються з приладів зворотної полярності, таких як біполярні транзистори типу р-п-р або польових транзисторів з р-каналом, підключених до біполярним транзисторам типу n-р-n або польовим з n-каналом.

Часто використовуються польові транзистори з ізольованим затвором в зв'язку з їх здатністю перемикати великі струми, а також низьким опором відкритого каналу, але в радіоаматорських і малопотужних схемах часто присутні біполярні транзистори.

Для керування кроковим двигуном системи керування температурою пропонуємо використовувати два Н-мости (для окремих обмоток КД) (рис. 4.5).

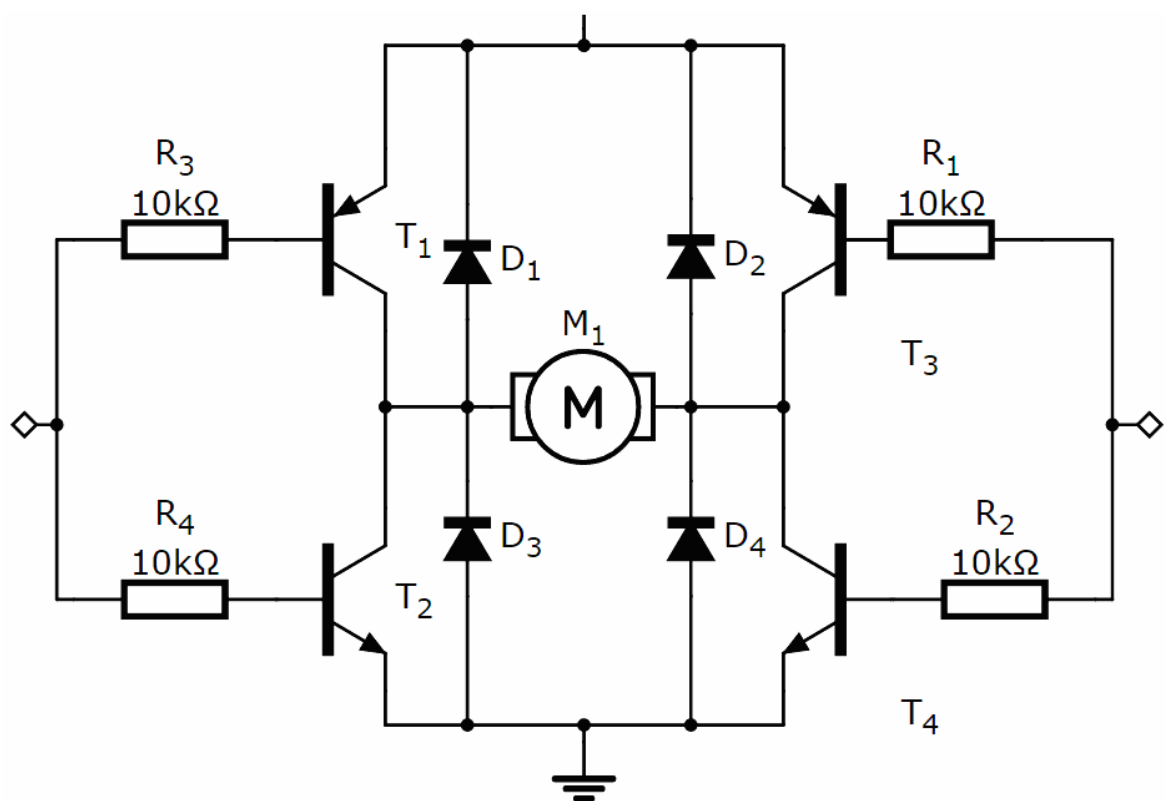


Рисунок 4.5 – Н-міст керування кроковим двигуном системи керування температурою

4.3 Програмування електронної частини системи керування температурою теплоносія силової установки

