

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань – 27 Транспорт


Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

на тему: *«Розробка та дослідження автоматизованого тягово-гальмівного електромеханічного модуля для автобуса»*

Шифр: ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ

Виконав студент 3 курсу, група АТ_С-21-2  Олександр СТАДНІК

Керівник роботи к.т.н., доц.



Олег МАКОВКІН

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Олександр ДИХА

6 06 2024_р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Факультет знань 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

2024 року

10 02

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Стадніку Олександр Валентиновичу

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема проекту (роботи)

Розробка та дослідження автоматизованого тягово-гальмівного електромеханічного модуля для автобуса»

Рівень проекту (роботи) Маковкін Олег Миколайович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8 додаток 29

Строк подання студентом проекту на кафедру 10 червня 2024 року

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, ефектації, складанню і регулюванню вузлів паливної систмки; вимоги з охорони праці безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз стану питання; 2 Розробка конструкції гальмівного стенда для дослідження працездатності вузлів паливної систмки автомобіля; 3 Технологічний процес; 4 Розрахунок ефективності спроектованої конструкції

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на папках

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

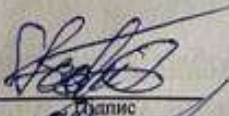
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>15.05.2024</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.05.2024</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>30.05.2024</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>2.06.2024</i>	
5	<i>Оформлення презентації бакалаврської роботи</i>	<i>5.06.2024</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>9.06.2024</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.06.2024</i>	

Студент


Підпис

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Олександр СТАДНІВ
Ініціали, прізвище

Олег МАКОВИЧ
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

У рамках випускної кваліфікаційної роботи бакалавра проведено розробку та дослідження автоматизованого тягово-гальмівного електромеханічного модуля для автобуса.

Грунтуючись на великому переліку літературних джерел, а також на проведеному аналізі вітчизняного та закордонного ринків, що існують патентів і корисних моделей, автором роботи була спроектована конструкція модуля для дослідження працездатності експлуатаційних характеристик тягово-гальмівної системи автобуса. Було проведено розрахунок ряду важливих вузлів у конструкції модуля, розраховано необхідну потужність двигунів.

Випускна робота бакалавра (ВРБ) складається з шести розділів.

У першому розділі наведено опис промислової установки та аналіз технологічного процесу.

У другому розділі проведено аналіз взаємодії оператор - промислова установка та аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів і складання розрахункової схеми механічної частини.

У третьому розділі виконано літературний огляд за темою дипломного проекту, сформульовано вимоги до автоматизованого електроприводу і системи автоматизації, визначено можливі варіанти та вибрано раціональну систему електроприводу, а також спроектовано функціональну схему автоматизованого електроприводу.

У четвертому розділі здійснено вибір електродвигуна, включаючи розрахунок навантажень та побудову механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму, визначено загальну потребу в літєвих акумуляторах, попередній вибір двигуна по потужності, вибір номінальної швидкості та типорозміру двигуна, побудову навантажувальної діаграми електропривода та перевірку обраного електродвигуна на нагрів і перевантажувальну здатність.

У п'ятому розділі проведено вибір комплектного перетворювача електричної енергії.

У шостому розділі розроблено систему автоматичного керування.

Випускна кваліфікаційна робота складається з 64 сторінок, і містить у собі 9 ілюстрації, 6 таблиці, 10 джерел, 1 додаток.

