

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

/А. М. Муха/

« 18 » 12 20 20 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

Тема **Математична модель тягового електропривода постійного струму транспортного засобу**

Theme **Mathematical model DC traction electric drive of the vehicle**

Керівник дипломної роботи

доц. /М. М. Кедря/ М. М. Кедря

Нормоконтролер

доц. /Карзова О. О./ Карзова О. О.

Студент групи ЕП1921

/М. Д. Дерковський/ М. Д. Дерковський

Student

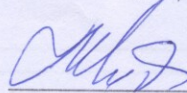
Derkovskyi Mykhailo

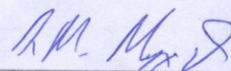
Дніпро – 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Факультет Управління енергетичними процесами
кафедра Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри


(підпис)


(ПІБ)

«28» 06 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР Магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи 264М Ферювського Михайла Дмитровича
(номер групи) (ПІБ)

1. Тема дипломної роботи Математична модель теплового електроприводу постійного струму транспортного засобу

затверджена наказом по університету № 849сб від «12» 11 20 19 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до дипломної роботи Характеристики та параметри двигуна Д22

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки 1) Реферат; 2) Вступ; 3) Загальні характеристики математичних моделей об'єктів керування; 4) Вибір об'єкта дослідження; 5) Диференціальні рівняння електропривода; 6) Рішення диференціальних рівнянь; 7) Моделювання процесів пуску двигуна; 8) Аналіз перехідних процесів; 9) Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; 10) Висновки; 11) Список використаних джерел

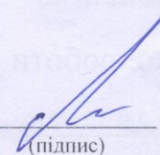
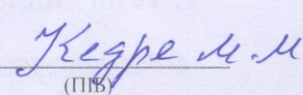
5. Перелік графічних робіт (з переліком обов'язкових креслень) _____

1) Схема візка і передачі ; 2) Параметри і характеристики
двигуна ; 3) Рішення диференціальних рівнянь ; 4) Диференціальні
рівняння двигуна ; 5) Аналіз отриманих результатів

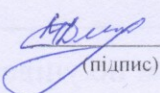
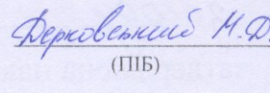
6.	Розділ	Консультант	Підпис, дата	
			Завдання видав	Завдання прийняв
	Норми безпеки при проектуванні електроприводів	Проф. Сабелін О. І.	20.10.2020	19.11.2020

Дата видачі завдання: «28» 00 2020 р.

Керівник дипломної роботи

 (підпис)  (ПІБ)

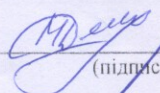
Завдання прийняв до виконання

 (підпис)  (ПІБ)

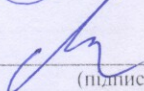
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Резюме		1 %
2	Загальні характеристики мат. моделі об'єкта		5 %
3	Вибір типу моделі		5 %
4	Диф. рівняння електропривода		10 %
5	Рішення диф. рівняння	18.10.2020	9 %
6	Моделювання процесів пуску двигуна	15.11.2020	20 %
7	Аналіз перехідних процесів при пуску двигуна		30 %
8	Висновки по роботі		10 %
9	Перелік інформаційних джерел	06.12.2020	10 %

Студент-дипломник

 (підпис)

Керівник роботи

 (підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ	8
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	13
РОЗДІЛ 3. ДИФЕРЕНЦІЙНІ РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	15
3.1 Основні характеристики двигуна типу Д22	15
3.2 Особливості пускових режимів	17
3.3 Рівняння прямого пуску	18
РОЗДІЛ 4. РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ	21
4.1 Визначення пускового струму незавантаженого візка	21
4.2 Побудова динамічних характеристик зміни струму і швидкості обертання за часом	23
РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПУСКУ ДВИГУНА	25
5.1 Пуск двигуна Д22	25
5.2 Пуск завантаженого візка та побудова графіків	26
РОЗДІЛ 6. АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ	30

					Математична модель тягового електропривода постійного струму			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дерковський			Пояснювальна записка			
Перевір.		Кедря М.М.						
Реценз.								
Н. Контр.		Карзова О.О.						
Затверд.		Муха А.М.						
						Літ.	Арк.	Акрушів
								41
						ДНУЗТ, зр. 264-М		

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	33
7.1 Вимоги безпеки при експлуатації електроприводів	33
7.2 Вимоги до працівників	34
7.3 Правила безпеки під час обслуговування електроприводів	36
7.4 Дія працівників в аварійних ситуаціях	38
7.5 Технічні заходи, що створюють безпечні умови виконання робіт з електродвигунами	39
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	

ВСТУП

Модель – зображення істотних сторін реальної або проекрованої системи, в зручній формі відображає інформацію про неї [1].

Для пояснення сформульованого визначення розглянемо основні властивості моделі [1].

1. Для будь-якої реальної системи модель завжди є новою концептуальною або ідеальною системою, в тій чи іншій мірі відрізняється від моделюється. Це означає, що при складанні та використанні моделі завжди має вирішуватися питання про ступінь її адекватності (відповідності) об'єкту.

2. Суб'єктивний характер моделі. Кожен дослідник створює модель на основі експериментальних даних або умоглядних прийомів, використовуючи свої власні знання та навички, або за допомогою конкретних рішень інших дослідників. Сучасні технології моделювання не тільки спираються на наукові методи, а й є мистецтвом. Моделювання – процес творчий, а створення моделі в багатьох випадках є результатом винаходу або відкриття.

3. Модель завжди характеризується спрощеним відображенням реального об'єкта. Спрощення, які робляться при складанні моделей, обумовлені, по-перше, обмеженими можливостями пізнання, по-друге, прагматичним прагненням дослідника отримати найбільш зручне опис для практичного використання. Як правило, для того щоб модель була корисною, її складність повинна знаходитися в певній відповідності зі складністю модельованого об'єкта.

4. Для одного і того ж об'єкта в залежності від цілей, використовуваного математичного апарату, суб'єктивних чинників і прийнятих спрощень можлива побудова декількох різних моделей.

5. Еволюція моделей. У міру розвитку наукових знань про об'єкт і методів дослідження з точки зору як методології, так і технічних засобів, моделі зазнають змін. Відбувається їх уточнення, вдосконалення або, навпаки, спростування. Розвиток науки в цьому сенсі можна розглядати як еволюцію моделей явищ і процесів.

						Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ

1.1 Основні види математичних моделей

Математичне моделювання ставить у відповідність модельованому фізичному процесу систему математичних співвідношень, вирішення якої дозволяє отримати відповідь на питання про поведінку об'єкту без створення фізичної моделі, яка часто є дорогою і малоефективною. Отже, математичною моделлю називається сукупність математичних співвідношень, рівнянь, нерівностей, що описують основні закономірності, властивості досліджуваному процесу, об'єкту або системі [2].

Створення деякої універсальної моделі, що відповідає різним аспектам її застосування, практично неможливо. Для отримання інформації, що відбиває ті чи інші властивості керованого об'єкта, необхідна класифікація моделей. В основі класифікації лежать особливості оператора Φ . Все різноманіття об'єктів управління, виходячи з тимчасового і просторового ознак, можна розділити на наступні класи: статичні або динамічні; лінійні або нелінійні; безперервні або дискретні в часі; стаціонарні або нестаціонарні; процеси, в ході яких їх параметри змінюються в просторі, і процеси без просторового зміни параметрів. Так як математичні моделі є відображенням відповідних об'єктів, то для них характерні ті ж класи. Повне найменування моделі може включати в себе сукупність перерахованих ознак. Ці ознаки послужили основою назви відповідних типів моделей [2].

Зображення істотних сторін об'єкта в моделі здійснюється за допомогою певних мов. Мова – система символів і правил, що дозволяють формувати і передавати повідомлення. Природна мова, що сформувався в результаті тривалої еволюції, представляє собою складну інформаційну систему, в якій діють раціональні правила, процедури і структури обробки лінгвістичної інформації. Він дозволяє створювати різні за призначенням і змістовному опису моделі. Відмінною особливістю природної мови є багатозначність і нечіткість понять. Це, з одного боку, дає унікальні можливості збільшення інформаційного ресурсу моделі і захисту міститься в ній

						Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

інформації, а з іншого боку, ускладнює використання сучасних технічних засобів обробки інформації при дослідженні моделей [1].

У зв'язку з цим при моделюванні велике значення мають штучні мови, які характеризуються формальними наборами символів і правил, що виключають неоднозначне тлумачення. Система правил побудови конструкцій з основних символів називається синтаксисом мови, а система правил їх однозначного тлумачення – семантикою мови. Прикладами формальних мов є алгоритмічні мови, машинні мови, мови програмування, мови електричних і структурних схем і ін.

