

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “Транспортна інженерія”

Кафедра “Локомотиви”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

“17” Січня 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “Удосконалення електричної передачі тепловоза
постійного струму”

за освітньою програмою: “Локомотиви та локомотивне господарство”
зі спеціальності 273 “Залізничний транспорт”
галузі знань 27 “Транспорт”

Виконав: студент групи ЛГ2226

МН

Володимир НІКОЛАЄНКО

Керівник Е. Гайда Євген БОДНАР

Нормоконтролер Малюк Людмила КОЛОДІЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент

МН

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”

Department “*Locomotives*”

EXPLANATORY NOTE

to Master’s Thesis

master

on the topic: “**Improvement of the electrical transmission of a direct current diesel locomotive**”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”
in the Speciality 273 “*Railway transport*”
field of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group *LG2226*:

Volodymyr NIKOLAIENKO

Scientific Supervisor: Yevhen BODNAR

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2024

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Удосконалення електричної передачі тепловоза постійного струму» у загальному обсязі 82 аркуші розрахунково-пояснювальної записки і 6 аркушів демонстраційного матеріалу складається з 3 розділів. Магістерська робота містить: 26 рисунків та 11 таблиць. Під час підготовки магістерської роботи було використано 14 наукових джерел, перелік яких наведено у розділі «Список літератури».

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі виступає тепловоз постійного струму, а метою дослідження – удосконалення електричної передачі тепловоза за рахунок впровадження мікропроцесорної системи керування електричними силовими колами. Предмет дослідження – електро-механічні та тягові параметри тепловоза.

Для досягнення поставленої мети в дипломній магістерській роботі ми виконали аналіз літературних джерел з удосконалення тепловозної електричної передачі постійного струму із застосуванням мікропроцесорної техніки та розглянули досвід експлуатації тепловозів серій 2TE10 та М62. При удосконаленні електричної передачі тепловоза постійного струму ми вказали принципи підвищення зчїпних властивостей тепловозів. На підставі аналізу зв'язків електричних та механічних параметрів в тягових електродвигунах ми розробили систему підвищення тягових властивостей тепловозів з автоматичним керування магнітним потоком. На підставі цієї системи розрахували тягові властивості тепловозів й побудували тягову характеристику проектного тепловоза. Обґрунтування удосконалення електричної передачі тепловоза ми виконали шляхом порівняння показників, отриманих на підставі тягових розрахунків, а саме витрати дизельного палива та часу ходу поїзда зі складом однакової маси на реальному профілі колії. Визначення витрат енергоресурсів тепловозом вказало на доцільність удосконалення електричної передачі тепловоза вказаним методом, що додатково підтверджено порівнянням результатів тягових розрахунків, таких як технічна швидкість та час ходу.

Ключовими словами в дипломній магістерській роботі являються: удосконалення, тепловоз, електрична передача, силові електричні кола, мікропроцесорна техніка, тягова характеристика, витрата дизельного палива, час ходу, профіль колії, технічна швидкість.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОВОЗНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ	9
1.1 Загальні принципи побудови мікропроцесорних систем керування потужністю	9
1.2 Досвід експлуатації мікропроцесорної системи керування потужністю на тепловозах серії ТЕ10	15
1.3 Характеристики тепловозів типу М62 з мікропроцесорною системою керування потужністю	28
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	36
2.1 Робота електричної схеми під час пуску тепловоза	36
2.2 Аналіз зв'язків електричних та механічних параметрів в тягових електродвигунах	40
2.3 Розробка системи підвищення тягових властивостей тепловозів	42
2.5 Розробка системи автоматичного керування магнітним потоком.....	43
2.7 Розрахунок тягових властивостей тепловозів при удосконаленні електричної передачі тепловоза	46
3 ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОВОЗА НА ПІДСТАВІ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ	48
3.1 Спрямлення профілю колії	48
3.2 Визначення розрахункового підйому	51
3.3 Розрахунок маси складу	51
3.4 Перевірки розрахункової маси складу	54

					0032.226324.000.03МР.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення електричної передачі тепловоза постійного струму	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Ніколаєнко					Н	5	82
Перевір.	Баднар					УДУНТ, гр. ЛГ2226		
Реценз.								
Н. Контр.	Колодій							
Затверд.	Баднар							

3.5 Побудова діаграм питомих рівнодіючих сил.....	60
3.6 Вирішення гальмівної задачі	62
3.7 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда та струму.....	68
3.8 Визначення часу ходу поїзда по перегонах	72
3.9 Визначення часу ходу поїзда методом рівномірних швидкостей	72
3.10 Перевірка електричних машин локомотива на нагрівання	74
3.11 Визначення витрат енергоресурсів тепловозом	76
3.12 Порівняння результатів тягових розрахунків	77
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	81

ВСТУП

Науково-технічний прогрес на залізничному транспорті зв'язаний із розвитком локомотивного господарства, в якому зосереджена майже 10% загальної вартості основних фондів залізниць. На його долю припадає близько третини експлуатаційних витрат, які витрачаються на перевезення вантажів і пасажирів.

Державна політика розвитку й оновлення залізничного транспорту на найближчий період включає як оновлення основних виробничих фондів, в першу чергу рухомого складу так і його технічне переоснащення за рахунок цільових модернізацій.

Затверджена програма оновлення залізничного рухомого складу передбачає здійснення виробництва і модернізацію залізничного рухомого складу повністю на українських підприємствах.

Сучасний тепловоз – це складний багатофункціональний автономний замкнений пристрій, в якому всі проблеми повинні вирішуватися тільки власними засобами. Це визначає високі вимоги, що пред'являються до якості регулювання та надійності систем, хоча наявні у тепловозів економічні та експлуатаційні можливості використані далеко не повністю.

Успіхи в області обчислювальної техніки відкривають перед розробниками локомотивних автоматичних систем багато нових можливостей. Використання мікроЕОМ призвело до істотної зміни процесу розробки регулюючої апаратури. З допомогою програмованих цифрових автоматичних систем можна реалізувати значно більш складні алгоритми роботи, ніж на аналогових регуляторах. Складні алгоритми, синтезовані на основі досягнень сучасної теорії систем автоматичного регулювання та обчислювальної техніки забезпечують значно більш високі якісні показники роботи локомотивів, ніж традиційно прийняті алгоритми.

Цифрова автоматична система володіє підвищеною моральною стійкістю у порівнянні з аналоговими регуляторами, так як її вдосконалення пов'язано тільки з перепрограмуванням основного алгоритму. З цієї причини головна увага при розробці локомотивних систем з мікроЕОМ приділяється вибору функціональної

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схеми, організації систем вводу-виводу, створення програмного забезпечення, налагодження і тестування устаткування.

Впровадження в локомотивну автоматичну систему мікроЕОМ призведе до встановлення додаткового специфічного електронного обладнання, яке повинно бути економічно виправданим з точки зору поліпшення споживчих якостей локомотивів і підвищення їх надійності.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОВОЗНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Загальні принципи побудови мікропроцесорних систем керування потужністю

Система УСТА є класичним представником мікропроцесорних систем автоматичного регулювання. Її структура повністю відповідає схемі представленої на рис. 1.1. Конструктивно система виконана у вигляді блоку регулювання (БР) (рис. 1.2), який має модульну конструкцію і набір датчиків, кількість яких залежить від варіанту виконання системи [1].

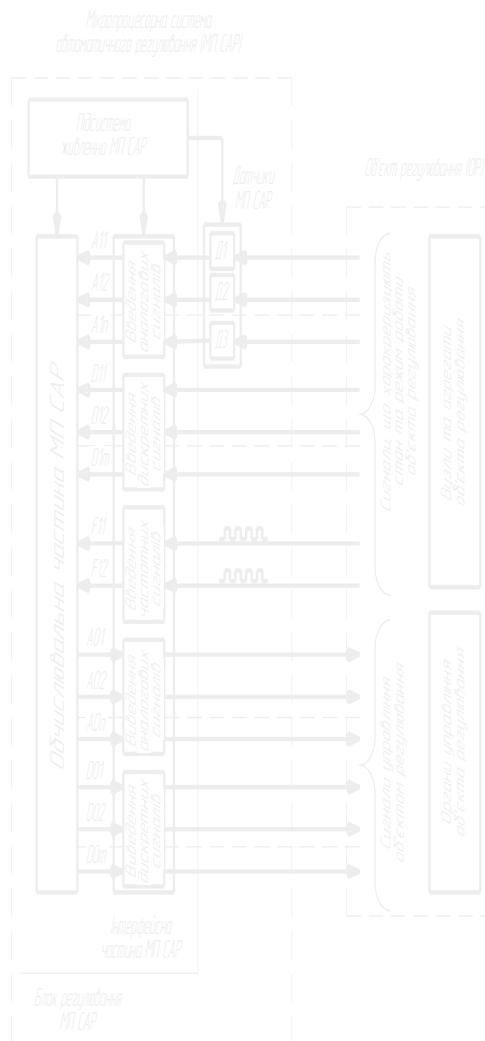


Рисунок 1.1 – Структурна схема мікропроцесорної системи автоматичного регулювання



Рисунок 1.2 – Блок регулювання системи УСТА

Обчислювальна частина системи УСТА являє собою модуль процесора ПР, в якому розташовується мікроЕОМ, що є кристалом великої або надвеликої інтегральної мікросхеми, яка містить всі логічні елементи, необхідні для утворення повноцінної обчислювальної системи. Вона призначена для обробки числової інформації про стан об'єкту регулювання і визначення необхідних управляючих впливів на об'єкт. Обчислювальний пристрій мікропроцесорної системи автоматичного регулювання МП САР оперує не фізичними величинами, що характеризують стан об'єкту, а їх числовими значеннями. Висока швидкодія обчислювальної частини дозволяє виконувати весь цикл управляючої програми за короткий проміжок часу, у системі УСТА він становить 0,01 с, тобто управляюча програма виконується 100 разів на секунду. Управляючою програмою називається циклічно замкнута, безперервно виконувана обчислювальною частиною системи послідовність операцій, що забезпечує певний порядок взаємодії мікропроцесорної системи регулювання з об'єктом регулювання [1].

Інтерфейсна частина системи включає засоби введення аналогових,

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

дискретних і частотних сигналів, засоби виведення дискретних і аналогових управляючих сигналів. Вона представлена п'ятьма модулями: модулем аналого-цифрового перетворювача АЦП, модулем введення дискретних сигналів ГР, модулем вихідних ключів ВИХ, модулем управління широтно-імпульсним модулятором Кер.ШІМ і модулем силових ключів ШІМ і призначена для забезпечення зв'язку обчислювальної частини системи з об'єктом регулювання. До інтерфейсної частини системи відносяться також датчики, що забезпечують первинне перетворення аналогових сигналів, що характеризують режим роботи дизель-генераторної установки тепловоза [1].

Вона виконує наступні основні функції:

– введення в обчислювальну частину аналогових (безперервних) гальванічно розв'язаних сигналів, що характеризують значення параметрів стану об'єкту регулювання (таких, наприклад, як струм, напруга генератора, вихід рейок паливних насосів високого тиску дизеля і так далі);

– введення в обчислювальну частину частотних сигналів, тобто сигналів, що характеризують частоту повторення якого-небудь процесу в об'єкті регулювання; ці сигнали найчастіше використовуються для визначення кутових швидкостей обертання різних механізмів об'єкту регулювання (наприклад, частоти обертання колінчастого валу дизеля або колісної пари локомотива);

– введення в обчислювальну частину дискретних (релейних) гальванічно розв'язаних сигналів, що характеризують стан об'єкту регулювання; дискретні сигнали формуються за принципом «є - немає» і використовуються для визначення ознаки включення або не включення якого-небудь пристрою або апарату;

– передачу від обчислювального пристрою до об'єкту регулювання гальванічно розв'язаних аналогових управляючих сигналів, що використовуються для плавного (безперервного) управління об'єктом (наприклад, для регулювання струму обмотки збудження генератора);

– передачу від обчислювального пристрою до об'єкту регулювання дискретних (релейних) управляючих сигналів, що використовуються для включення або відключення яких-небудь апаратів або механізмів (наприклад,

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включення або відключення контакторів і реле електричної схеми) [2].

Під гальванічною розв'язкою мається на увазі передача сигналу від джерела до приймача за відсутності їх гальванічного зв'язку (тобто безпосереднього зв'язку електричними провідниками). Для передачі електричного сигналу між гальванічно розв'язаними ланцюгами найчастіше використовується або енергія магнітного поля (трансформаторна розв'язка, рис. 1.3, а), або енергія випромінювання (оптронна розв'язка, рис. 1.3, б), найчастіше для зменшення зовнішніх впливів в інфрачервоному діапазоні. Гальванічна розв'язка високовольтних (об'єкта регулювання) і низьковольтних (обчислювального пристрою МП САР) ланцюгів призначена для виключення пошкодження останніх піковими викидами напруги, завжди присутніми в ланцюгах, комутуючих індуктивні навантаження (катушки реле, контакторів і електропневматичних вентилів). Вона є необхідною умовою надійної роботи обчислювального пристрою МП САР [2].

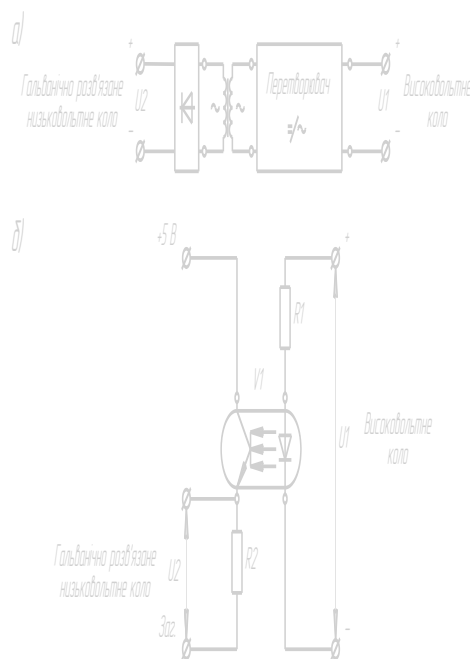


Рисунок 1.3 – Схема гальванічної розв'язки:

а – трансформаторна; б – оптронна

При роботі з високовольтними аналоговими електричними сигналами (напруга і струм тягового генератора тепловоза) їх гальванічна розв'язка, а також при необхідності первинне масштабування (пропорційне зниження рівня) сигналу

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

здійснюється в спеціальних пристроях, званих датчиками (D_1, D_2, \dots, D_n). При вимірі неелектричних величин (вихід рейок паливних насосів високого тиску дизеля, тиск повітря і т.д.) датчики здійснюють також перетворення фізичної природи сигналу (переміщення рейок ПНВТ перетворюється за певним масштабним коефіцієнтом в електричну напругу на відповідному вході інтерфейсної частини МП САР).

Підсистема електроживлення призначена для формування напруги живлення, необхідної для роботи всіх складових частин МП САР. Ця підсистема обов'язково присутня в бортових системах регулювання силових установок тепловозів, оскільки бортові мережі останніх не пристосовані для живлення подібних пристроїв. Порядок взаємодії МП САР з об'єктом регулювання, повністю визначається управляючою програмою обчислювальної частини системи [2].

Блок регулювання виконує обробку вхідних сигналів, що поступають зі схеми тепловоза і видає управляючий вплив згідно управляючій програмі. Він отримує живлення від бортової мережі тепловоза. Напруга живлення подається на зовнішній роз'єм ХР1 блоку регулювання і залежно від типу тепловоза може складати 75 В або 110 В. Для живлення датчиків та елементів схем блоку регулювання системи УСТА модуль живлення виробляє :

- стабілізовану напругу постійного струму +5 В, +15 В, -15 В;
- стабілізовану напругу постійного струму + 15 В з навантажувальною здатністю до 1 А;
- частотний сигнал типу «меандр» 40 кГц амплітудою 12 В;
- змінну напругу з амплітудою 5 В і частотою 1 кГц.

Модуль центрального процесора призначений для логічної і арифметичної обробки інформації на основі принципу програмного управління.

Модуль аналого-цифрового перетворювача. Вихідна інформація, що надходить із зовнішніх пристроїв, може надходити не тільки в дискретному, а й в аналоговому вигляді в певному діапазоні напруг постійного струму. Процес збору та обробки сигналів постійного струму включає в себе кілька етапів, починаючи з

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

процедури узгодження сигналів і закінчуючи перетворенням їх у цифровий код. Аналого-цифрові перетворювачі вирішують завдання пошуку однозначної відповідності сигналу постійної напруги (аналоговому сигналу) цифрового коду. На вхід аналого-цифрового перетворювача поступає постійна напруга, і після певного кінцевого проміжку часу перетворення (від 20 до 200 мкс) на його виході з'являється відповідний цифровий код [2].