Ключеві слова: АВТОБУС; АВТОМАТИЗОВАНИЙ ТЯГОВО-ГАЛЬМІВНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ МОДУЛЬ; ЕЛЕКТРОПРИВОД; ЛІТЄВІ АКУМУЛЯТОРИ; ЕЛЕКТРОДВИГУН; ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

ЗМІСТ

1	ВСТУП	5
1	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1	Опис промислової установки та аналіз технологічного процесу	6
1.2	Аналіз взаємодії оператор - промислова установка	9
1.3	Аналіз кінематичної схеми. Визначення параметрів і складання розрахункової схеми механічної частини	10
2	ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОЇ УСТАНОВКИ	12
2.1	Літературний огляд за темою дипломного проекту	12
2.2	Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу і системи автоматизації	18
2.3	Визначення можливих варіантів та вибір раціональної системи електроприводу	19
2.4	Проектування функціональної схеми автоматизованого електроприводу	19
3	ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА	21
3.1	Розрахунок навантажень та побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму	21
3.2	Визначення загальної потреби в літєвих акумуляторах	23
3.3	Попередній вибір двигуна по потужності	33
3.4	Вибір номінальної швидкості та типорозміру двигуна	35
3.5	Побудова навантажувальної діаграми електропривода	36
3.6	Перевірка обраного електродвигуна на нагрів і перевантажувальну здатність	41
4	ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	45
5	ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	48
6	РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	54
	ВИСНОВОК	61
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	63
	ДОДАТКИ	64

ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ

Зм.	Арх.	№ докум.	Відпис	Дата	Лист	Арх.	Акрийб
Розроб.		Сталнік					
Перевір.		Маковкін				4	64
Н. Контр.		Бабак			ХНУ АТ _С -21-2		
Затверб.		Диха					

Розробка та дослідження
автоматизованого тягово-
гальмівного електромеханічного
модуля для автобуса

Вступ

Актуальність даної теми обумовлена тим, що на сьогодні екологічна ситуація у великих містах світу в останні роки значно погіршується. У деяких країнах вводяться жорсткі норми викидів шкідливих речовин автомобілів. Це передусім стосується США, країн Західної Європи, Японії. З року в рік погіршується екологічна обстановка і в Україні. Щорічний приріст викидів шкідливих речовин від автомобілів, що експлуатуються в, за останні 5-6 років склав приблизно 9%, а їх валовий внесок у забруднення навколишнього середовища перевищує 87%. Крім цього, автомобільний транспорт є основним джерелом шуму і створює 80% усіх зон акустичного дискомфорту. У містах з великою щільністю транспортних потоків автомобільні двигуни спалюють стільки кисню, що його частка у складі повітря стає менше "стандартних" 20,94%. Відомо, що для спалювання 1 кг бензину потрібно 14,7 кг повітря, або 2,9 кг кисню, зменшення якого призводить до часткового згорання палива. Це, в свою чергу, призводить до збільшених викидів шкідливих речовин, особливо монооксиду вуглецю і вуглеводнів. Електромобілі в значній мірі можуть вирішити зазначені вище проблеми, однак на шляху їх створення зустрічаються великі технічні та економічні труднощі. Перш за все - відсутність розвиненої інфраструктури заряду акумуляторних батарей. В другу чергу - для електромобіля до цих пір не знайшли джерела енергії, здатного конкурувати з ДВЗ. Таким чином, успіх у вирішенні цієї задачі залежить від правильного вибору та розрахунку компонентів комбінованої енергетичної установки. Дослідження можуть бути здійснені як на основі експериментальних даних, так і за допомогою математичного моделювання, що є найбільш раціональним і економічно доцільним. Практично всі провідні автомобілебудівельні компанії світу ведуть роботи по створенню електромобіля. Найбільші успіхи досягнуті в області комбінованих енергетичних систем електромобілів. Це стало можливим через покращення характеристик двигунів внутрішнього згорання та

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування як ємнісних накопичувачів енергії у якості буферного джерела потужності, так і імпульсних акумуляторних батарей, що дозволяють здійснювати швидке заряджання і розряджання при високій ККД. Сформульована у цій роботі проблема передбачає раціональне використання енергії традиційних рідких палив у комбінованій електричній установці, вирішення якої може бути досягнуто мінімізацією витрат енергії на рух автотранспортного засобу, особливо автобусів у міських умовах. Також слід відзначити відносні складності у пошуках якісної вітчизняної літератури з даної теми.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис промислової установки та аналіз технологічного процесу