Залежно від форми подання інформації про об'єкт розрізняють концептуальні, фізичні та математичні моделі [1].

Концептуальні моделі являють собою опис системи переважно на якісному рівні. Необхідно відзначити, що будь-яке значиме твердження про властивості і стан складних систем недостатньо вивчених об'єктах є якісним за своєю природою. Використання концептуальних моделей у багатьох випадках дозволяє отримати необхідну інформацію про властивості системи, можливості управління, оптимальних алгоритмах управління і розширює творчі можливості дослідника [2].

Особливості концептуальних моделей полягають у тому, що вони можуть носити характер гіпотез і використовувати природні мови для опису.

Під фізичною моделлю системи або явища розуміють по можливості повне (відповідно до досягнутого рівня знань) опису в фізично змістовних термінах. Фізичні моделі створюються на основі експериментальних даних про процеси та явища, а також результатів їх теоретичного аналізу.

Математична модель являє собою опис системи на будь-якому формальному мові, що дозволяє виводити судження про неї за допомогою формальних процедур. Основу математичної моделі складають математичні об'єкти – поняття, введені шляхом абстрагування від явищ реального світу. Різноманіття сучасних автоматичних систем і активний розвиток теорії автоматичного управління послужило причиною не тільки широкого використання різних математичних об'єктів, а й введення нових, наприклад нечітких множин, фракталів, вейвлетів і ін. [1].

						Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Математичні об'єкти, що використовуються при складанні моделі, визначають їх вигляд і властивості. Різноманітні математичні моделі, що застосовуються в теорії автоматичного управління, можна класифікувати за кількома основними ознаками [1].

1. В залежності від урахування тимчасової координати розрізняють статистичні і динамічні моделі. Модель називається статистичною, якщо значення її вихідної змінної $y(t)$ залежить від значення входу $x(t)$ тільки в той же момент часу. Для побудови таких моделей використовують графи, таблиці відповідностей, булеву алгебру, штучні нейрони, предикати, функції дійсних змінних, схему незалежних випробувань. У динамічно х моделях значення $y(t)$ може залежати від усього минулого (передісторії) процесу. Математичним апаратом динамічних моделей служать диференціальні, інтегральні, стохастичні та різницеві управління, кінцеві автомати і т.д.

2. В залежності від типу множин вхідних X , вихідних Y змінних і часу T розрізняють дискретні, безперервні, фрактальні і нечіткі моделі. Поняття множини, введене Г. Кантором, являє собою абстрактне математичне поняття, що означає сукупність. Безліч однозначно і повністю визначається його елементами. Числові множини адекватно формалізують реальні відносини між об'єктами. Наприклад, відносини близькості і збіжності формалізують поняття схожості і подібності об'єктів u і v і можуть бути задані метрикою (функцією відстані) $d(u, v)$. Числові множини є впорядкованими. Над елементами числових множин визначені операції, наприклад лінійні $u+v \cdot uv$ [1].

Під дискретними розуміється кінцеве, або рахункове, безліч. Безперервним називається безліч об'єктів, що утворюють чіткий числове безліч. Для безперервного безлічі адекватною моделлю служить відрізок, промінь або пряма лінія. Термін фрактал був введений Б. Мандельброт в 1975 р евклідової геометрії розмірність відрізка 1, розмірність кола 2, кулі 3. Наприклад, при вимірюванні довжини відрізка метрових відрізків в ньому буде N , півметровій $2N$, дециметрових $10N$ і так далі. В даному випадку спостерігається пряма пропорційна залежність. У разі вимірювання

						Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

площі виходять такі значення $4N$, $100N$, т. Е. Має місце квадратична залежність. Обсяг тривимірних фігур пропорційний кубу їх лінійних розмірів [1].

Фрактал – об'єкт, фрактальна розмірність (розмірність подібності) якого більше топологічної. Топологічна розмірність безлічі завжди виражається цілим числом, отже, фрактальне безліч має дробову розмірність. Фрактал – самоподібна структура, зображення якої не залежить від масштабу [1].

Властивості математичних об'єктів, що застосовуються при моделюванні, визначають властивості одержуваних при цьому моделей. За вказаною ознакою розрізняють лінійні і нелінійні, стаціонарні і нестаціонарні, безперервні і дискретні і інші типи моделей.

Якщо між елементами моделі $u_1, u_2, \dots, u_n$ (векторами, функціями однієї або декількох змінних і т.д.) є лінійна залежність $c_1 u_1 = 0$, де $c_1 \dots c_n$ – коефіцієнти, то така модель називається лінійною. Лінійні моделі грають виключно важливу роль в теорії автоматичного управління, так як дозволяють з використанням простого математичного апарату отримувати аналітичні рішення. Однак область їхнього застосування обмежена.

Побудова моделей ґрунтується на використанні даних різного виду включаючи точні кількісні оцінки і неточні, одержувані інтуїтивно, на основі експертних висновків, суджень і різних евристик. Для однієї системи можливе створення безлічі моделей, ефективних для вирішення конкретних завдань і розрізняються як способами побудови, так і формами подання [1].

Побудова математичної моделі заснована на формалізації опису системи, яке може бути виконане різними способами. Ці способи і виходять при цьому моделі можна розділити на чотири основні групи: аналітичні, феноменологічні, алгоритмічні та експериментальні.

Перша група підходів до моделювання складних систем, називається аналітичною, заснована на побудові моделі з використанням відомих законів природи, математично представлених у вигляді різних співвідношень між змінними. Переважне використання в даний час отримали моделі у вигляді лінійних і нелінійних

						Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

алгебраїчних і диференціальних рівнянь. Теорія диференціальних рівнянь є математичною фундаментом сучасної теорії автоматичного управління. В міру ускладнення вирішуваних завдань і розширення класів досліджуваних динамічних об'єктів виникає необхідність подальшого розвитку і вдосконалення математичних методів моделювання [1].

Феноменологічні моделі формуються на основі концептуальних описів конкретних явищ і процесів і є аксіоматичні системи, що використовують різні математичні об'єкти. Такі моделі є основним інструментом формального опису різних складних систем, для яких побудова математичної моделі на основі аналізу фізичних процесів важко. Логічною основою побудови таких моделей є пошук відповідного або найкращого в деякому сенсі математичної мови для формального подання досліджуваного об'єкта. При цьому використовуються традиційні математичні поняття, пропонуються нові способи математичного опису, наприклад використовують нечітку логіку [1].

Особливістю феноменологічних моделей полягає в тому, що вони самі є об'єктами, що володіють певним ступенем подібності по відношенню до реального об'єкту.

Розвиток алгоритмічних моделей пов'язане з широким використанням в практиці моделювання обчислювальних машин. В основі побудови таких моделей лежать методи структуризації складних систем і формалізації їх динаміки, яка подається у вигляді послідовності подій, що відбуваються. Прийнято розрізняти два типи алгоритмічних моделей: подієві, в яких істота функціонування системи становить послідовність реальних подій, і покрокові, в яких моменти настання подій визначаються кроком інтегрування [1].

						Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Особливості візка СМЖ-151

Самохідні візки моделі СМЖ-151 використовуються для транспортування масивних вантажів, маса яких може досягати до 60 тонн (СМЖ 151 витримує близько 30 тонн) [3].

Перевезення здійснюється за спеціальним внутрішнім залізничних колій зі стандартною шириною, яка, як правило, становить 1524 міліметрів, перевезення відбувається як в цехах, приміщеннях, так і на відкритій місцевості і вулицях.

Складається з плоскої рами, виготовленої з швелера. Оснащена чотирма пневматичними колесами, два колеса доповнені спеціальними зубчастими вінцями. До рами прикріплені балки, на них і вкладається вантаж. Може працювати при температурі від -40 до +40 градусів за Цельсієм. Управляється за допомогою кнопкової панелі [3].

На задній стороні розташований привід, який включає в себе: руховий механізм; редуктор; гальмівне пристосування; гальмівну муфту; Спереду знаходиться майданчик для працівника (керівника) СМЖ 151 і механізми для водіння. З цього місця людина і здійснює пересування візка і транспортування товару, регулює швидкість і подає сигнали. Верхня панель візка складається з кнопок і важелів, таких як: кнопка включення живлення; кнопка екстреної зупинки; кнопка сигналу; регулювання швидкості візка;

У самій рамі воза СМЖ 151 може знаходитися пристрій для зчипки з іншого схожою візком, такий як самохідний візок тс-350, що дозволяє об'єднувати стерпний вантаж і прискорювати процес перевезення. Також є кабелеукладач, який дозволяє легко і зручно регулювати його довжину в міру необхідності. Кабель закріплюється в панелі управління і опускається в дерев'яний жолоб. Може оснащуватися додатковим причепом в 15, 20 або 40 тонн [3].

