

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Локомотиви»

«ДО ЗАХИСТУ»

В.О.Завідувача кафедри

 Б. Є. Боднар
« 14 » 12 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **27 Транспорт**

Спеціальність **273 Залізничний транспорт**

Освітньо-професійна програма *Локомотиви та локомотивне господарство*

Тема **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОПОМІЖНИМ
ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11^{м/6}**

Theme **IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF CONTROL OF AUXILIARY
EQUIPMENT FOR ELECTRIC LOCOMOTIVES VL11^{м/6}**

Керівник дипломної
роботи



О. Б. Очкасов

Нормоконтролер



Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ2026



Я. Ю. Баранець

Student

Yaroslav Baranets

Дніпро, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТИПІВ СИСТЕМ ДОПОМІЖНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	
1.1 Призначення допоміжного обладнання електровозів.....	
1.2 Вимоги до допоміжних машин рухомого складу.....	
1.3 Типи систем допоміжних машин електрорухомого складу	
1.4 Принципи і структура побудови статичних напівпровідникових перетворювачів власних потреб.....	
1.5 Види систем вентиляції тягових електричних двигунів.....	
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАГРІВУ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ	
2.1 Процеси нагріву та охолодження тягових електричних машин.....	
2.2 Особливості експлуатації тягових електричних машин локомотивів	
2.3 Математичні методи розрахунку температури обмоток	
3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОПОМІЖНИМ ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11м/6	
3.1 Система охолодження електричного обладнання електровоза ВЛ11м/6	
3.2 Удосконалення системи управління вентиляторами електровоза ВЛ11м/6	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	

					0032.206302.000.01МР.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Баранець			Удосконалення системи управління допоміжним обладнанням електровозів ВЛ11м/6			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Очкасов								5	
Реценз.								УДУНТ, гр. ЛГ2026			
Н. Контр.		Колодій									
Затверд.		Боднар									

ВСТУП

Виходячи з умови безпеки руху поїздів і безвідмовної роботи силового обладнання (тягові двигуни, гальмівне обладнання, пневматичне обладнання, кола управління) система допоміжних машин є важливою ланкою в загальному комплексі обладнання тягового рухомого складу. Надійність приводу допоміжних машин і механізмів має велике значення і необхідна для забезпечення нормальної роботи основних вузлів електровоза.

Економічне використання енергоресурсів один із пріоритетних напрямків в економічній політиці України. В сучасних умовах інтенсифікації роботи об'єктів залізничного транспорту, коли основний обсяг перевезень здійснюється на електрифікованих ділянках залізниць, призводить до підвищення енергоспоживання. З огляду на високі тарифи на електроенергію, галузева політика державної адміністрації залізничного транспорту України передбачає перехід до енергозберігаючих технологій і ефективного зниження втрат електроенергії.

За межами нормативного строку експлуатації перебувають 3463 локомотивів (80,1% від усього парку "Укрзалізниці", який становить 4321 одиниці), лише 19,9% (858 одиниць) не перевищують нормативний строк, інші використовуються із продовженим строком. При нормативному строку експлуатації 30 років, зношування парку становить 90,3%, а середній вік - більш 36 років.

В зв'язку з цим виникає гостра потреба оновлення локомотивного парку. Оновлення парку вантажних електровозів постійного струму виконується і на Придніпровській залізниці, в локомотивному депо Нижньодніпровськ-Вузол відбувається поступова заміна електровозів ВЛ8 на електровози серії ДЕ1, ВЛ11^М, ВЛ11^{М/5}, ВЛ11^{М/6}.

Незважаючи на просту і, здавалося б, вельми надійну систему допоміжних машин досвід експлуатації показує досить низьку надійність системи живлення

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

допоміжних електроприводів.

У зв'язку з цим на сучасному етапі складних ринкових взаємин енергетичні показники системи допоміжних машин повинні бути досить високими і забезпечувати певну економію електроенергії, яка, в свою чергу, витрачається локомотивом на власні потреби (мотор-вентилятори, мотор-компресори, живлення ланцюгів управління, мотор - насос і обігрів кабін).

В роботі розглянуто існуючі системи управління допоміжним обладнанням електровозів, запропонований варіант модернізації системи управління вентиляторами тягових електродвигунів. Метою модернізації є скорочення витрат електроенергії на привід вентиляторів охолодження тягових електродвигунів та підвищення надійності тягових електродвигунів за рахунок дотримання умов роботи ізоляції.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТИПІВ СИСТЕМ ДОПОМІЖНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

1.1 Призначення допоміжного обладнання електровозів

Тяговий рухомий склад це комплексна система в якій взаємодіють пристрої і агрегати, спільна задача яких полягає в створенні тягових і гальмівних зусиль. Очевидно, що в цьому ключі найбільш важливим є тягове і гальмівне обладнання локомотива, яке умовно можна назвати основним. У той же час на локомотиві є цілий комплекс пристроїв, від надійної роботи яких безпосередньо залежить правильне функціонування локомотива в цілому, таке обладнання називають допоміжним.

Допоміжне обладнання – це обладнання яке забезпечує надійну та якісну роботу тягового та гальмівного обладнання, а також працездатність систем безпеки.

Допоміжних систем електровозів відносяться:

- пневматичні системи;
- протипожежні системи;
- система вентиляції;
- системи резервного живлення;
- системи життєзабезпечення (освітлення, кондиціонування).

У комплексі допоміжного обладнання є ряд пристроїв і механізмів, для приводу яких необхідно використання електричних двигунів. На електровозах такими пристроями є вентилятори, компресори, насоси, генератори ланцюгів управління, перетворювачі напруги, дільники напруги. Крім того, до допоміжного обладнання також відносять електромашинні перетворювачі і обертові фазорасщеплювачі. Перераховані апарати виконують функції, пов'язані з підтриманням нормальних умов роботи тягового і гальмівного обладнання.

Компресори забезпечують локомотив і поїзд стисненим повітрям для

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонування систем гальмування, електричних апаратів з пневматичним приводом, автоматичних дверей (в електропоїздах) і іншого пневматичного обладнання.

Вентилятори здійснюють повітряне охолодження електричного обладнання електрорухомого складу, яке піддається нагріванню процесі роботи (тягові двигуни, перетворюючі установки, пускові реостати). Також здійснюють вентиляцію кабіни машиніста.

Насоси забезпечують циркуляцію масла і інших холодоагентів в системах рідинного охолодження електрообладнання.

Генератори кіл управління, що представляють собою електрогенератор низької напруги, живлять кола управління, сигналізації та освітлення електроенергією з необхідними параметрами.

Електромашинні перетворювачі служать для необхідних змін параметрів електричної енергії в допоміжних ланцюгах.

Обертові фазорасщепітелі (ФР) застосовуються для перетворення однофазного змінного струму в трифазний для живлення асинхронних двигунів.

Привідні двигуни перерахованих пристроїв називаються допоміжними машинами. На практиці допоміжними машинами також називають комплекс, що складається з власне агрегату і його електроприводу (мотор-компресор, мотор-вентилятор, мотор-насос).

Очевидно, що завдання, які виконують допоміжні машини, мають високий рівень значимості - вихід з ладу будь-якого допоміжного агрегату негативно відбивається на тягових властивостях локомотива і безпеці руху. Наприклад, відмова охолоджувальних механізмів призводить до неможливості роботи тягового обладнання, а відмова компресора призводить систему гальмування поїзда в неробочий стан.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Вимоги до допоміжних машин рухомого складу

Як було відзначено, роль допоміжних машин на локомотиві істотна: Їх відмова негативно позначається на безпеці руху, умовах роботи тягового і силового обладнання, якості живлення кіл власних потреб. Тому головною вимогою до допоміжних машин є збереження працездатного стану у всіх режимах роботи рухомого складу і у всіх можливих умовах, на які він розрахований.

Також, як і інше обладнання, яке встановлюється в кузові електровоза, допоміжні машини повинні зберігати свою працездатність в інтервалі температур від +60 °С до -50 °С [1]. У частині електропостачання допоміжні машини повинні зберігати працездатність при коливаннях напруги на струмоприймачі на залізницях постійного струму от 2000 В до 4000 В і змінного струму від 19 кВ до 29 кВ [2].

Крім того, допоміжні машини повинні мати високі техніко-економічними показниками. Загальна потужність допоміжних машин на електровозах постійного струму становить до 3-5% загальної потужності тягових двигунів, а у електровозів змінного струму – до 7-10% при споживанні ними до 10% електроенергії, що витрачається на тягу [2].

Найбільшою мірою надійність допоміжних машин визначається надійністю найбільш навантажених і схильних до зносу вузлів. Розподіл ушкоджень по окремих вузлах асинхронних двигунів змінюється в залежності від умов їх застосування, однак найбільше число ушкоджень завжди доводиться на обмотку статора. В середньому через пошкодження обмоток двигунів відбувається 85-95% відмов [3]. Надійність обмоток в першу чергу залежить від стану ізоляції, яка працює в складних, несприятливих умовах, що негативно впливають на її електричну міцність. Основні причини прискореного старіння ізоляції полягають в підвищених пускових токах двигунів і впливі вібрацій.

Другим основним джерелом відмов в електричних двигунах є підшипниковий вузол. Найбільш часто відмова підшипникового вузла

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

обумовлена втомними пошкодженнями, що виникають через локальні перевантаження, що призводять до появи відколів, тріщин і подряпин на їх робочих поверхнях. Крім того, для підшипників двигунів, що працюють в несприятливих зовнішніх умовах, характерний абразивний знос. Таким чином, для збереження справного стану допоміжних машин важлива здатність їх найбільш навантажених частин переносити теплові і механічні перевантаження, а також зберігати свої властивості в суворих умовах експлуатації.

1.3 Типи систем допоміжних машин електрорухомого складу

На електричному рухомому складі залізниць найбільшого поширення знайшли два типу систем допоміжних машин:

- системи допоміжних машин постійного струму з колекторними двигунами;
- системи допоміжних машин змінного струму з асинхронними двигунами.

Допоміжні колекторні двигуни знайшли широке застосування на електрорухомому складі (ЕРС) постійного струму (ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ЧС7, ДЕ1, ВЛ11м/6), де для живлення таких машин не потрібно перетворення роду струму.

Трифазні асинхронні двигуни в якості допоміжних машин в основному застосовуються на ЕРС змінного струму (ВЛ80, ВЛ85, 2ЕС5К). Однак на сучасному рухомому складі рід струму електровоза (електропоїзда) вже не впливає на вибір тієї чи іншої системи допоміжних машин. З появою досить дешевих і надійних електронних перетворювачів все більшого поширення набувають саме асинхронні допоміжні електродвигуни, в тому числі і на ЕРС постійного струму (2ЕС4К, HRCS2 “Hyundai Rotem”, EJ675 “Skoda Vagonka”, ЕКр1 «Тарпан»).

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.3.1 Схеми живлення допоміжних машин постійного струму з колекторними двигунами

Узагальнена структура існуючих схем живлення систем допоміжних машин постійного струму з колекторними двигунами показана на рисунку 1.1.

Допоміжні машини постійного струму можуть бути високовольтними і низьковольтними. Високовольтні допоміжні машини підключають безпосередньо до контактної мережі (рисунок 1.1 а), а низьковольтні через електромашинні або статичні перетворювачі (рисунок 1.1 б).

Рисунок 1.1 - Узагальнена структура схема живлення систем допоміжних машин постійного струму з колекторними двигунами

Високовольтне живлення допоміжних машин застосовується на ЕРС постійного струму, що працює від контактної мережі 3000 В, при цьому можливо підключення допоміжних двигунів постійного струму безпосередньо до контактної мережі через пусковий опір, який автоматично шунтується

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакторами після запуску машин. Прикладами такого рішення служать електровози серій ЧС7, ВЛ10 і ВЛ11 [5], [6], спрощена схема живлення допоміжних машин яких представлена на рисунку 1.2.