Тягово-тормозний модуль є високоефективним модулем, основою якого є система "електродвигун - двигун внутрішнього згоряння", живлена як паливом, так і зарядом електричного акумулятора. Основна перевага даного модуля - зменшення витрат палива та шкідливих викидів. Це досягається повністю автоматичним керуванням режимом роботи системи двигунів за допомогою бортового комп'ютера, починаючи від вчасного вимикання двигуна під час зупинки в транспортному потоці з можливістю продовження руху без його запуску, виключно на енергії акумуляторної батареї, і закінчуючи більш складним механізмом рекуперації - використанням електродвигуна як генератора електричного струму для поповнення заряду акумуляторів.

Суть модуля полягає в ідеї організації принципу "електричної скриньки передач", тобто заміни механічної скриньки передач на електричні приводи. Початково така ідея була втілена в залізничному транспорті та великотоннажних кар'єрних самоскидах. Причина застосування такої схеми обумовлена величезними складнощами

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			6

механічної передачі керованого крутного моменту на колеса потужного транспортного засобу. Суть принципу полягає в тому, що двигун, що працює на звичайному паливі, приводить в рух електрогенератор, і через систему керування необхідна кількість електроенергії передається на електродвигуни, що приводять в рух транспортний засіб. Це схоже на електростанцію на електромобілі, яка генерує енергію для власного руху. Що ж стосується тягово-тормозного модуля, то схема його роботи значно модифікована, в першу чергу, додаванням акумуляторної батареї, лише на відміну від електромобіля меншої ємності, а, отже, легшої.

Архітектура автомобілів з комбінованою електричною установкою

Архітектура автомобілів з комбінованою електричною установкою базується в основному на трьох структурах їх тягових систем - послідовній, паралельній та змішаній, кожна з яких має свої переваги та недоліки.

При оцінці доцільності застосування тієї чи іншої структури комбінованої електричної установки необхідно враховувати цикли руху, особливо в міських умовах.

Для оцінки властивостей комбінованої електричної установки суттєве значення має порівняння витрат палива (л/100 км). Комбінована електрична установка за послідовною схемою є більш переважною для руху в місті. У цьому випадку витрати палива становлять - від 60 до 75 % від витрат палива автобуса з ДВЗ.

ДВЗ - генераторну установку, як правило, компонують або спереду, або ззаду, і дуже рідко всередині бази. Тягову акумуляторну батарею та тягову конденсаторну батарею розміщують по боках автобуса для найкращого доступу до них з метою технічного обслуговування. В якості приводу коліс використовують один тяговий електродвигун з мостом та міжколісним диференціалом.

Автобус МАЗ-203 - низькопідлоговий міський автобус другого покоління Мінського автомобільного заводу. Висота підлоги по всій

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			7

поверхні 330 мм від покриття дороги. Оснащений двигуном, що відповідає нормам Євро-3 з автоматичною коробкою передач. У конструкції автобуса застосовані порталні мости та передня вісь. Технологія виготовлення кузова загальна для всіх автобусів МАЗ другого покоління - скла вклеєні в каркас, відсутні профілі накладок на швах. Застосовано лобове скло панорамного типу. Передня двері МАЗ-203 така ж широка, як і всі інші. У салоні може бути встановлено кондиціонер. МАЗ-203 повністю відповідає європейським вимогам для перевезення пасажирів, що дозволить йому вийти на ринки країн ЄС.

Основні параметри та розміри наведені в таблиці 1.1 і на рисунку 1.1.