Керування Н-мостом передбачає подачу імпульсів на відповідні входи –

обмотки крокового двигуна.

```
int Mas[32] = {1,1,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1};
int ob; //обертання ротора, задається іншим модулем програми
int p = 5; //пауза між полукроками
int rotation = 0; //напрям обертання
int cikl = 0; //кількість обертів
byte A = 2; //виводи до підключення Н-моста
byte B = 3;
byte C = 4;
byte D = 5;
byte i = 0; //індекс полукрока
void setup()
{
  pinMode(A, OUTPUT);
  pinMode(B, OUTPUT);
  pinMode(C, OUTPUT);
  pinMode(D, OUTPUT);
}
void loop()
{
  while (cikl != ob) {
    if (rotation == 0)
    {
      for (i = 0; i <= 7; i++)
      {
        digitalWrite (A, Mas[i]);
        digitalWrite (B, Mas[i+8]);
        digitalWrite (C, Mas[i+16]);
        digitalWrite (D, Mas[i+24]);
```

```

    delay (p);
};
};
if (rotation == 1)
{
    for (i = 7; i == 0; i--)
    {
        digitalWrite (A, Mas[i]);
        digitalWrite (B, Mas[i+8]);
        digitalWrite (C, Mas[i+16]);
        digitalWrite (D, Mas[i+24]);
        delay (p);
    };
};
cikl++;
};
}

```

Отже, програмування мікроконтролера дозволяє досягти високої швидкодії та точності для керування приводами жалюзі.

4.4 Компонування системи керування температурою теплоносія силової установки

Описана система керування температурою теплоносія силової установки є електро-електронно-механічною. Взявши за основу наявну механічну систему приводу жалюзі та електричну схему включення вентиляторів, додаванням до неї електронних компонентів, отримуємо систему, яка є більш надійною та дозволяє підтримувати температуру силової установки в більш усталеному режимі (рис. 4.6).