Модуль введення дискретних сигналів ГР включає 16 ідентичних каналів введення дискретних сигналів і призначений для забезпечення передачі сигналів з електричної схеми локомотива з відносно високою напругою живлення в обчислювальну частину мікропроцесорної системи з напругою живлення 5 В. Безпосереднє з'єднання цих кіл приводить до виходу з ладу обчислювальної частини будови системи автоматичного регулювання. Для узгодження сигналів необхідно передбачити гальванічну розв'язку (розділення кіл), тобто виключення безпосереднього контакту між високовольними і низьковольними колами.

Модуль вихідних ключів. Задачу, зворотну модулю введення дискретних сигналів, виконує десятиканальний модуль вихідних ключів, який видає управляючі сигнали на включення електричних апаратів в електричній схемі локомотива. Котушки електричних апаратів мають бути об'єднані по мінусовій шині. Комутація з плюсовою шиною відбувається через вихідні ключі блоку регулювання, виведені на роз'єм XS2. При цьому для забезпечення можливості індивідуального підключення до плюсової шини для кожного каналу передбачений окремий вхід.

Модуль управління ключами широтно-імпульсного модулятора ШІМ служить для формування сигналів управління силовими транзисторами, які здійснюють регулювання струму обмоток збудження збудника та допоміжного генератора.

Модуль ключів ШІМ. Регулювання тяговою електропередачею і напругою допоміжного генератора здійснюється двоканальним широтно-імпульсним модулятором ШІМ, який змінює діюче значення струму, що протікає по колах обмоток збудження збудника тягового і допоміжного генератора. Обмотки

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

збудження електричних машин повинні бути об'єднані по мінусовій шині. Плюсові виводи обмоток збудження збудника головного і допоміжного генераторів підключаються до зовнішнього роз'єму ХР2 [2].

1.2 Досвід експлуатації мікропроцесорної системи керування потужністю на тепловозах серії ТЕ10

Широке впровадження системи УСТА для тепловозів типу ТЕ10 різних модифікацій почалося в 1998 році. В даний час на мережі закордонних залізниць експлуатується понад 1200 секцій локомотивів 2(3)ТЕ10(М, У, В), обладнаних цією системою [3].

Систему впроваджують як у відповідності з програмою ресурсозбереження, так і за окремими договорами, що укладаються з локомотиворемонтними заводами. На частини тепловозів ТЕ10М(У) систему УСТА встановлюють одночасно з заміною дизеля 10Д100 дизеля Д49. При цьому локомотивам присвоюють позначення ТЕ10М(У)К.

В процесі експлуатації апаратуру УСТА і її програмне забезпечення неодноразово модернізували, щоб підвищити їх надійність і працездатність. З 2005 року на тепловози встановлюють блок регулювання нового покоління УСТА-5 і перетворювачі напруги ПН-1. Зовнішні роз'єми, а також схема підключення блоків регулювання УСТА-4 і УСТА-5 до електричної схеми тепловоза ідентичні, що дозволяє замінювати їх без всяких доробок [3].

1.2.1 Функції системи УСТА

На тепловозах типу ТЕ10 система виконує наступні функції [3]:

- регулює потужність тягового генератора (ТГ) в залежності від частоти обертання колінчастого вала дизеля відповідно до встановленої навантажувальної характеристики дизель-генератора;
- забезпечує зовнішні характеристики ТГ при фіксованій частоті обертання колінчастого вала дизеля (заданої позиції контролера машиніста);
- автоматично знижує та обмежує потужність ТГ при відключенні

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

частини тягових двигунів;

- керує роботою контакторів ослаблення збудження тягових двигунів (ВШ) у режимі тяги по заданим параметрам прямого і зворотного переходів. При цьому під час спрацьовування контакторів відбувається програмне зниження напруги тягового генератора на величину, що виключає перевантаження дизеля ($1/8U_{відс}$ на заданій позиції КМ). Напруга включення контакторів ВШ – $7/8U_{відс}$. Мінімальний час між включеннями контакторів ВШ1 і ВШ2 – 10 с;
- забезпечує захист тягового генератора від зовнішніх струмів короткого замикання, а також закидання струму ТГ понад 7200 А чи напруги понад 850 В;
- керує роботою захисту тепловоза від буксування і тягових двигунів;
- обмежує струм і напругу ТГ для кожної позиції контролера машиніста;
- погоджує ефективну потужність дизеля з споживаною потужністю навантажень в залежності від положення індуктивного датчика або датчика лінійних переміщень рейок паливних насосів високого тиску.

У разі виходу з ладу обладнання УСТА при установці перемикача АР в режим «Аварійний» вступає в роботу штатна схема аварійного збудження ТГ [3].

1.2.2 Склад системи УСТА

Система складається з блоку регулювання УСТА, чотирьох вимірювальних перетворювачів напруги ПН-1 і управляючого програмного забезпечення. Зовнішній вигляд блоку регулювання УСТА-5 показано на рис. 1.4 [3]. Блок забезпечує:

- прийом від схеми тепловоза дискретних сигналів (від блокувань, органів управління) по 16 каналах з рівнем напруги 75 В при входному опорі кожного каналу не менше 10 кОм;
- прийом від вимірювальних перетворювачів (ПН-1) аналогових струмових сигналів по 15 каналах з рівнем від нуля до плюс 5 мА при входному опорі кожного каналу 402 Ом;
- прийом і обробку сигналу про положення індуктивного датчика;
- формування живлення індуктивного датчика гідромеханічного регулятора дизеля (напруга живлення - 5 В, частота керуючого сигналу - 1 кГц);

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

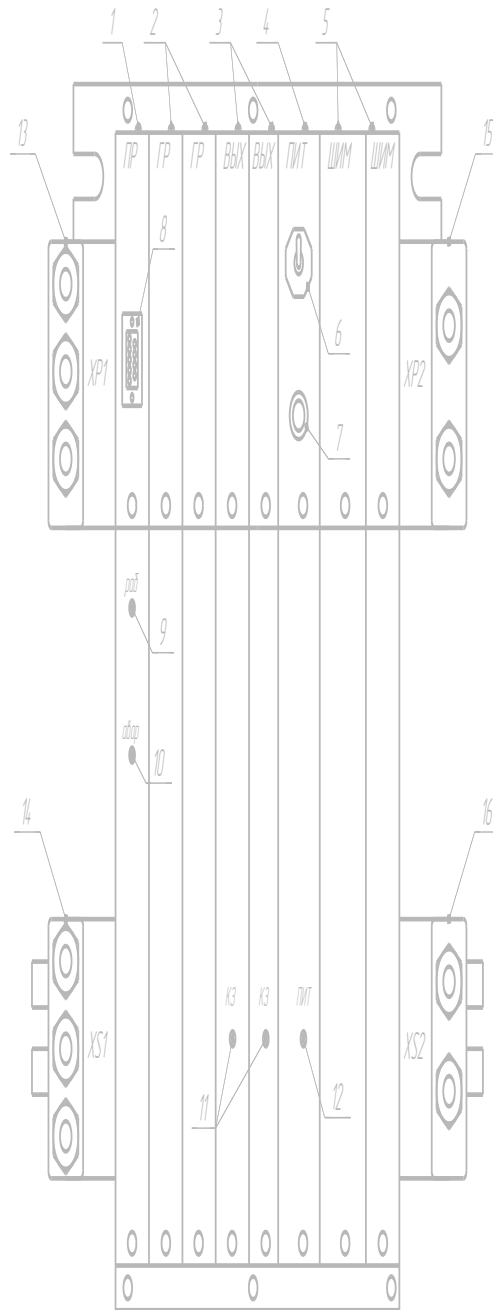


Рисунок 1.4 – Блок регулювання УСТА-5:

1-плата процесора; 2-плати гальванічних розв'язок; 3-плати вихідних ключів; 4-плата живлення; 5-плата управління ШІМ; 6-тумблер вмикання живлення блоку; 7-запобіжник плати живлення; 8-роз'єм ХРЗ підключення зовнішніх абонентів (пульта, комп'ютера); 9-світлодіод індикації робочого стану плати процесора; 10-світлодіод індикації аварійного стану блоку регулювання; 11-світлодіоди індикації короткого замикання в колах плат вихідних ключів; 12-світлодіод індикації робочого стану плати живлення; 13-16-зовнішні роз'єми підключення блоку регулювання до електричної схеми тепловоза

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- прийом частотних сигналів по двом незалежним каналам (від датчиків частоти обертання, швидкості та інших);
- видачу сигналів управління по 10 каналам (на контактори, реле, електропневматичні клапани) з параметрами: напруга 75 В, струм до 1 А по кожному каналу, навантаження - активно-індуктивне;
- програмне регулювання струму в активно-індуктивному навантаженні в межах від нуля до 20 А по двом каналам (управління збудженням тягового і допоміжного генераторів);
- зв'язок з обладнанням для налаштування та іншими пристроями з послідовним каналам RS-232 і RS-485 через роз'єм XP3 на платі процесора;
- підключення до роз'єму XS1 плати процесора «Serial Adapter EC2» для зв'язку із зовнішнім комп'ютером по інтерфейсу JTAG, щоб забезпечити запис або коригування програмного забезпечення;
- формування напруги постійного струму для живлення датчиків.

Живлення блоку регулювання здійснюється від бортової мережі тепловоза напругою 75 В постійного струму. Блок регулювання обробляє вхідні сигнали, які надходять зі схеми тепловоза і видає управляючі дії в електричну схему тепловоза згідно з алгоритмом управління [3].

Дискретні сигнали (сигнали від органів управління: тумблерів, електричних апаратів, контролера машиніста та інших), а також частотні сигнали і сигнал з індуктивного датчика надходять у блок регулювання через роз'єм XP1. Зовнішні дискретні сигнали гальванічно розв'язані від внутрішніх ланцюгів блоку регулювання. Опитування дискретних каналів здійснюється програмно кожні 0,1 с [3].

Вимір електричних параметрів електропередачі (аналогових сигналів) виконують перетворювачі напруги типу ПН-1. Вони служать для перетворення вхідної напруги в пропорційний струмовий сигнал. Значення струму на виході ПН-1 ($U_{вих1}$ і $U_{вих2}$) при номінальній вхідній напрузі на навантажувальному опорі 1000 Ом становить 5 мА. Перетворювач має чотири гальванічно зв'язані між собою входи. Номінальні значення вхідних напруг по першому входу 75 мВ

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

(вимірювання струму з тепловозних шунтів), з другого - 150 В, по третьому – 1000 В і з четвертого – 1500 В.

Перетворювачі забезпечують гальванічне розділення вхідного і вихідного сигналів, мають лінійну залежність вихідного струму від вхідної напруги. Дані апарати отримують живлення від блоку УСТА. Пропорційні струмові сигнали з виходів ПН-1 подаються на зовнішній роз'єм XS1 блоку регулювання. Схема підключення перетворювача ПН-1 наведена на рис. 1.5 [3].

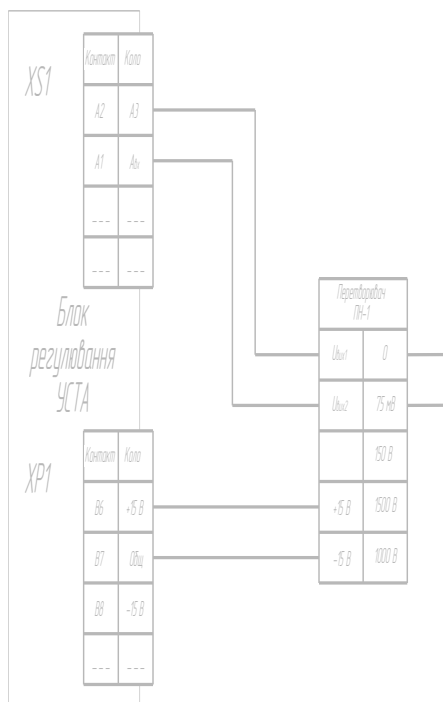


Рисунок 1.5 – Схема підключення перетворювача напруги ПН-1

Опитування аналогових каналів здійснюється програмно через кожні 0,01 с. Керовані блоком регулювання електричні апарати (контактори, реле, електропневматичні вентиля) підключаються до зовнішнього роз'єму XS2. Всі канали гальванічно розв'язані один від одного і внутрішніх ланцюгів блоку регулювання.

Котушки електричних апаратів об'єднані по мінусовій шині. Комутація з плюсовою шиною здійснюється через вихідні ключі блоку регулювання. При цьому з метою підключення до плюсової шини для кожного каналу передбачений окремий вхід. Щоб забезпечувати розряд ЕРС самоіндукції активно-індуктивного навантаження, в кожному каналі плати вихідних ключів введені розрядні діоди.

Регулювання тягової електропередачі здійснюється за допомогою регулювання струму збудження збудника тягового генератора. У блоці є два канали регулювання. Обидва канали по ланцюгах управління розв'язані один від одного і внутрішніх ланцюгів блоку регулювання. Обмотки збудження електричних машин об'єднуються по мінусовій шині. Плюсовий вивід обмотки збудження підключається до зовнішнього роз'єму ХР2 блоку регулювання [3].

Схема підключення обмотки збудження керованої електричної машини наведена рис. 1.6. Резистор СШВВ включається в ланцюг діодів, які призначені для розряду ЕРС самоіндукції активно-індуктивного навантаження. Зазначені діоди розташовані в платі управління ШІМ. Величина опору СШВВ повинна бути 2,5-4 Ом [3].

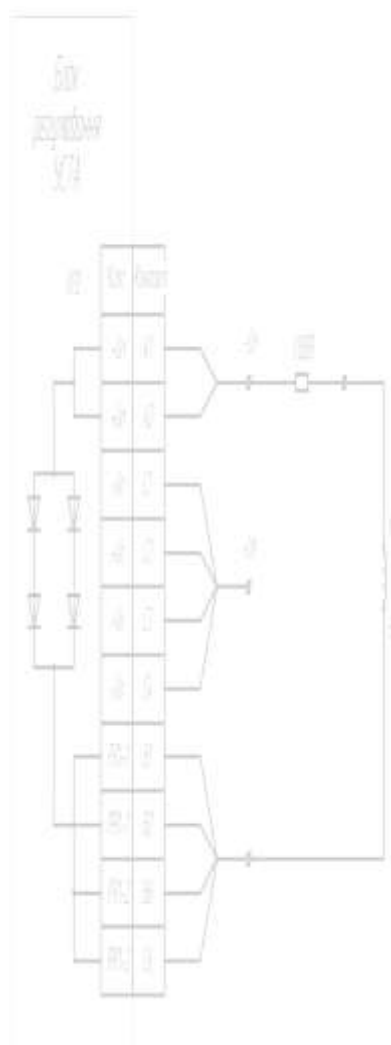


Рисунок 1.6 – Схема підключення обмотки збудження керованої електричної машини

Комутація обмотки збудження з плюсовою шиною здійснюється через блок регулювання. Для кожного каналу регулювання передбачений окремий плюсовий вхід. Регулюється струм в обмотках збудження електричних машин подачею на обмотки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією. Частота імпульсної послідовності становить 100 Гц і задається програмно. УСТА управляє шириною імпульсів, регулюючи струм, що протікає через обмотки збудження.

1.2.3 Структурні схеми автоматичного регулювання тягового генератора та регулятора напруги бортової мережі

У спрощеному вигляді структурна схема системи регулювання збудження тягового генератора тепловоза ТЕ10 з дизелем 10Д100 показана на рис. 1.7. Система отримує сигнали про стан контролера машиніста КМ, контактора ВВ (сигнал КВ), тумблерів управління переходами ТУП і відключення моторів ОМ, блок-контактів ВШ 1 і ВШ2 (дискретні сигнали) [3].