Рух воза для безпеки супроводжується звуковим сигналом. Вбудовані проблискові маячки. З допомогою високої вантажопідйомності, досить зручного

						Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

управління, такі візки повинні бути присутніми в серйозному виробництві, вони дозволяють перевозити вантаж швидко і безпечно, що істотно прискорює роботу і замовлення.

Технічні характеристики СМЖ 151: максимальний обсяг вантажу 20 тонн; довжина вантажу до 7000 міліметрів; швидкість пересування становить 40 метрів в хвилину; ширина колії 1524 мм; база візка 4700 міліметра; довжина візка 7000 міліметра; ширина візка 2500 міліметра; висота візка 775 міліметра; вага 800 кілограмів; довжина кабелю 100 метрів; дозволена температура при якій може виконуватися робота від -40 до +40 градусів [3];

Варто відзначити досить важка вага, перевезення і транспортування вози може бути скрутна, швидкість пересування для возів з вантажем 20 тонн досить швидка, кабель довгий, регулюється. Візок вимагає 220 В електропостачання. Температурний діапазон високий.

Візок, що служить для пересування вантажів по горизонтальному шляху цеху приводиться в рух двигуном постійного струму (додаток А).

Привід візка має забезпечувати наступні режими роботи: перевезення візка з вантажем і перевезення порожнього візка зі швидкістю.

Для того щоб усвідомити, які зусилля виникають у робочому органі механізму, необхідно, до розрахунків попереднього, без цифрових даних зобразити приблизну діаграму навантаження, яку повинен виконувати заданий механізм для виконання технологічного циклу [3].

						Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ДИФЕРЕНЦІЙНІ РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

3.1 Основні характеристики двигуна Д22

Об'єктом дослідження є двигун Д22 паралельного збудження який належить до візка типу СМЖ-151. Цей електродвигун за своєю характеристикою займає проміжне положення між електродвигунами з послідовним та змішаним збудженням. Регулювання частоти обертання двигуна паралельного збудження аналогічно регулюванню швидкості двигуна змішаного збудження. Варіюючи МРС обмоток збудження, можна отримати майже будь-яку проміжну механічну характеристику. Ці двигуни застосовують зазвичай там, де потрібні значні пускові моменти, швидке прискорення при розгоні, стійка робота і допустимо лише невелике зниження частоти обертання при збільшенні навантаження на вал: компресори, прокатні стани, підйомники, в електрична тяга і т. д.

Для двигунів закритого типу величина струму двигунів з природним охолодженням в короткочасному режимі 30 хв складає $\sim 120\%$ значення струму короткочасного режиму 60 хв. При напрузі 220 В допускається послідовне з'єднання двох однакових двигунів і включення їх на напругу до 660 В без заземлення середньої точки. Допускається живлення двигунів від регульованих статичних випрямлячів, з'єднаних за схемою шестіплечного моста без застосування зглажуючих дроселів. Пульсація струму до 12-15% практично не позначається на комутації і нагріванні двигунів.

Допускається використання обмотки паралельного (незалежного) збудження в режимі S1 при включенні на повну або знижену напругу для двигунів в періоди тривалої стоянки. Це дозволяє підтримувати високий рівень опору ізоляції в умовах високої вологості, запобігає обмерзанню колектора в умовах холодного клімату.

Регулювання частоти обертання двигуна здійснюється ослабленням магнітного потоку або підвищенням напруги на якорі. Збільшення номінальної частоти обертання допускається [4]:

						Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- зменшенням струму в паралельній обмотці збудження для двигунів з паралельним збудженням із стабілізуючою обмоткою в 2 рази;
- підвищенням прикладеної напруги для двигунів з паралельним збудженням із стабілізуючою обмоткою на напругу 220 В у 2 рази. Максимальний обертовий момент при таких частотах і повному порушенні допускається не більше 150% номінального;
- з паралельним збудженням із стабілізуючою обмоткою за рахунок зменшення струму збудження і підвищення напруги в 2 рази.

Виводи обмоток розташовані на станині з лівого боку, якщо дивитися з боку колектора.

Двигуни конструктивно універсальні за способом охолодження, при цьому вентиляційні вікна входу і виходу повітря закриті, в стадії поставки, дахами.

Двигун постійного струму виготовляється з двома вільними кінцями валу, з яких кожен може використовуватися як приводний. Кінець вала з боку колектора забезпечується захисним металевим ковпаком. З'єднання двигунів з приводними механізмами здійснюється муфтами або зубчастими передачами [4].

Технічні характеристики електродвигуна Д 22:

- Кліматичне виконання: У, УХЛ.
- Група механічних впливів: МЗ.
- Допустимий рівень вібрації: N (2,8 мм/с).
- Категорія розміщення: 1 або 2.
- Допустимий рівень шуму: по 1 або 2 класу.
- Клас захисту: 01 з електробезпеки.
- Спосіб збудження: паралельний зі стабілізуючою обмоткою.
- Ступінь захисту: IP 44.
- Спосіб охолодження: з природною вентиляцією IC40.
- Кінці валів: циліндричні.
- Клас ізоляції двигунів: Н.

						Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні параметри якого наведені в табл. 3.1 [4].

Таблиця 3.1 – Основні параметри двигуна

Параметр	Значення
$P_{ном}$	4,6кВт
$I_{ном}$	26А
$\eta_{ном.обер}$	1150об / хв
$U_{вн}$	220В
$I_{вн}$	1,2А
$R_{я}$	0,37Ом
$R_{оп}$	0,196Ом
$R_{зб}$	141Ом
N	696
a	2
2р	4
j_{dv}	0,15кг · м ²

3.2 Особливості пускових режимів

При пуску в хід двигуна [5]:

- 1) пусковий момент двигуна повинен бути достатнім;
- 2) струм не повинен бути надмірним;
- 3) операції пуску повинні бути максимально простими.

Крім того, часто пред'являються і інші вимоги, обумовлені специфікою електроприводу, наприклад: плавність пуску (для транспорту), наявність дистанційного управління, простота автоматизації, високий ККД двигуна при пуску і т.д.

З основного рівняння для кола якоря двигуна [5]

$$U = E + I_a \sum R = C_e \Phi_n + I_a \sum R, \quad (3.1)$$

де I_a – струм якоря;

U – напруга;

E – ЕРС;

$\sum R$ – середнє значення опорів двигуна.

Виходить, що струм якоря залежить від частоти обертання [5]

$$I_a = (U - C_e \Phi_n) / \sum R . \quad (3.2)$$

Тому при прямому пуску, який починається при $n=0$, слід побоюватися великого кидка струму $I_n = U / \sum R$, так як сума опорів в колі якоря невелика.

Більш поширені способи пуску в хід, при яких пусковий струм обмежується або введенням реостата R_d в коло якоря, або зменшенням напруги живлення.

Останні два способи, як це видно з рівняння [5]

$$n = U - I_a (\sum R + R_d) / C_e \Phi . \quad (3.3.)$$

Можуть застосовуватися і для регулювання частоти обертання двигуна, якщо реостат обраний досить потужним. Тому при використанні цих способів пуск в хід і регулювання швидкості розглядаються спільно.

3.3 Рівняння прямого пуску

Зазвичай в двигунах постійного струму падіння напруги $I_{ном} \sum R$ у внутрішньому опорі кола якоря становить 5 ... 10% від $U_{ном}$, тому при прямому пуску струм якоря $I_n = U / \sum R = (10...20) \cdot I_{ном}$, що створює небезпеку поломки вала машини і викликає сильне іскріння під щітками. З цієї причини прямий пуск застосовують в основному для двигунів малої потужності (до декількох сотень ват), в яких $\sum R$ відносно велике, і лише в окремих випадках [5].

- для двигунів з послідовним збудженням потужністю в кілька кіловат. При прямому пуску таких двигунів $I_n = (4...6) \cdot I_{ном}$.

Перехідний процес зміни частоти обертання n і струму якоря i_a в процесі пуску визначається навантаженням двигуна та його електромеханічної сталої часу T_m

						Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

. Характер зміни n і i_a при пуску двигуна з паралельним збудженням визначається з рівнянь [5]:

$$U = C_e \Phi_n + i_a \sum R. \quad (3.4)$$

$$M = C_e \Phi i_a = j \frac{d\omega}{dt} + M_H = j \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dn}{dt} + M_H, \quad (3.5)$$

де j – момент інерції обертових мас електродвигуна і зчленованого з ним виробничого механізму;

M_H – момент, створюваний навантаженням.