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

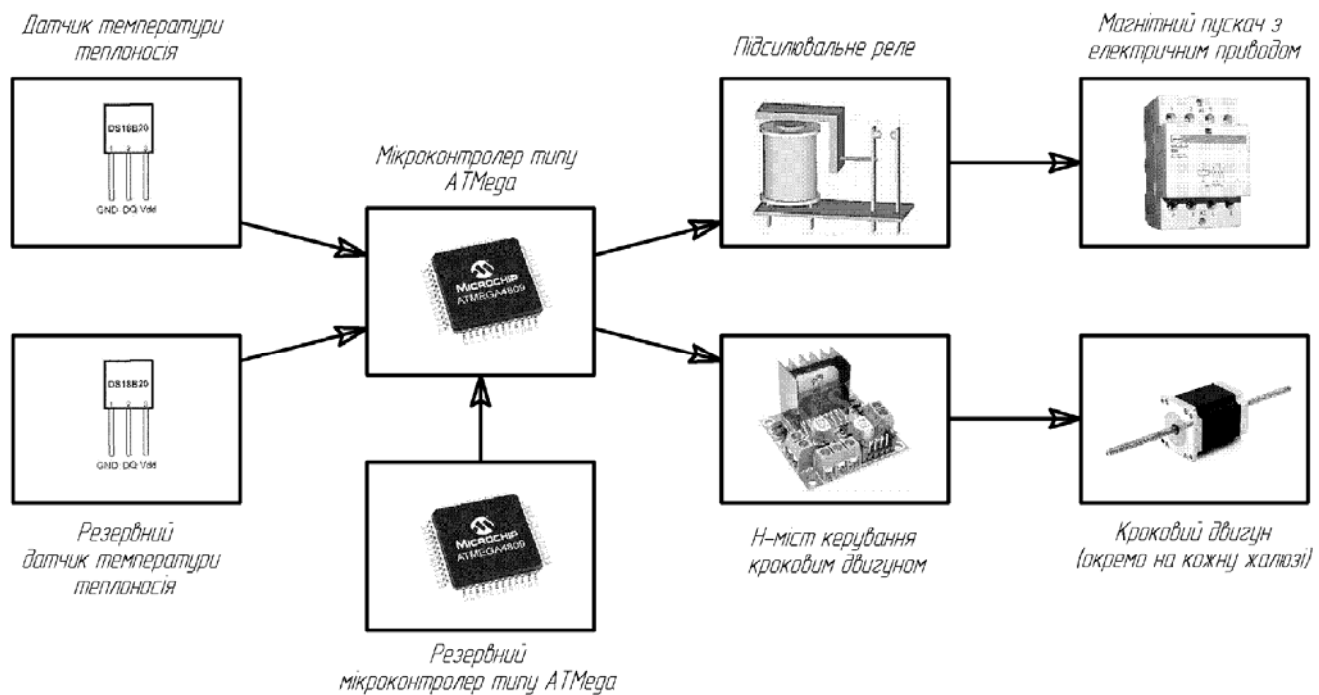


Рисунок 4.6 – Електро-електронно-механічна система керування температурою теплоносія силової установки

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ТЕПЛОНОСІЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ПРИ ПІДВИЩЕННІ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ

5.1 Підвищення ефективності виробництва

Підвищенню ефективності виробництва надається велике значення. Для рішення цієї задачі необхідно безупинне удосконалення планування та керування виробництвом, прийняття оптимальних рішень у різних виробничих ситуаціях, використання науково обґрунтованих методів визначення його економічної ефективності [12].

До числа найважливіших факторів, що забезпечують ефективність системи керування локомотивним депо, можна віднести наступні:

- одержання всіма підрозділами підприємства більш повної, достовірної, своєчасної та об'єктивної інформації про хід виконання як окремих ремонтних робіт, так і локомотивів у цілому;
- можливість різноманітних розрахунків та коригування розроблених планів ремонтних робіт; якісний техніко-економічний аналіз результатів роботи як окремих підрозділів, так і в цілому по підприємству;
- створення умов для безупинного обліку та контролю за ходом ремонту локомотивів й досягнення на цій основі узгодженої роботи всіх підрозділів підприємства, постійної координації та коригування планів та графіків ремонту локомотивів у процесі виконання робіт.

Усі зазначені фактори впливають на такі результати діяльності підприємства, як:

- скорочення втрат робочого часу робітників, поліпшення використання виробничої потужності підприємства, зниження витрати основних засобів;
- зниження витрат на допоміжні виробництва при ремонті локомотива;
- прискорення оборотності оборотних коштів.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Таким чином, удосконалювання організації виробництва забезпечує зниження трудових та грошових ресурсів на ремонт локомотивів.

Економічний ефект від проведених заходів значною мірою визначається конкретними умовами і включає наступні показники:

- зниження витрат праці робітників на ремонт локомотивів;
- скорочення амортизаційних відрахувань унаслідок зменшення локомотивного парку;
- економія від скорочення плати за користування основними фондами.

У цілому всі ці показники в остаточному підсумку впливають на зниження собівартості ремонту локомотивів.

Економічний ефект від застосування нових методів організації ремонтного виробництва підприємства можна підраховувати окремо по кожному виду та серії локомотивів й по кожному виду ремонту, чи по усіх видах ремонту разом, якщо система одночасно впроваджена для декількох видів ремонту і серій локомотивів.

При оцінці ефекту варто враховувати комплексно:

- скорочення простою локомотивів у ремонті та збільшення часу їхньої корисної роботи;
- зниження собівартості ремонту;
- скорочення трудових ресурсів;
- економію, отриману за рахунок упровадження раціоналізаторських пропозицій та інших заходів [12].

5.2 Витрати підприємства та їх облік

Облік витрат на підприємстві ведеться на основі Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 16 “Витрати” [12].

Витрати виробництва – це спожиті в процесі виробництва засоби виробництва, які втілюють у собі минулу працю (сировину, матеріали, амортизацію основних засобів, працю робітників, зайнятих у процесі виробництва) з відповідними на неї нарахуваннями та ін.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Елементи витрат – це сукупність економічно однорідних витрат. Витрати групуються за такими елементами: витрати на оплату праці; відрахування на соціальні заходи; матеріали; паливо; електроенергія; амортизація; інші витрати.