20 1 000 100

Рисунок 1.2 - Спрощена схема прямого живлення колекторних допоміжних машин від контактної мережі постійного струму

Такий підхід, очевидно, має крайньою простотою реалізації в схемотехнічному плані, однак є й істотні недоліки. По перше, це застосування дорогих високовольтних колекторних двигунів, що володіють підвищеними масою і габаритами. По-друге, такі машини вимагають регулярного обслуговування колекторно-щіткового вузла, який є додатковим джерелом відмов. застосування пускових опорів R_{II} в схемі живлення допоміжних машин призводить до додаткових теплових втрат в системі.

Розглянутий підхід на сьогоднішній день морально застарів і не

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

застосовується на електрорухомому складі який проектується і будується.

На електропоїздах застосування високовольтних допоміжних машин ускладнено в силу неможливості їх розміщення в обмеженому підвагонному просторі. Для зниження напруги живлення до прийнятних значень на електропоїздах серії EP2 застосовуються електромашинні подільники напруги (ДН) [7].

Спрощена схема живлення допоміжних машин з подільником напруги показана на рисунку 1.3 Дільник напруги являє собою машину з двома однаковими якірними обмотками, розташованими в одних пазах, але підключеними до різних колекторів, що має загальну магнітну систему зі змішаним збудженням. Конструкція подільника приблизно на 40% менше конструкції звичайного електричного двигуна. Застосування дільників напруги дозволяє використовувати на ЕРС допоміжні колекторні двигуни постійного струму, розраховані на напругу 1500 В, що мають менші масу і габарити в порівнянні з аналогічними високовольтними двигунами.

Недоліки такого підходу полягають в необхідності застосування електромашинного агрегату - подільника напруги, а також в застосуванні в Як привід допоміжних машин складних і вимагають регулярного обслуговування колекторних двигунів. На сучасному ЕРС подібні схеми живлення допоміжних машин не застосовуються.

На ЕРС змінного струму колекторні двигуни знайшли порівняно обмежене застосування: прикладами можуть служити електровози змінного струму серії ЧС4 і ЧС8 [8], спрощена схема живлення допоміжних машин яких показана на рисунку 1.4.

На зазначених електровозах система допоміжних машин отримує живлення від контактної мережі змінного струму через діодну випрямну установку (ВУ), живлення якої здійснюється від обмотки власних потреб (ОСН) тягового трансформатора (Тр).

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.3 - Спрощена схема живлення колекторних допоміжних машин постійного струму з подільником напруги

Рисунок 1.4 - Спрощена схема живлення колекторних допоміжних машин постійного струму з випрямної установкою

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головний недолік такої схеми пов'язаний зі значною залежністю частоти обертання колекторних двигунів від напруги живлення.

Зміна напруги контактної мережі змінного струму, а також його несинусоїдальний характер, викликають відхилення напруги на обмотці власних потреб від номінального. Підвищення напруги живлення викликає зростання продуктивності колекторних допоміжних машин, а, отже, і споживаної потужності. Зниження напруги в контактній мережі призводить до зменшення частоти обертання допоміжних машин, що призводить до зниження їх продуктивності, значення якої може виявитися нижче необхідної.

Після модернізації таких електровозів живлення допоміжних машин на них здійснюється від керованої випрямної установки. Застосування напівпровідникового перетворювача дозволяє забезпечувати електричною енергією з необхідними параметрами допоміжні колекторні двигуни без значних витрат на перетворення змінної напруги в постійну.

1.3.2 Схеми живлення допоміжних машин змінного струму з асинхронними двигунами

Узагальнена структура існуючих схем живлення систем допоміжних машин змінного струму з асинхронними двигунами показана на рисунку 1.5.

Схеми живлення допоміжних машин змінного струму відрізняються більшою складністю, так як в них здійснюється або інвертування постійної напруги з отриманням трифазного, при живленні ЕРС від контактної мережі постійного струму, або розщеплення однофазного змінного напруги в трифазне при живленні від мережі однофазно-змінного струму.

Всі використовувані сьогодні на ЕРС схеми живлення систем допоміжних машин змінного струму з асинхронними двигунами можна розділити на:

- схеми з електромашинним або конденсаторним перетворенням числа фаз (рисунок 1.5 а, в, г);
- схеми зі статичними напівпровідниковими перетворювачами власних

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

потреб (рисунок 1.5 б, д, з). -----

Рисунок 1.5 - Узагальнена структура схем живлення систем допоміжних машин змінного струму з асинхронними двигунами

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо схеми з електромашинними перетворювачами. На електрорухомому складі постійного струму для отримання трифазного мережі використовують електромашинні перетворювачі, що представляють собою двомашинний агрегат, що складається з колекторного двигуна зі змішаним збудженням, який приводить в обертання синхронний генератор. Таке рішення зустрічається на електропоїздах ЕД4М, ЕТ2М [9].

Спрощений вид схеми живлення допоміжних машин з двомашинним агрегатом показаний на рисунку 1.6.

Рисунок 1.6 – Спрощена схема живлення допоміжних машин змінного струму з електромашинним перетворювачем

Двомашинний перетворювач створює симетричну трифазну мережу, що позитивно позначається на умовах роботи асинхронних допоміжних двигунів, однак наявність електромашинного агрегату знижує загальну надійність системи допоміжних машин, а також знижує її економічність.

На сучасному електрорухомому складі подібні схеми не застосовуються. На

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

електровозах змінного струму в якості електромашинного перетворювача, що створює трифазну мережу використовується обертовий фазорасщеплювач (ФР).

Фазорасщеплювач запускається до включення в роботу допоміжних машин, забезпечуючи їм наступний полегшений пуск [10].

Спрощений вид схеми живлення допоміжних машин з таким перетворювачем показаний на рисунку 1.7.

Рисунок 1.7 - Спрощена схема живлення допоміжних машин змінного струму з обертовим фазорасщеплювачем (пусковим двигуном)

У ролі фазорасщеплювача може виступати як звичайний асинхронний двигун, так і спеціалізована машина з несиметричною обмоткою статора, схема якої показана на рисунку 1.8. В цьому випадку має бути суворе чергування фаз несиметричної обмотки. Штучно створювана таким чином несиметрія напруг при холостому ході розщеплювача фаз в поєднанні з підбором і розподілом конденсаторів дозволяють забезпечувати досить високу симетрію магніторушійних сил, а відповідно і високу симетрію напруг, що живлять допоміжні машини [11].

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Рисунок 1.8 – Схема несиметричною обмотки обертового розщеплювача фаз

Прикладом машини з несиметричною обмоткою є фазорозщеплювач НБ-455А, який встановлюється на електровозах серій ВЛ60 та ВЛ80. Починаючи з електровоза ВЛ85, з метою уніфікації застосовуваних асинхронних машин в якості обертового розщеплювача фаз використовують звичайний асинхронний двигун [12].

Один з головних недоліків описаної схеми - наявність в ній фазорозщеплювача. Електрична машина не виконує корисної роботи, але знаходиться у включеному стані протягом усього часу роботи системи допоміжних машин. При цьому одержувана таким чином трифазна мережа буде симетричною тільки в разі відповідності всіх параметрів схеми розрахунковим значення, що майже недосяжно на практиці.

На більш пізніх типах рухомого складу - 2ЕС5К, а також на електровозах ВЛ80^{ТК}, від застосування обертових фазорозщеплювачів відмовилися, на користь конденсаторної схеми живлення системи допоміжних машин, яка показана на рисунку 1.9.

З точки зору реалізації конденсаторная схема відрізняється істотною простотою, але, як і схема з обертовим розщеплювачем фаз, вона не забезпечує формування симетричної трифазної системи напруги в усьому діапазоні зміни умов роботи ЕРС.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Рисунок 1.9 - Спрощена схема живлення допоміжних машин змінного струму зі статичним конденсаторним розщепленням фаз

Відсутність в схемі обертового розщеплювача фаз обумовлює важкі умови роботи допоміжних машин в пускових і перехідних режимах. У перехідних режимах роль обертового розщеплювача фаз істотна, що підтверджується результатами досліджень, проведеними в [8,9]. Практика показала, що допоміжні машини, які підключаються до джерела живлення за конденсаторною схемою мають велике число відмов [10].

При подальшій експлуатації електровозів з конденсаторної схемою живлення допоміжних машин повернулися до практики застосування обертових розщеплювачів фаз, називаючи їх при цьому пусковими двигунами. В даний час такі схеми живлення допоміжних машин поширені на найбільш масових електровозах змінного струму.

1.4 Принципи і структура побудови статичних напівпровідникових перетворювачів власних потреб

На основі аналізу схем допоміжних ланцюгів сучасного рухомого складу (електровози ДЕ1, ДС3, ВЛ11м/6, EG3100, електропоїзди HRCS2 “Hyundai Rotem”,

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

EJ675 “Skoda Vagonka”, ЕКр1 «Тарпан» ICE-3, Talgo 350 і ін.). Пропонується узагальнена структура схем живлення систем допоміжних машин (рисунок 1.10).

Всі сучасні схеми живлення допоміжних кіл відповідають наступним принципам:

- живлення систем допоміжних машин здійснюється від статичних перетворювачів власних потреб (ПЧН), що перетворюють параметри електроенергії джерела живлення в необхідні для споживачів;
- перетворювачі власних потреб розрізняються за способом підключення до джерела живлення.

Перетворювачі власних потреб на ЕРС змінного струму підключаються:

- до обмотки власних потреб тягового трансформатора (рисунок 1.10 а);
- до проміжної ланки тягового перетворювача (рисунок 1.10 в).

Перетворювачі власних потреб на ЕРС постійного струму підключаються безпосередньо до контактної мережі.

Перетворювачі власних потреб складаються з вхідної і вихідної ланок (рисунок 1.10 в, е, м), проміжної ланки постійної (від 600 В до 700 В) або змінної (380 В, 50 Гц або 440 В, 60 Гц) напруги [10, 17].

Живлення всієї системи власних потреб ЕРС здійснюється від декількох перетворювачів власних потреб (від двох до чотирьох) з метою забезпечення резервування.

Конфігурація вхідних ланок перетворювача власних потреб може бути різною. У разі живлення ЕРС від контактної мережі постійного струму вхідна ланка перетворювача виконується у вигляді ключа або інвертора напруги (рисунки 1.11 та 1.12). При цьому можливі варіанти вхідного ланки з трансформаторною розв'язкою (рисунок 1.12) і без неї (рисунок 1.11).

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Рисунок 1.10 – Узагальнена схема живлення допоміжних машин сучасного рухомого складу

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Рисунок 1.11 – Схема вхідної ланки статичного перетворювача власних потреб без гальванічної розв’язки

Рисунок 1.12 – Схема вхідної ланки статичного перетворювача власних потреб з гальванічною розв’язкою

Живлення асинхронних двигунів системи допоміжних машин змінного струму здійснюється за допомогою трифазних автономних інверторів напруги (схема показана на рисунку 1.13).

Побудова системи живлення допоміжних машин можлива з функцією регулювання частоти і без неї. Канал живлення із змінною частотою напруги передбачений для машин, необхідна швидкість обертання яких залежить від режиму роботи ЕРС, з метою зменшення їх енергоспоживання і продовження терміну служби. До таких машин, як правило, відносяться мотор-вентилятори.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Рисунок 1.13 – Схема автономного інвертора

На сьогоднішній день весь рухомий склад що проектується містить в собі систему допоміжних машин змінного струму з асинхронними двигунами, яка одержує живлення від напівпровідникових перетворювачів власних потреб.

Серед сучасних електровозів статичними перетворювачами напруги для власних потреб обладнано електровози 2ЭС4К, 2ЭС10, ДСЗ, модифікації електровозів ДЕ1, ВЛ11м/6 швидкісні електропоїзди.

1.5 Аналіз систем вентиляції тягових електричних двигунів

1.5.1 Системи вентиляції електричних машин

Згідно з першим законом електромеханіки взаємно обернене перетворення електричної і механічної енергії неможливо без її втрат, які перетворюються в теплоту. Частина цієї теплоти розсіюється в зовнішнє середовище, а друга частина поглинається вузлами електричної машини, викликаючи підвищення їх температури. Чим вище реалізована потужність, тим більше виділяється теплоти і тим інтенсивніше треба її відводити від вузлів машини. Ця задача вирішується продувкою охолоджуючого повітря через машину зовні машини, тобто її вентиляцією. Вентилуючи повітря відбирає теплоту від нагрітих частин машини,

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

охолоджуючи її.