З (3.5) визначаємо струм якоря [5]:

$$i_a = \frac{2\pi j}{60 C_m \Phi} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{M_H}{C_m \Phi}. \quad (3.6)$$

Підставляючи його значення в (3.4), отримуємо [5]:

$$U = C_e \Phi_n + \frac{2\pi j \sum R}{60 C_m \Phi} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{M_H \sum R}{C_m \Phi}. \quad (3.7)$$

$$dn / dt + n / T_M = (n_0 - n_H) / T_M = n_H / T_M, \quad (3.8)$$

де $n_0 = U / (C_e \Phi)$ – частота обертання при ідеальному холостому ході;

$n_H = M_H \sum R / (C_m C_e \Phi^2) = I_H \sum R / (C_e \Phi)$ – зменшення частоти обертання при переході від холостого ходу до навантаження;

$n_H = n_0 - \Delta n$ – встановлена частота обертання при навантаженні двигуна;

$T_M = 2\pi j \sum R / (60 C_m \Phi^2)$ – електромеханічна стала часу, що визначає швидкість протікання перехідного процесу.

При цьому $I_H = M_H / (C_m \Phi)$ – сталий струм якоря після закінчення процесу пуску, який визначається навантажувальним моментом M_H .

Вирішуючи рівняння (3.8), отримуємо [5]:

$$n = n_H + A e^{-t/T_M}. \quad (3.9)$$

Постійна інтегрування A знаходиться з початкових умов: при $t=0; n=0; A=n_H$.

У результаті [5]

$$n = n_H(1 - Ae^{-t/T_M}) \quad (3.10)$$

З (3.8) та (3.10) виходить [5]

$$dn/dt = (n_H - n)/T_M - (n_H/T_M)e^{-t/T_M} \quad (3.11)$$

Підставивши в (3.6) вираження (3.11) і з огляду на, що $n_H = n_0 \leftarrow n$, визначимо [5]

$$i_a = \frac{(n_0 - n_H)2\pi j}{60C_m\Phi T_M} e^{-t/T_M} + \frac{M_H}{C_m\Phi} \quad (3.12)$$

Враховуючи вирази для n_H, n_0, T_M та $M_H / (C_m\Phi)$ отримаємо [5]

$$i_a = (I_{ноч} - I_H)e^{-t/T_M} + I_H, \quad (3.13)$$

де $I_{ноч} = U / \sum R$ - початковий пусковий струм.

						Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ

4.1 Визначення пускового струму незавантаженого візка

У практичних розрахунках момент інерції одного тіла зазвичай розраховують за формулою [6]:

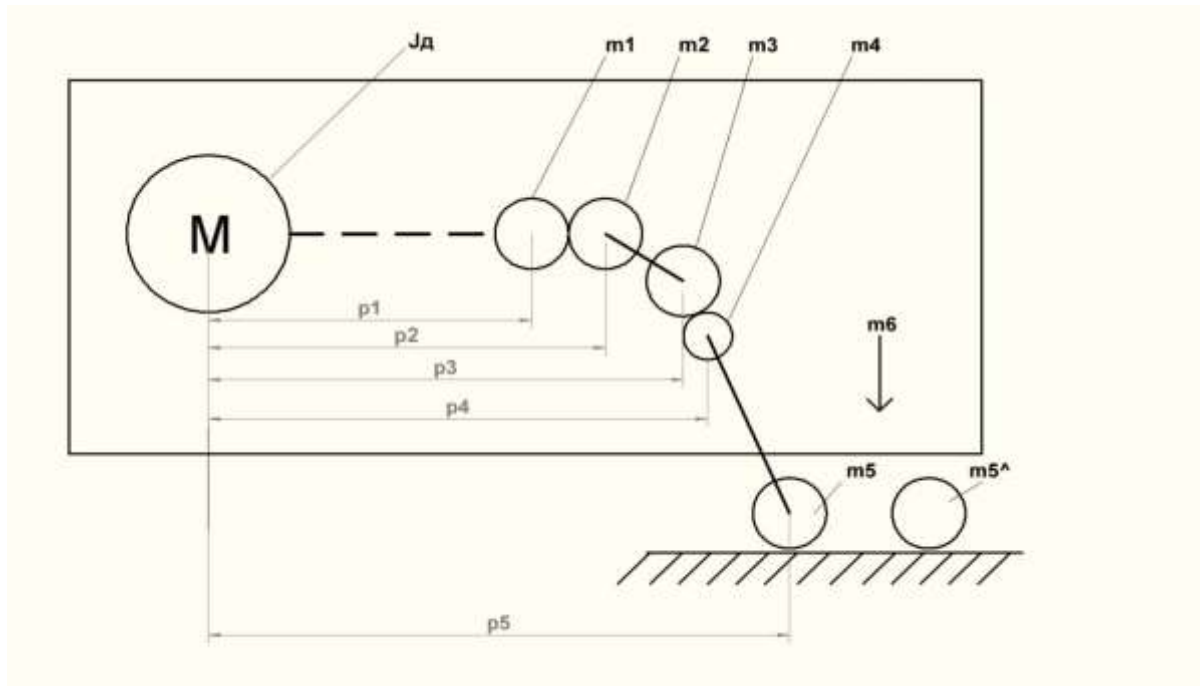


Рис. 4.1 Схема передачі обертального моменту на колісну пару

$$J_{\text{прив}} = m\rho^2 \quad (4.1)$$

де m – маса тіла;

ρ – радіус інерції.

Наступні розрахунки робимо у середовищі MathCAD.

На початку знаходимо приведений момент інерції:

$$J_{\text{прив}} = m_1\rho_1^2 + m_2\rho_2^2 + m_3\rho_3^2 + m_4\rho_4^2 + m_5\rho_5^2 + m_{5^1}\rho_{5^1}^2 + m_6\rho_6^2 = 27 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Далі знаходимо значення J незавантаженого візка [6]:

$$J = J_{\text{д}} + J_{\text{прив.}} = 27,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (4.2)$$

Визначаємо струм якоря та напругу:

						Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_a = \frac{2\pi j}{60C_m\Phi} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{M_H}{C_m\Phi} = 0.48 \text{ A} . \quad (4.3)$$

$$U = C_e\Phi n + i_a \sum R = 31.6 \text{ В} \quad (4.4)$$

Початкове значення пускового струму:

$$I_{ноч} = U / \sum R = 4,6 \text{ А} . \quad (4.5)$$

Електромеханічна постійна часу буде дорівнювати:

$$T_M = 2\pi j \sum R / (60C_m\Phi^2) = 2.042 \text{ с} . \quad (4.6)$$

Значення частот обертання знаходяться за наступними формулами.

При ідеальному холостому ході:

$$n_0 = U / (C_e\Phi) = 3.542 \text{ с}^{-1} \quad (4.7)$$

Зменшення частоти обертання при переході від холостого ходу до навантаження:

$$\Delta n_H = M_H \sum R / (C_m C_e \Phi^2) = I_H \sum R / (C_e \Phi) = 2.366 \text{ с}^{-1} \quad (4.8)$$

Встановлена частота обертання:

$$n_H = n_0 - \Delta n = 1.176 \text{ с}^{-1} . \quad (4.9)$$

Отримаємо:

$$n = n_H + A e^{-t/T_M} = 2.176 \text{ с}^{-1} \quad (4.10)$$

При цьому сталий струм якоря буде дорівнювати:

$$I_H = M_H / (C_m\Phi) = 0.448 \text{ А} . \quad (4.11)$$

$$i_a = (I_{ноч} - I_H) e^{-t/T_M} + I_H = 4.6 \text{ А} . \quad (4.12)$$

$$i_a = \frac{(n_0 - \Delta n_H) 2\pi j}{60C_m\Phi T_M} e^{-t/T_M} + \frac{M_H}{C_m\Phi} = 0.467 \text{ А} . \quad (4.13)$$

4.2 Побудова динамічних характеристик зміни струму і швидкості обертання за часом

Розрахунок для побудови характеристик виконано за формулами

$$i_a = (I_{noc} - I_H)e^{-t/T_m} + I_H.$$

$$n = n_H(1 - e^{-t/T_m}).$$

Розрахунки проводимо у системи MathCAD та отримані результати приводимо до табличної форми.