Перелік і склад статей калькулювання виробничої собівартості продукції (робіт, послуг) визначено Номенклатурою витрат по основній діяльності підприємств залізничного транспорту України, затвердженої [13]. Номенклатура витрат являє собою класифікацію витрат підприємств залізничного транспорту на перевезення та допоміжні виробництва.

5.3 Розрахунок статей витрат на модернізацію системи керування температурою теплоносія силової установки

Для розробки повного кошторису необхідно розробити окремі кошториси для демонтажу старого обладнання, реконструкції тепловоза під нове обладнання і, власне, монтажу нового обладнання.

Заробітну плату слюсарів ремонтників розрахуємо наступним чином:

$$ГТС = \frac{З_c}{Д_c}, \quad (5.1)$$

де $ГТС$ – тарифна годинна ставка слюсарів-ремонтників;

$З_c$ – середньомісячна заробітна плата слюсарів-ремонтників п'ятого розряду.

Згідно даних підприємства приймаємо $З_c = 5250$ грн.

$Д_c$ – середньорічна кількість годин в місяці. Приймаємо $Д_c = 168,3$ год.

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$T_{\text{год}} = \frac{5250}{168,3} = 31,5 \text{ грн.}$$

					0032.150177.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

5.4 Визначення капітальних витрат, пов'язаних з модернізацією системи керування температурою теплоносія силової установки

Розраховуємо капітальні витрати на закупівлю та встановлення нового обладнання.

Матеріальні витрати B_m на нове обладнання для модернізації системи керування температурою теплоносія силової установки тепловоза 2ТЭ116 складають

$$K_1 = C \cdot m, \quad (5.2)$$

де C – вартість механізмів, іншого устаткування;

m – кількість механізмів, іншого устаткування, що впроваджуються, $m=1$.

Вартість системи керування температурою теплоносія силової установки $C = 61319$ грн.

$$K_1 = 61319 \cdot 1 = 61319 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці встановлення обладнання $B_{з/н}$ чотирьох слюсарів

$$B_{з/н} = ГТС \cdot t \cdot 4 \quad (5.3)$$

де t – фактичний час роботи слюсаря по встановленню обладнання та підключення заземлення, $t=24$ год.

$$B_{з/н} = 31,5 \cdot 24 \cdot 4 = 2442,24 \text{ грн.}$$

Відрахування до соціальних фондів B_{cc} складають

$$B_{cc} = B_{з/н} \cdot 0,371; \quad (5.4)$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{cc} = 2442,24 \cdot 0,371 = 906,06 \text{ грн.}$$

Амортизація $A_{відр}$ на проведення ремонту складає

$$A_{відр} = \frac{B_{перв} - B_{лікв}}{T_{кор.в}} \cdot t, \quad (5.5)$$

де $B_{перв}$ – балансова вартість основних засобів;

$B_{лікв}$ – ліквідаційна вартість основних засобів;

$T_{кор.в}$ – термін корисного використання основних засобів;

t – час використання основних засобів при встановленні стенда.

Для встановлення системи використовується шліфмашина кутова, вартість якої складає $B_{перв}=1200$ грн. Ліквідаційна вартість складає $B_{лікв}=140$ грн. Термін корисного використання $T_{кор.в}=2$ роки. При середньорічній кількості годин в місяці $D_c=168,3$ год, $T_{кор.в}=4039,2$ год. Час використання шліф машини при модернізації тепловоза складає $t=6$ год.

$$A_{відр} = \frac{1200 - 140}{4039,2} \cdot 6 = 1,57 \text{ грн.}$$

Прямі витрати $B_{прям}$ на монтаж обладнання складають

$$B_{прям} = B_{з/н} + B_{cc} + A_{відр}; \quad (5.6)$$

$$B_{прям} = 2442,24 + 906,06 + 1,57 = 3349,87 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання загально виробничого та адміністративного персоналу