За умовами роботи тягових електричних машин у них може бути застосоване тільки повітряне охолодження, незважаючи на те, що інші системи – водяна, масляна або кріогенна – більш ефективні. Але рідинні системи охолодження застосовують на електрорухомому складі тільки для трансформаторів (масло) і напівпровідникових перетворювачів, де немає обертових частин.

Граничне виконання тягових двигунів вимагає високої ефективності їх вентиляції, яка залежить не тільки від кількості охолоджуючого повітря, його швидкості і температури, але й від його частоти. Пил, що проходить всередину машини разом з охолоджуючим повітрям, осідає на вузлах і деталях машин. Тепловіддача з брудної поверхні різко знижується, тому вентилюючи повітря треба старанно фільтрувати. Ця вимога особливо важлива для локомотивів промислового транспорту, який часто працює в хмарах пилу. Проникнення в машину струмопровідного пилу і атмосферної вологи разом з вентиляційним повітрям руйнівні діють на ізоляцію.

Повітря краще відбирає теплоту, якщо всередині машини воно протікає плавними паралельними струменями. Тому охолоджувані поверхні виконують рівними і гладенькими, а їх конфігурацію повинна виключати можливість виникнення струменів, направлених зустрічного потоку повітря.

У тягових двигунах і генераторах застосовують незалежну систему вентиляції, при якій повітря подається в середину машини від спеціального вентилятора, який приводиться в обертання допоміжним двигуном. Незалежна система вентиляції може бути груповою або індивідуальною. В обох випадках вентиляційний агрегат (двигун і вентилятор) розташовують в кузові локомотива. Перевага групової системи в порівнянні з індивідуальною – менша кількість вентиляторів, а недолік – велика втрата напору в повітряних трактах.

Незалежна система вентиляції дозволяє подавати повітря в середину машини як під час руху, так і при стоянці електровоза. В останньому випадку

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

триває охолодження нагрітої в роботі машини і створюється захист від проникнення всередину машини пилу і вологи, особливо при сильному вітрі.

Подачу Q вентилятора (витрату повітря) вимірюють кубічними метрами за секунду і регулюють зміною його частоти обертання n , тому що $Q \sim n$, при чому вона не залежить від режиму роботи вентилязованого двигуна.

Для невеликих за потужністю допоміжних машин і тягових двигунів електропоїздів застосовують систему самовентиляції, при якій подача охолоджуючого повітря здійснюється відцентровим вентилятором, насадженим на вал машини. Очевидно, вентиляція в цьому випадку здійснюється лише при роботі машини. Ефективність самовентиляції значно гірша незалежної вентиляції. Дійсно, під час пуску або руху з великим навантаженням і малій швидкості подача вбудованого вентилятора зменшена, а в цей час у двигуні виділяється найбільша кількість теплоти. Щоправда, потім під час руху з високою швидкістю двигун інтенсивно охолоджується і температура його обмоток знижується. Але під час зупинки вентиляція припиняється зовсім і остигання машини сповільнюється.

В обох системах вентиляції повітря, потрапивши в машину, поділяється, як правило, на два паралельних струмені: один проходить в середині ротора (якоря) через вентиляційні канали, другий – зовні, охолоджуючи також статор машини. У тягових двигунах, наприклад, приблизно 30% охолоджуючого повітря проходить всередині, а 70% – зовні якоря і в між котушковому просторі. Дуже рідко зустрічається послідовна вентиляція, коли повітря після охолодження через якір обертається навколо його задніх лобових частин і йде у зворотному напрямку по зовнішній поверхні якоря і в між котушковому просторі статора.

У машинах постійного струму вентиляційне повітря подається з боку колектора, що дозволяє використати простір колекторної камери для необхідного розподілу повітряних потоків всередині машини. Крім того, при цьому найбільш ефективно свіжим, ще не нагрітим повітрям охолоджується колектор – відповідальний і напружений вузол машини. Але іноді повітря подається з боку, протилежного колектору.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Системи подачі повітря в тягові двигуни можуть бути різними. Найбільшого поширення набула розімкнута система, при якій повітря поступає з атмосфери, проходить через двигун і викидається знов в атмосферу.

Забір повітря в локомотив повинен виконуватись так, щоб з ним у вентиляційну систему потрапляло як можна менше пилу. Для цього повітрозабірні жалюзі із сітчастим фільтром і відстійником слід розташовувати як можна ближче до даху локомотива.

Непрямим показником ефективності вентиляції тягових двигунів постійного і пульсуючого струмів є відношення їх довгочасної потужності P_{∞} до годинної P_{Γ} , яке називають коефіцієнтом вентилязованості. У сучасних тягових двигунах і незалежною вентиляцією $\kappa_{\text{вент}} = P_{\infty} / P_{\Gamma} = 0,9 \dots 0,94$, а у двигунів з самовентиляцією $\kappa_{\text{вент}} = 0,7 \dots 0,75$.

Витрату охолоджуючого середовища, необхідну для відведення теплоти з тягової машини або трансформатора, визначають:

$$Q = \frac{\Sigma p}{c(\theta_{\text{гар}} - \theta_o)}, \quad (1.1)$$

де Σp – сумарні витрати, Bt ;

c – теплоємність охолоджуючого середовища;

$\theta_{\text{гар}}, \theta_o$ – температури відповідно нагрітого охолоджуючого середовища, що входить з машини, і холодного.

Для повітря $c = 1400 \cdot 1100 \frac{Bt \cdot c}{^{\circ}C \cdot m^3}$. В залежності від системи вентиляції, конструкції машини і її потужності $(\theta_{\text{гар}} - \theta_o) = (15 \dots 30)^{\circ}C$. Отже, прийнявши $\Sigma p = 1000$ Вт і підставивши наведені величини в рівняння (1.1), одержимо витрату повітря на 1 кВт втрат $Q = 0,03 \dots 0,06$ м³/с.

Для тягових двигунів з незалежною вентиляцією звичайно можна приймати

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 кВт втрат. Для машин із само вентиляцією приймають $Q = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$. [12].

1.5.2 Типи приводу вентиляторів систем охолодження

Кількість повітря яка подається в тяговий електродвигун залежить від частоти обертання та конструкцій лопатей вентилятора. Для приводу вентиляторів тягових електродвигунів використовуються електричні двигуни. Регулювання частоти обертання вентиляторів виконується ступінчастим або безступінчастим способом.

Окрім регулювання частоти обертання вентилятора, високі експлуатаційні показники роботи осьового вентилятора можуть бути отримані, якщо він буде виконаний з поворотними лопатями. Зміна подачі осьового вентилятора шляхом зміни кута встановлення лопатей в порівнянні з іншими способами дозволяє отримати при інших рівних умовах найбільшу зону економічних режимів. При використанні вентиляторів з поворотними лопатями подача і напір вентилятора зменшується зі зменшенням кута установки лопатей і навпаки. Не дивлячись на деяке підвищення ККД вентилятора та зменшення потужності його приводу величина коефіцієнта потужності практично постійна, а величина безрозмірної потужності вентилятора зменшується [18].

Подібні системи використовуються на деяких моделях тепловозів в системах охолодження води дизеля. Використання такого підходу для управління охолодженням тягових електродвигунів є недоцільним через ускладнення конструкції. Найбільш доцільним способом регулюванням охолодження тягових електродвигунів є безступінчасте регулювання частоти обертання вентилятора.

При побудові нових електровозів застосування електродвигунів постійного струму для приводу вентиляторів нераціонально внаслідок занадто великої маси електродвигунів. У випадку модернізації електровозів які експлуатуються, необхідно враховувати вартість модернізації та обслуговування модернізованої

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи охолодження.

Регулювання частоти обертання вентиляторного колеса на основі електродвигуна змінного струму простіше, дешевше та надійніше ніж на основі електродвигуна постійного струму.

Найбільш розповсюджені способи регулювання швидкості обертання вентилятора з приводом від асинхронного двигуна: зміна додаткового опору ланцюга ротора, зміна напруги, що підводиться до обмотки статора, зміна частоти живлячої напруги, а також перемикання числа пар полюсів.

Введення резисторів в ланцюг ротора призводить до збільшення втрат потужності і зниження частоти обертання ротора двигуна за рахунок збільшення ковзання, оскільки $n = n_0(1 - s)$, таким чином при збільшенні опору в ланцюзі ротора при постійному моменті частота обертання валу двигуна зменшується.

Жорсткість механічних характеристик значно знижується зі зменшенням частоти обертання, що обмежує діапазон регулювання до $(2 \div 3):1$. Недоліком цього способу є значні втрати енергії, які пропорційні ковзанню. Таке регулювання можливо тільки для двигуна з фазним ротором.

Зміна напруги, що підводиться до обмотки статора асинхронного двигуна, дозволяє регулювати швидкість за допомогою відносно простих технічних засобів і схем управління. Для цього між мережею змінного струму із стандартною напругою $U_{1ном}$ і статором електродвигуна включається регулятор напруги (рисунок 1.14).

При регулюванні частоти обертання асинхронного двигуна зміною напруги, що підводиться до обмотки статора, крутний момент $M_{кр}$ асинхронного двигуна змінюється пропорційно квадрату напруги $U_{рег}$ (рисунок. 1.15), що підводиться до двигуна, а ковзання від $U_{рег}$ не залежить.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.14 – Схема регулювання швидкості вентилятора шляхом зміни
напруги на статорі

Рисунок 1.15 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при зміні
підведеної напруги до обмоток статора

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо момент опору робочої машини більше пускового моменту електродвигуна ($M_c > M_{\text{пуск}}$), то двигун не обертатиметься, тому необхідно запустити його при номінальній напрузі $U_{\text{ном}}$ або на режимі холостого ходу.

Недоліками цього методу є необхідність використання спеціальних електродвигунів з підвищеним ковзанням, а також невеликий діапазон регулювання до $n_{\text{кр}}$.

Оскільки частота обертання магнітного поля статора $n_0 = 60f / p$, то регулювання частоти обертання асинхронного двигуна можна робити зміною частоти напруги живлення f_c . Принцип частотного регулювання швидкості АД полягає в тому, що, змінюючи частоту живлячої напруги f_c , при незмінному числі пар полюсів p можна змінювати кутову швидкість n_0 магнітного поля статора. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, та високу жорсткість механічних характеристик.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронних двигунів необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, що підводиться. Закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження M_c . При постійному моменті навантаження напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно частоті. Спрощена схема частотного електроприводу приведена на рисунку 1.16, а механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному регулюванні – на рисунку 1.17.

Зі зменшенням частоти f критичний момент дещо зменшується в області малих частот обертання. Це пояснюється зростанням впливу активного опору обмотки статора при одночасному зниженні частоти і напруги. Частотне регулювання швидкості асинхронного двигуна дозволяє змінювати частоту обертання вентилятора в діапазоні $(20 \div 30):1$. Втрати потужності при такому регулюванні невеликі, оскільки мінімальні втрати ковзання. [12,19]

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Рисунок 1.16 – Схема електроприводу
з частотним регулюванням

Рисунок 1.17 – Механічні характеристики
АД при частотному
регулюванні

Розглядаючи електричний привід змінного струму доцільно розглянути і

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість застосування синхронних двигунів з постійними магнітами та синхронних реактивних двигунів.

Синхронний двигун з постійними магнітами (англ. Permanent magnet synchronous motor, PMSM) - це синхронний електродвигун, індуктор якого складається з постійних магнітів.

Головна відмінність між синхронним двигуном з постійними магнітами (СДПМ) і асинхронним електродвигуном полягає в роторі. У традиційному трифазному синхронному двигуні магнітне поле ротора створюється струмом.