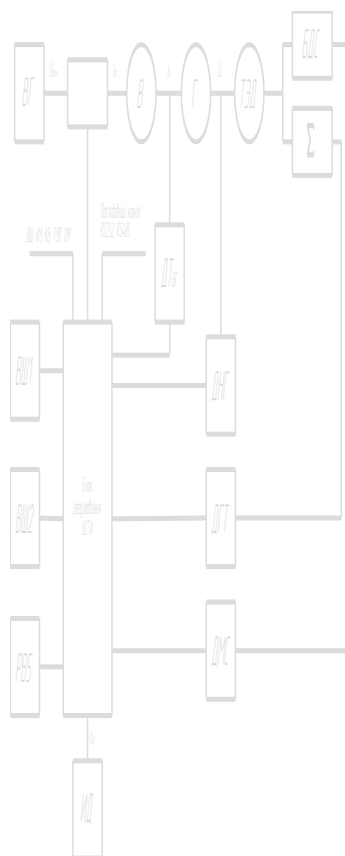


Рисунок 1.7 – Структурна схема системи автоматичного регулювання збудження тягового генератора тепловоза ТЕ10 з дизелем10Д100

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Наряду з цим, дана система приймає сигнали про величину струму (I_T) і напруги (U_T) тягового генератора з датчиків ДТГ і ДНГ, а також сигнал струму збудження генератора $I_{ВГ}$ з датчика ДТ_{ВГ}, буксування з датчика ДМС, координату положення штока індуктивного датчика та згідно з відповідним алгоритмом регулює струм збудження збудника. По струму збудження і напругі ТГ обчислюється частота обертання колінчастого вала дизеля, яка враховується в алгоритмі управління. Введення сигналу про координаті штока індуктивного датчика необхідне для забезпечення узгодження вільної потужності дизеля з потужністю, що знімається з ТГ, а також виключення перевантаження дизеля в перехідних режимах. Згідно заданому алгоритму блок регулювання видає сигнали на включення групових контакторів ВШ1 і ВШ2, а також реле безпеки РВ5. Останнє спрацьовує при підвищенні напруги генератора більше 850 В або збільшенні струму генератора понад 7200 А [3].

На рис. 1.8 показана спрощена структурна схема системи регулювання напруги допоміжного генератора тепловоза 2ТЕ10. Напруга допоміжного генератора (ВГ) регулюється зміною широтно-імпульсної модуляції струму, що підводиться до обмотки збудження. Сигнал зворотного зв'язку за напругою бортової мережі надходить у блок регулювання УСТА з датчика напруги ДНВГ. По заданому алгоритму блок регулювання видає сигнали на включення контакторів ВШ1, ВШ2 і реле безпеки РВ5.

1.2.4 Схема підключення системи УСТА до електричної схеми тепловоза

Схема підключення УСТА до електричних кіл тепловоза ТЕ10 з дизелем 10Д100 наведена на рис. 1.9. Після закінчення пуску дизеля (спрацьовування реле РУ9) отримує живлення реле РУ16, яке включається і подає живлення «плюс» 75 В на зовнішній роз'єм ХР1 В0 блоку регулювання. При цьому «мінус» 75 В надходить на контакт А0 того ж роз'єму.

Дискретні сигнали ВШ1 і ВШ2, КВ і ТУП, МР1, МР2, МР3 і МР4, ОМ1 - ОМ6, сигнал з індуктивного датчика ИД приходять на роз'єм ХР1. З цього роз'єму подається живлення на перетворювачі напруги ПН-1 («плюс» 15 В, «мінус» 15 В)

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

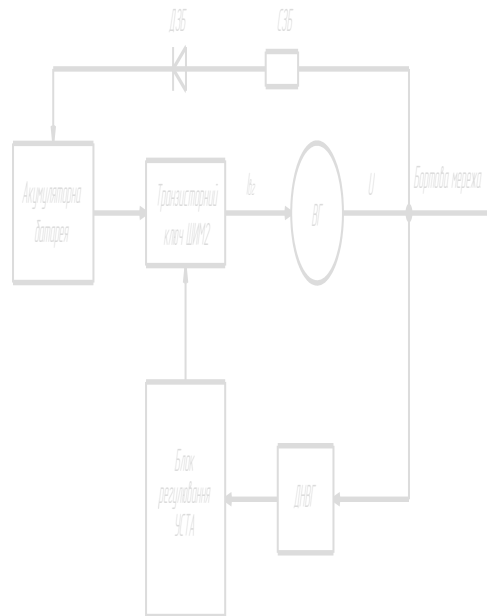


Рисунок 1.8 – Структурна схема системи регулювання напруги допоміжного генератора

і на індуктивний датчик (5 В частотою 1 кГц). Аналогові сигнали з датчиків ДТГ ДНГ, ДМС ДТ_{вг} приходять на роз'єм XS1.

Для включення контакторів ВШ1 і ВШ2 використовуються перший та другий вихідні ключі, а для включення реле безпеки РВ5 - четвертий вихідний ключ. Напруга «плюс» 75 В подається на перший і другий вихідні ключі через контакти А1 і А2 роз'єму XS2 після включення тумблерів ТУП і установки КМ на позицію не нижче четвертої.

Напруга «плюс» 75 В на четвертий вихідний ключ надходить з рейки 1/1-4 через контакт А4 роз'єму XS2. «Мінус» 75 В подається на контакт В5 роз'єму XS2. З вихідних ключів (джерел транзисторів) напруга «плюс» 75 В надходить на котушки контакторів ВШ1 і ВШ2 з контактів С1 і С2 роз'єму XS2, а на котушку реле безпеки РВ5 - з контакту С4 роз'єму XS2 [2].

Після спрацьовування контактора ВВ напруга «плюс» 75 В подається на контакти С1, С2, С3 і С4 роз'єму ХР2, а також на сток силового транзистора каналу регулювання ШІМ. Обмотка збудження збудника ОВВ підключається до джерела силового транзистора ШІМ через контакти В1, В2, В6, С6 роз'єму ХР2.

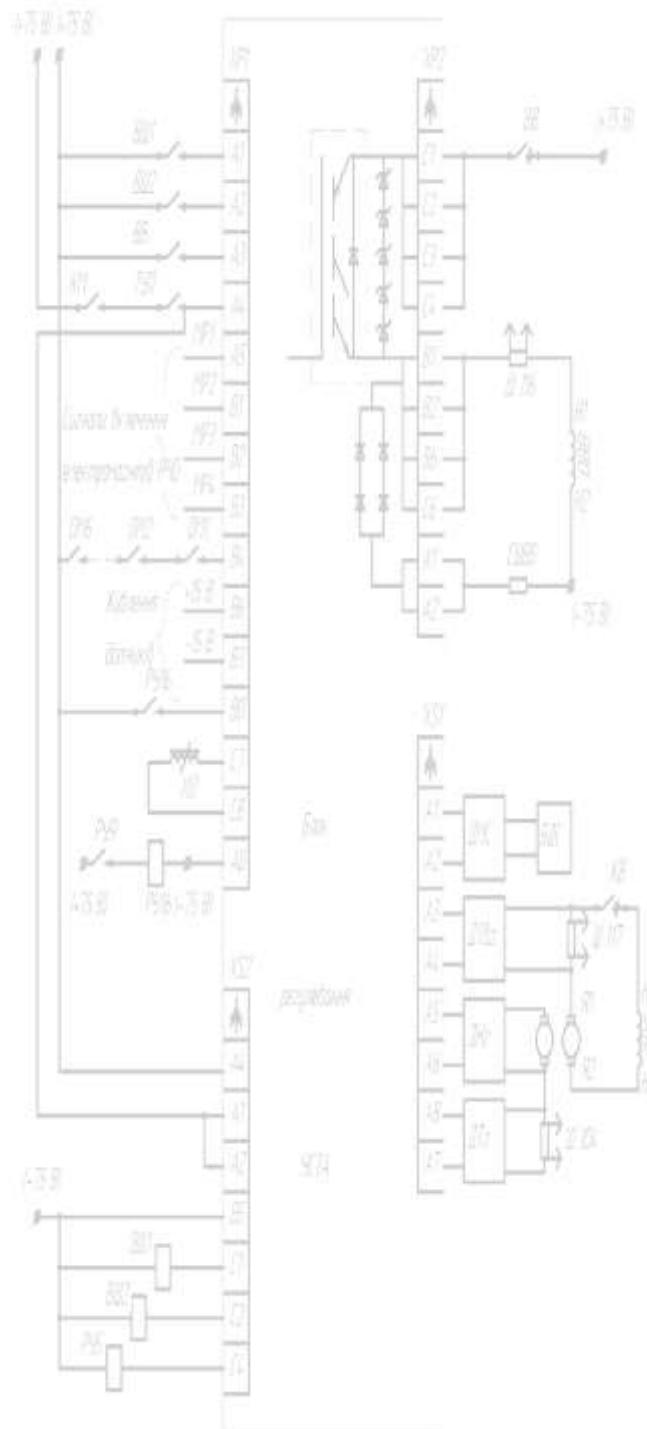


Рисунок 1.9 – Схема підключення системи УСТА на тепловозі ТЕ10 з дизелем 10Д100

1.2.5 Тепловозні характеристики ТЕ10 з дизелем 10Д100

Потужність тягового генератора на перших трьох позиціях контролера машиніста (КМ) задається системою УСТА таблично і не залежить від частоти обертання колінчастого вала. Темп набору потужності на першій позиції КМ не

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

перевищує 20 кВт/с, а на його наступних позиціях - 40 кВт/с [3].

Потужність тягового генератора на позиціях вище третьої для дизелів з високими оборотами і вище шостої для дизелів з низькими розраховується системою у відповідності з частотою обертання колінчастого вала і координатою положення штока індуктивного датчика за такою формулою:

$$P_g = P_{об} + (U_{ind} - U_{ind} \cdot f) \cdot K_{ng}, \quad (1.1)$$

- де $P_{об}$ – розрахунковий значення потужності тягового генератора як функції частоти обертання вала дизеля;
- U_{ind} – поточне значення положення штока індуктивного датчика;
- $U_{ind} \cdot f$ – фіксоване (мінімальне) значення положення штока індуктивного датчика (100 одиниць);
- K_{ng} – коефіцієнт перерахунку потужності.

В табл. 1.1 та 1.2 наведено тепловозні характеристики, які реалізує система УСТА на локомотивах 2ТЕ10, обладнаних дизелем 10Д100 з високими (400 об/хв на нульовій позиції) і низькими (270 об/хв на нульовій позиції) оборотами холостого ходу [3].

Таблиця 1.1 – Тепловозні характеристики, що реалізуються системою УСТА на тепловозах 2ТЕ10 з дизелем 10Д100 з високими (400 об/хв) оборотами холостого ходу [3]

№ ПКМ	n , об/хв	$P_{об}$, кВт	$P_{g(ind)}$, кВт	$P_{g max}$, кВт	I_{max} , А	U_g , В	К
1	2	3	4	5	6	7	8
1	400	59	59	59,4	2663,2	119	0
2	430	154,7	154,7	154,7	2997,9	204	1
3	465	265,5	265,5	265,5	3332,6	238	2
4	495	360,5	412,5	494,8	3667,4	272	3

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
5	530	537	606,3	653,1	3987,5	331,5	4
6	560	647	733,6	776,8	4336,8	382,5	5
7	590	756,8	860,7	930,2	4671,5	438,6	6
8	625	885	1006,2	1078,7	5006,2	476	7
9	660	999	1137,5	1217,2	5675,7	510	8
10	690	1097	1252,9	1345,9	5995,8	544	9
11	720	1186	1359,2	1464,6	6185	578	10
12	755	1290	1463,2	1583,4	6185	612	10
13	785	1394	1567,2	1682,3	6185	646	10
14	820	1515	1688,2	1801,1	6185	680	10
15	850	1598,5	1771,7	1890,1	6185	714	10

Таблиця 1.2 – Тепловозні характеристики, що реалізуються системою УСТА на тепловозах 2ТЕ10 з дизелем 10Д100 з низькими (270 об/хв) обертами холостого ходу [3]

№ ПКМ	n , об/хв	$P_{об}$, кВт	$P_{g(inд)}$, кВт	$P_{g max}$, кВт	I_{max} , А	U_g , В	К
1	2	3	4	5	6	7	8
1	270	59,8	59,8	59,8	1499	119	0
2	310	75,7	75,7	75,7	2503,1	153	1
3	350	91,5	91,5	91,5	3332,6	204	2
4	390	135	135	135	3667,4	272	3
5	435	250,8	250,8	250,8	3987,5	331,5	4
6	475	353,8	353,8	353,8	4336,8	382,5	5
7	520	469,3	600,2	654,1	5006,2	438,6	6
8	560	622,9	744,1	806,5	5326,4	476	7

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
9	600	745,7	884,2	938,9	5675,7	510	8
10	645	883,7	1039,6	1121,3	5995,8	544	9
11	690	1044	1217,2	1303,7	6185	578	10
12	725	1168,7	1341,9	1455,9	6185	612	10
13	770	1329	1502,2	1638,4	6185	646	10
14	810	1471,5	1644,7	1810,8	6185	680	10
15	850	1578,4	1751,6	1944,6	6185	714	10

1.2.6 Методи перевірки справності системи УСТА на тепловозах типу ТЕ10

Для перевірки справності та працездатності системи УСТА застосовують наступні методи. При прийманні тепловоза та проведенні ТО-2 без додаткових контрольних пристроїв локомотивній бригаді рекомендується:

- запустити дизель тепловоза;
- по загоряння світлодіода на платі живлення переконатися, що блок живлення запустився, а по миганню з періодичністю 1 раз в секунду світлодіода «Робота» на платі процесора – що керуюча програма ініціалізувалася (запрацювала);
- вимкнути тумблери ОМ1 - ОМ6 і ТУП;
- зібрати тягову схему локомотива;
- встановити контролер машиніста на першу позицію і за показаннями кіловольметра переконатися, що генератор збуджується. Напруга генератора повинна збільшуватися до напруги відсічення на першій позиції КМ;
- перевести контролер машиніста на другу і наступні позиції. Напруга генератора повинна збільшуватися до напруги відсічення на кожній позиції КМ по десяту позицію включно;
- встановити КМ на нульову позицію;

- включити тумблер ТУП;
- набрати четверту позицію КМ. При досягненні $7/8 U_{відс}$ зафіксувати спрацьовування ВШ1. Коли цей контактор включається, напруга генератора програмно знижується на $1/8 U_{відс}$;
- при досягненні напруги генератора $7/8 U_{відс}$ за час не менше 10 с після спрацьовування ВШ1 зафіксувати спрацьовування ВШ2;
- перевести КМ на позицію нижче четвертої і зафіксувати одночасне відключення ВШ1 і ВШ2;
- встановити КМ на нульову позицію і включити тумблери ОМ1-ОМ6;
- загальмувати тепловоз і набрати першу позицію КМ. За значенням струму на кілоамперметрі переконатися, що забезпечується обмеження струму;
- перевести КМ на нульову позицію.

З 2000 року в депо, які експлуатують тепловози з системою УСТА, поставляються переносні пульти і комплекти контрольно-перевірочної апаратури уніфікованої системи керування електропередачею і електроприводом тепловозів (КПА УСТА). Пульт підключається до блоку УСТА і дозволяє контролювати параметри системи, за якими здійснюється діагностика стану як самої системи, так і схеми підключення до тепловозу.

Переносний пульт використовується при проведенні ТО-2, реостатних випробуваннях тепловоза і в поїзній роботі. Апаратура КПА УСТА призначена для перевірки і ремонту блока регулювання, знятого з тепловоза.

1.3 Характеристики тепловозів типу М62 з мікропроцесорною системою керування потужністю

До 2005 року мікропроцесорну систему комплектували блоком регулювання УСТА-4 і вимірювальними перетворювачами ЕП2716, які потім замінили блоком регулювання УСТА-5, виконаним на новій елементній базі підвищеної надійності, а також вимірювальними перетворювачами ПН1. Схеми підключення зовнішніх роз'ємів блоків регулювання УСТА-4 і УСТА-5 до електричної схеми тепловоза ідентичні, що дозволяє замінювати їх без яких-

					<i>0032.226324.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

небудь доопрацювань [1].

Тепловози М62 з системою УСТА експлуатуються в двох- і трисекційних варіантах, водять вантажні і пасажирські потяги. За час експлуатації мікропроцесорна система зарекомендувала себе сучасним, високотехнологічним пристроєм, що дозволяє значною мірою вирішити проблеми уніфікації електрообладнання, зниження номенклатури запасних частин, скорочення витрат на технічне обслуговування тепловозів, особливо при наявності в депо комплекту перевірконої апаратури (КПА).

Застосування системи УСТА істотно спрощує процес налаштування характеристик дизель-генератора (14ДГУ2) на реостатній станції, а в деяких випадках взагалі виключає необхідність їх виконання. Реалізований мікропроцесорною системою алгоритм регулювання електричної передачі дозволяє істотно поліпшити тягові властивості тепловоза.