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$B_{\text{заг.вир}} = B_{\text{прям}} \cdot 0,45; \quad (5.7)$$

$$B_{\text{заг.вир}} = 3349,87 \cdot 0,45 = 1507,44 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{заг.госп}} = B_{\text{прям}} \cdot 0,55; \quad (5.8)$$

$$B_{\text{заг.госп}} = 3349,87 \cdot 0,55 = 1842,43 \text{ грн.}$$

Витрати на встановлення обладнання K_2 складають

$$K_2 = B_{\text{прям}} + B_{\text{заг.вир}} + B_{\text{заг.госп}};$$

$$K_2 = 3349,87 + 1507,44 + 1842,43 = 6699,74 \text{ грн.}$$

Загальні капітальні витрати складають

$$K = K_1 + K_2; \quad (5.9)$$

$$K = 61319,00 + 6699,74 = 68018,74 \text{ грн.}$$

5.5 Витрати на ремонт тепловоза до модернізації системи керування температурою теплоносія силової установки

Матеріальні витрати B_m на ремонт тепловоза, який пов'язано зі пошкодженням або відмовою системи охолодження полягає в заміні вузлів, які вийшли з ладу та не підлягають відновленню. За рік матеріальні витрати складають $B_m = 12359,23$ грн (за даними депо).

Витрати на оплату праці $B_{з/п}$ при виконанні ТО та ПР (за рік для одного тепловоза 2ТЭ116 час ТО та ПР складає 155,2 год) складають при фактичному часі роботи слюсаря, трудомісткості ТО та ПР системи охолодження складає 1,8% від загальної, тому приймаємо час виконання відповідних операцій 1,8%

					0032.150177.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$B_{з/n} = 31,5 \cdot 155,2 \cdot \frac{1,8}{100} = 87,80 \text{ грн.}$$

Відрахування до соціальних фондів B_{cc} складають

$$B_{cc} = 87,80 \cdot 0,371 = 32,57 \text{ грн.}$$

Амортизація $A_{відр}$ на проведення ремонту складає при балансовій вартості основних засобів при $B_{перв} = 120000$ грн, ліквідаційній вартості основних засобів $B_{лікв} = 20000$ грн, термін корисного використання основних засобів $T_{кор.в} = 5$ років.

$$A_{відр} = \frac{120000 - 20000}{5} = 5000 \text{ грн.}$$

Прямі витрати $B_{прям}$ складають суму вище перерахованих

$$B_{прям} = 87,80 + 32,57 + 5000 = 5120,37 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання загально виробничого та адміністративного персоналу $B_{заг.вир}$

$$B_{заг.вир} = 5120,37 \cdot 0,45 = 2304,16 \text{ грн;}$$

$$B_{заг.госп} = 5120,37 \cdot 0,55 = 2816,20 \text{ грн.}$$

Собівартість ТО та ПР C_1 одного тепловоза за наявною технологією складає

$$C_1 = B_{м} + B_{прям} + B_{заг.вир} + B_{заг.госп}; \quad (5.10)$$

$$C_1 = 12359,23 + 5120,37 + 2304,16 + 2816,20 = 22599,96 \text{ грн.}$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

5.6 Витрати на ремонт тепловоза після модернізації системи керування температурою теплоносія силової установки

За умови вірного проведення ТО та ПР складових вузлів, напрацювання має відповідати напрацювання тепловоза до капітального ремонту. Тому приймаємо для розрахунків $B_m = 0$ грн.

Трудомісткість ТО та ПР привода вентилятора холодильника після модернізації складає 1,0% від загальної за рахунок впровадження електричних машин, тому приймаємо час виконання відповідних операції 1,0%

$$B_{з/н} = 31,5 \cdot 155,2 \cdot \frac{1,0}{100} = 48,80 \text{ грн.}$$

Відрахування до соціальних фондів B_{cc} складають

$$B_{cc} = 48,80 \cdot 0,371 = 18,10 \text{ грн.}$$

Амортизація $A_{відр}$ на проведення ремонту складає

$$A_{відр} = \frac{120000 - 20000}{5} = 5000 \text{ грн.}$$

Прямі витрати $B_{прям}$ складають суму вище перерахованих

$$B_{прям} = 48,80 + 18,10 + 5000 = 5066,90 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання загально виробничого та адміністративного персоналу $B_{заг.вир}$