У СДПМ поле ротора створюється магнітами, які або розподілені по поверхні ротора, або розміщені в його пазах. В останньому випадку забезпечується більша механічна міцність і менші втрати на вихрові струми в роторі. Як матеріал для постійних магнітів набув поширення сплав неодим-залізо-бор завдяки його оптимальним магнітними властивостями. Магнітне поле статора створюється за допомогою трифазної багатополюсної обмотки, розміщеної в пазах шихтованого сердечника.

Проведені випробування показують, що СДПМ в межах приблизно 80% робочого діапазону має ККД приблизно на 2% більше, ніж високо ефективний (ІЕ3) асинхронний електродвигун, за умови, що статор має однакову конструкцію, а для управління використовується один і той же частотний перетворювач (рисунок 1.18). При цьому синхронні електродвигуни з постійними магнітами в порівнянні з іншими електродвигунами мають габарити і масу приблизно на 25% менше [20].

В асинхронному двигуні має місце нагрів ротора внаслідок наявності потужності ковзання. У СДПМ він фактично відсутня, завдяки чому немає необхідності в охолодженні ротора. Статор СДПМ зазвичай повністю герметичний і має рідинне охолодження, що сприяє підвищенню надійності двигуна.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.16 – Коефіцієнт корисної дії синхронного і асинхронного двигунів в залежності від частоти обертання:

1 – синхронного двигуна з постійними магнітами; 2 – асинхронного двигуна

Однак досягнення цих переваг неможливе без компромісу, а саме для необхідність використання значної кількості рідкоземельних металів та застосування складної системи управління двигуном призводить до високої вартості даного типу приводу в порівнянні з іншими.

Говорячи про синхронний реактивний двигун варто сказати що він представляє собою синхронний електродвигун, обертальний момент якого обумовлений нерівністю магнітних провідностей по поперечній і поздовжній осях ротора, що не має обмоток збудження або постійних магнітів.

До основних переваг що зумовлюють застосування такого типу двигуна в якості приводу ВО слід віднести просту конструкцію ротора, що складається з тонколистової електротехнічної сталі, без магнітів і короткозамкненою обмотки. Через відсутність струмів в роторі, він не нагрівається під час роботи,

					0032.206302.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшуючи термін служби електродвигуна. Завдяки відсутності магнітів в конструкції ротора значно знижується кінцева ціна електродвигуна та спрощується експлуатація і технічне обслуговування.

Основним недоліком синхронних реактивних двигунів є відносно низький коефіцієнт потужності, через те, що магнітний потік створюється тільки за рахунок реактивного струму. Вирішується за рахунок використання частотного перетворювача з корекцією потужності.

Виходячи з розглянутого вище матеріалу можна зробити висновки, що найбільш оптимальним для нового рухомого складу є застосування електричного приводу змінного струму з частотним регулюванням.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАГРІВУ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Для вибору можливих напрямків удосконалення системи охолодження ТЕД необхідно розглянути процеси що відбуваються під час нагріву та охолодження ТЕД.

2.1 Процеси нагріву та охолодження тягових електричних машин

При роботі електричної машини частина її енергії перетворюється на тепло. Це тепло виділяється в обмотках у вигляді електричних втрат та у сталі у вигляді втрат на перемагнічування. Крім цього, нагріваються від тертя підшипники та колектор. Нагрів електричної машини викликає старіння ізоляції, а викликане нагрівання обмоток і однакові коефіцієнти лінійного розширення в різних частин тягового двигуна можуть призвести до розриву ізоляції, отже, і передчасного виходу машини з ладу.

У зв'язку з цим можна припустити, що на інтенсивність старіння ізоляції впливатимуть такі фактори:

- значення та час дії робочих температур;
- межі та частота зміни температур;
- вологість;
- електрична напруга;
- вплив хімічних елементів;
- вібраційні навантаження.

Найбільш вагомими факторами є фактори, пов'язані з температурою. Залежно від нагрівостійкості компонентів, що входять до складу ізоляції, її поділяють на 5 класів А, В, Е, F, Н. У тягових електродвигунах локомотивів використовують три класи ізоляції В, F, Н.

Розрахунковий термін служби ізоляції класу становить 4...5 років, а

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ізоляції класу Н – 8...10 років. Допустимі перевищення температур нормуються для кожної частини тягового двигуна (обмотка якоря, обмотка полюсів, колектор). Допустима температура нагріву обмоток якоря становить 120°C для класу В, 140°C для класу F, 160°C для класу Н.

Для розв'язання задачі управління процесом охолодження тягового електродвигуна необхідне створення математичної моделі, що описує закономірності зміни властивостей матеріалів основних вузлів тягового двигуна. Так як перевищення температури на 10°C (для класу ізоляції В) зменшує ресурс ізоляції в два рази.

2.1.1 Класична теорія нагрівання твердого однорідного тіла

Згідно з класичною теорією нагрівання твердого однорідного тіла частини електричної машини розглядаються як однорідні тіла, що виділяють теплову енергію. Частина цієї енергії викликає нагрівання тіла, а частина розсіюється у навколишнє середовище.

Одним з основних показників теорії нагрівання є загальна теплоємність тіла – кількість тепла, необхідне його нагрівання на 1°C. Загальна теплоємність C залежить від маси тіла m та питомої теплоємності c

$$C = m \cdot c. \quad (2.1)$$

Загальна тепловіддача тіла B – кількість теплової енергії, що віддається за одиницю часу з усієї поверхні тіла в зовнішнє середовище при різниці температур в 1°C.

$$B = \alpha \cdot S, \quad (2.2)$$

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де α – коефіцієнт тепловіддачі;

S – площа поверхні тіла.

Коефіцієнт тепловіддачі – кількість теплової енергії, що віддається через випромінення та конвенцією за одиницю часу з одиниці поверхні тіла, при різниці температур 1°C .

Припустимо, що на початку роботи температура якоря ТЕД дорівнює температурі навколишнього середовища, тоді за початкову одиницю часу виділиться тепла енергія ΔP . За якийсь час Δt виділиться енергія $\Delta P \cdot \Delta t$. Причому вона ділитиметься на дві складові:

- частина її піде на нагрівання тіла з $\Delta P \cdot \Delta t$,
- а інша – на розсіювання у навколишнє середовище.

Якщо за час Δt температура тіла підвищилася на $\Delta \tau$, то на це витрачено теплову енергію

$$\Delta P_c \cdot \Delta t = C \cdot \Delta \tau. \quad (2.3)$$

Так як, тепла енергія частково поглинається тілом, а частково – розсіюється, можна записати рівняння теплового балансу

$$\Delta P \cdot \Delta t = C \cdot \Delta \tau + B \cdot \tau \cdot \Delta t. \quad (2.4)$$

На початку нагрівання температура тіла дорівнює температурі оточуючого середовища, тобто $\tau = 0$. Тоді вся енергія що виділяється при протіканні струму та обертанні якоря

$$\Delta P \cdot \Delta t = C \cdot \Delta \tau. \quad (2.5)$$

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо кількість енергії ΔP що йде на нагрівання постійна, то через певний час якор ТЕД нагріється на стільки, що вся енергія буде розсіюватись в оточуюче середовище. Для такого випадку температура якоря буде сталою (незмінною), що позначається $\tau_{\infty} = const$, а різниця температур $\Delta\tau = 0$. Рівняння теплового балансу (2.4) матиме вигляд:

$$\Delta P \cdot \Delta t = B \cdot \tau_{\infty} \cdot \Delta t. \quad (2.6)$$

Звідси, стале значення температури якоря

$$\tau_{\infty} = \frac{\Delta P}{B}. \quad (2.7)$$

Графік зміни температури якоря при його нагріванні та охолодженні приведено на рисунку 2.1. Нагрів якоря відбувається від початкової температури τ_0 до сталого значення τ_{∞} .

Рисунок 2.1 – Криві нагріву та охолодження якоря ТЕД

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до [12,22] в будь який момент часу t температура якоря τ може бути визначена як

$$\tau = \tau_{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right], \quad (2.8)$$

де T - постійна нагріву.

Значення температури визначене за формулою (2.8) може бути використане для побудови алгоритму управління роботою вентиляторів охолодження ТЕД. Процеси пов'язані з нагрівом та охолодженням якоря ТЕД залежать від значної кількості факторів. Розглянемо процеси відведення тепла від якоря ТЕД.

2.1.2 Процеси вентиляції тягових електродвигунів

Необхідність застосування примусової вентиляції та захисту колекторних ТД від зовнішніх агресивних впливів зумовлює практично повну герметизацію їх вузлів від зовнішнього середовища та ще більшою мірою ускладнює внутрішню аеродинаміку електричної машини, так як доводиться вхідний і вихідний патрубків для повітря розташовувати у верхній частині.

Це призводить до значної нерівномірності нагріву обмоток якоря: з боку входу повітря вони охолоджуються інтенсивніше, ніж з протилежного боку. Різниця перевищень температур окремих обмоток становить 12–32 %.

Теоретичними дослідженнями та розрахунками встановлено, що за довжиною машини обмотки нагріваються нерівномірно, маючи максимальну температуру на виході повітря. Розташування вхідного та вихідного патрубків у одній площини має значний вплив на нерівномірність не тільки теплообміну, а й масообміну.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.2 наведена схема вентиляції тягового двигуна, з якої випливає, що найбільша концентрація вологи матиме місце на задній лобовій частині обмотки якоря. Ця концентрація вище у тягових двигунів з підшипниковими щитами без вихідних вентиляційних отворів, тобто проблема локального перегріву та перезволоження ізоляції по лобовій частини обмотки якоря, розташованої з боку, протилежної колектору, залишається [23].

Рисунок 2.2 – Схема вентиляції тягового електродвигуна

Проблема надійності тягових і допоміжних електричних машин тягового рухомого складу загострюється через більш низьку надійність ізоляції лобових частин асинхронних тягових та допоміжних електродвигунів у порівнянні з пазовою ізоляцією. Нижча надійність ізоляції лобових частин обмоток

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричних машин обумовлена комплексом факторів механічної, електромагнітної та тепломасообмінної природи. Недостатнє надійне кріплення лобових частин обмотування, наприклад, створює умови для пошкодження ізоляції переважно у виходу стрижнів з пазів. Лобові частини обмоток великих тягових електродвигунів найбільшої небезпеки наражаються при перехідних процесах. Великі ударні струми можуть спричинити розриви бандажів, деформацію частин обмотки, появу тріщини і вм'ятин в ізоляції. У процесі експлуатації відзначаються також пробої ізоляції внаслідок попадання на лобові частини мастила, вологи та інших агресивних матеріалів.

Таким чином, для удосконалення системи управління охолодженням тягових електродвигунів, необхідно використовувати математичні моделі розрахунку температури обмоток якоря. Розраховане значення температури обмотки буде використовуватись в якості сигналу завдання для системи управління приводом вентилятора.

2.2 Особливості експлуатації тягових електричних машин локомотивів

Тягові електродвигуни локомотивів працюють у змінному режимі – від нульового до номінального навантаження. Відповідно [21] за номінальних навантажень, і близьких до них при струмі 450...550А, тяговий електродвигун працює 8,3% часу; при навантаженнях з струмом від 250 до 450А – 67,2%; при низьких навантаженнях при струмі 250А і менше на холостому ходу – 24,5%

Для запобігання перегріву обмоток тягових двигунів вони обдуваються вентиляторами. При цьому потужність вентилятора охолодження тягових двигунів вибирається за умови, що при тривалій роботі, тягових двигунів на номінальному навантаженні та температурі зовнішнього повітря +40°C температура їх обмоток знаходиться в допустимих межах. З наведених вище даних видно, що у високих навантаженнях тепловоз працює лише 8,3%. В інший

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час тяговий двигун працює на нижчих навантаженнях, у той час як вентилятори працюють з постійною продуктивністю.

З цього випливає два наслідки. По-перше, за низьких навантажень тягових двигунів вентилятори перевитрачають електричну енергію. По-друге, при режимах роботи тягових двигунів із малими навантаженнями і номінальному режимі вентиляторів охолодження взимку відбувається переохолодження обмоток тягових двигунів, збільшення вологості ізоляції. При переході на високі навантаження може статися пробій ізоляції обмоток та вихід з ладу тягового двигуна.