У разі встановлення на тепловоз М62 дизель-генератора 5-26ДГ застосування системи УСТА дозволяє отримати оптимальну тепловозну характеристику, що ускладнено при серійній схемі збудження тягового генератора. Велика частина тепловозів М62 в 2004-2006 роках обладнана мікропроцесорною системою [1].

1.3.1 Конструктивне виконання, схема підключення і функції системи УСТА

При установці системи УСТА з електричної схеми тепловоза виключаються штатні апарати регулювання струму незалежної обмотки збудження збудника. Виконувані ними функції надалі покладаються на мікропроцесорну систему. Розмагнічуюча обмотка збудження збудника отримує живлення тільки при аварійному режимі збудження тягового генератора, схема якого залишена без змін [1].

Функціонально система УСТА призначена для регулювання тягової електропередачі тепловоза в режимі тяги з забезпеченням параметрів і захистів, обумовлених технічними умовами та іншими нормативними документами. Система управляє контакторами ослаблення збудження ТЕД, забезпечує

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

ефективний протибуксовочний захист, навантажує дизель-генератор по оптимальній траєкторії в перехідних процесах роботи тепловоза. УСТА являє собою мікропроцесорну систему керування, що має засоби зв'язку з тепловозом М62 у вигляді дискретних сигналів від контактів органів управління і реле буксування, аналогових сигналів індуктивного датчика і двох вимірювальних перетворювачів, а також частотного сигналу, пропорційного частоті обертання дизеля (рис. 1.10) [1].

Мікропроцесорна система конструктивно складається з наступних основних вузлів: блоку регулювання УСТА; двох вимірювальних перетворювачів напруги та струму ПН1 (ЕП2716) для вимірювання напруги і струму головного генератора; програмного забезпечення, встановленого в блоці регулювання. Цей блок, а також вимірювальні перетворювачі напруги і струму ПН1 (ЕП2716) розміщені у високовольтній камері. Принципова схема підключення системи УСТА до електричної схеми тепловоза М62 у спрощеному вигляді наведена на рис. 1.11.

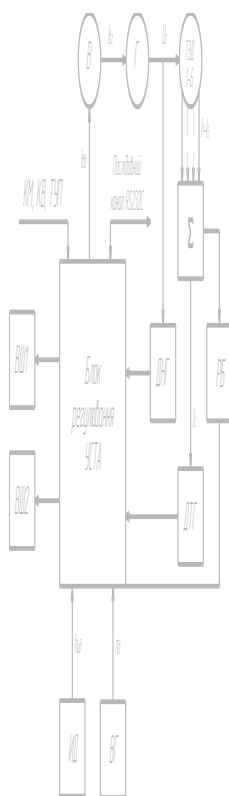


Рисунок 1.10 – Структурна схема регулювання збудження тягового генератора тепловоза М62

Ядро УСТА – блок регулювання, що здійснює у відповідності з

програмними алгоритмами збір інформації від вимірювальних перетворювачів і контактних апаратів, а також її обробку, аналіз і видачу управляючих впливів на виконавчі пристрої (незалежну обмотку збудження збудника, котушки контакторів ослаблення збудження тягових двигунів ВШ1 і ВШ2). Блок отримує живлення від акумуляторної батареї тепловоза через замикаючі контакти реле РУ25. Напруга живлення подається на зовнішній роз'єм ХР1 через контакти А0 ($-U_{\text{живл}}$) и В0 (+75 В).

Блок регулювання УСТА виробляє:

– напругу живлення для вимірювальних перетворювачів напруги та струму ПН1 (ЕП2716), які виведено на зовнішній роз'єм ХР1 блока регулювання - контакти В6 (+15), В7 (-15 В);

– напругу живлення індуктивного датчика. Частота напруги живлення індуктивного датчика задається програмно. Індуктивний датчик підключається до роз'єму ХР1 блока регулювання на контакти С7 і С8.

– напругу живлення індуктивного датчика. Частота напруги живлення індуктивного датчика задається програмно. Індуктивний датчик підключається до роз'єму ХР1 блока регулювання на контакти С7 і С8.

Для визначення стану схеми тепловоза в блок регулювання УСТА вводяться дискретні сигнали: ознаки включення контактора КВ, блок-магнітів МР1-МР4, тумблера ТУП, тумблерів вимикачів моторів ОМ1-ОМ6, спрацьовування реле буксування РБ. Дискретні сигнали приходять на контакти А3-А5, В1-В5 зовнішнього роз'єму ХР1 блока регулювання. Зовнішні дискретні сигнали гальванічно розв'язані від внутрішніх ланцюгів блока регулювання.

Величини напруги і струму головного генератора визначаються за допомогою вимірювальних перетворювачів напруги та струму ПН 1 (ЕП2716), які гальванічно розв'язують і перетворюють вхідну напругу в пропорційний стандартний струмовий сигнал. Пропорційні струмові сигнали з виходів ПН 1 (ЕП2716) подаються на контакти роз'єму ХS1 - А1, А2 (ДН), А3, А4 (ДТ).

Блок регулювання УСТА управляє включенням котушок контакторів ВШ1 і ВШ2. Управління електричними апаратами здійснюється з допомогою

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

транзисторних ключів подачею напруги на котушку +75 В від бортової мережі тепловоза. Всі канали по колах управління і внутрішнім колам блоку регулювання гальванічно розв'язані один від одного.

Регулювання тягової електричної передачі виконується зміною струму незалежної обмотки збудження збудника за допомогою силових транзисторних ключів ШІМ блоку регулювання. Канал регулювання гальванічно розв'язаний по колах управління і від внутрішніх кіл блоку. Вивід «Н12» обмотки збудження збудника підключений до мінусової шини на рейку 1/13-20, а вивід «Н11» - до зовнішнього роз'єму ХР2 на контакти В1, В2 і В6, С6. Таким чином, обмотка збудження збудника стоїть в ланцюзі витoku силового ключа ШІМ1. Сток цього ключа підключений (контакти С1 - С4 зовнішнього роз'єму ХР2) через аварійний перемикач АР і силовий контакт контактора ВВ на плюсову шину бортової мережі тепловоза.

Для забезпечення зворотного зв'язку з дизелем в блок регулювання УСТА, крім сигналу про положення штока індуктивного датчика, введений сигнал про частоту обертання дизеля - на перший частотний канал (ХР1: А6, А8) підключено змінну напругу з кілець допоміжного генератора ВГ (живлення термокомплекта), частота якого пропорційна частоті обертання колінчастого вала дизеля.

Захист від буксування колісних пар система УСТА здійснює за ознакою включення реле РБ. У разі замикання контакту РБ сигнал +75 В подається на дискретний вхід блоку регулювання ХР1 - контакт В5 (дріт 5038). Система з темпом 4 В/с знижує напругу тягового генератора до зникнення ознаки РБ, після чого плавно відновлює напругу тягового генератора до рівня заданої потужності.

При відключенні будь-якого з тягових двигунів розривається ланцюг живлення дискретного входу ознаки вимикачів ОМ1 – ОМ6. Система УСТА знижує завдання потужності тягового генератора на 4 - 15-й позиціях КМ до рівня селективної потужності.

1.3.2 Тепловозні характеристики М62

Завдання потужності тягового генератора на 4-15-й позиціях контролера

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

машиніста розраховується і підтримується системою УСТА у відповідності з фактичною частотою обертання колінчастого вала дизеля і положенням штока індуктивного датчика:

$$P_{ген} = P_{об} + (ИД_{вим} - ИД_0) \cdot K_{id}, \quad (1.2)$$

де $P_{ген}$ – задана потужність тягового генератора;

$P_{об}$ – розрахункова (селективна) потужність тягового генератора на частоті обертання колінчастого вала дизеля;

$ИД_{вим}$ – код виміряного положення штока індуктивного датчика;

$ИД_0$ – код мінімального положення штока індуктивного датчика;

K_{id} – коефіцієнт перерахунку коду положення штока індуктивного датчика потужність, що залежить від позиції контролера машиніста.

Потужність тягового генератора з 1-ї по 3-ю позиції контролера машиніста задається системою УСТА таблично і не залежить від частоти обертання колінчастого вала дизеля. Темп набору потужності програмно обмежений величиною 40 кВт/с.

1.3.3 Методи перевірки справності системи УСТА та електричної схеми тепловоза типу М62

За десять років впровадження та експлуатації системи УСТА на різних типах локомотивів випробувані і застосовуються наступні методи перевірки її працездатності, а також електричної схеми тепловоза М62 [1].

При прийманні тепловоза локомотивною бригадою та проведенні ТО-2 без застосування додаткових контрольних пристроїв запускають дизель. По загорянню світлодіода-індикатора на платі живлення переконуються, що блок живлення заустився, а по миганню 1 раз в секунду нижнього світлодіода на платі блоку АЦП УСТА-4 чи «Робота» на платі процесора УСТА-5, що управляюча програма ініціалізувалась (запрацювала).

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Відключають тумблери ОМ1-ОМ6, включають АЛС. Встановлюють контролер машиніста на 1-ю позицію і за показаннями кіловольметра переконуються, що напруга тягового генератора досягає напруги відсікання на даній позиції. Потім переводять КМ на другу і наступні позиції. Напруга генератора повинна досягати напруги відсічення на кожній позиції контролера машиніста. Включають тумблер «ТУП» і набирають 4-ю позицію КМ.

Коли напруга генератора досягає величини $U_{\text{відс}}$, необхідно зафіксувати спрацьовування ВШ1 (при включенні ВШ1 напруга генератора програмно знижується на $1/8U_{\text{відс}}$). Якщо зазначена напруга досягає $U_{\text{відс}}$ за час не менше 10 с після спрацьовування ВШ1, то слід зафіксувати включення ВШ2 (при спрацьовуванні ВШ2 напруга генератора програмно знижується на $1/8U_{\text{відс}}$). Далі треба перевести контролер машиніста на позицію нижче 4-ї і зафіксувати одночасне відключення ВШ2 і ВШ1.

Включають тумблери ОМ1 - ОМ6. Загальмовують тепловоз і набирають 1-ю позицію КМ. За значенням струму на кілоамперметрі переконуються, що забезпечується обмеження струму тягового генератора на 1-й позиції КМ. На цьому перевірки завершені. Тепер контролер переводять на нульову позицію.

У більшості депо, в яких експлуатують тепловози з системою УСТА, є переносні налагоджувальні пульти 27.Т.111.00.00.000 і стаціонарні комплекти перевіркової апаратури КПА. Переносний пульт підключається до блоку регулювання УСТА, не вимагає додаткового живлення, дозволяє контролювати справність всіх вузлів системи УСТА і схеми підключення. Може застосовуватися при ТО-2 і реостатних випробуваннях, а також у поїзній роботі.

Стаціонарний комплект КПА застосовується для поглибленого діагностування блоку регулювання УСТА, демонтованого з тепловоза. Досвід показує, що відмови частіше відбуваються в системах дизеля та електричній схемі, ніж в системі УСТА. Тому трапляються невиправдані відключення системи, переведення локомотива на аварійний режим збудження і навіть його відсторонення від експлуатації.

					<i>0032.226324.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Пропонуємо регулювання сили тяги окремих колісно-моторних блоків за рахунок модернізації електричної схеми керування тяговими електродвигунами за рахунок коригування магнітного потоку збудження ТЕД. Це призведе до підвищення зчіпних властивостей тепловозів і збільшить тягові властивості тепловоза вцілому.

2.1 Робота електричної схеми під час пуску тепловоза

2.1.1 Робота електричної схеми

Розглянемо роботу схеми під час рушання з місця та руху. На 1-й позиції замикаються контакти КМ2 і КМ7 головного барабана контролера (рис. 2.1), які залишаються замкнутими з 1-го по 8-у позицію. Струм протікає через контакти КМ2, контакти КМ7, контакти КД11, контакти КД21, діод Д1, контакти ОМ11, ОМ21 і ОМ31 вимикача тягових електродвигунів, в котушки поїзних контакторів КП1, КП2 і КП3, пройшовши які, проходить на «мінус» допоміжного генератора. Одночасно через резистор Р60 струм надходить на зарядку конденсатора С9, підключеного паралельно котушкам контакторів КП1, КП3.

Після включення контакторів КП1-КП3 збирається коло живлення котушки контактора збудження тягового генератора: контакти КПП, контакти КП21, контакти КП31, замкнуті контакти блокування верхніх дверей БК1 апаратної камери, замкнуті контакти блокування нижніх дверей БК2, контакти Р32 реле заземлення РЗ, замкнуті контакти електропневматичного клапана автостопа (рис. 2.15), контакти Р12 проміжного реле Р1 апаратури АЛС, контакти реле тиску повітря РДВ, котушку контактора КБ, загальний «мінус». Таким чином, тяговий генератор отримує збудження після включення поїзних контакторів КП1 – КП3, тобто при зібраному силовому колі руху тепловоза.

За рахунок розрядки конденсатора С9 відключення контакторів КП1 – КП3 при переводі головної рукоятки контролера на нульову позицію затримується на

					0032.226324.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

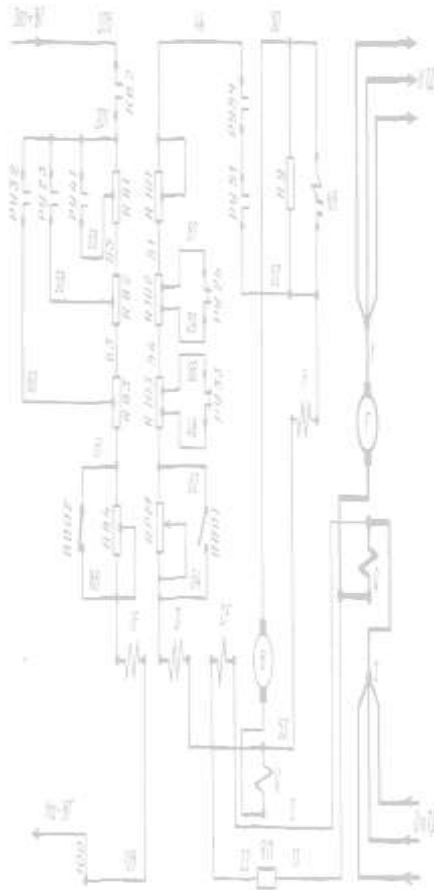


Рисунок 2.2 – Кола збудження збуджувача й тягового генератора

контактам контактора KB, контактам PУ51 і PУ54 (реле PУ5 вимикається при перекладі реверсивної рукоятки контролера з положення «Пуск» в положення «Вперед» або «Назад» і включається тільки після включення контактора KB), резисторах Л101, резисторі Я102, резисторі Я103, реостаті ЯРМ регулятора потужності в обмотку паралельного збудження збуджувача і через перемичку і обмотках додаткових полюсів приходять на «мінус» збуджувача. При рушанні тепловоза з місця частини резисторів Я102 і Я103 зашунтовані розмикаючими контактами PУ24 і PУ33.

Основний струм збуджувача від надходить в незалежну обмотку збудження тягового генератора, від якої через обмотку додаткових полюсів збуджувача протікає на його «мінус». Резистор Я9, включений паралельно силовим контактам контактора KB, є розрядним і служить для гасіння е.р.с. самоіндукції, що виникає при виключенні контактора KB. Отримавши збудження, тяговий генератор посилає струм в силові кола.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Силові кола під час руху тепловоза вперед (рис. 2.3). Від «плюса» тягового генератора по трьом кабелям струм надходить на загальну шину, від якої протікає по трьох паралельних: замкнуті силові контакти контактора КП1 (2, 3), обмотки якорів і додаткових полюсів першого і другого тягових електродвигунів, силові контакти реверсора, обмотки збудження другого і першого тягових електродвигунів, силові контакти реверсора, шина 2.