$$B_{заг.вир} = 5066,90 \cdot 0,45 = 2280,11 \text{ грн.}$$

$$B_{заг.госп} = 5066,90 \cdot 0,55 = 2786,80 \text{ грн.}$$

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Собівартість ТО та ПР C_2 одного тепловоза за новою технологією складає

$$C_2 = B_m + B_{\text{прям}} + B_{\text{заг.вир}} + B_{\text{заг.госп}};$$

$$C_2 = 5066,90 + 2880,11 + 2786,80 = 10733,81 \text{ грн.}$$

5.7 Термін окупності та економічний ефект підвищення надійності системи керування температурою теплоносія силової установки

Термін окупності $T_{ок}$ визначається за формулою

$$T_{ок} = \frac{K}{C_1 - C_2}, \quad (5.11)$$

де K – капітальні витрати пов'язані з впровадженням технології;

$$T_{ок} = \frac{68018,74}{22599,96 - 10733,81} = 5,73 \text{ років.}$$

Величина економічного ефекту визначається за формулою

$$E = C_1 - C_2; \quad (5.12)$$

$$E = 22599,96 - 10733,81 = 11866,15 \text{ грн.}$$

Отже можна зробити висновок, що модернізація системи керування температурою теплоносія силової установки є доцільним рішенням. Термін окупності технології складає $T_{ок}=5,7$ років при переобладнанні одного тепловоза. Річний економічний ефект складає $E=11866,15$ грн.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

ВИСНОВКИ

При розробці даної магістерської дипломної роботи, ми провели детальний аналіз будови та роботи системи керування температурою теплоносія силових установок тепловозів.

В першому розділі дослідження виконано огляд системи охолодження тепловоза 2ТЭ116. Розглянуто принцип роботи та основні елементи системи, в тому числі елементи, які відповідають за автоматизацію її роботи. Для надійної роботи системи охолодження наведено вимоги до охолоджуючої рідини, яка повинна забезпечувати робочі температурні діапазони – не замерзати і кипіти в усьому робочому діапазоні температур двигуна; легко прокачуватися при цих температурах; не кипіти й не пінитися; не впливати на матеріали системи охолодження; бути стабільною в експлуатації й при зберіганні; мати високу теплопровідність і теплоємність.

В другому розділі пояснювальної записки проаналізовано показники надійності систем охолодження силових установок тепловозів. Розраховано основні характеристики та закон розподілу напрацювання систем охолодження силових установок тепловозів до відмови для $N=353$ раптових відмов систем охолодження силових установок тепловозів, зібраних за статистичними даними локомотивних депо. Визначено за критеріями Пірсона та Романовського, що гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини – відмов систем охолодження, спростовується, тобто робити прогнозну оцінку надійної роботи систем охолодження є недоцільним рішенням, наприклад при переході на систему ремонту по технічному стану. Це пояснюється великою кількістю елементів системи, абсолютно різних за призначенням, принципом роботи та інших параметрів. Тому для більш детального аналізу необхідно розбивати систему охолодження на більш дрібні елементи, наприклад гідравлічні, електричні, механічні та ін.

Розрахунок кількісних характеристик надійності за статистичним даними про відмови систем охолодження силових установок тепловозів, таких як

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

імовірність безвідмовної роботи, частота відмов та інтенсивність відмов, підтвердив справедливості наданих висновків.

Для розрахунку параметрів охолоджуючого пристрою тепловоза та потужності привода вентиляторів складено математичну модель, за допомогою якої розраховано параметри теплового балансу водяного контуру дизеля, водяного контуру охолодження наддувочного повітря та масла теплообмінника; термічні й геометричні параметри теплообмінника та вентилятора холодильної камери та його привода.