Таким чином, постійний режим роботи тягових електродвигунів призводить не тільки до перевитрати електроенергії, але й за певних умов до зниження надійності роботи тягових двигунів

З цього випливає необхідність організації керованого режиму роботи вентиляторів охолодження ТЕД залежно від режиму роботи тягових двигунів

Аналізу питання вибору режимів роботи тягових електродвигунів присвячено ряд робіт [21, 24-26]. Однією з особливостей рішень у роботах [24-26] є те, що математична модель управління потужністю приводу вентилятора включає заздалегідь розроблену модель зв'язку перегріву обмоток тягових двигунів із силою струму двигуна. При цьому регулювання приводу вентилятора проводиться за результатами порівняння розрахункового перегріву з допустимим його значенням.

Недоліком згаданого способу управління приводом вентилятора є те, що використовується в них емпірична залежність температури перегріву обмоток від струму, отримана для постійної часу сили струму, при якій формується певне температурне поле у масі ТД. При змінному режимі роботи цього ТД через нього проходить рівний за величиною струм зі змінною в часі кількістю теплоти, що виділяється в його обмотках. У цьому випадку на сформоване раніше поле температур у масі двигуна накладається інше температурне поле. Чергування

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміни сили струму і кількості теплоти, що виділяється, носить випадковий характер.

У цих умовах встановити надійний зв'язок між силою струму та температурою перегріву обмоток є мало можливим. Це означає, що для вирішення питання необхідний інший підхід щодо встановлення зв'язку між температурою прогріву обмоток і струмом, що проходить через тяговий двигун. Нагрів також лежить в основі багатьох термохімічних, термофізичних і термомеханічних явищ, які можуть впливати на тривалість працездатності конструкції. небезпека негайного або відстроченого пошкодження тягової машини пов'язані не тільки з рівнем досягнутих температур, але і з просторовими температурними градієнтами, тривалістю і частотою температурних впливів, швидкістю нагріву та охолодження та ін.. Звідси виходить необхідність в достовірній і докладній інформації про розподіл температур в електричній машині при різних режимах її роботи.

Отримання експериментальної інформації про значення температури потребує присутності в тяговій машині засобів вимірювання температури. Поточне вимірювання температури в експлуатаційних режимах виконується з метою попередження аварійних ситуацій, але метод такого вимірювання досить технічно складаних і менш практичний, а існуюча система діагностування тягового електродвигуна по різниці температур на вході та виході з тягового двигуна не дає на реальній картині про температурні процеси в середині тягової машини.

Докладну інформацію про температурне поле машини можна отримати теоретичним шляхом на основі рівнянь теплопровідності. Дійсно, коректна математична модель забезпечує повну картину поля, якщо є надійні дані про розподіл втрат, властивостях матеріалів і протікання охолоджуючого повітря.

Розглянемо методи розрахунку перегріву обмоток тягового двигуна.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Математичні методи розрахунку температури обмоток

2.3.1 Методика теплового розрахунку тягового електродвигуна

В задачу теплового розрахунку входить визначення середньої температури активних частин тягової машини, визначення теплових потоків між суміжними елементами конструкції, тобто розрахунок температурного поля в машині для номінального режиму роботи.

Для ТЕД номінальним режимом являється тривалий режим роботи. Численні теоретичні розробки, застосовувемий математичний апарат і велика кількість експериментальних досліджень принципово дозволяють виконувати тепловий розрахунок з великою точністю.

Вихідними даними для теплового розрахунку є:

- розподіл втрат енергії по об'єму тягової машини;
- значення фізичних величин, в першу чергу теплопровідність і теплоємність;
- умови охолодження на граничних поверхнях.

Для математичного моделювання теплових процесів тягового електродвигуна постійного струму використовуємо метод теплових схем заміщення [26], оснований на рівнянні теплообміну:

$$P = \frac{\lambda \cdot S_{cp} \cdot \Delta \vartheta}{\delta} = \frac{\Delta \vartheta}{R_{\lambda}}, \quad (2.9)$$

де P - втрати потужності;

S_{cp} - середня площа тепло передаючої поверхні;

λ - коефіцієнт теплопровідності;

$\Delta \vartheta$ - падіння температури по довжині δ ;

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_{λ} - тепловий опір даної ділянки шляху теплового потоку.

Виходячи з того, що обмотки полюсів впливають на нагрів якоря, запропоновані схеми [26-28] для відображення загальної картини теплових процесів об'єднані в одну, з опорним вузлом (загальною точною) по внутрішньому повітрю.

На основі результатів теплового розрахунку в якому проводилось визначення вузлів які найбільш впливають на нагрів тягового електродвигуна. Розгорнута тепла схема заміщення ТЕД, складається з 7 самостійних джерел тепла, приведених на рисунку 2.3:

- P1 – втрати в міді головних полюсів;
- P12 – втрати в міді додаткової обмотки;
- P9 – втрати в міді компенсаційної обмотки;
- P3 – втрати в металі полюсного наконечника;
- P14 – втрати на колекторі;
- P16 – втрати в міді якоря;
- P18 – втрати в міді осердя якоря.

На рисунку 2.4 приведена розгорнута тепла схема заміщення на якій розглянуті шляхи теплопередачі, представлені у вигляді теплових опорів:

- R1 – від міді котушок головних полюсів до внутрішнього повітря;
- R2 – від міді котушок головних полюсів до металу через ізоляцію;
- R3 – від металу головних полюсів до внутрішнього повітря;
- R4 – від металу головних полюсів до остова;
- R5 – від міді котушок компенсаційної обмотки до полюса через ізоляцію;
- R6 – від внутрішньої поверхні остова до внутрішнього повітря;
- R7 – від металу додаткових полюсів до остова;
- R8 – від зовнішньої поверхні остова до повітря;
- R9 – від міді котушок додаткових полюсів до полюсу через ізоляцію;

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.3 – Основні джерела виділення тепла тягового електродвигуна

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.4 – Розгорнута теплова схема заміщення ТЕД

R11 – від металу додаткових полюсів до внутрішнього повітря;

R12 – від міді котушок додаткових полюсів до внутрішнього повітря;

R13 – від зовнішньої поверхні остова до повітря;

R141 – від поверхні колектора до внутрішнього повітря;

R142 – від пластини колектора по площині дотику з нажимними конусами
кільця і втулки;

R143 – від внутрішніх каналів колектора до внутрішнього повітря;

R144 – від манжети колектора до внутрішнього повітря;

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R15 – від міді обмотки якоря з пазової частини на колектор;

R161 – від зовнішньої поверхні лобових з'єднань якоря до внутрішнього повітря;

R162 – від обмоткотримачів лобових з'єднань якоря до внутрішнього повітря;

R17 – від пазової ізоляції якоря;

R181 – від зовнішньої поверхні зубців якоря до внутрішнього повітря;

R182 – від поверхні вентиляційних каналів якоря до внутрішнього повітря;

R13 – враховує середнє перевищення температури повітряного потоку всередині машини над температурою навколишнього середовища.

На основі при веденої теплової схеми складена система рівнянь (2.10).

Матрична форма приведеної системи рівнянь.

Розроблена теплова математична модель дає можливість розраховувати сталі температури ϑ_i вузлів ТЕД постійного струму, враховуючи температуру навколишнього середовища і продуктивність вентилятора.

					0032.206302.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у

де P_n - втрати в n -ному вузлі тягового електродвигуна;

ϑ_i - температура i -того вузла тягового двигуна;

R_n - тепловий опір даної ділянки шляху теплового потоку.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконання теплового розрахунку тягового електродвигуна дає можливість визначити вузли тягової машини в яких виникають найбільші втрати, що призводять до нагріву цих вузлів.

За даними розрахунків [26-28] такими вузлами є:

- обмотка головних полюсів;
- обмотка додаткових полюсів;
- щітково-колекторний вузол;
- мідь компенсаційної обмотки;
- обмотка якоря;
- метал якоря;
- наконечник полюсів.

Результати теплового розрахунку дозволяють моделювати теплові процеси в середині тягового електродвигуна з достатньою точністю і приведеними шляхами теплопередачі від одного вузла іншому.

На основі розробленої теплової схеми складається математична модель, яка дає можливість розраховувати сталі температури вузлів тягового електродвигуна з достатньою точністю, що дає можливість більш реально відображати теплові процеси тягового електродвигуна.

З допомогою даної математичної моделі можливо вдосконалити систему охолодження тягових двигунів електровоза ВЛ11^{М/6}, за рахунок об'єднання штатних датчиків мікропроцесорної системи управління і розробленої математичної моделі, спільне застосування яких є найбільш продуктивним методом і дозволяє зменшити недоліки, властиві датчикам та математичній моделі в роботі окремо один від одної.

На основі сказаного вище було розроблено алгоритм контролю температурних показників тягового електродвигуна (рисунок 2.5) безпосередньо на борту електровоза в процесі його експлуатації.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.5 – Загальний вид алгоритму для контролю температур вузлів
тягового електродвигуна

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність на борту електровоза розробленої математичної моделі дозволить розрахунковим методом виконувати безперервний контроль температури вузлів тягового двигуна електровоза в русі при різних режимах роботи з використанням запропонованого алгоритму та інформації зі штатних датчиків мікропроцесорної системи управління.

Розрахунок теплової математичної моделі в процесі експлуатації не даватиме нам реальних температур окремих вузлів тягового двигуна, але за її допомогою можна буде визначати більш реальні показники теплового стану даних вузлів ніж при замірах температури на вході та виході з нього так, як при розрахунку математичної моделі будуть враховуватись також такі параметри як, зміна струму якоря I_a продуктивність охолоджуючих вентиляторів та температури навколишнього середовища.

Реалізація алгоритму в безпосередньо в процесі експлуатації не даватиме сталих температур вузлів тягового двигуна, але так, як даний алгоритм буде реалізовуватись для всіх тягових електродвигунів електровоза, ми зможемо контролювати який саме з тягових електродвигунів схильний до перегріву і отримуючи результати розрахунків система буде порівнювати розрахункові значення з експериментальними які відображають гранично допустимі значення температур і видаватиме на дисплей машиніста, який в свою чергу зможе приймати рішення, що до подальшого ведення поїзда на тій чи іншій позиціях контролера.

Це дозволить попереджувати перегрів тягового електродвигуна, що в подальшому дозволить суттєво зменшити витрати на ремонт та обслуговування тягового електродвигуна.

					0032.206302.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.2 Розрахунок температури обмоток відповідно ПТР

Більш спрощено, для зменшення складності розрахунку під час роботи системи управління вентиляторами перевірку на нагрівання електричних машин локомотива може виконуватись аналітичним способом відповідно ПТР [29].

Перегрів обмоток тягового машин визначається за формулою

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right), \quad (2.11)$$

де τ – перевищення температури обмоток над температурою навколишнього середовища, °C;

τ_{∞} – перевищення температури обмоток електричної машини над температурою навколишнього повітря, що встановилося для даного значення середнього струму, °C;

τ_0 – початкове перевищення температури обмоток для розрахункового інтервалу часу, °C;

Δt – інтервал часу, в якому величина струму приймається постійної, хв;

T – теплова стала часу для даного значення струму, хв.

Інтервали часу Δt вибираємо так, щоб виконувалось співвідношення

$$\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1.$$

Значення τ_{∞} і T визначають за тепловою характеристикою в залежності від I_{cp} .

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зниження температури обмоток тягових машин локомотива при русі без струму розраховуємо за формулою

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right). \quad (2.12)$$

Як відзначалося раніше данні для розрахунку температури перегріву обмоток можуть бути отримані від датчиків системи діагностування. Приклад розрахунку температури обмоток з використанням наведеної методики відповідно значень сили струму ТЕД приведено в таблиці 2.1. Значення сили струму і тривалість інтервалів Δt що відповідають незмінному значенню струму приймаємо відповідно даних системи діагностування електровоза ВЛ11^{М/6} №495.