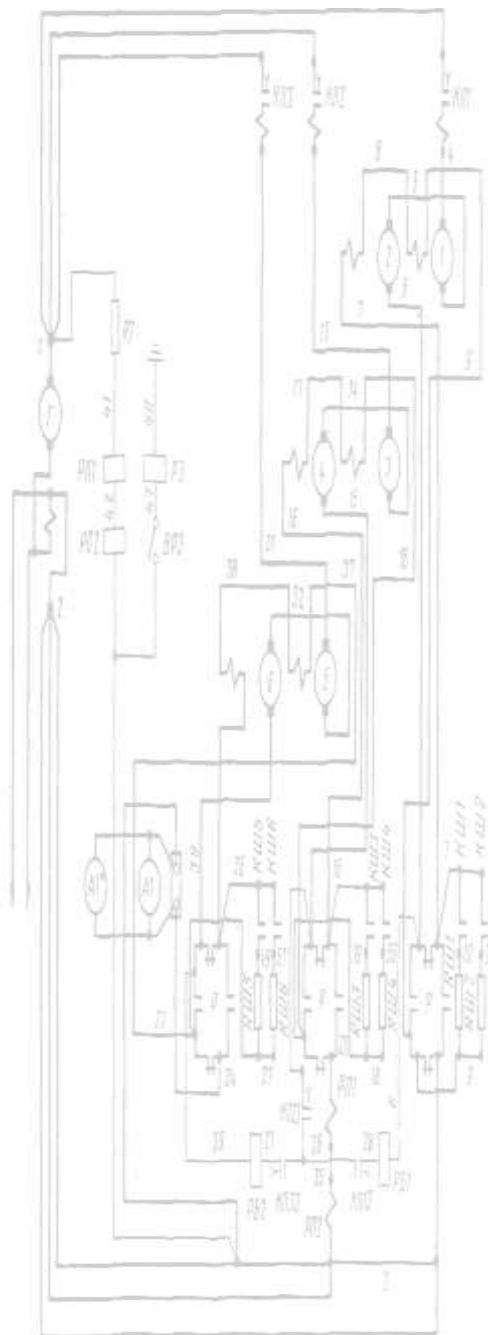


Рисунок 2.3 – Силові кола тепловоза

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Обидві шини приєднані до мінусової клеми шунта амперметра А1, від якої за трьома кабелям і обмотці додаткових полюсів тягового генератора струм повертається на його «мінус».

Струм, що протікає по обмоткам тягових електродвигунів створює обертовий момент на валах якорів двигунів, який через тягові редуктори передається на колісні пари тепловоза.

2.2 Аналіз зв'язків електричних та механічних параметрів в тягових електродвигунах

Момент обертання в ТЕД виникає в результаті проходження провідників зі струмом, вкладених в пазах якоря в магнітному полі, що створюється основними полюсами двигуна [4]. Він залежить від величини магнітного потоку та сили струму, що проходить по обмотках якоря та визначається за формулою:

$$M = C_M \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi_3, \quad (2.1)$$

де C_M – постійний коефіцієнт, який враховує кількість пар полюсів, кількість витків якоря та інші параметри даного електродвигуна.

Частота обертання якоря ТЕД – функціональна залежність, що пропорційна е.р.с двигуна та зворотнопропорційна магнітному потоку

$$n = \frac{E}{C_e \cdot \Phi_3}, \quad (2.2)$$

де C_e – постійний для даного електродвигуна коефіцієнт, що залежить від діаметра якоря, кількості провідників обмотки та інших конструктивних особливостей двигуна.

З врахуванням

$$E = U - I_{\text{я}} \cdot r_{\text{я}}; \quad (2.3)$$

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частота обертання визначається

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot r_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi_3} \quad (2.4)$$

На локомотивах застосовуються ТЕД послідовного збудження з декількома ступенями ослаблення поля. Струм, що проходить через обмотку збудження дорівнює або пропорційний струму якоря.

Магнітний потік Φ_3 , що створюється основними полюсами електродвигуна визначається за формулою:

$$\Phi_3 = B \cdot l \cdot \tau, \quad (2.5)$$

де τ – полюсна дуга, тобто зона дії пари полюсів.

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{\text{я}}}{2p} \quad (2.6)$$

Сила намагнічування полюсів дорівнює сумі магнітних напружень на ділянках магнітного кола та сили розмагнічування якоря

$$\Sigma F_3 = \Sigma H_i \cdot l_i + F'_{\text{ря}} \quad (2.7)$$

та залежить від кількості витків W обмотки полюса та струму, що проходить по них.

$$\Sigma F_3 = I_3 \cdot W. \quad (2.8)$$

Під час роботи машини змінним параметром є струм збудження. Залежність магнітного потоку машини від намагнічуючої сили або струму має нелінійний характер. До того ж намагнічувальна характеристика холостого ходу та навантажувальна характеристика мають розбіжність за рахунок розмагнічуючої сили якоря (рис. 2.4) [4].

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рисунок 2.4 – Намагнічувальні характеристики ТЕД [4]

Для розрахунку потужності ТЕД як функції частоти обертання та моменту

$$P = f(n, M). \quad (2.9)$$

пропонуємо використовувати чисельні значення змінних виразів (2.2) та (2.5), що отримуються датчиками при роботі машини.

2.3 Розробка системи підвищення тягових властивостей тепловозів

Систему окремого навантаження колісно-моторних блоків тепловоза пропонуємо до розробки на підставі залежностей моменту обертання на валу ТЕД та частоти обертання якоря ТЕД.

Зміни обертового моменту можна досягти варіативним плавним коригуванням магнітного потоку основних полюсів.

На підставі [5] можна стверджувати, що найбільше можна навантажувати четверту колісну пару (саме вона буде мати найбільший магнітний потік збудження, приймаємо його рівним одиниці), а найменше – першу у відповідному процентному співвідношенні (табл. 2.1).

Але електрична схема силових кіл не дозволяє окремо змінювати магнітний потік 1 та 2; 3 та 4; 5 та 6 тягових електродвигунів [6, 7]. Тому для вказаних суміжних ТЕД обираємо менше значення магнітного потоку (скориговані).

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Таблиця 2.1 – Перерахунок магнітного потоку окремих ТЕД

у відсотках

Номер колісної пари	1	2	3	4	5	6
Значення перерозподілу магнітного потоку	0,757	0,845	0,825	1,000	0,912	0,932
Скориговані значення перерозподілу магнітного потоку	0,830	0,830	0,905	0,905	1,000	1,000

З урахуванням того, що без боксування частоти обертання усіх колісних пар однакові, то обчислюємо лише відповідні моменти обертання для різних значень магнітного потоку.

Для коригування магнітного потоку пропонуємо додати до системи ослаблення збудження шунтуючий IGBT транзистор (рис. 2.5).

2.5 Розробка системи автоматичного керування магнітним потоком

Система керування магнітним потоком має відстежувати напрям руху тепловоза, тобто номери певних колісних пар (в нашому випадку – двох суміжних колісних пар) залежно від напрямку руху. Під час рушання та руху в діапазоні швидкостей, обмеженому обмеженням по зчепленню колісних пар частково шунтувати (на певну величину – широтно-імпульсно з високою частотою) обмотки збудження на резистори ослаблення магнітного потоку відповідно певної функції. Для цих потреб доцільно використати модуль Ke-USB24R.

Загальний опис. Модуль Ke-USB24R призначений для сполучення зовнішніх цифрових і аналогових пристроїв, датчиків і виконавчих механізмів з комп'ютером через шину USB.

Завдяки наявності чотирьох потужних реле з'являється можливість управляти силовими електричними колами з напругами до 250 В безпосередньо з комп'ютера. На комп'ютері під управлінням операційної системи Windows модуль визначається як додатковий COM порт. Це означає що з програмної точки зору

									Арк.
									43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226324.000.03MP.ПЗ				

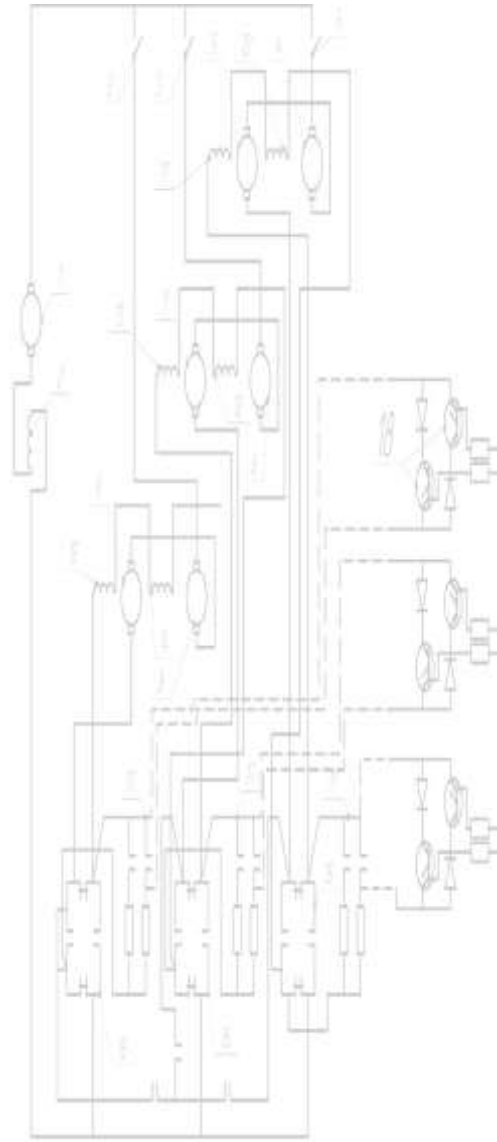


Рисунок 2.5 – Модернізована електрична схема силових кіл тепловоза:
 1 – тяговий генератор; 2 – обмотка збудження тягового генератора; 3 – поїзні контактори; 4-9 – тягові електродвигуни; 10-15 – обмотки збудження тягових електродвигунів; 16 – реверсор; 17 – система ослаблення збудження; 18 – IGBT транзистори

обмін інформацією між модулем і комп'ютером здійснюється через інтерфейс звичайного послідовного порту. Остання обставина істотно полегшує програмування, тому що немає необхідності в застосуванні додаткових динамічних бібліотек, складних інтерфейсів і безпосереднього спілкування з драйвером.

Для написання власних програм управління модулем можливе застосування

будь-якої мови, що підтримують можливість роботи з СОМ портами.

Модуль має 18 дискретних лінії вводу/виводу (логічний 0 або логічна 1) з можливістю незалежного налаштування напрямку передачі даних (вхід/вихід), чотири потужних електромагнітних реле для безпосереднього управління високовольтними електричними колами та чотири вбудованих 15-ти розрядних АЦП.

Для управління модулем передбачений набір текстових команд управління (КЕ-команди). Формована команда відправляється в порт, процесор модуля декодує її, виконує необхідну операцію і відправляє назад відповідь у текстовому форматі про статус виконаної задачі або іншу необхідну інформацію, специфічну для конкретної команди. Застосування текстових команд дозволяє в загальному випадку обійтися без розробки додаткового програмного забезпечення. Досить використовувати будь-яку термінальну програму що дозволяє передавати дані через СОМ порт, наприклад HyperTerminal входить до складу ОС Windows [8].

Загальний вигляд модуля наведений на рис. 2.6.

Функціональні характеристики

Загальна кількість виводів наІДС роз'ємі модуля.....	26
Кількість ліній вводу/виводу	18
Частота ліній вводу/виводу, Гц	50
Число каналів АЦП	4
Число керованих реле	4
Розрядність АЦП.....	15 біт

Електричні характеристики

Напруга живлення модуля, В.....	5
Низький рівень напруги на лінії вводу/виводу, В	$\leq 0,3$
Високий рівень напруги на лінії вводу/виводу, В	≥ 4
Максимальний струм навантаження для однієї лінії вводу/виводу, мА	25
Максимальний сумарний струм	

навантаження для всіх ліній вводу/виводу, мА	200
Діапазон напруги вхідного сигналу для АЦП, В	0-5
Реле: максимальна постійна напруга, В.....	75
Реле: максимальний постійний струм, А.....	7
Реле: максимальна змінна напруга, В	250
Реле: максимальний змінний струм, А	10



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд модуля

2.7 Розрахунок тягових властивостей тепловозів при удосконаленні електричної передачі тепловоза

Підвищення коефіцієнта використання зчіпної ваги $\Delta\eta$ призведе до поліпшення тягових властивостей тепловоза в зоні обмеження по зчепленню коліс з рейками. Виконаємо побудову $F_{зч} = f(V)$ для $V = 0 \div 19$ км/год (рис. 2.7) та виконаємо оцінку підвищення сили зчеплення [9]

$$\Delta F_{зч} = \frac{1}{m} \sum_1^m \frac{1}{k} \sum_1^k \frac{F'_{зч\ i} - F_{зч\ i}}{F_{зч\ i}} \cdot 100, \quad (2.10)$$

де k – кількість КМБ, $k=12$;

m – кількість діапазонів швидкостей, $m=5$;

$F'_{зч\ i}$ – розрахункова сила тяги модернізованого тепловоза, кН;

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3 ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОВОЗА НА ПІДСТАВІ ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКІВ

Обґрунтування удосконалення електричної передачі тепловоза пропонуємо виконати шляхом порівняння показників, отриманих на підставі тягових розрахунків [10], а саме витрати дизельного палива та часу ходу поїзда зі складом однакової маси на реальному профілі колії. Профіль колії промислового підприємства довжиною 11,59 км складається з 15 елементів. Під час поїздки машиніст виконує 2 проміжні зупинки.

3.1 Спрявлення профілю колії

Спрявлення профілю полягає в заміні двох або кількох суміжних елементів поздовжнього профілю колії одним елементом, довжина якого S_c дорівнює сумі довжин елементів, що спрямлюються (S_1, S_2, \dots, S_n) [11], тобто

$$S_c = S_1 + S_2 + \dots + S_n. \quad (3.1)$$

Для елементів 2 і 3 профілю довжина спрямленого елемента складає:

$$S_{23} = 860 + 910 = 1770 \text{ м.}$$

Крутизна i_c' вираховується за формулою:

$$i_c' = \frac{i_1 S_1 + i_2 S_2 + \dots + i_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (3.2)$$

де i_1, i_2, \dots, i_n – крутизна елементів дільниці, що спрямляється.

Для елементів 2 і 3 профілю крутизна спрямленого елемента складає

$$i_{23}' = \frac{2 \cdot 860 + 0,5 \cdot 910}{860 + 910} = 1,22\%.$$

Щоб розрахунки швидкості і часу руху поїзда по дільниці були достатньо точними, необхідно виконати перевірку можливості спрявлення групи елементів

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

профілю за формулою:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (3.3)$$

де S_i – довжина елемента, що спрямляється, м;

Δi – абсолютна величина різниці між ухилом спрямленої ділянки і ухилом елемента, що перевіряється, ‰, тобто $|i_c' - i_i|$.

Для другого елемента

$$860 \leq \frac{2000}{|2 - 1,22|} = 2564 \text{ м.}$$

Для третього елемента

$$691 \leq \frac{2000}{|0,5 - 1,22|} = 2778 \text{ м.}$$

Перевірки зійшлись.

Криві на спрямленій ділянці замінюються фіктивним підйомом, крутизна якого визначається за формулою:

$$i_c'' = \frac{700}{S_c} \sum_{i=1}^n \frac{S_{кри} i}{R_i}, \quad (3.4)$$

де $S_{кри}$ і R_i – довжина і радіус кривих в метрах спрямленої ділянки, м.

Для 2 і 3 елементів фіктивний підйом складе

$$i_{23}'' = \frac{700}{1710} \frac{400}{500} = 0,32 \text{ ‰.}$$

Крутизна спрямленої ділянки з урахуванням фіктивного підйому від кривої

$$i_c = i_c' + i_c'' . \quad (3.5)$$

					<i>0032.226324.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Для 2 і 3 елементів крутизна в прямому напрямі складе

$$i_{45} = 1,22 + 0,32 = 1,54 \text{‰}.$$

Елементи профілю, на яких розташовані станції, елементи з розрахунковим і швидкісним підйомами, а також елементи з найкрутішими спусками не спрямляються. Результати спрямлення профілю ділянки зводимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати спрямлення профілю ділянки

Номер елемента	Крутизна елемента	Довжина елемента	Радіус кривої	Довжина кривої	Довжина спрямленого елемента	Крутизна спрямленого елемента	Фіктивний підйом	Сумарна крутизна в прямому напрямі	Сумарна крутизна в зворотному напрямі	Номер спрямленого елемента	Станція
1	1,5	640			640	1,5		1,5	-2	1	А
2	2	860	400	500	1710	1,22	0,32	1,54	0,9	2	
3	0,5	910									
4	-1	960			960	-1		-1	1	3	
5	-2	630			630	-2		-2	2	4	Б
6	4	810			810	4		4	-4	5	
7	1	840			840	1		1	-1	6	
8	1,15	1000	300	600	1000	1,15	0,35	1,5	0,8	7	
9	-1	460			460	-1		-1	1	8	
10	-3,4	750	200	450	750	-3,4	0,4	-3	3,8	9	
11	-5	450			450	-5		-5	5	10	В
12	2	740			740	2		2	-2	11	
13	3	930			930	3		3	-3	12	
14	4	890			890	4		4	-4	13	
15	1	720			720	1		1	-1	14	Г
Сума		11590			11590						

3.2 Визначення розрахункового підйому

Розрахунковий підйом – це найбільш важкий для руху в даному напрямку елемент, на якому при наявній масі складу досягається розрахункова швидкість і відповідна розрахункова сила тяги локомотива. Розрахунковий підйом – один з основних параметрів, які визначають масу складу, яка може бути перевезена по дільниці при заданих умовах [10].