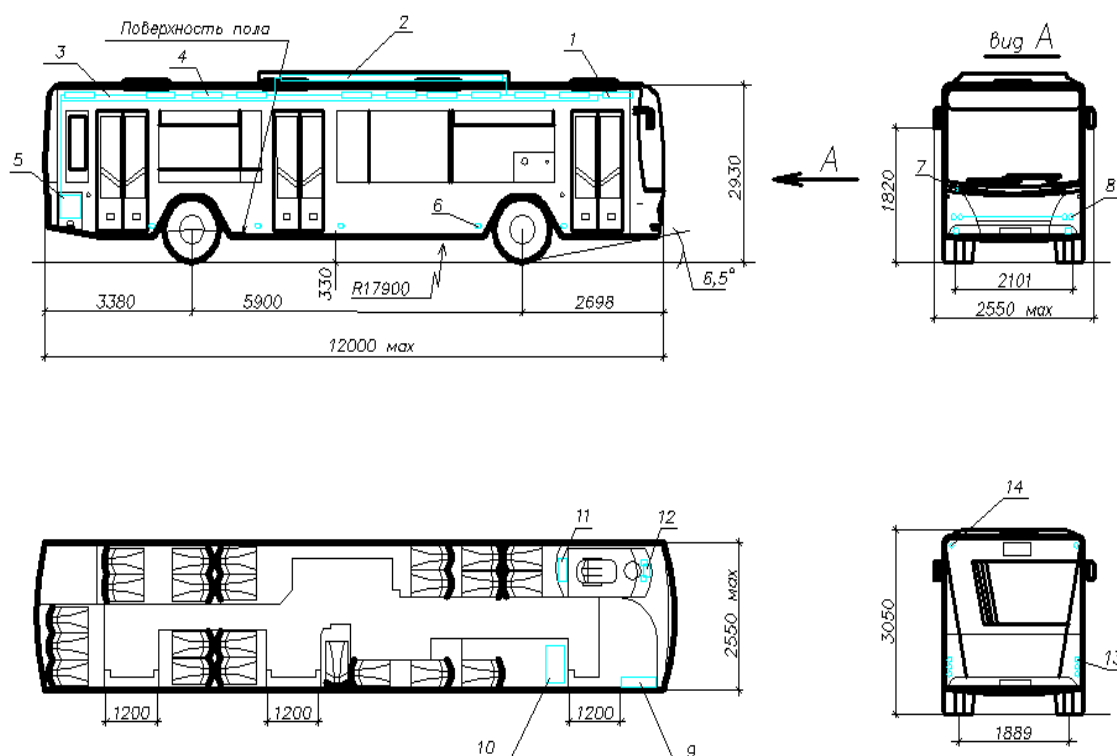


Рисунок 1.1 Габаритні розміри досліджуваного автобуса

Таблиця 1.1

Основні параметри та розміри автобуса МАЗ-203

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Назва	Міський
Габаритні розміри, мм	12000 – 2550 – 2920
База, мм	5900
Коля коліс (передніх – задніх), мм	2101 – 1888
Висота ступеньки над рівнем дороги, мм	270
Висота пола на площадці середньої двері, мм	330
Допустиме навантаження на передню – задню вісь, кг	6500 – 11500
Повна маса, кг	18000
Споряджена маса, кг	11100 (11270)
Кількість місць для сидіння	26, 28
Номінальна місткість, 9тоя.	105, 104
Максимальна швидкість, км	75-106
Двигун	Mercedes-Benz OM906LA (E3)
Потужність двигуна, кВт (л.с.)	170 (231)
Об'єм двигуна, л	6.37
Коробка передач	Voith Diwa D851.3E
Підвіска передньої – задньої осей	залежна пневматична, двухбалонна – залежна пневматична, чотирьохбалонна

1.2 Аналіз взаємодії оператор – промислова установка

Оператор розміщується в кабіні, обладнаній системою керування кліматом, і керує транспортним засобом таким чином, який у певній мірі нагадує керування автомобілем з автоматичною трансмісією. Є три педалі: вперед, задній хід і гальмо, а також ручка механічного гальма. У нейтральному положенні крутний момент на валу приводу відсутній, і оператор може збільшувати число обертів двигуна шляхом натискання на педаль. У положенні «Вперед» або «Задній хід» при натисканні на педаль газу блок керування тяговим приводом інтерпретує положення педалі як команду на отримання певного крутного моменту і регулює рівень