Таблиця 2.1 – Розрахунок перегріву обмоток тягового електродвигуна

$V_{\text{сер}},$ км/год	$I, \text{ A}$	$\Delta t, \text{ хв.}$	$T, \text{ хв.}$	$\frac{\Delta t}{T}$	$\tau_{\infty}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T}$	$\tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right)$	$\tau, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	615	0,5	20	0,025	243,2	6,1	14,6	20,7
15	580	0,5	20	0,025	206	5,2	20,2	25,4
21	571	0,15	20	0,008	197,4	1,6	25,2	26,8
26	566	0,45	20	0,023	192,4	4,4	26,2	30,6
35	549	0,6	20	0,03	178,3	5,3	29,7	35
41,25	541	0,2	20	0,01	171,5	1,7	34,7	36,4
44,6	537	0,15	20	0,008	168,6	1,3	36,1	37,4
48,35	548	0,15	20	0,008	176,8	1,4	37,1	38,5
45	0	0,2	20	0,01	0	0	38,1	38,1
35	0	0,2	20	0,01	0	0	37,7	37,7
35	549	0,45	20	0,023	178,3	4,1	36,8	40,9
43,35	539	0,5	20	0,025	169,5	4,2	39,9	44,1
48,35	548	0,25	20	0,013	176,8	2,3	43,5	45,8
53,75	602	0,65	20	0,033	228,9	7,6	44,3	51,9
58,75	622	0,25	20	0,013	251,1	3,3	51,2	54,5
65	525	1,7	20	0,085	159,3	13,5	49,9	63,4
75	426	1,25	20	0,063	102	6,4	59,4	65,8
82	380	0,8	20	0,04	83,9	3,4	63,2	66,6
88	350	0,5	20	0,025	73,8	1,8	64,9	66,7
94	325	0,1	20	0,005	66,1	0,3	66,4	66,7
92	0	1,6	20	0,08	0	0	61,4	61,4
92	0	1,6	20	0,08	0	0	56,5	56,5

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
92	0	1,7	20	0,085	0	0	51,7	51,7
92	0	1,3	20	0,065	0	0	48,3	48,3
94,5	323	2,2	20	0,11	65,6	7,2	43	50,2
88,5	0	0,15	20	0,008	0	0	49,8	49,8
79	0	0,15	20	0,008	0	0	49,4	49,4
69	0	0,15	20	0,008	0	0	49	49
62	0	0,1	20	0,005	0	0	48,8	48,8
55	0	0,2	20	0,01	0	0	48,3	48,3
50	0	2,35	20	0,118	0	0	42,6	42,6
53	594	0,3	20	0,015	220,1	3,3	42	45,3
56,75	635	0,1	20	0,005	267,2	1,3	45,1	46,4
61,75	571	0,5	20	0,025	197,4	4,9	45,2	50,1
69	479	0,55	20	0,028	129	3,6	48,7	52,3
77	411	0,9	20	0,045	95,8	4,3	49,9	54,2
83	375	0,25	20	0,013	82	1,1	53,5	54,6
79	398	0,65	20	0,033	90,6	3	52,8	55,8
70,5	464	0,55	20	0,028	120,6	3,4	54,2	57,6
62,25	563	2	20	0,1	190,3	19	51,8	70,8
57,25	640	0,15	20	0,008	273,9	2,2	70,2	72,4
56,25	630	1,9	20	0,095	260,6	24,8	65,5	90,3
54,75	613	1,9	20	0,095	241,2	22,9	81,7	104,6
53,25	597	2	20	0,1	223	22,3	94,1	116,4
55	616	0,3	20	0,015	244,3	3,7	114,7	118,4
59,75	604	0,25	20	0,013	230,5	3	116,9	119,9
67	501	1,05	20	0,053	142,3	7,5	113,5	121
73	442	1	20	0,05	109,3	5,5	115	120,5
72	0	0,1	20	0,005	0	0	119,9	119,9
65	0	0,1	20	0,005	0	0	119,3	119,3
55	0	0,2	20	0,01	0	0	118,1	118,1
49,25	0	0,15	20	0,008	0	0	117,2	117,2
92	0	0,75	20	0,038	0	0	112,7	112,7
92	0	0,1	20	0,005	0	0	112,1	112,1
35	0	0,15	20	0,008	0	0	111,2	111,2
25	0	0,1	20	0,005	0	0	110,6	110,6
15	0	0,15	20	0,008	0	0	109,7	109,7
5	0	0,2	20	0,01	0	0	108,6	108,6

Отримана в результаті розрахунку найбільша температура перегріву обмоток тягового електродвигуна не перевищує допустиму $\tau_{\text{доп}} = 130^\circ\text{C}$.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОПОМІЖНИМ ОБЛАДНАННЯМ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11м/6

3.1 Система охолодження електричного обладнання електровоза ВЛ11м/6

Для повного використання потужностей і забезпечення нормальних умов роботи тягових електродвигунів, електродвигунів компресорів, пускових резисторів і резисторів ослаблення збудження і індуктивних шунтів передбачена їх примусова вентиляція. Схеми вентиляції (рисунок 2.1) в обох секціях електровоза ідентичні.

Рисунок 3.1 - Система вентиляції електричного обладнання

1 - блок індуктивних шунтів, 2 – блок пускових резисторів, 3 – дефлектор, 4 – відцентровий вентилятор Ц13-50, 5 – електродвигун компресора, 6 – вікно виходу повітря з кузова, 7 – повітропровід охолодження ТЕД, 8,9,10 – повітропровід охолодження кузовного обладнання, 11 – заслінки обертів в камерах охолодження БПТР, 12 – форкамера, 13 – жалюзі вертикальні лабіринті

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подача повітря для системи вентиляції централізована від одного загального відцентрового вентилятора Ц13-50 №8 з двома вихідними патрубками, встановленого в машинному приміщенні.

Забір охолоджуючого повітря здійснюється із зони форкамери через лабіринтові жалюзі 7, встановлені на даху. Повітря в кожусі вентилятора 4 розділяється на два потоки: один використовується для охолодження тягових електродвигунів, електродвигуна компресора і вентиляції кузова, інший іде по двох повітропроводах для охолодження резисторів ослаблення збудження, пускових резисторів і індуктивних шунтів. Викид-повітря в атмосферу проводиться через лабіринтові щілини в даху над високовольтною камерою.

На лабіринтові щілини встановлюють поворотні заслінки 6. У зимовий час заслінки повинні бути повернені в положення «Закрито», в літній «Відкрито». Повітря до тяговим електродвигунів подається по повітропроводам 12-15. З цих же повітропроводів проводиться відбір повітря в кузов через вікна, регульовані заслінкою, для створення надлишкового тиску в кузові. подача повітря на тяговий електродвигун повинна бути не менше 95 м³/хв. Розподіл повітря по тяговим електродвигунів здійснюється заслінками, встановленими на вихідному патрубку вентилятора. При цьому збільшення витрати повітря для тягового електродвигуна М1 може бути досягнуто за рахунок зменшення витрати повітря тяговими двигунами М4 або М2. У першому випадку заслінку № 1 слід переміщати від себе, а в другому заслінку № 3 слід переміщати на себе. Аналогічно регулюють розподіл повітря і на інших тягових електродвигунах.

Особливості догляду за системою вентиляції. При експлуатації необхідно перевіряти повітроводи системи охолодження і виключити потрапляння в них сторонніх предметів, так як це веде до неприпустимого зменшення площі перетину повітропроводу і, як наслідок, зменшення кількості охолодженого повітря, а також до механічного пошкодження охолоджуваного обладнання.

Під час роботи електровоза двері форкамер повинні бути закриті, тому що в протилежному випадку в кузові створюється розрядження, що сприяє підсосу

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітря через нещільності кузова і, отже, запиленню повітря в кузові електровоза.

Електродвигун постійного струму ТЛ-110М (рисунок 3.2) служить приводом відцентрового вентилятора Ц13-50. Електродвигун встановлений в машинному відділенні кожної секції перпендикулярно подовжній осі електровоза.

Потужність, кВт	53,1
Напруга, В	3000
Струм якоря, А	20,6
Частота обертання, об/хв	990
Опір обмоток при температурі 20°С, Ом:	
— якоря	2,7

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— головних полюсів	2,9
— додаткових полюсів	0,97
Клас ізоляції по нагрівостійкості	
— якоря	В
— остова	F
ККД	0,873
Режим роботи	тривалий
Система вентиляції	самовентиляція
Маса, кг	1590

Електродвигун ТЛ-110М постійного струму, чотирьохполюсний, складається з остову, якоря, щіткового апарату і підшипникових щитів.

Остов електродвигуна циліндрової форми, відлитий із сталі 25Л-1. Він служить одночасно магнітопроводом. На стороні, протилежній колектору, передбачені вікна, закриті сіткою, для виходу вентиляючого повітря, а в нижній частині - лапи для кріплення його до фундаменту. Остов також має приливи з отворами для транспортування.

Розташування обладнання на електровозі. У високовольтної камері (ВВК) розміщена вся апаратура силових кіл і частина апаратів кіл управління - в два поверхи. На першому поверсі по обидві сторони середнього проходу знаходяться блоки апаратів №1, 2 в секції «А», №3, 4 в секції «Б». По всій довжині і ширині даху ВВК розміщені блоки пускових резисторів і індуктивних шунтів. В ВВК також встановлені блок сповіщувача пожежного СП212-5 і сповіщувач пожежний тепловий СП103-2А2. Під середнім проходом ВВК передбачений кабельний жолоб, покритий зверху знімним настилом.

У машинному приміщенні кузова розміщені мотор-вентилятор, агрегат мотор - компресора, малогабаритний компресор для підйому струмоприймача (в секції «Б»), пристрій поїзної радіостанції, пневматичне обладнання, перетворювачі: DCC15, DAC15 і DCB1,1.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У машинному приміщенні на торцевій стінці ВВК встановлено прилад вхідних дискретних сигналів МГ6.5, прилад датчиків струму МГ6.6, розетка 50В. На правій стінці кузова (по ходу електровоза) перед блоком мотор - компресора встановлений прилад джерела живлення ВПН26.

Існуюча електрична схема управління приводом вентилятора передбачає роботу приводного електродвигуна на двох частотах обертання. Розглянемо електричні схеми цих режимів.

Схема силового кола мотор-вентиляторів приведена на рисунку 3.3.

Рисунок 3.3 - Схема силового кола мотор-вентиляторів

Схема кіл управління приведена на рисунку 3.4.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.4 - Схема кіл управління мотор-вентиляторами

Режим низька швидкість вентиляторів. При включенні кнопки «Низька швидкість вентиляторів» на кнопковому вимикачі БлКн1 від проводу 308 подається напруга що включає котушку електромагнітного контактора К51 секції «А» по колу: контакти кнопки «Вентилятор низької швидкості», провід Е705, який розмикає контакт реле часу РВ2-А, провід 716, контакти тумблера «Вентилятор-1» на блоці тумблерів БлКн7, провід 712, що включає котушка електромагнітного контактора К51-А, провід 500, корпус електровоза.

Після включення електромагнітного контактора К51-А, розмикається його допоміжний контакт в колі проводів Е801 - Е806, знімаючи живлення з сигнального світлодіода. На блоці індикації БУ-1 пульта машиніста гасне сигнальний світлодіод «1МВ» сигналізуючи машиністу про включення контактора К51-А.

При замиканні силових контактів контактора К51-А в силовому колі створюється коло живлення двигунів вентиляторів обох секцій: провід 202,

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включений силовий контакт електромагнітного контактора К51 секції «А», провід 203, пусковий резистор R20, провід 204, що включає і утримує котушка контактора К57-А, провід 205, обмотки якоря і збудження електродвигуна МВ6 секції «А», провід 207, клеми 3 між секційного з'єднання, клеми Х1 - Х2 блоку U16-Б силових діодів, провід 205, обмотки якоря і збудження електродвигуна МВ6 секції «Б», провід 211, висновки 3 і 4 швидкодіючого вимикача ВБ2-Б, провід 122, шунти Шн3 і Шн4 лічильників електроенергії Wh1 і Wh2, провід 100, струмознімання ПК2 ... ПК5.