Для підвищення експлуатаційної надійності систем охолодження силових установок тепловозів розглянуто концепцію систем керування температурою теплоносія, в тому числі сучасного дизелебудування. Оскільки при розрахунках показників надійності систем охолодження силових установок тепловозів було виявлено, що раптові відмови, які викликають непланові ремонти, виникають через зміну характеристик датчика-реле температури, запропоновано його замінити. При збільшенні температури спрацьовування будь-якого з датчиків на 1-2 градуси, відбувається загальне збільшення температури всієї силової установки, зокрема й теплонапружених елементів, таких як циліндрово-поршнева група, циліндрові кришки та ін. Запропоновано замінити штатні датчики-реле температури на датчики цифрового типу, оскільки вони мають достатньо високий ресурс використання й не контракують безпосередньо з рідиною. Для опитування цих датчиків необхідно застосовувати мікроконтролери. Виконуючі елементи відкривання жалюзі пропонуємо замінити на крокові двигуни, а включення електровентиляторів – магнітні пускачі, включені через підсилювальні реле.

При економічному обґрунтуванні модернізації системи керування температурою теплоносія силової установки при підвищенні надійності системи охолодження силових установок тепловозів виконано розрахунки капітальних витрат, пов'язаних з модернізацією системи керування температурою теплоносія, витрат на ремонт тепловоза до модернізації системи керування температурою теплоносія та після модернізації. Проведено визначення терміну окупності та

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

економічного ефекту підвищення надійності системи керування температурою теплоносія силової установки. Термін окупності складає близько 6 років при переобладнанні одного тепловоза, при тому річний економічний ефект сягає до 12 тис грн.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тепловоз 2ТЭ116 /С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский, М.О. Федоров.– М.: Транспорт, 1985. – 328с.
2. Локомотивные энергетические установки: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / А.И. Володин, В.З. Зюбанов, В.Д. Кузьмич и др.; под ред. А.И. Володина. – М.: ИПК Желдориздат, 2002. – 718 с.
3. Гмыра Г.Н. Применение дизелей ЧН26/26 для модернизации тепловозов /Г.Н. Гмыра, В.М. Ширяев //Локомотив-информ. – 2008. – №2 – С. 32-35.
4. Надійність і технічна діагностика рухомого складу: Методичні вказівки до практичних занять / Дніпропетр. націон. універ. залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; Уклад.: Б. Є. Боднар, Д. В. Бобирь, Я. В. Болжеларський, О. Б. Очкасов. – Дніпропетровськ, 2005. – 30 с.
5. Математичні методи і моделі теплоенергетичного обладнання: навчальний посібник / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 81 с.
6. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 360 с.
7. Теорія та конструкція локомотивів. Допоміжні системи та устаткування: Підручник для ВНЗ залізничного транспорту / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобир. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2008. – 372с.
8. Теорія та конструкція локомотивів. Розрахунок охолоджувального пристрою: Завдання на контрольну роботу з методичними вказівками / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.; Укл.: Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобирь, М. І. Капіца, О. Я. Децюра, Л. В. Колодій. – Д.: ДНУЗТ, 2004. – 40 с.
9. Теорія та конструкція локомотивів: Методичні вказівки до виконання курсового проекту, розділ «Розрахунок техніко-економічних характеристик» /Дніпропетр. націон. універ. залізнич. трансп. ім. ак. В. Лазаряна; Уклад.: Д. В. Бобирь, Л. С. Казаріна, М. І. Мартишевський, Є. Г. Нечаєв. – Дніпропетровськ, 2006. – 30 с.

					<i>0032.150177.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

10. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Теплообмен» /ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 200. – 102 с.
11. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение» /А.А. Камаев, Н.Г. Апанович, В.А. Камаев и др.; под ред. А.А. Камаева. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
12. Хасин, Л.Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / Л.Ф. Хасин, В. Н. Матвеев; Под. ред. Л.Ф. Хасина. – М.: Желдориздат, 2002. – 452 с.
13. Барков Н. Н., Мулюкин Ф. П. Планирование и эффективность капитальных вложений на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1980. – 307 с.

					0032.150177.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		80