Достатньо крутий і в той же час довгий елемент профілю, який не можна буде подолати за рахунок накопиченої, в першу чергу на спусках, кінетичної енергії на швидкості, що дорівнює або більша за розрахункову, і буде розрахунковим підйомом. Відзначимо, що розрахунковий підйом не обов'язково є найбільш крутим. Якщо на дільниці є підйом, крутіший за розрахунковий, але він має невелику протяжність і перед ним розташовані «легкі» елементи профілю (спуски, площадки), де поїзд може розвинути велику швидкість, то навіть при умові вповільнення на даному підйомі його швидкість може не досягнути розрахункової. В такому разі підйом необхідно вважати швидкісним.

В нашому випадку розрахунковий підйом $i=4\%$, $S=810$ м.

3.3 Розрахунок маси складу

Маса складу – один з найважливіших показників роботи залізничного транспорту. Збільшення маси складів дозволяє підвищити перевізну спроможність залізничних ліній, зменшити витрату пального і електричної енергії, знизити собівартість перевезень. Тому масу вантажного складу визначають, виходячи з повного використання тягових якостей локомотива.

Для обраного розрахункового підйому масу складу в тонах вираховуємо за формулою:

$$Q = \frac{F_{dp} - (\omega'_0 + i_p) \cdot P \cdot g}{(\omega''_0 + i_p) \cdot g}, \quad (3.6)$$

де F_{dp} – розрахункова сила тяги локомотива, Н;

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

P – розрахункова маса локомотива, т;

ω_0' – основний питомий опір локомотива, Н/кН;

ω_0'' – основний питомий опір складу, Н/кН;

i_p – крутизна розрахункового підйому, ‰;

g – прискорення вільного падіння; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

В нашому випадку

– $F_{\partial p} = 496 \text{ кН}$ [11];

– $P = 271 \text{ т}$ [11];

– $i_p = 4\text{‰}$;

– $V_p = 23,4 \text{ км/год}$ [11].

Величини ω_0' і ω_0'' визначаємо для розрахункової швидкості локомотива V_p . Питомі сили відносимо до 1 кН ваги рухомого складу.

Основний питомий опір локомотива в Н/кН підраховуємо за формулою:

$$\omega_0' = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2; \quad (3.7)$$

$$\omega_0' = 1,9 + 0,01 \cdot 23,4 + 0,0003 \cdot 23,4^2 = 2,3 \text{ Н/кН.}$$

Основний питомий опір складу в Н/кН визначаємо за формулою:

$$\omega_0'' = \alpha \cdot \omega_{04}'' + \beta \cdot \omega_{06}'' + \gamma \cdot \omega_{08}'', \quad (3.8)$$

де α, β, γ – відповідно долі 4- 6- і 8-вісних вагонів в складі за масою,

$\alpha = 90\%$, $\beta = 0\%$, $\gamma = 10\%$ згідно вихідних даних;

ω_{04}'' – основний питомий опір 4-вісних вантажних вагонів, Н/кН;

ω_{08}'' – основний питомий опір 8-вісних вантажних вагонів, Н/кН.

Основний питомий опір 4-вісних вантажних вагонів:

– при підшипниках ковзання

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$\omega''_{04коч} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{q_{04}}, \quad (3.9)$$

– при роликових підшипниках

$$\omega''_{04ков} = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{q_{04}}, \quad (3.10)$$

де q_{04} – маса, яка приходиться на одну колісну пару 4-вісного вагона, т/вісь.

У нашому випадку згідно вихідних даних

$$\omega''_{04} = 0,95 \cdot \omega''_{04коч} + 0,05 \cdot \omega''_{04ков}. \quad (3.11)$$

Основний питомий опір 8-вісних вантажних вагонів

$$\omega''_{08} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot V + 0,0021 \cdot V^2}{q_{08}}, \quad (3.12)$$

де q_{08} – маса, яка приходиться на одну колісну пару 8-вісного вагона, т/вісь,

$$q_{04} = \frac{g_4}{4}; \quad q_{08} = \frac{g_8}{8}, \quad (3.13)$$

де g_{04} , g_{08} – маса брутто відповідно 4- і 8-вісного вагона, т.

$$q_{04коч} = \frac{88}{4} = 22 \text{ т/вісь};$$

$$q_{04ков} = \frac{88}{4} = 22 \text{ т/вісь};$$

$$q_{08} = \frac{168}{8} = 21 \text{ т/вісь}.$$

$$\omega''_{04коч} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 23,4 + 0,0025 \cdot 23,4^2}{22} = 1 \text{ Н/кН};$$

					<i>0032.226324.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$\omega_{04ков}'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot 23,4 + 0,0025 \cdot 23,4^2}{22} = 1,23 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{08}'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot 23,4 + 0,0021 \cdot 23,4^2}{21} = 1,08 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_0'' = 0,9(0,95 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1,26) + 0,1 \cdot 1,08 = 1,02 \text{ Н/кН};$$

$$Q = \frac{496000 - (2,3 + 4) \cdot 271 \cdot 9,81}{(1,02 + 4) \cdot 9,81} = 9731 \text{ т.}$$

Розраховану масу складу у відповідності з ПТР округлюємо, тобто $Q=9750$ т.

Приймаємо масу складу $Q=4750$ т, оскільки вона відповідає реальній поїзді, з якою поставлено задачу порівняти розрахунки [10].

3.4 Перевірки розрахункової маси складу

3.4.1 Перевірка розрахункової маси складу на можливість надійного подолання короткого підйому крутизною більше розрахункового

Виконуємо перевірку на можливість подолання швидкісного підйому аналітичним методом, з урахуванням використання кінетичної енергії, накопиченої на подолання «легких» елементах профілю, використовуючи аналітичний метод. При цьому приймаємо гіпотезу про рівноуповільнений рух поїзда в інтервалі швидкості $\Delta V \leq 10$ км/год і використовуємо розрахункове співвідношення:

$$S = \frac{4,17 \cdot (V_k^2 - V_n^2)}{f_{дсер} - \omega_{0сер}}, \quad (3.14)$$

де V_n – швидкість на початку інтервалу швидкості ΔV ;

V_k – швидкість в кінці інтервалу швидкості ΔV .

					<i>0032.226324.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розрахунок пройденого шляху за формулою (3.14) проводимо до тих пір, поки кінцева швидкість останнього інтервалу не буде дорівнювати розрахунковій, тобто $V_k = V_p$.

Питому силу тяги $f_{\partial cep}$ і питомий опір $\omega_{\partial cep}$ в межах обраного інтервалу зміни швидкостей ΔV приймаємо рівними їхнім значенням при середній швидкості інтервалу, який розглядається:

$$V_{cep} = \frac{V_H + V_K}{2}. \quad (3.15)$$

Ці питомі сили вираховуємо за формулами в Н:

$$f_{\partial cep} = \frac{F_{\partial cep}}{(P + Q) \cdot g}; \quad (3.16)$$

$$\omega_{\partial cep} = \frac{(\omega'_{\partial cep} + i_{nep}) \cdot P \cdot g + (\omega''_{\partial cep} + i_{nep}) \cdot Q \cdot g}{(P + Q) \cdot g}. \quad (3.17)$$

Значення сили тяги локомотива $F_{\partial cep}$ для середньої швидкості V_{cep} визначаємо за тяговою характеристикою локомотива (рис. 3.1).

Розраховуємо пройдений шлях при швидкостях $V_H = 80$ км/год та $V_K = 70$ км/год.

$$V_{cep} = \frac{80 + 70}{2} = 75 \text{ км/год};$$

$$f_{\partial cep} = \frac{165000}{(271 + 4750) \cdot 9,81} = 3,35 \text{ Н/кН};$$

$$\omega'_{\partial cep} = 1,9 + 0,01 \cdot 75 + 0,0003 \cdot 75^2 = 4,34 \text{ Н/кН}.$$

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

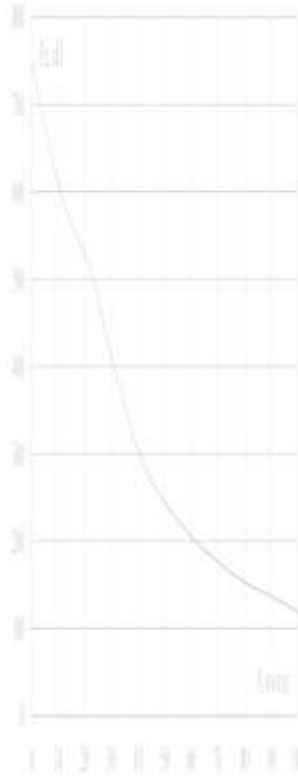


Рисунок 3.1 – Тягова характеристика тепловоза 2ТЕ10М

$$\omega''_{04} = 0,95 \cdot \left(0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 75 + 0,0025 \cdot 75^2}{22} \right) + 0,05 \cdot \left(0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot 75 + 0,0025 \cdot 75^2}{22} \right) = 1,83 \text{ Н/кН};$$

$$\omega''_{08} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot 75 + 0,0021 \cdot 75^2}{21} = 1,68 \text{ Н/кН};$$

$$\omega''_{0сер} = 0,9 \cdot 1,85 + 0,1 \cdot 1,68 = 1,82 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{0сер} = \frac{(4,34 + 4) \cdot 271 \cdot 9,81 + (1,82 + 4) \cdot 4750 \cdot 9,81}{(271 + 4750) \cdot 9,81} = 4,23 \text{ Н/кН}.$$

$$S_1 = \frac{4,17 \cdot (80^2 - 70^2)}{3,35 - 4,23} = 7100 \text{ м}.$$

Так як отримана за формулою (3.18) відстань, пройдена поїздом у

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

відповідних інтервалах швидкостей ΔV , більша довжини елемента $S_{пер}=4810$ м, тобто

$$S > S_{пер}, \quad (3.19)$$

то це означає, що при розрахованій масі складу $Q=4750$ т поїзд надійно подолає підйом $i_{пер}=4\%$ з урахуванням використання накопиченої до початку елемента кінетичної енергії [12].

3.4.2 Перевірка розрахованої маси складу на зрушення з місця на роздільних пунктах

Така перевірка виконується за формулою:

$$Q_{зруш} = \frac{F_{\partial зруш}}{(\omega_{зруш} + i_{зруш}) \cdot g} - P_{зч}, \quad (3.20)$$

де $F_{\partial зруш}$ – сила тяги локомотива при рушанні складу з місця, Н;

$i_{зруш}$ – крутизна найбільш важкого елемента на роздільних пунктах (станціях) заданої дільниці, ‰ (в напрямку руху);

$\omega_{зруш}$ – питомий опір поїзда при рушанні з місця (на площадці), Н/кН,

В нашому випадку:

– $F_{\partial зруш}=798000$ Н [11];

– $i_{зруш}=4\%$;

– $P_{зч}=271$ т [11].

$$\omega_{зруш} = \alpha \cdot \left(\delta \omega_{зруш4}^{коч} + \varepsilon \omega_{зруш4}^{ков} \right) + \gamma \cdot \omega_{зруш8}^{коч}, \quad (3.21)$$

де $\omega_{зруш4}^{коч}$ і $\omega_{зруш4}^{ков}$ – питомі опори при рушанні з місця відповідно для 4-вісних

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

вагонів на підшипниках кочення і на підшипниках ковзання;

δ і ε – відповідно долі 4-вісних вагонів з підшипниками кочення і підшипниками ковзання; $\delta = 0,95$, $\varepsilon = 0,05$ згідно вихідних даних.

Для вагонів на підшипниках кочення

$$\omega_{зруш}^{коч} = \frac{28}{q_0 + 7}. \quad (3.22)$$

Для вагонів на підшипниках ковзання

$$\omega_{зруш}^{ков} = \frac{142}{q_0 + 7}. \quad (3.23)$$

$$\omega_{зруш4}^{коч} = \frac{28}{22 + 7} = 0,97 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{зруш4}^{ков} = \frac{142}{22 + 7} = 4,9 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{зруш8}^{коч} = \frac{28}{21 + 7} = 1 \text{ Н/кН};$$

$$\omega_{зруш} = 0,9 \cdot (0,95 \cdot 0,97 + 0,05 \cdot 4,9) + 0,1 \cdot 1 = 1,15 \text{ Н/кН}.$$

За формулою (3.20) перевіримо масу складу на зрушення з місця:

$$Q_{зруш} = \frac{798000}{(1,15 + 4) \cdot 9,81} - 271 = 15524 \text{ т}.$$

Маса складу $Q_{зруш}$, отримана за умовами зрушення з місця, є більшою за розраховану масу складу Q , визначену за розрахунковим підйомом, тобто $Q_{зруш} > Q$. Так як для перевірки маси складу на рушення з місця була обрана

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

станція, розташована на найбільш важкому елементі, отже, рушання складу з місця і розгін поїзда забезпечені на всіх роздільних пунктах дільниці [13].

3.4.3 Перевірка маси складу по довжині приймально-відправних колій

Щоб виконати перевірку маси складу по довжині приймально-відправних колій, визначаємо число вагонів у складі, довжину поїзда і співставляємо довжину з заданою довжиною приймально-відправних колій станцій.

Число вагонів у складі вантажного поїзда складе:

– 4-вісних

$$m_4 = \frac{\alpha \cdot Q}{q_4}. \quad (3.24)$$

– 8-вісних

$$m_8 = \frac{\gamma \cdot Q}{q_8}. \quad (3.25)$$

Отримані кількості вагонів округлюємо до цілих числових значень.

$$m_4 = \frac{0,9 \cdot 4750}{4 \cdot 22} \approx 49;$$

$$m_8 = \frac{0,1 \cdot 4750}{8 \cdot 21} \approx 3.$$

Довжини вагонів і локомотива приймаємо рівними:

- 4-вісного – 15 м;
- 8-вісного – 20 м;
- локомотива – 34 м.

Загальна довжина поїзда в м дорівнює:

$$L_n = 20 \cdot m_8 + 15 \cdot m_4 + L_l + L_g, \quad (3.26)$$

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

де $L_{\text{в}}$ – запас довжини на неточність встановлення поїзда, $L_{\text{в}}=10$ м.

$$L_n = 20 \cdot 3 + 15 \cdot 49 + 34 + 10 = 829 \text{ м.}$$

Перевірка можливості встановлення поїзда на приймально-відправних коліях виконується за співвідношенням

$$L_n \leq L_{\text{нвід}}, \quad (3.27)$$

де $L_{\text{нвід}}$ – довжина приймально-відправних колій, м, $L_{\text{нвід}}=1550$ м.

Оскільки співвідношення (3.27) виконується, то довжину поїзда зменшувати не потрібно.

3.5 Побудова діаграм питомих рівнодіючих сил

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил складаємо таблицю для трьох режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній дільниці:

- для режиму тяги $f_{\text{д}} - \omega_0 = f_1(V)$;
- для режиму холостого ходу $\omega_{0x} = f_2(V)$;
- для режиму гальмування: при службовому регульовальному гальмуванні $\omega_{0x} + 0,5b_2 = f_3(V)$, при екстреному гальмуванні $\omega_{0x} + b_2 = f_4(V)$.

Основний питомий опір локомотива на холостому ході розраховуємо за формулою:

$$\omega_x = 2,4 + 0,011V + 0,00035V^2. \quad (3.28)$$

Основний питомий опір всього поїзда (при прямуванні його по прямій горизонтальній колії) під час руху локомотива на холостому ході підраховуємо за формулою:

$$\omega_{0x} = \frac{P\omega_x + Q\omega_0''}{P + Q}. \quad (3.29)$$

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Питомі гальмівні сили поїзда в Н/кН розраховуємо за формулою:

$$b_2 = 1000\varphi_{кр}g_p, \quad (3.30)$$

де $\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя колодок в колесо;

g_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу.