Таблиця 4.1 – Розрахункові значення струмів та швидкості обертання

t	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
i _a	0	4.213	3.861	3.543	3.254	2.992	2.755	2.54	2.345	2.168
n	0	0.1	0.2	0.3	0.38	0.45	0.52	0.58	0.63	0.68

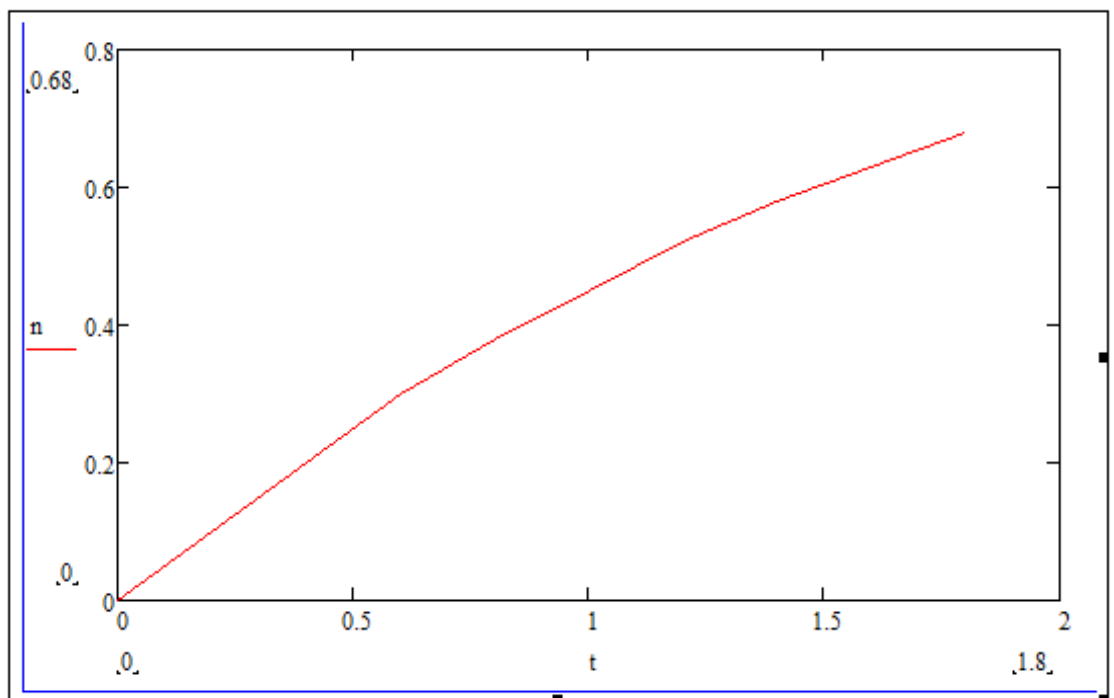


Рис. 4.2. Характеристика зміни швидкості за часом незавантаженого візка

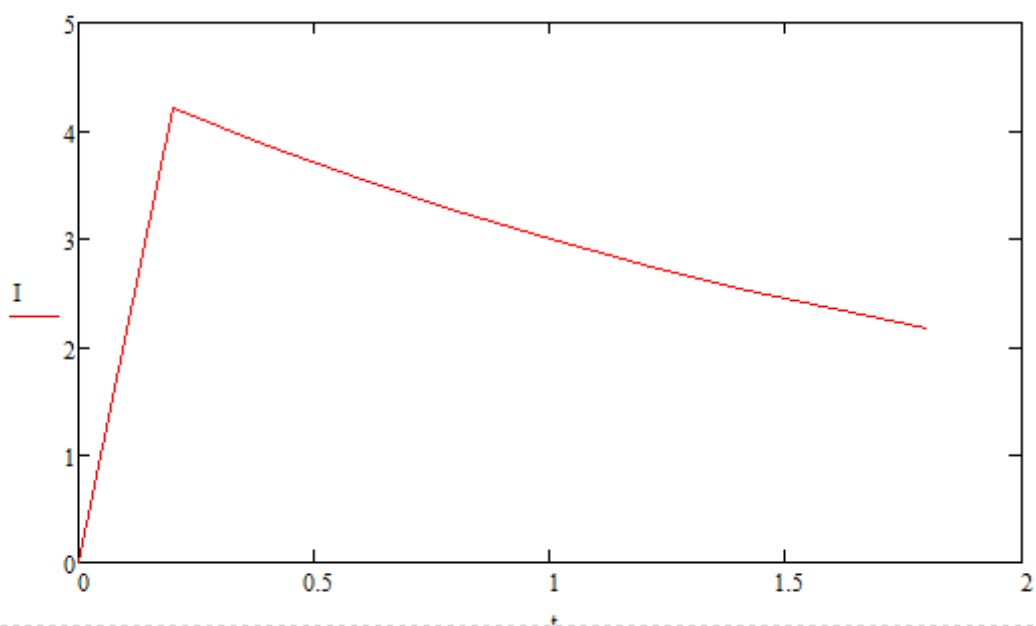


Рис. 4.3. Характеристика зміни струму за часом незавантаженого візка

РОЗДІЛ 5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПУСКУ ДВИГУНА

5.1 Пуск двигуна Д22

Середнє значення опорів

$$\sum R = \frac{r_{\text{я}} + r_{\text{дн}} + r_{\text{зб}}}{3}, \quad (5.1)$$

$$\sum R = \frac{0,37 + 0,196 + 141}{3} = 47,2 \text{ Ом.}$$

$$C_m = \frac{pN}{2\pi a}, \quad (5.2)$$

$$C_m = \frac{2 \cdot 696}{2 \cdot \pi \cdot 2} = 110,82.$$

$$C_e = \frac{pN}{60a}, \quad (5.3)$$

$$C_e = \frac{2 \cdot 696}{60 \cdot 2} = 11,6.$$

Розрахуємо значення пускового струму:

$$I_n = \frac{U}{\sum R}, \quad (5.4)$$

$$I_n = \frac{220}{47,2} = 4,6 \text{ А.}$$

$$I_n = \frac{U}{\sum R} = (10 \dots 20) \cdot I_{\text{ном}} = 10 \cdot 26 = 260 \text{ А.} \quad (5.6)$$

Струм в колі якоря при номінальному режимі:

$$I_{\text{ян}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{вн}}, \quad (5.7)$$

$$I_{\text{ян}} = 26 - 1,2 = 24,8 \text{ А.}$$

Противо ЕРС

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi_n, \quad (5.8)$$

$$E_{\text{я}} = 11,6 \cdot 0,77 = 8,9 \text{ В.}$$

						Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення номінального моменту дорівнюватиме:

$$M_H = \frac{30 \cdot P_H}{\pi \cdot n_H} = 9,55 \cdot \frac{P_H}{n_H}, \quad (5.9)$$

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{4,6 \cdot 10^3}{1150} = 38,2 \text{ Н*м.}$$

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n_H}, \quad (5.10)$$

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{4,5 \cdot 10^3}{1150} = 3,9 \text{ Н*м.}$$

Корисна потужність визначається за формулою:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta, \quad (5.11)$$

де P_1 - потужність, споживана з мережі.

$$P_1 = \frac{P_H}{\eta} \quad (5.12)$$

$$P_1 = \frac{4,6 \cdot 10^3}{0,94} = 4,8 \text{ кВт}$$

$$P_2 = 4,8 \cdot 10^3 \cdot 0,94 = 4,5 \text{ кВт}$$

5.2 Пуск завантаженого візка та побудова графіків

Для розрахунку уявимо, що візок завантажений деяким вантажом [6]

$$J_{прив} = m \rho^2 \quad (5.13)$$

Наступні розрахунки робимо у середовищі MathCAD.

На початку знаходимо приведений момент інерції:

$$J_{прив} = m_1 \rho_1^2 + m_2 \rho_2^2 + m_3 \rho_3^2 + m_4 \rho_4^2 + m_5 \rho_5^2 + m_{5^1} \rho_{5^1}^2 + m_6 \rho_6^2 = 38 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

						Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі знаходимо значення J незавантаженого візка [6]:

$$J = J_{\partial} + J_{\text{прив.}} = 38,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (5.14)$$

Визначаємо струм якоря та напругу:

$$i_a = \frac{2\pi j}{60C_m\Phi} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{M_H}{C_m\Phi} = 0,49 \text{ А} . \quad (5.15)$$

$$U = C_e\Phi n + i_a \sum R = 32,3 \text{ В} . \quad (5.16)$$

Початкове значення пускового струму:

$$I_{\text{ноч}} = U / \sum R = 4,6 \text{ А} . \quad (5.17)$$

Електромеханічна постійна часу буде дорівнювати:

$$T_M = 2\pi j \sum R / (60C_m\Phi^2) = 2,859 \text{ с} . \quad (5.18)$$

Значення частот обертання завантаженого візка знаходяться за наступними формулами.