На кожній секції електродвигуни вентиляторів підключаються до контактної мережі через амортизаційний і пусковий резистори секції «А» і працюють при напрузі на колекторах 1500В. При зниженні пускового струму ланцюга двигунів вентиляторів до 25А, включає контактор К-57 пускової панелі секції «А» і шунтують пусковий резистор R20₂₋₃ і свою вмикаючу котушку.

Режим висока швидкість вентиляторів. При експлуатації електровоза на ділянках складного профілю машиніст зобов'язаний включити «Високу швидкість мотор - вентилятора».

Для запуску на високу швидкість вентиляторів не потрібно вимикання кнопки «Низькою швидкості вентиляторів», допускається одночасне включення обох кнопок включення вентиляторів на кнопчному вимикачі БлКн1.

При включенні кнопки «Висока швидкість вентилятора» на кнопчному вимикачі БлКн1 отримує живлення провід Е706, далі 4 паралельні гілки.

Отримує живлення котушка електромагнітного контактора К51-А: діод Д38-А, провід 716, контакти тумблера «Вентилятор-1» блоку тумблерів БлКн7, провід 712, котушка електромагнітного контактора К51-А, провід 500, корпус електровоза.

Отримує живлення котушка електромагнітного контактора К52-А: контакти тумблера «Вентилятор-1» блоку тумблерів БлКп7, провід 710, котушка електромагнітного контактора К52-А, провід 500, корпус електровоза.

Отримує живлення котушка електромагнітного контактора К1-Б:

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакти тумблера «Вентилятор-2» блоку тумблерів БлКн7, провід 712, що включає котушка електромагнітного контактора К51-Б, провід 500, корпус електровоза.

Отримує живлення котушка реле часу РВ2-А, провід 500, корпус електровоза. Після включення реле часу розмикається його блокування в ланцюга проводів Е705 - 716, знімаючи додаткове живлення котушки контактора К51-А від кнопки «Низька швидкість вентиляторів», при включеній кнопці.

Після включення електромагнітних контакторів К51-А і К51-Б, розмикаються їх допоміжні контакти в ланцюзі проводів Е801-Е806 і / 801 - Е807, знімаючи живлення з сигнальних світлодіодів.

На блоці індикації ВU-1 пульта машиніста гаснуть сигнальні світлодіоди «1МВ» і «2МВ» сигналізуючи машиністу про включення контакторів К51-А і К51-Б. При замиканні силових контактів на кожній секції електродвигуни вентиляторів підключаються до контактної мережі через амортизаційний і пусковий резистори і працюють при напрузі на колекторах 3000В. Електромагнітний контактор К52-А замикає ланцюг вентилятора секції «А» з боку землі, шунтуючі блок перехідних діодів U16-Б.

Секція «А»: провід 202, включений силовий контакт електромагнітного контактора К51, провід 203, пусковий резистор R20, провід 204, включається і утримує котушка електромагнітного контактора К57, провід 205, обмотки якоря і збудження електродвигуна МВ6, провід 207, замкнуті силові контакти електромагнітного контактора К52-А, провід 211, клеми міжсекційних з'єднання, висновок 4 швидкодіючого вимикача ВБ2-Б.

Секція «Б»: провід 202, включений силовий контакт електромагнітного контактора К51, провід 203, пусковий резистор R20, провід 204, включається і утримує котушка електромагнітного контактора К57, провід 205, обмотки якоря і збудження електродвигуна МВ6, провід 211, висновок 4 швидкодіючого вимикача ВБ2-Б.

Від швидкодіючого вимикача ВБ2-Б ланцюг землі аналогічний при

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включенні низькій швидкості вентиляторів.

При зниженні пускового струму ланцюга двигунів вентиляторів до 25А, включаються контактора К-57 пускової панелі обох секцій і замикаючі пускові резистори R20₂₋₃ шунтують котушки.

При виключенні високій швидкості і включеної кнопки «Низьку швидкість вентиляторів» схема автоматично переходить на низьку швидкість з затримкою підключення електродвигунів вентиляторів до контактної мережі. Після виключення кнопки «Висока швидкість вентиляторів» втрачає живлення котушка реле часу РВ2-А, але замикання власних контактів в проводах Е705 - 716 відбувається з затримкою часу 2 - 3сек, це необхідно для запобігання можливого перегорання демпферного - пускового опору R20 секції «А».

3.2 Удосконалення системи управління вентиляторами електровоза ВЛ11^{М/6}

Одним із заходів підвищення надійності мотор вентиляторів, який одночасно призведе і до економії електроенергії на власні потреби електровозом, є автоматизована система керування вентиляторами (АСКВ).

Одним з варіантів удосконалення може бути впровадження системи АСКВ на електровозах ВЛ11^{М/6}. Зазвичай в режимі АСКВ мотор-вентилятори працюють в залежності від струму тягового двигуна (ТД) по сигналам блоку БУВ-6, що імітує теплову модель ТД.

Результати досліджень [30] засвідчили, що максимальна кінцева температура обмоток двигунів складає 97,7°С. Це нижче допустимої для обмоток двигуна ТЛ2К електровозів ВЛ11^{М/5}. В той же час ця температура вище допустимої по нагріву колектора ТЕД згідно Правил ремонту електричних машин електрорухомого складу.

Низька початкова температура дозволяє допустити можливий перегрів обмоток при веденні вантажних поїздів різної маси по перегону. Для цього були

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведені розрахунки при різному збільшенні температури обмоток – τ_0 . Результати розрахунків [30] показали що при вазі поїзду менше 3400 т ТЕД працюють з температурою обмоток в межах 85-115°C.

На основі цього в роботі [30] запропоновано для електровозів серії ВЛ11^{М/5} використовувати новий варіант АСКВ – трьохрівневу систему керування мотор-вентиляторами:

- 1-й рівень – включення мотор-вентиляторів в режим ослаблення поля (ОП) на низькій швидкості обертання при температурі ТД 75-80°C;
- 2-й рівень – перемикання мотор-вентиляторів з низької на високу швидкість при досягненні температури ТД 92-95°;
- 3-й рівень – перемикання мотор-вентиляторів на низьку швидкість обертання при охолодженні двигунів нижче 65°C.

Конструктивно система (рисунок 3.5) складається з додаткового контактора Кмв, який вмикає резистор R21 паралельно обмотці збудження мотор-вентилятора. Вмикання-вимикання контактора Кмв здійснює блок БУВ-6, встановлений в секції А. Для цього необхідно модернізувати блок: встановити додаткове реле КЗ, вивести допоміжний живильний дріт для включення Кмв; відрегулювати установки температури ТД.

Як відзначалось раніше, складністю впровадження подібних систем є необхідність визначення дійсної температури нагріву обмоток ТЕД електровоза. Необхідно виконувати розрахунки температури обмоток двигуна в режимі реального часу. Так як електровози ВЛ11^{М/6} обладнано бортовою системою діагностування яка контролює температуру повітря на вході та виході до ТЕД, а також струм якоря двигуна. Визначення температури обмоток ТЕД пропонується виконувати розрахунковим способом. За допомогою датчика струму визначаємо силу струму, датчики температури повітря на вході та виході ТЕД використовуємо для контролю перегріву обмоток.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.5 – Схема автоматичного управління вентиляторами
електровоза ВЛ11^{М/5}

Для удосконалення принципу роботи системи охолодження обладнання пропонуємо ввести регулювання частоти обертів приводу вентилятора залежно від розрахункового значення температури обмоток ТЕД. Для розрахунку температури перегріву обмоток необхідно знати: струм двигуна, тривалість інтервалу постійного значення струму, температуру оточуючого повітря. Ці значення будемо визначати на основі даних системи діагностування, так як в ній

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

присутні датчики всіх цих параметрів. Для захисту ТЕД від перегріву обмоток пропонуємо використовувати датчик температури повітря на виході з ТЕД. У випадку перевищення температури повітря на виході з ТЕД вище 20°C над температурою оточуючого середовища автоматично вентилятор відповідної секції вмикається на максимальну частоту обертання. Перевищення 20°C приймаємо відповідно значенням що встановлені в експлуатаційній документації на систему діагностування.

Якщо різниця температури повітря на виході ТЕД та температура оточуючого середовища не перевищує нормативні 20°C, то пропонуємо встановити наступні граничні температури обмоток:

- при охолодженні обмоток двигунів нижче 65°C (1-й рівень) – перемикання мотор-вентиляторів на мінімальну швидкість обертання. Напруга живлення вентиляторів 1500 В.

- при температурі обмоток ТЕД 65-92°C (2-й рівень) – плавна зміна напруги живлення мотор-вентиляторів від 1500 В до 3000 В;

- при досягненні температури обмоток ТТД 92-95°C (3-й рівень) – перемикання мотор-вентиляторів з низької на високу швидкість. Напруга живлення вентиляторів 3000 В.

Враховуючи що система охолодження є централізованою, то вибір частоти обертання вентиляторів необхідно виконувати за максимальною температурою обмотки з чотирьох ТЕД.

Для реалізації такого принципу регулювання частоти обертання вентиляторів необхідно розробити конструкцію та алгоритм роботи пристрою автоматичного управління вентиляторам електровоза.

Структурна схема пристрою автоматичного управління вентиляторам електровоза приведена на рисунку 2.6.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.6 – Структурна схема пристрою автоматичного управління вентиляторами електровоза

Вхідними сигналами є сигнали від датчиків струму та температури ТЕД які встановлені в системі діагностування електровоза. Отримавши ці сигнали блок розрахунку відповідно формул (2.11) та (2.12) визначає температуру нагріву обмоток. Залежно від розрахованого значення температури визначається величина напруги живлення вентиляторів. Сигнал від блоку розрахунку подається до драйверу управління широтно-імпульсним модулятором (ШИМ), який управляє роботою ШИМ. Призначення ШИМ полягає в плавній зміні напруги живлення мотор вентиляторів від 1500 В до 3000 В. Додатково розраховані значення температури обмоток передаються в систему діагностування електровоза для запису та відображення.

На сьогоднішній день найраціональнішими методами регулювання постійної напруги є методи імпульсного регулювання, оскільки дозволяють одержати найбільший ККД регулятора. При цьому управляючий елемент при використуванні імпульсних методів регулювання працює як ключ.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середнє значення постійної напруги в навантаженні регулюється за рахунок зміни співвідношення інтервалів часу замкнутого і розімкненого стану ключа. При використанні методу – при постійному періоді надходження імпульсів змінюється їх тривалість (ширина), тобто змінюється час напруги якого електронний ключ підєднує джерело живлення до навантаження. Регулювання напруги виконується зміною в часі тривалості інтервалів замкнутого і розімкнутого станів ключа. Спрощена схема, яка ілюструє принцип широтно імпульсного регулювання приведена на рисунку 3.7.

Рисунок 3.7 – Схема, що пояснює принцип широтноімпульсного регулювання постійної напруги

Струм в навантаженні утворюється двома складовими:

– при замкнутому ключі К струм i' утворюється за рахунок енергії джерела живлення, при цьому відбувається накопичення електричної енергії в котушці індуктивності L та конденсаторі C;

– при розімкнутому стані ключа К струм i'' утворюється за рахунок енергії, яка накопичена в конденсаторі C та котушці індуктивності L. Діаграми, які пояснюють принцип широтно імпульсного регулювання приведені на рисунку 3.8.

В якості ключей в широтноімпульсних регуляторах використовуються тиристори або повністю керовані IGBT транзистори. Перевагою IGBT

					0032.206302.000.01MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

U_c - максимальне значення напруги, U_d, i_d - середнє значення напруги і струму в навантаженні, Δt - інтервал часу замкнутого стану ключа, T - період регулювання

Рисунок 3.8 – Діаграми струму і напруги в навантаженні при використанні методу широтно імпульсного регулювання

транзисторів є можливість їх включення або виключення при зміні сигналу на керуючому виводі (затвор польового транзистора). При використанні тиристорів в схемах регулювання постійної напруги виникають складнощі з примусовим закриттям тиристора, що вимагає використання складних схем комутації тиристорів.