Розрахунковий коефіцієнт тертя колодок о колесо при композиційних колодках його розраховуємо за формулою:

$$\varphi_{кр} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2V + 150}, \quad (3.31)$$

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу визначаємо за формулою:

$$g_p = \frac{\sigma \cdot (k_{p4}n_4 + k_{p8}n_8)}{Q \cdot g}, \quad (3.32)$$

де n_4, n_8 – число осей відповідно в групах 4- і 8-вісних вагонів складу,

$$n_4 = 4 \cdot m_4, \quad n_8 = 8 \cdot m_8;$$

k_{p4}, k_{p8} – розрахункові сили натиснення гальмівних колодок відповідно на вісь 4-, 8-вісного вагона (при композиційних колодках

$$k_{p4} = k_{p8} = 41,5 \text{ кН/вісь});$$

σ – доля гальмівних осей в складі, $\sigma = 0,98$.

Визначаємо розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу:

$$g_p = \frac{0,96 \cdot (41,5 \cdot 4 \cdot 49 + 41,5 \cdot 8 \cdot 3)}{4750 \cdot 9,81} = 0,310.$$

Питома сповільнююча сила, яка діє на поїзд в режимі гальмування, Н/кН:

– при службовому регульовальному гальмуванні $\omega_{0x} + 0,5b_2$;

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

– при екстреному гальмуванні $\omega_{0x} + b_2$.

Всі результати обчислень заносимо в розрахункову табл. 3.1. За даними цієї таблиці будемо діаграму питомих рівнодіючих сил для режиму тяги $f_g - \omega_0 = f_1(V)$, режиму холостого ходу $\omega_{0x} = f_2(V)$ і режиму службового гальмування $\omega_{0x} + 0,5b_2 = f_3(V)$ (рис. 3.2).

3.6 Вирішення гальмівної задачі

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості і часу ходу поїзда по дільниці, необхідно вирішити гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимально допустимої швидкості руху поїзда по найбільше крутому спуску дільниці $i = -9\%$ при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху. Цю задачу вирішуємо графічним способом. Повний гальмівний шлях

$$S_2 = S_n + S_\partial, \quad (3.33)$$

де S_n – шлях підготовки гальм до дії, на протязі якого гальма поїзда умовно приймаються недіючими;

S_∂ – дійсний гальмівний шлях, на протязі якого поїзд рухається з діючими в повну силу гальмами (кінець шляху S_n співпадає з початком шляху S_∂).

За формулою

$$V_k = \sqrt{\frac{120\Delta S(i_c + w_{ox} + b_2)}{500}} + V_n^2 \quad (3.34)$$

будемо залежність питомих сповільнюючих сил при екстреному гальмуванні, прийнявши $\Delta S = 10$ м. Результати наводимо в табл. 3.3.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 3.1 – Значення питомих рівнодіючих сил (локомотив – тепловоз серії 2ГЕ10М, маса складу 4750 т)

V, км/год	Режим тяги									Режим холостого ходу				Режим гальмування		
	$F_0, Н$	$\omega_0^0, Н/кН$	$\omega_0^0, Н/кН$	$W_0^0 = \omega_0^0 P_0^0, Н$	$W_0^0 = \omega_0^0 Q_0^0, Н$	$W_0^0 = W_0^0 + W_0^0, Н$	$F_0 - W_0^0, Н$	$f_0 - w_0^0, Н/кН$	$w_0^0, Н/кН$	$W_0^0 + W_0^0, Н$	$W_0^0, Н/кН$	$W_0^0, Н/кН$	$W_0^0 + 0,5b, Н/кН$	$W_0^0 + b, Н/кН$	$b_2 = 1000\phi_0^0, Н/кН$	$d\phi_0^0$
0	797553	2,03	5397	0,91	42404	47801	749752	15,22	2,40	6380	48784	0,990	0,990	83,8	0,27	84,8
10	667080	2,03	5397	0,91	42404	47801	619279	12,57	2,40	6391	48794	0,991	0,991	61,5	0,20	62,5
19	599587,2	2,2	5849	0,99	46132	51980	547607	11,12	2,43	6451	52582	1,068	1,068	51,2	0,16	52,2
23,4	496386	2,3	6115	1,02	47529	53644	442742	8,99	2,45	6512	54041	1,097	1,097	47,7	0,15	48,8
30	412020	2,47	6567	1,1	51257	57824	354196	7,19	2,50	6657	57914	1,176	1,176	43,6	0,14	44,8
40	304110	2,78	7391	1,21	56383	63774	240336	4,88	2,65	7035	63418	1,288	1,288	39,1	0,13	40,4
50	245250	3,15	8374	1,36	63373	71747	173503	3,52	2,88	7660	71032	1,442	1,442	35,9	0,12	37,4
60	206010	3,58	9517	1,53	71294	80812	125198	2,54	3,23	8591	79885	1,622	1,622	33,5	0,11	35,2
70	176580	4,07	10820	1,71	79682	90502	86078	1,75	3,72	9891	89573	1,819	1,819	31,7	0,10	33,5
80	153036	4,62	12282	1,93	89933	102215	50821	1,03	4,37	11621	101554	2,062	2,062	30,2	0,10	32,2
90	137340	5,23	13904	2,16	100651	114555	22785	0,46	5,21	13842	114493	2,324	2,324	29,0	0,09	31,3
100	119682	5,9	15685	2,42	112766	128451	-8769	-0,18	6,25	16616	129382	2,627	2,627	27,9	0,09	30,6

0032.226324.000.03MP.ПЗ

Таблиця 3.2 – Значення питомих рівнодіючих сил (локомотив – тепловоз серії 2ГЕ10М_{модерн}, маса складу 4750 т)

V, км/год	Режим тяги										Режим холостого ходу				Режим гальмування		
	$F_0, Н$	$\omega_0^0, Н/кН$	$\omega_0^0, Н/кН$	$W_0^0 = \omega_0^0 P_0^0, Н$	$W_0^0 = \omega_0^0 Q_0^0, Н$	$W_0^0 = W_0^0 + W_0^0, Н$	$F_0 - W_0^0, Н$	$f_0 - w_0^0, Н/кН$	$w_0^0, Н/кН$	$W^x = w^x P_0^x, Н$	$W^x + W_0^x, Н$	$Н/кН, Н/кН$	$w^{ox}, Н/кН$	$w^{ox} + 0,5b, Н/кН$	$w^{ox} + b, Н/кН$		
0	841423	2,03	5397	0,91	42404	47801	793623	16,11	2,40	6380	48784	0,990	83,8	42,9	84,8		
10	703769	2,03	5397	0,91	42404	47801	655969	13,32	2,40	6391	48794	0,991	61,5	31,7	62,5		
19	632568	2,2	5849	0,99	46132	51980	580588	11,79	2,43	6451	52582	1,068	51,2	26,6	52,2		
23,4	496386	2,3	6115	1,02	47529	53644	442742	8,99	2,45	6512	54041	1,097	47,7	24,9	48,8		
30	412020	2,47	6567	1,1	51257	57824	354196	7,19	2,50	6657	57914	1,176	43,6	23,0	44,8		
40	304110	2,78	7391	1,21	56383	63774	240336	4,88	2,65	7035	63418	1,288	39,1	20,8	40,4		
50	245250	3,15	8374	1,36	63373	71747	173503	3,52	2,88	7660	71032	1,442	35,9	19,4	37,4		
60	206010	3,58	9517	1,53	71294	80812	125198	2,54	3,23	8591	79885	1,622	33,5	18,4	35,2		
70	176580	4,07	10820	1,71	79682	90502	86078	1,75	3,72	9891	89573	1,819	31,7	17,7	33,5		
80	153036	4,62	12282	1,93	89933	102215	50821	1,03	4,37	11621	101554	2,062	30,2	17,2	32,2		
90	137340	5,23	13904	2,16	100651	114555	22785	0,46	5,21	13842	114493	2,324	29,0	16,8	31,3		
100	119682	5,9	15685	2,42	112766	128451	-8769	-0,18	6,25	16616	129382	2,627	27,9	16,6	30,6		



Рисунок 3.2 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (локомотив – тепловоз серії 2ТЕ10М, маса складу 4750 т)

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

0032.226324.000.03МР.ПЗ

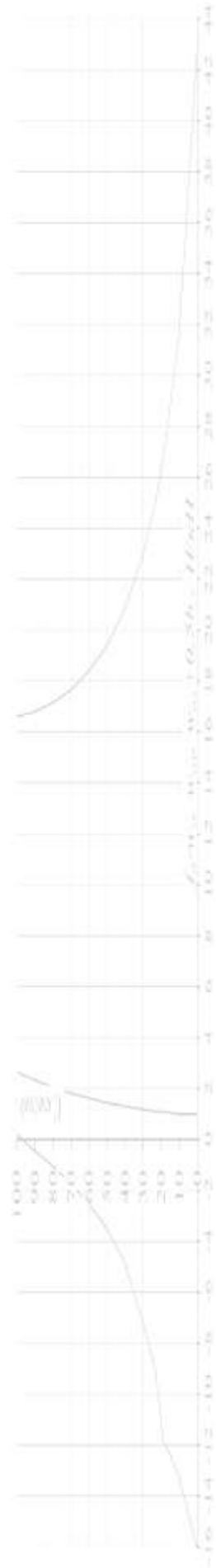


Рисунок 3.3 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (локомотив серії 2TE10М^{модерн}, маса складу 4750 т)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226324.000.03MP.ПЗ

Таблиця 3.3 – Результати розв’язання гальмівної задачі

$V_{поч}$, км/ГОД	$w_{ох} + b_2$, н/кН	S_K , м	V_K , км/ГОД
0	84,92	10	14
14	58,89	20	18
18	54,70	30	21
21	51,56	40	23
23	49,77	50	25
25	48,37	60	27
27	47,29	70	29
...
85	31,93	1160	86
86	31,91	1170	86
86	31,88	1180	86
86	31,85	1190	86
86	31,82	1200	86

На цей же графік наносимо залежність підготовчого гальмівного шляху від швидкості

$$S_n = 0,278 \cdot V_{поч} \cdot t_n, \quad (3.35)$$

де $V_{поч}$ – швидкість на початку гальмування, км/год;

t_n – час підготовки гальм до дії; цей час для автогальм вантажного типу рівний для складів довжиною 200-300 осей:

$$t_n = 10 - \frac{15 \cdot i_c}{b_2}, \quad (3.36)$$

де i_c – крутизна ухилу, для якого розв’язується гальмівна задача;

b_2 – питома гальмівна сила при початковій швидкості гальмування $V_{поч}$.

Побудова залежності підготовчого гальмівного шляху S_n від швидкості виконуємо по двох точках, для чого підраховуємо значення S_n при $V_{поч} = 0$ (в цьому випадку $S_n = 0$) і при $V_{поч} = V_{констр}$.

$$t_n = 10 - \frac{15 \cdot (-5)}{27,9} = 12,7 \text{ хв.}$$

$$S_n = 0,278 \cdot 100 \cdot 12,7 = 353 \text{ м.}$$

Результати вирішення гальмівної задачі (рис. 3.4) враховуємо при побудові кривої швидкості руху поїзда $V = f(S)$ за тим, щоб ніде не перевищити швидкості, що допускається по гальмах, тобто щоб поїзд міг бути завжди зупинений на відстані, яка не перевищує довжини повного гальмівного шляху.

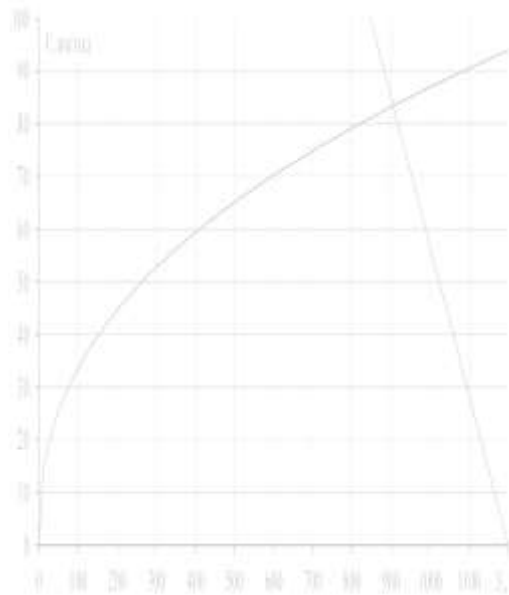


Рисунок 3.4 – Результати розв’язання гальмівної задачі

При розв’язанні гальмівної задачі визначена допустима швидкість руху по ділянці – $V_{дон} = 83$ км/год.

3.7 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда та струму

Криву швидкості будуюмо для руху поїзда в одному напрямку, виходячи з того, що поїзд відправляється зі ст. А, проходить з зупинкою станцію Б і В й

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

робить зупинку на ст. Г. При цьому дотримуємось умови, що швидкість поїзда по вхідних стрілках станції, на якій передбачена зупинка, не повинна перевищує 50 км/год для можливого прийому на бокову колію для схрещування або обгону.

При побудові кривої $V = f(S)$ врахуємо обмеження найбільшої допустимої швидкості руху поїзда:

- конструктивна швидкість вантажних вагонів 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії 100 км/год;
- конструктивна швидкість локомотива 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда, визначена гальмівними засобами, розрахована вище при розв'язуванні гальмівної задачі, 83 км/год.

При побудові кривої струму користуємось струмовою характеристикою локомотива (рис. 3.5).

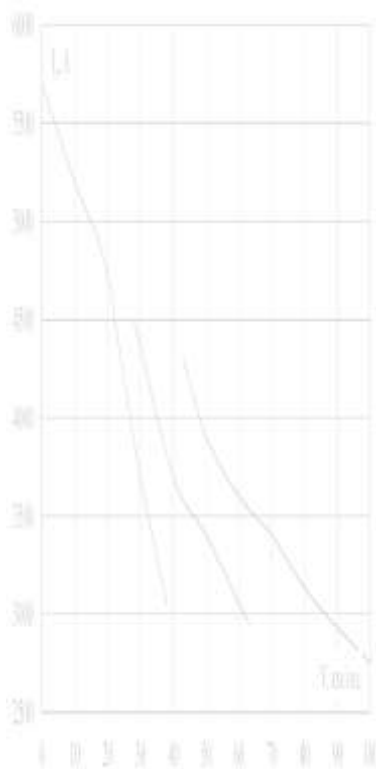


Рисунок 3.5 – Струмова характеристика тепловоза 2ТЕ10М

Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму зображені на рис. 3.6, 3.7.