При ідеальному холостому ході:

$$n_0 = U / (C_e\Phi) = 3,612 \text{ с}^{-1} . \quad (5.19)$$

Зменшення частоти обертання при переході від холостого ходу до навантаження:

$$\Delta n_H = M_H \sum R / (C_m C_e \Phi^2) = I_H \sum R / (C_e \Phi) = 2,366 \text{ с}^{-1} . \quad (5.20)$$

Встановлена частота обертання:

$$n_H = n_0 - \Delta n = 1,246 \text{ с}^{-1} . \quad (5.21)$$

Отримаємо:

$$n = n_H + A e^{-t/T_M} = 2,246 \text{ с}^{-1} . \quad (5.22)$$

При цьому сталий струм якоря буде дорівнювати:

$$I_H = M_H / (C_m \Phi) = 0,448 \text{ А} . \quad (5.23)$$

						Лист
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_a = (I_{noch} - I_H) e^{-t/T_m} + I_H = 4.6 \text{ A} . \quad (5.24)$$

$$i_a = \frac{(n_0 - n_H) 2\pi j}{60 C_m \Phi T_m} e^{-t/T_m} + \frac{M_H}{C_m \Phi} = 0.468 \text{ A} . \quad (5.25)$$

Розрахунок для побудови характеристик робимо за формулами:

$$i_a = (I_{noch} - I_H) e^{-t/T_m} + I_H .$$

$$n = n_H (1 - e^{-t/T_m}) .$$

Розрахунки проводимо у системи MathCAD та отримані результати приводимо до табличної форми.

Таблиця 5.1 – Розрахункові значення струмів та швидкості обертання

t	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
i _a	0	4.3	4.05	3.8	3.58	3.37	3.17	2.99	2.8	2.66
n	0	0.084	0.16	0.23	0.3	0.36	0.43	0.48	0.53	0.58

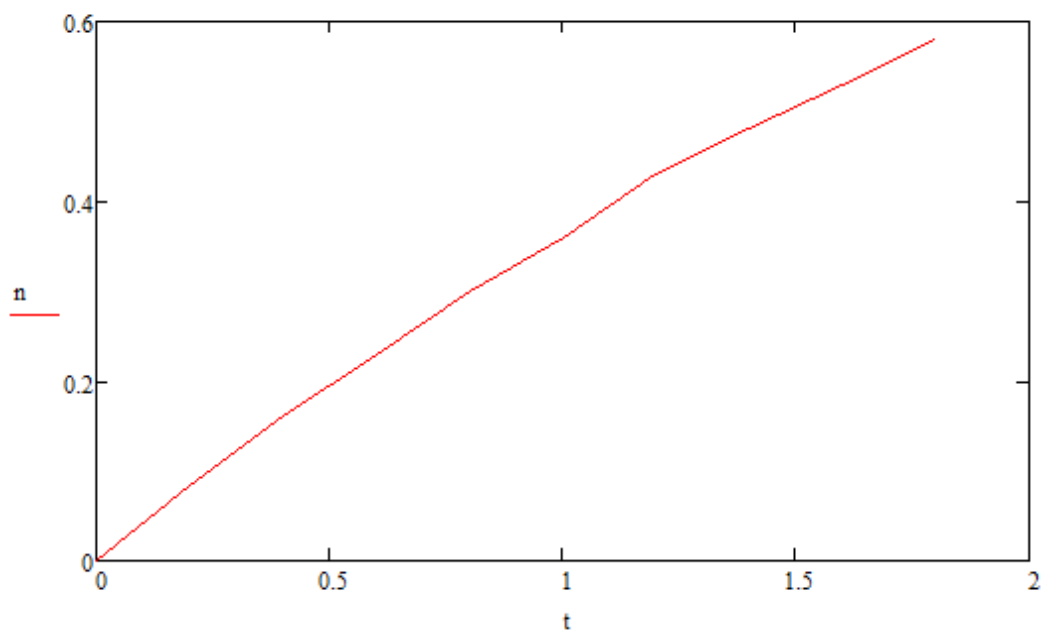


Рис. 5.1. Характеристика зміни швидкості за часом завантаженого візка

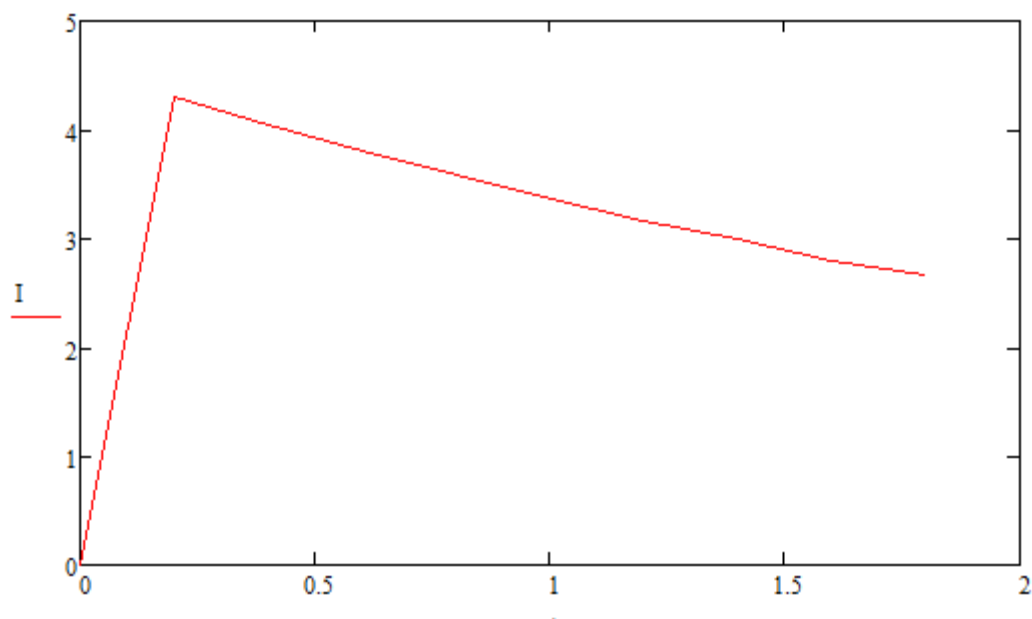


Рис. 5.2. Характеристика зміни струму за часом завантаженого візка

РОЗДІЛ 6

АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

Перехідним режимом роботи електроприводу називається режим переходу від одного сталого стану до іншого. Перехідні процеси в електроприводі виникають, наприклад, при пуску двигуна, реверсі, гальмуванні, скиданні або набиранні навантаження, зміні параметрів двигуна. У перехідних процесах взаємозалежно змінюються швидкість двигуна, його струм, момент і ЕРС [7].

Процес нагріву двигуна зазвичай вельми тривалий, тому при дослідженні перехідних процесів струму та швидкості тепловими перехідними процесами зазвичай нехтують, вважаючи активні опори двигуна постійними [7].

Електромеханічні і електромагнітні перехідні процеси в сучасних електроприводах протікають за порівнянне час, і при дослідженні перехідних режимів їх необхідно враховувати. Тим більше що всі параметри для розрахунку таких перехідних процесів наводяться в довідкових даних по електричним машинам, а сучасне програмне забезпечення дозволяє провести розрахунки без істотних тимчасових витрат. Однак є ціла група електроприводів з релейно-контакторних управлінням, в яких електромагнітні перехідні процеси протікають за дуже короткий час і ними так само можна знехтувати [7].

Виникнення переходних процесів в електродвигунів машинах постійного струму, як і в інших машинах, пов'язане зі зміною стану і режиму їх роботи і обумовлено накопиченням або розсіюванням електромагнітної енергії в їх колах і механічної енергії обертових мас в процесі переходу від одного сталого стану до іншого. Перехідні процеси в машинах постійного струму відносяться до категорії найбільш складних [7].

Енергія магнітного поля машини постійного струму визначається конструкцією елементів магнітного ланцюга і індуктивностями обмоток, а механічна енергія – маховим моментом інерції якоря [7].

Від характеру протікання перехідних процесів залежить надійність роботи машини постійного струму і пов'язаних з нею пристроїв [7].

						Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У свою чергу, характер перехідних процесів в машинах постійного струму залежить від багатьох факторів, основними з яких є нелінійність характеристик намагнічування систем головних і додаткових полюсів, взаємна індукція ланцюгів якоря і збудження, реакція якоря, вихрові струми в масивних частинах муздрамтеатру, зміна перехідного падіння напруги в щітковому контакті, зміна частоти обертання якоря [7].

Облік всіх цих факторів, особливо впливу реакції якоря на магнітний потік головних полюсів, насичення магнітного кола і вихрових струмів, пов'язане зі значними труднощами [7].

При практичному вирішенні завдань, пов'язаних з дослідженням і аналізом перехідних процесів в машинах постійного струму, вводять ряд спрощують припущень [7].

Характеристика намагнічування. При аналізі перехідних процесів в машинах постійного струму одним з основних параметрів є індуктивність обмотки якоря, яка внаслідок нелінійності характеристики намагнічування машини виявляється величиною змінною. Так, при збільшенні магнітної індукції від 0,3 до 2,0 Тл індуктивність обмотки якоря машини постійного струму в ряді випадків зменшується майже в 5 разів. Найбільше значення при цьому має насичення зубцевої зони якоря. Відомий ряд способів обліку нелінійності характеристики намагнічування. Так, при спрощених розрахунках нелінійна характеристика машини постійного струму [7] $\Phi = f(i)$ може бути виражена рівнянням гіперболи.