Для вибору елементної бази ШИМ необхідно виконати розрахунки. Вибір перетворювача виконуємо з урахуванням потужності двигуна системи охолодження 53,1 кВт, напруга живлення до 3000 В, струм 20,6 А. В якості ключа ШИМ перетворювача приймаємо IGBT транзистор.

Для забезпечення високого рівня надійності напруга живлення модуля IGBT транзистор повинна бути не більше 60% від максимально допустимого напруги колектор-емітер, тобто

$$U_{igbt} = \frac{U_d}{k_3}, \quad (3.1)$$

де U_d - максимальна напруга живлення мотор вентилятора; $U_d = 3000$ В;

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

k_3 - коефіцієнт запасу; $k_3=0,6$.

$$U_{igbt} = \frac{3000}{0,6} = 5000 \text{ В.}$$

Для забезпечення високого рівня надійності амплітудне значення струму колектора має бути не більше 70 ÷ 80% від максимально допустимого значення постійного струму колектор-емітер. Допустиме середнє значення струму через транзистор визначаємо за формулою

$$I_{igbt} = \frac{I_d}{k_1}, \quad (3.2)$$

де I_d – максимальний прямий струм на виході перетворювача; $I_d=20,6$ А,

k_1 – коефіцієнт, що враховує максимально допустиме значення постійного струму колектор-емітер приймаємо; $k_1 = 0,7$.

$$I_{igbt} = \frac{20,6}{0,7} = 29,42 \text{ А.}$$

На основі розрахунків приймаю IGBT модуль МТКИ-25-65В [19].

Технічні характеристики IGBT модуль МТКИ-25-65В

Максимально допустима напруга колектор-емітер, В	6000
Максимально допустимий прямий струм колектор-емітер, А	25
Максимально допустима зворотна напруга колектор-емітер, В	13000
Час переключення, сек	0,0007
Максимальна температура кристалу, °С	150
Маса, кг	0,4

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як максимально допустимий прямий струм колектор-емітер IGBT модуля МТКИ-25-65В менший за струм перетворювача, то приймаємо два модуля включених паралельно. Зовнішній вигляд модуля МТКИ-25-65В приведено на рисунку 3.9.

Рисунок 3.9 - Зовнішній вигляд IGBT модуля МТКИ-25-65В

Включення перетворювача в електричну схему управління вентиляторами приведено на рисунку 3.10.

Алгоритм роботи блоку автоматичного регулювання обертів вентиляторів показано на рисунку 3.11.

Виконавши аналіз існуючої системи охолодження обладнання електровозів ВЛ11^{М/6} запропоновано удосконалити існуючу систему. Метою удосконалення є підвищення надійності тягових електродвигунів та скорочення витрат електроенергії на привід вентилятора. Підвищення надійності очікується за рахунок плавного регулювання охолодження в залежності від температури перегріву ізоляції. Результат досягається більш якісного регулювання охолодження ТЕД. Досвід використання подібних систем дозволяє очікувати економії електроенергії на привід вентиляторів до 2% при цьому підвищується ресурс ТЕД до 30%. Окрім того виключається людський фактор за рахунок автоматизації роботи системи.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.10 - Включення перетворювача в електричну схему управління
вентиляторами

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.11 - Алгоритм роботи блоку автоматичного регулювання
обертів вентиляторів

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Незважаючи на просту систему допоміжних машин досвід експлуатації показує досить низьку надійність системи живлення допоміжних електроприводів. У деяких депо, де експлуатуються електровози відбувається щомісяця по 20-30 відмов допоміжних машин. Крім того, застосування існуючої системи живлення приводів допоміжних машин не дозволяє забезпечити їх роботу в економних режимах. Розрахунки, зроблені для потоку грузонасищених доріг, показали, що допоміжні машини споживають приблизно 10% енергії, що витрачається на тягу поїздів. Вище викладене підтверджує актуальність теми магістерської роботи.

В роботі приведений аналіз електричних схем живлення допоміжного обладнання електрорухомого складу. Розглянуті переваги та недоліки існуючих схем живлення допоміжного обладнання. Визначено напрямки модернізації допоміжного електричного обладнання. Запропоновано впровадження системи автоматизованого управління частотою обертання мотор вентиляторів тягових електродвигунів.

Алгоритм роботи системи управління вентиляторами тягових електродвигунів має враховувати значення температури обмоток тягового електродвигуна в режимі реального часу. Для визначення температури перегріву обмоток під час експлуатації використовуються методи математичного моделювання. В роботі виконано аналіз умов роботи та охолодження тягових електродвигунів, аналіз математичних моделей визначення температури обмоток. На основі даних системи діагностування виконано розрахунок температури обмоток тягового електродвигуна.

Запропонований варіант удосконалення системи управління вентиляторами тягових електродвигунів який передбачає використання три ступінчастого регулювання частоти обертання. Відміною запропонованого

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підходу є те, що впроваджено плавне регулювання частоти обертання приводів вентиляторів при значенні температури обмоток від 65 до 90°C. В третьому розділі роботи виконано вибір елементної бази для тиристорних перетворювачів управління вентиляторами охолодження тягових електродвигунів.

Очікуваним результатом модернізації є скорочення витрат електроенергії на привід вентиляторів та зменшення кількості пробоїв ізоляції тягових електродвигунів.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Захарченко Д. Д. Подвижной состав железных электрических дорог. Тяговые электромашины и трансформаторы. - М: Транспорт, 1968. – 296 с.
2. Ермолин П. П. Надёжность электрических машин. Л.: Энергия, 1985.– 248 с.
3. Иванов П. Ю. Повышение эксплуатационной надёжности асинхронных вспомогательных машин магистральных электровозов переменного тока: дис... канд. тех. наук Иркутск: ИрГУПС.- 2015.
4. Чиркадзе Г. И. Электровоз ВЛ11. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1983. – 464 с.
5. Кикнадзе О. А. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10У. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1981. – 519 с.
6. Амелин В. М. Электропоезда. Механическая часть, тяговые двигатели и вспомогательные машины. Системы обслуживания и ремонта. – М.: НЦ ЭНАС, 2000. – 200 с.
7. Каптелкин В. А. Пассажирские электровозы ЧС4 и ЧС4Т / В. А. Каптелкин, Ю. В. Колесин, И. П. Ильин, А. С. Потопов, Д. И. Моховиков – М.: Транспорт, 1975 – 384 с.
8. Федюков Ю. А. Расщепитель фаз и расщепительный эффект. // Локомотив. – 2011.- № 4.
9. Федюков Ю. А. Энергетические характеристики расщепителей фаз //Электровозостроение. Сборник научных трудов. – Новочеркасск: ОАО ВЭЛНИИ, 2011 43с.
10. Литовченко В. В. Совершенствование системы питания вспомогательных машин электровозов переменного тока /Сб. науч. тр. XI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» – М.: МИИТ, 2010.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Невинский А. В. Системы питания цепей собственных нужд современного тягового подвижного состава // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2009. - № 2-3.
12. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник/ В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чумак – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна - 2003. – 252 с.
13. Горбачев Г.Р., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов; под редакцией В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
14. Электровоз ВЛ 80^К. Руководство по эксплуатации.- М.: Транспорт, 1978. - 432 с.
15. Васько Н. М., А.С.Девятков. Электровоз ВЛ 80^С по эксплуатации.- М.: Транспорт, 1990. - 454с.
16. Капустин Л. Д., Лозановский А. Л. Надежность и эффективность электровозов ВЛ80^Р в эксплуатации.; под. ред. А.Д. Капустина.-М. : Транспорт, 1986. - 240 с.
17. Малютин А.Ю. Применение маловентильных преобразователей в системе питания вспомогательных цепей электровозов переменного тока: дис... канд. тех. наук Москва: МИИТ.- 2017. – 149 с.
18. Брусиловский И.В. Аэродинамика осевых вентиляторов. - М.: Машиностроение, 1984. - 240 с.
19. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий: Учеб. пособие/ В.А. Дайнеко, А.И. Ковалинский. – Минск: Новое знание, 2008.
20. Markus Lindegger. Economic viability, applications and limits of efficient permanent magnet motors.- Switzerland: Swiss Federal Office of Energy, 2009.
21. Горобченко А.Н., Кривошея Ю.В., Гуцин А.М., Дорошко В.И., Матвиенко С.А., Сацюк А.В. Математическая модель управления мотор-

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вентиляторами обдува тяговых двигателей электровозов // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2012. №29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematiceskaya-model-upravleniya-motor-ventilyatorami-obduva-tyagovyh-dvigatelye-elektrovozov> (дата обращения: 28.11.2021).
22. Давыдов Ю.А. Тяговые электрические машины : учебное пособие / Ю.А. Давыдов, А.К. Пляскин. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 126 с. : ил.
 23. Худогов, А.М. Инновационная технология повышения надёжности и продления ресурса электрических машин тягового подвижного состава / А.М. Худогов, Е.М. Лыткина, Е.Ю. Дульский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование 4 (36), 2012. – 261 с. – С. 102–108.
 24. Авторское свидетельство 1584040 (СССР). Тяговая электрическая машина постоянного тока / Луков Н.М., Логинова Е.Ю., Попов В.М., Кравцов А.Н., Доронин Ю.И., Макаренков А.И., – опубликовано в Б.И., 1990, № 29, кл. Н0 2К9/04,00.
 - 20 Патент 212/209(Россия). Устройство для автоматического регулирования температуры электрической машины: /Космодамианский А.С., Луков Н.М. – опубликовано в Б.И., 1998, кл. Н02К9/04.
 - 21 Космодамианский А.С., Чернышев Л.А. Методика расчетных исследований переходных процессов в нелинейных АСРТ тяговых электрических машин локомотивов, Моск. ин-т инж.ж.-д. трансп.(МИИТ). - Деп.в ЦНШТЭИТЯЖМАШ 27.01.92., № 818- тм 92
 - 22 Фоменко В.К. Математическое моделирование теплообменных процессов, протекающих в якоре тягового электродвигателя локомотива / В.К. Фоменко. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока: Науч.-тех. журнал. Новосибирск, 2009. - № 1. - С. 407 – 409.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 23 Худорожко М.В. Непрерывный контроль температуры якорных обмоток тяговых электродвигателей локомотива // Вестник. ВНИИЖТ, 2009 - №1. С. 27 – 29.
- 24 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287с.
- 25 Лисицын А.Л. Возможности экономии ресурсов на тягу поездов // Железнодорожный транспорт. – 2002. - №2.

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Удосконалення системи управління допоміжним обладнанням електровозів ВЛ11м/6». Розроблений на замовлення локомотивного депо. Загальний обсяг проекту 6 креслень і 80 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається трьох розділів, містить 32 рисунки, 14 таблиць, список літератури з 25 джерел.

Об'єкт дослідження: системи управління допоміжним обладнанням електровоза ВЛ11^{м/6}. Мета дослідження: підвищення надійності ТЕД, скорочення витрат електроенергії на привід вентилятора.

В роботі розглянуто існуючі системи управління допоміжним обладнанням електровозів, запропонований варіант модернізації системи управління вентиляторами тягових електродвигунів. Розроблено структурну, електричну схему та алгоритм роботи автоматичної системи триступінчастого регулювання частоти обертання мотор-вентиляторів тягових електродвигунів. В запропонованій системі значення частоти обертання мотор-вентиляторів визначається на основі розрахунку температури обмоток тягових електродвигунів. Температура розраховується в режимі реального часу за даними струму тягових двигунів який вимірюється системою діагностування. Метою модернізації є скорочення витрат електроенергії на привід вентиляторів охолодження тягових електродвигунів та підвищення надійності тягових електродвигунів за рахунок дотримання умов роботи ізоляції.

Галузь застосування: експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Економічний ефект: скорочення витрат електроенергії на привід вентиляторів охолодження тягових електродвигунів

Ключові слова: ЕЛЕКТРОВОЗ ВЛ11^{м/6}, ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕД, РЕГУЛЯТОР НАПРУГИ, ПЛАВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТІВ

					0032.206302.000.01МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		