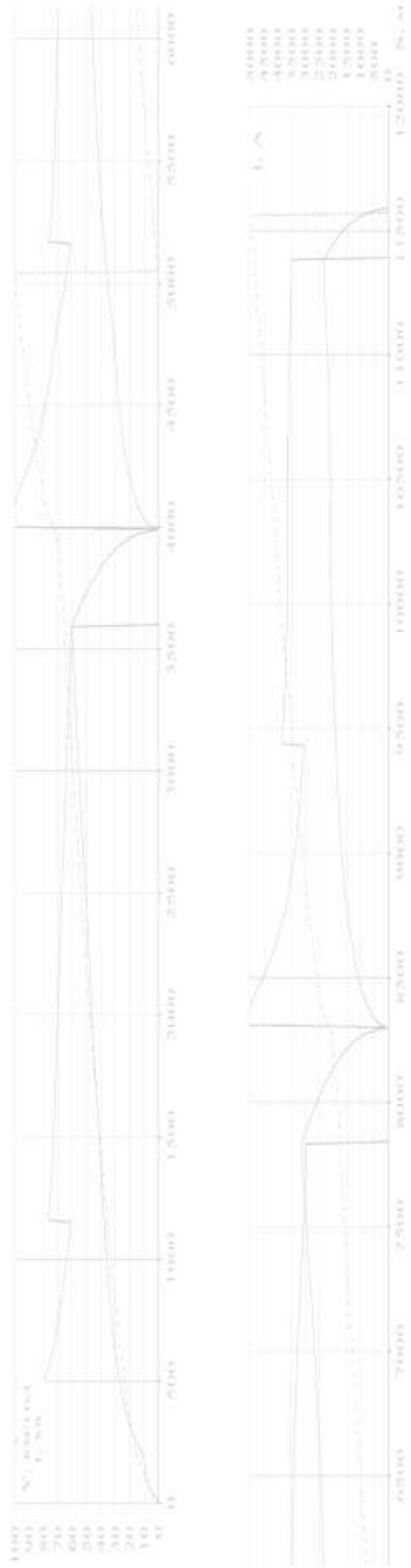


Рисунок 3.6 – Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму поїзда з тепловозом серії 2TE10M

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226324.000.03MP.ПЗ

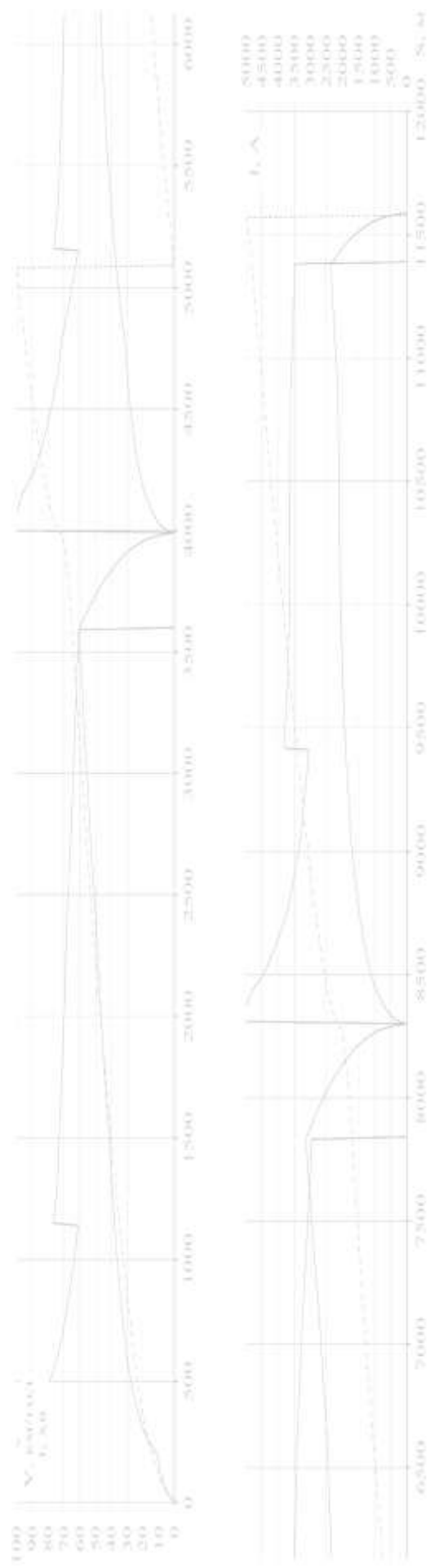


Рисунок 3.6 – Графіки побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму поїзда з тепловозом серії 2TE10М^{модерн}

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226324.000.03MP.ПЗ

3.8 Визначення часу ходу поїзда по перегонах

Після побудови кривої часу визначається час ходу по перегонах і технічна швидкість поїзда V_T на дільниці [14]. Всі дані зводяться в табл. 3.4, причому розрахункові дані беремо по кривій $t = f(S)$ з точністю до 0,1 хв, а прийняті для графіка руху поїздів часи ходу по перегонах округлюємо з точністю до 1 хв.

Таблиця 3.4 – Розрахунок часу ходу поїзда по перегонах

Перегон	Довжина, м	Час ходу, хв	
		розрахунковий	прийнятий для графіка руху
А-Б	4000	13,35	14
Б-В	4310	13,04	13
В-Г	3280	5,68	6
По дільниці	11590	32,07	33

Технічна швидкість руху поїзда по дільниці (км/год)

$$V_T = \frac{L \cdot 60}{t_1 + t_2}, \quad (3.36)$$

де t_1 і t_2 – відповідно часи ходу поїзда по першому і другому перегонах, год;

L – довжина дільниці, км (відстань між осями граничних станцій заданої дільниці).

$$V_T = \frac{11,59 \cdot 60}{32,07} = 21,7 \text{ км/год.}$$

3.9 Визначення часу ходу поїзда методом рівномірних швидкостей

Визначення часу ходу в такий спосіб основане на припущеннях про рівномірний рух поїзда по кожному елементі профілю. При цьому швидкість рівномірного руху на кожному елементі спрямленого профілю визначаємо за

діаграмою питомих рівнодіючих сил для режиму тяги.

Для підйомів більш крутих, ніж розрахунковий, величину рівномірної швидкості приймаємо рівною розрахунковій швидкості V_p . На спусках, коли рівномірна швидкість, визначена за діаграмою питомих сил для режиму тяги, приймаємо рівномірну швидкість рівною максимально допустимій.

До часу ходу по перегонах, отриманому при розрахунках цим методом, потрібно додавати 2 хв на розгін і 1 хв на сповільнення в кожному випадку, коли є рушання і розгін поїзда на станції і зупинка його на роздільному пункті дільниці. Всі розрахунки зводимо в табл. 3.5.

$$t = \sum \left(\frac{60}{V_{piv}} \cdot S \right) + 3; \quad (3.37)$$

$$t = 49,9 + 3 = 52,9 \text{ хв.}$$

Таблиця 3.5 – Розрахунок часу ходу поїзда методом рівномірних швидкостей

№ елемента спрямленого профілю	Довжина спрямленого елемента S, м	Крутизна ухилу i, ‰	V_{piv} , км/год	$60/V_{piv}$, хв./км	$60/V_{piv} \cdot S$, хв	Час на розгін і сповільнення, хв
1	2	3	4	5	6	7
1	640	1,5	73	0,817	0,52	2
2	860	2	67	0,898	0,77	
3	910	0,5	89	0,672	0,61	
4	960	-1	76	0,789	0,76	
5	630	-2	76	0,789	0,50	1
6	810	4	46	1,291	1,05	2
7	840	1	81	0,745	0,63	
8	1000	1,5	73	0,817	0,82	
9	460	-1	76	0,789	0,36	

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7
10	750	-3	76	0,789	0,59	
11	450	-5	23	2,609	1,17	1
12	740	2	67	0,898	0,66	2
13	930	3	55	1,084	1,01	
14	890	4	46	1,291	1,15	
15	720	1	81	0,745	0,54	1
					11,1	20,1

3.10 Перевірка електричних машин локомотива на нагрівання

Криву струму розбиваємо на ряд відрізків, в кожному з них величину струму приймаємо постійною, рівною напівсумі початкового та кінцевого значення.

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right), \quad (3.38)$$

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

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

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

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

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

Повинно виконуватись співвідношення для інтервалів:

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1. \quad (3.39)$$

Для більш точного визначення температури перегріву розрахунки за (3.38) проводимо з інтервалом 10 м. Результати розрахунків для 230 м приведемо в табл. 3.6, а для всієї ділянки – на рис. 3.7.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунків температури нагрівання обмоток

Координата, м	Середня швидкість $V_{сер}$, км/год	Середній струм тепловоза I , А	Середній струм 1 ТЕД I , А	Інтервал часу Δt , хв.	Теплова стала часу T , хв.	Значення τ_0 , °С	Температура обмоток τ , °С
10	3,0	5550	925	0,101	42,5	205,0	45,4
20	7,0	5345	891	0,074	40,5	183,5	45,7
30	9,0	5250	875	0,061	39,5	174,5	45,9
40	10,5	5180	863	0,054	39,0	168,5	46,0
50	11,7	5125	854	0,049	38,5	164,0	46,2
60	12,9	5075	846	0,045	38,0	160,0	46,3
70	13,9	5030	838	0,042	37,5	156,5	46,4
80	14,8	4990	832	0,039	37,0	153,0	46,6
90	15,7	4950	825	0,037	37,0	149,5	46,7
100	16,5	4910	818	0,036	37,0	147,0	46,8
110	17,3	4875	813	0,034	36,5	144,5	46,9
120	18,0	4845	808	0,033	36,0	142,0	46,9
130	18,7	4815	803	0,032	36,0	140,0	47,0
140	19,3	4770	795	0,031	35,5	137,0	47,1
150	19,9	4710	785	0,030	35,0	133,0	47,2
160	20,5	4650	775	0,029	35,0	129,0	47,2
170	21,1	4595	766	0,028	34,5	125,5	47,3
180	21,6	4545	758	0,028	34,0	122,5	47,4
190	22,0	4495	749	0,027	34,0	120,0	47,4
200	22,5	4450	742	0,026	34,0	117,5	47,5
210	22,9	4410	735	0,026	33,5	115,0	47,5
220	23,3	4370	728	0,026	33,0	113,0	47,6
230	23,7	4330	722	0,025	33,0	111,0	47,6



Рисунок 3.7 – Результати розрахунків температури перегріву обмоток тягових електричних машин

3.11 Визначення витрат енергоресурсів тепловозом

Витрати дизельного пального тепловозом на заданій дільниці, кг, визначаємо за формулою:

$$E = G \cdot t_m + g_x \cdot t_x, \quad (3.39)$$

де G – витрата дизельного пального тепловозом на режимі тяги, що відповідає 15-му положенню ручки контролера, кг/хв;

t_T – сумарний час роботи тепловоза на режимі тяги, хв;

g_x – витрата пального тепловозом при вимкненому струмі, кг/хв;

t_x – сумарний час руху тепловоза на режимі холостого ходу і гальмування, хв.

Час роботи тепловоза t_m і t_x визначаємо по кривій часу $t = f(S)$ і відмітках про зміну режиму роботи тепловоза на кривій швидкості $V = f(S)$.

Питома витрата пального на вимірювач, кг/10⁴ ткм

$$e = \frac{E}{Q \cdot L} \cdot 10^4, \quad (3.40)$$

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

де Q – маса складу, т;

L – довжина дільниці, для якої виконані тягові розрахунки, км (відстань між осями граничних станцій заданої дільниці).

$$E^{баз} = 2 \cdot 8,5 \cdot 18,0 + 2 \cdot 0,38 \cdot (32,1 - 18,0) = 319 \text{ кг};$$

$$E^{модерн} = 2 \cdot 8,5 \cdot 17,8 + 2 \cdot 0,38 \cdot (31,9 - 17,8) = 315 \text{ кг};$$

$$e^{баз} = \frac{319}{4750 \cdot 11,590} \cdot 10^4 = 57,9 \text{ кг/10}^4 \text{ ткм};$$

$$e^{модерн} = \frac{315}{4750 \cdot 11,590} \cdot 10^4 = 57,2 \text{ кг/10}^4 \text{ ткм}.$$

3.12 Порівняння результатів тягових розрахунків

Під час тягових розрахунків поїзда з тепловозом серії 2ТЕ10М та 2ТЕ10М^{модерн} отримані такі залежності :

- криві швидкості;
- часу ходу поїзда;
- навантаження дизеля;
- профілю колії.

За результатами розрахунків отримані дані (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Результати тягових розрахунків поїздів зі складом 4750 т з тепловозом серії 2ТЕ10В та 2ТЕ10М^{модерн}

Параметр	Значення параметра по серії тепловоза	
	2ТЕ10М	2ТЕ10М ^{модерн}
Технічна швидкість V_m , км/год	21,5	21,7
Час у дорозі t , хв	32,1	31,9
Витрата палива E , кг	319	315

Визначимо відсоткові різниці показників

$$\Delta^n = \frac{k^m - q^{m'}}{k^m} \cdot 100, \quad (4.1)$$

де m, m' – значення параметрів тягових розрахунків, для яких виконується порівняння;

n – параметр.

Для технічної швидкості V_m різниця складає

$$\Delta^{mii} = \frac{21,7 - 21,5}{21,7} \cdot 100 = 0,9\% ;$$

часу у дорозі t

$$\Delta^u = \frac{32,1 - 31,9}{32,1} \cdot 100 = 0,6\% ;$$

витрата палива E

$$\Delta^{en} = \frac{319 - 315}{319} \cdot 100 = 1,25\% .$$

За результатами порівняння можна зробити наступні висновки. За розрахунками витрата енергоресурсів знизилась на 1,25% для поїзда зі складом 4750 т з тепловозом серії 2TE10М^{модерн}, загальний час поїздки майже не змінився, технічна швидкість зросла на 1%. Слід зауважити, що розрахунки проводились за стандартною методикою, наведеною в ПТР без оптимізації.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

ВИСНОВКИ

При розробці дипломної магістерської роботи на тему «Удосконалення електричної передачі тепловоза постійного струму» ми спроектували систему керування потужністю тягових електродвигунів та довели її ефективність на підставі тягових розрахунків.

За об'єкт дослідження в дипломній магістерській роботі обрано електричної передачі тепловоза, а мету – удосконалення електричної передачі тепловоза постійного струму із застосуванням електронних компонентів.

Для досягнення мети ми вирішили наступні задачі.

Виконали аналіз літературних джерел з удосконалення тепловозної електричної передачі постійного струму із застосуванням мікропроцесорної техніки та розглянули досвід експлуатації тепловозів серій 2TE10 та М62. Навели загальні принципи побудови системи керування потужністю й навели характеристики тепловозів вказаних серій, оглянули переваги, недоліки та надійність систем.

При удосконаленні електричної передачі тепловоза постійного струму ми вказали принципи підвищення зчпних властивостей тепловозів. Для цього оглянули роботу електричної схеми під час пуску тепловоза. На підставі аналізу зв'язків електричних та механічних параметрів в тягових електродвигунах ми розробили систему підвищення тягових властивостей тепловозів з автоматичним керування магнітним потоком. На підставі цієї системи розрахували тягові властивості тепловозів й побудували тягову характеристику проектного тепловоза.

Обґрунтування удосконалення електричної передачі тепловоза ми виконали шляхом порівняння показників, отриманих на підставі тягових розрахунків, а саме витрати дизельного палива та часу ходу поїзда зі складом однакової маси на реальному профілі колії. Для цього виконали спрямлення профілю колії з визначенням розрахункового підйому, розрахували масу складу й виконали її перевірки. Для базового та модернізованого тепловозів побудували діаграму питомих рівнодіючих сил. За результатами вирішення гальмівної задачі

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

визначили обмеження швидкості руху. Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда та струму для базового та модернізованого тепловозів дала змогу визначити час ходу поїзда по перегонах, який підтверджено розв'язанням схожої задачі за методом рівномірних швидкостей. Перевірка електричних машин локомотива на нагрівання виконана аналітично з відносно малим інтервалом шляху. Визначення витрат енергоресурсів тепловозом вказало на доцільність удосконалення електричної передачі тепловоза вказаним методом, що додатково підтверджено порівняння результатів тягових розрахунків, таких як технічна швидкість та час ходу.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сергеев С. В. Система УСТА на тепловозе М62 //Локомотив. – 2007. – №2. – С. 26-30.
2. Сергеев С. В. Система УСТА на тепловозах типа ТЭ10 //Локомотив. – 2007. – №3. – С. 28-31.
3. Сергеев С. В. Система УСТА на тепловозах типа ТЭ10 //Локомотив. – 2007. – №4. – С. 27-31.
4. Електричне обладнання локомотивів: методичні вказівки до виконання курсової роботи та дипломного проектування /Уклад.: М.І. Капіца, В.Н. Сердюк, Є.Б. Боднар. – Дніпро: УДУНТ, 2022. - 39 с.
5. Боднар Б. Є. Визначення сили тяги локомотива з урахуванням нерівномірності навантаження колісно-моторних блоків /Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, Д.М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 6. – С. 63-71.
6. Капіца М. І. Визначення тривалості вибігу локомотива при переході з режиму тяги в режим гальмування /М. І. Капіца, Д. М. Кислий //Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 136. – С. 86-92.
7. Визначення енергозаощаджуючих режимів розгону поїздів /Б. Є. Боднар, М.І. Капіца, А. М. Афанасов, Д. М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 5 (59). – С. 40-52.
8. Поліпшення техніко-енергетичних параметрів тепловозів за рахунок впровадження автоматизованих систем керування дизелем /М. І. Капіца, М.І. Мартишевський, Д. М. Кислий, І. І. Палій //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 3(57). – С. 176-185.
9. Теорія та конструкція локомотивів: Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок техніко-економічних характеристик»

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

/Уклад.: Д.В. Бобирь, Л.С. Казаріна, М.І. Мартишевський, Є.Г. Нечаєв. – Д., 2006. – 26 с.

10. Бобирь Д.В., Грищенко М.А., Сердюк В.Н. Теорія локомотивної тяги: підручник. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 385 с.
11. Теорія локомотивної тяги. Технічне обслуговування транспортних засобів: методичні вказівки до виконання курсової роботи /Д.В. Бобирь, М.І. Капіца, О.М. Гончаров, В.Н. Сердюк. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2003. – 62 с.
12. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: монография: в 2 т. /Г. К. Гетьман. – Д.: Изд-во Днепрпетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 1. – 450 с.
13. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: Монография: в 2 т. /Г. К. Гетьман. – Д.: Изд-во Днепрпетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 2. – 361 с.
14. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства: підручник /Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, Є.Б. Боднар, О.Б. Очкасов; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Електрон. вид. – Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 220 с.

					0032.226324.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82