При необхідності отримання більш достовірних результатів використовують метод кусочно-лінійного апроксимування, при якому характеристику намагнічування апроксимують кілька, зазвичай трьома, прямолінійними відрізками. У межах кожного такого відрізка значення індуктивностей приймаються незмінними [7].

Реакція якоря. Реакція якоря в машинах постійного струму впливає на магнітне поле головних полюсів. Вона проявляється у вигляді дій поперечної і поздовжньої складових МРС реакції якоря, збільшення насичення окремих ділянок муздрамтеатру і т.д. [8].

						Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Поперечна складова МРС реакції якоря призводить до спотворення, а внаслідок насичення магнітного кола і до ослаблення магнітного поля головних полюсів.

Поздовжня складова МРС реакції якоря залежить від кута і напрямку зсуву щіток.

При зсуві щіток у напрямку обертання якоря ця МРС послаблює магнітний потік головних полюсів у генераторів і підсилює у двигунів [8].

Реакція додаткових полюсів. При зміщенні щіток з геометричної нейтралі частина паралельної гілки обмотки якоря, відповідна подвійний дузі цього зміщення по колу якоря, виявляється в зоні дії магнітного потоку додаткового полюса. Це призводить до залежності від напрямку зсуву щіток до деякого збільшення або зменшення ЕРС якоря. Крім того, під впливом магнітного поля додаткового полюса відбувається деяке збільшення насичення одних ділянок станини і зниження насичення інших. Однак цей вплив додаткових полюсів виявляється незначним і їм зазвичай нехтують [8].

						Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Вимоги безпеки при експлуатації електроприводів

Перед тим як приступити до будь-якої роботи по обслуговуванню електроприводу, необхідно перевірити стан захисного заземлення при знятій напрузі. У відсутності напруги на електроприводі впевнюються за допомогою показчика напруги, при наближенні якого до частини електроустановки, яка завідомо знаходиться під напругою, він повинен підтверджувати наявність напруги [9].

При оглядах елементів працюючого електроприводу не слід наближатися до струмо – ведучих частин електроустановки, необхідно проявляти обережність при очищуванні елементів електроприводу, тому що такі роботи, що виконуються без зняття напруги, створюють небезпеку для виконавця [9].

Слід враховувати, що небезпека, яка викликається порушенням правил техніки безпеки, при обслуговуванні електроприводів збільшується в цехах, які відносяться до категорії приміщень з «підвищеною небезпекою» і «особливо небезпечних» [9].

Без зняття напруги з електроустановки, але з дотриманням мір обережності можна при експлуатації виконувати такі роботи, як чистку та обтирку корпусів електрообладнання, доливку масла в підшипники електродвигунів, заміну запобіжників, шліфовку кілець і колекторів по спеціальним інструкціям [9].

Якщо потребується виконати які-небудь ремонтні роботи в електродвигунах або апаратах управління, а також замінити плавкі вставки відкритого типу, то їх доручають одній особі після відключення електродвигуна або апарата від джерел живлення не менше ніж в двох місцях (наприклад, на щиті і безпосередньо на місці роботи) рубильником, зі зняттям запобіжників. На місці робіт, на рукоятках апаратів відключення, за допомогою яких може бути подана напруга, вивішують попереджувальні плакати «Не включають працюють люди». По закінченні робіт плакати знімають [9].

						Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо указане відключення не може бути виконано, то ремонтні роботи виконуються двома особами [9].

Ручне керування пусковими пристроями, які мають відкриті струмоведучі частини, являється операцією, яку при не дотриманні правил техніки безпеки представляють небезпеку для обслуговуючого персоналу, тому вказану операцію виконують в діелектричних рукавичках, а перед пусковими пристроями кладуть ізолюючі прокладки [9].

В процесі експлуатації може виникнути необхідність в тому, щоб відкрити ящик пускового пристрою, який знаходиться під напругою. При напрузі електродвигуна і в установці його пускового пристрою вище 1000 В відкривати ящик дозволяється лише особі, яка має необхідну для таких робіт кваліфікацію. Якщо необхідно виконувати які-небудь роботи всередині ящика, попередньо з ділянки ремонту знімають напругу [9].

При обертанні електродвигунів виконувати будь-які роботи в його колах небезпечно, але якщо це все ж необхідно, то треба підняти щітки або повністю вивести реостат і цю роботу виконують в діелектричних рукавичках або інструментом з ізольованими рукоятками, стоячі на гумовому килимці [9].

Якщо електродвигун тривалий час працює з підвищеною вібрацією, що є шкідливим для здоров'я обслуговуючого персоналу, то її необхідно усунути в короткий термін [9].

7.2 Вимоги до працівників

1. Посадові особи і працівники, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України, проходять навчання та перевірку знань цих Правил.

2. Медичний огляд працівників слід здійснювати відповідно до вимог НПАОП 0.03-4.02-94 Положення про медичний огляд працівників певних категорій [10].

3. Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні вивчити ці Правила відповідно до вимог своєї посади або роботи, яку вони виконують, пройти навчання безпечним прийомом праці на робочому місці під керівництвом

						Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

досвідченого працівника, перевірку знань та присвоєння групи з електробезпеки (далі - групи) відповідно до додатка 1 до цих Правил. Працівнику, який пройшов перевірку знань цих Правил, видається посвідчення встановленої форми, яке він повинен мати при собі під час виконання робіт [10].

Кожний працівник повинен знати, розуміти і дотримуватись вимог цих Правил.

Забороняється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці.

4. Працівники, які виконують роботи, зазначені у НПАОП 0.00-8.02-93 Перелік робіт з підвищеною небезпекою, повинні мати відповідний запис у посвідченні про перевірку знань [10].

5. Забороняється допуск працівників, молодших 18 років, до робіт, зазначених у НПАОП 0.03-8.07-94 Перелік важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх [10].

6. Забороняється допуск до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння.

Кожний працівник, якщо він не може вжити заходів щодо усунення порушень цих Правил, зобов'язаний негайно повідомити безпосереднього керівника про всі помічені порушення, а також про небезпечні для людей несправності електроустановок та машин, механізмів, пристроїв, інструменту та засобів захисту, що застосовуються під час виконання робіт [10].

Забороняється виконувати розпорядження та завдання, що суперечать вимогам цих Правил [10].

7. Керівники, спеціалісти, які безпосередньо організовують роботу, зобов'язані забезпечити виконання її відповідно до вимог цих Правил.

8. Працівники, винні у порушенні цих Правил, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну або кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством [10].

						Лист
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7.3 Правила безпеки під час обслуговування електроприводів

Під час роботи, пов'язаної з доторканням до струмовідних частин електродвигуна або до частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять у рух, необхідно зупинити електродвигуні на його пусковому пристрої або ключі керування вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди» [10].

Під час роботи на електродвигуні або механізмі, що приводиться ним у рух, пов'язано з доторканням до струмовідних, або тих, що і обертаються, частин, з електродвигуна має бути знята напруга U багатошвидкісного електродвигуна, що працює, обмотка, яка не використана, і кабель, що її живить, слід розглядати як такі, що перебувають під напругою [10].

Обслуговувати щітковий апарат електродвигуна, що працює, допускається одноособово оперативному працівнику або виділеному для цього навченому працівнику з групою III [10].

Під час обслуговування електродвигунів необхідно дотримуватися таких заходів безпеки [10]:

працювати в головному уборі і застібнутому спецодязі, остерігаючись захвату його частинами машин, що обертаються;

користуватися діелектричним взуттям або гумовими килимками;

не торкатися руками одночасно до струмовідних частин двох полюсів або струмовідних і заземлених частин.

Під час роботи на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в розподільчу установку (РУ), або на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаній з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід [10].

Якщо на відключеному двигуні роботи не проводять або їх перервано на кілька днів, то від'єднана від нього кабельна лінія має бути заземлена збоку електродвигуна. В тих випадках, коли перетин жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні

зшйвшієння, допускається у електродвигунів напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником, перетином не меншим від перетину з жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення і з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативному журналі нарівні з переносним заземленням [10].

На однотипових або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому провадять роботи, слід вивісити плакати «Стій! Напруга» незалежно від того, перебувають вони в роботі чи у резерві [10].

Під час роботи забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються, під час їх роботи [10].

Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені. Під час видавання дозволу робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу - в оперативному журналі цеху (дільниці), що провадить випробування [10].

Ремонт і налагоджування електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконавчим механізмом, регулювальних органів і запірної арматури, можна проводити за розпорядженням. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на виведення електроприводу в ремонт, налагодження. Про це слід зробити запис під час оформлення розпорядження. Вмикання електродвигуна для випробування до повного закінчення роботи здійснюється після виведення бригади з робочого місця. Після випробування провадиться повторний пуск з оформленням у наряді. Під час виконання робіт за розпорядженням на повторний пуск розпорядження дається знову [10].

Кільця ротора допускається шліфувати на електродвигуні, що обертається, лише за допомогою колодок з ізоляційного матеріалу, із застосуванням захисних окулярів.

						Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7.4 Дія працівників в аварійних ситуаціях

На виробництві велике значення має правильний вибір електрообладнання. З цією метою визначення класу вибухо- і пожежонебезпеки повинно проводитися технологами спільно з енергетиками проектує або експлуатуючої організації. Біля входу у виробниче приміщення повинен бути напис із зазначенням його класу за вибуховою або пожежною небезпекою [9].

Всі електроустановки повинні бути захищені апаратами захисту від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів, які можуть призвести до пожеж і загорянь. Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки. З'єднання, окінцювання і відгалуження жил проводів і кабелів щоб уникнути небезпечних у пожежному відношенні перехідних опорів необхідно проводити за допомогою опресування, зварювання, паяння або спеціальних затискачів [9].

Переносні світильники повинні бути обладнані захисними скляними ковпаками і сітками. Конструкція світильників з дуговими ртутними лампами (ДРЛ) повинна виключати випадання з них ламп. Світильники з лампами розжарювання повинні мати суцільне силікатне скло, яке захищає лампу. Вони не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів [9].

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень світильники з люмінесцентними лампами не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів [9].

Прокладка електричних проводів і кабелів транзитом через складські, виробничі та іншого призначення приміщення не допускається [9].

У виробничих і складських приміщеннях з наявністю горючих матеріалів, а також виробів у горючій упаковці електричні світильники повинні мати закриті або захищене виконання (зі скляними ковпаками). Освітлювальна електромережу повинна бути змонтована так, щоб світильники не стикалися зі спалимими конструкціями будівель і горючими матеріалами [9].

При експлуатації електроустановок забороняється:

						Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- використовувати електродвигуни та інше електрообладнання, поверхні якого при роботі нагріваються більш ніж на 40 ° С у порівнянні з температурою навколишнього повітря;
- використовувати кабелі і проводи з пошкодженою ізоляцією та з ізоляцією, яка в процесі експлуатації втратила необхідні електроізоляційні властивості;
- залишати під напругою електричні проводи і кабелі з неізольованими кінцями;
- користуватися пошкодженими розетками, відгалужувальними та з'єднувальними коробками, рубильниками та іншими електроустановочними виробами.

При несправності в електромережах та електроапаратурі, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, перегрів ізоляції кабелів і проводів, необхідно вжити заходів до відключення таких ділянок електромережі до приведення їх у пожежобезпечний стан [9].

У відповідності з ПУЕ вибір і установку електроустаткування виробляють з урахуванням класифікації вибухонебезпечних і пожежонебезпечних зон.

7.5 Технічні заходи, що створюють безпечні умови виконання робіт з електродвигунами

Забороняється знімати ці огороження під час роботи електродвигуна [9].

1. Виводи обмоток, кабельні воронки та всі обертові частини електродвигунів (контактні кільця, шків, муфти, вентилятори) слід огорожувати [9].

2. Вмикати та вимикати електродвигуни пусковою апаратурою з приводами ручного керування необхідно в діелектричних рукавичках.

3. У разі виконання роботи на електродвигуні або механізмі, який приводиться ним у рух, що пов'язана з дотиком до струмовідних або обертових частин, з електродвигуна слід зняти напругу, а кабель, що живить його, слід заземлити. (Абзац перший пункту 11.3 розділу 11 із змінами, внесеними згідно з Наказом Держнаглядохоронпраці N 26 від 25.02.2000).

						Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Роботи, що не пов'язані з дотиком до струмовідних або обертових частин електродвигуна чи механізму, який приводиться ним у рух, можуть проводитись на працюючому електродвигуні за розпорядженням або в порядку поточної експлуатації.

4. У разі виконання роботи на електродвигуні заземлення можна встановлювати на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з РУ (збіркою).

У разі виконання робіт на механізмі, не пов'язаних з дотиком до частин, що обертаються, та у разі роз'єднання з'єднувальної муфти заземлювати кабельну лінію не вимагається.

5. У разі від'єднання кабелю від електродвигуна необхідно на жили кабелю з боку електродвигуна встановити переносне заземлення. У тому разі, коли переріз жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається в електродвигунах напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником перерізом, не меншим за переріз жили кабелю, або з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення та з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативній документації нарівні з переносним заземленням.

6. Перед допуском працівників до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, слід закрити і зачинити на замок засувки та шибери останніх, а також вжити заходів щодо гальмування роторів електродвигунів.

7. На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому проводиться робота, слід вивішувати плакати "Стій! Напруга" незалежно від того, перебувають вони в роботі чи в резерві.

8. Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

Про видавання дозволу слід робити запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу - в оперативному журналі цеху (дільниці), що проводить випробування.

						Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Ремонт та налагодження схеми керування електродвигуном, не з'єднаним з виконавчим механізмом, можна проводити за розпорядженням. Випробування схеми керування виконується за дозволом працівника, який видав розпорядження. Запис про це слід зробити тоді, коли реєструється розпорядження.

ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження є двигун типу Д22, який в свою чергу належить до візка типу СМЖ-151.

Були досягнуті всі поставлені цілі та завдання: розглянутий електродвигун паралельного збудження потужністю 4,6 кВт, розглянута схема візка СМЖ-151 на колійному ході, проведений розрахунок диференціальних рівнянь параметрів пуску двигуна, а саме був розглянутий прямий пуск, побудовані характеристики зміни струму на швидкості обертання за часом при порожньому візку та завантаженому, проведений аналіз результатів рішення диференціальних рівнянь, а також розглянуте питання перехідних процесів у електроприводі.

Отримані результати дозволяють нам застосовувати візок з вантажем та без вантажу за допомогою прямого пуску двигуна.

Виходячи з проробленої роботи можна зробити висновок, що розроблена математична модель, яка дозволяє проводити дослідження пускові режимів завантаженого та незавантаженого візка, повністю задовільна.

						Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основы автоматики и системы автоматического управления. / С. И. Малафеев, А. А. Малафеева / Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
2. Основные виды математических моделей [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://studopedia.ru/5_45981_osnovnie-vidi-matematicheskikh-modeley.html
3. Самоходная тележка [Электрон. ресурс] – Режим доступа:
<https://skladpro.com/tech/telezhki/samohodnye/smzh-151.html>
<https://aksvil.by/telezhki-samokhodnyye-i-telezhki-pritsepy/>
<https://zpto.nt-rt.ru/images/manuals/Тележки%20самоходные%20СМЖ.pdf>
4. Общие сведения о двигателе [Электрон.ресурс] – Режим доступа :
<https://electrodivigatel.com/assets/upload/04-2020/22/Katalog%20divigateli%20postoyannogo%20тока%20Krosna-Motor.pdf>
<https://www.kazedu.kz/referat/190644/1>
5. Электрические машины. Машины постоянного тока. / В. С. Хвостов-Москва «Высшая школа» 1988 / 336 с.
6. Теория электропривода. / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин-Санкт-Петербург 1994 г / 496 с.
7. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования / О.Д. Гольдберг-Москва «Высшая школа» 2001 / 512 с.
8. Теоретичні відомості про електричні машини постійного струму [Електрон. ресурс] – Режим доступу :
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/feeem/5grabko_eksperiment_doslidzh_elektrmashin_ch1/Data/Rozdil%202.4.htm
9. Техніка безпеки при експлуатації електроприводів [Електрон. ресурс] – Режим доступу : <http://um.co.ua/4/4-11/4-110282.html>

https://studopedia.com.ua/1_55800_pravila-bezpeki-pid-chas-obslugovuvannya-elektrodivguniv.html

https://dnaop.com/html/43827_10.html

10.НПАОП 0.03-4.02-94«Вимоги до працівників». [Електрон. ресурс] –

https://dnaop.com/html/43702/doc-ДНАОП_0.03-4.02-9

						Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. НАОП 5.1.11-1.41-78 «Правила пожежної безпеки» (ЦУО-3725). «Правила пожежної безпеки в Україні» [Електрон. ресурс] – К.: Укрархбудінформ, 1995. – Режим доступу: <https://dnaop.com/doc/31755.doc>

https://stud.com.ua/674/bzhd/poperedzhennya_pozhezh_elektroustanovok

12. ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів». [Електрон. ресурс] – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>

						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45