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			9

крутного моменту для створення необхідного тягового зусилля, прискорюючи транспортний засіб і підтримуючи необхідний рівень швидкості. Рух заднім ходом аналогічний руху вперед, за винятком того, що напрям крутного моменту є зворотнім, а активні обмеження швидкості і значення лінійного змінення крутного моменту, як правило, відрізняються. При натисканні на педаль гальма генерується електрична команда на створення гальмівного моменту, і відповідно до цього відбувається сповільнення самоскида. Ручка забезпечує оператору незалежне керування механічним (робочим) гальмом. Під час експлуатації автобуса оператор повинен виконувати такі дії:

- перевірити технічний стан системи та вузлів за зовнішнім виглядом; особливо уважно оглянути кермове управління, робочу і 10тоян очну гальмівні системи;

- перевірити наявність пального в паливному баці та охолоджуючої рідини в системі охолодження;

- перевірити рівень масла;

- перевірити величину тиску в камерах коліс;

- якщо автобус був довгий час без експлуатації, необхідно перевірити ємність заряду акумуляторів;

- на стоянках необхідно витягувати ключ з замка-вимикача для уникнення розрядження акумуляторних батарей.

1.3 Аналіз кінематичної схеми. Визначення параметрів і складання розрахункової схеми механічної частини

Механічна частина електромеханічної системи включає всі пов'язані рухомі маси: двигун, передавальний пристрій та виконавчий механізм установки. До ротору двигуна при швидкості ω прикладений електромагнітний момент M , під дією якого механічна частина приводиться в рух, і на робочому органі установки виконується

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

передбачена технологією механічна робота. Оскільки за завданням на курсовий проект необхідно забезпечити лінійну швидкість V , а діаметр колеса D , то кінематична схема автобуса виглядає, як показано на рисунку 1.2.

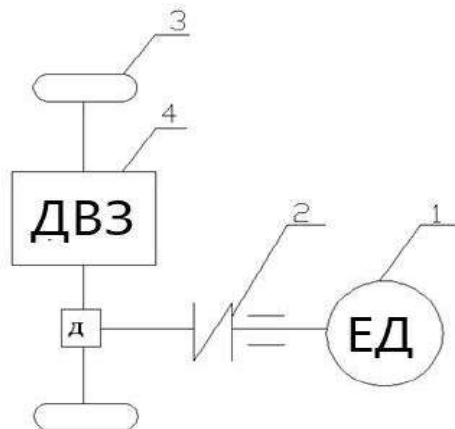


Рисунок 1.2 Кінематична схема електромеханічного модуля

1 – електродвигун; 2 – фрикційна муфта, яка служить для зменшення пульсацій; 3 - ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; 4 – колесо; д – диференціал.

Необхідне передавальне число механічної передачі автобуса визначається за формулою (1.1):

$$j = 0.1885 \cdot Dk \cdot \frac{n_{\max}}{V_{\max}}, \quad (1.1)$$

де Dk - діаметр ведучих коліс, приймаємо $Dk = 0,225$ м;

n_{\max} - максимальна швидкість обертання тягового двигуна, хв.⁻¹;

V_{\max} - конструктивна максимальна швидкість автобуса, км/год.

Оскільки двигун на даному етапі не обраний, то приймемо $n = 1500$ об/хв, за швидкість автобуса приймемо швидкість 65 км/год з урахуванням того, що автобус повинен розвивати цю швидкість при своїй максимальній технічній масі. Тоді за формулою (1.1):

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$j = 0.1885 \cdot Dk \cdot \frac{n_{\max}}{V_{\max}} = 0.1885 \cdot 0.45 \cdot \frac{1500}{65} = 1,95$$

Прийmemo передаточне число кінематичної передачі $j = 2$

2. ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Літературний огляд за темою дипломного проекту

Основним недоліком механічних трансмісій є ступінчасте змінення швидкості, яке здійснюється для використання повної потужності джерела енергії при зміні тягового зусилля, що визначається опором руху машини. Крім цього, при перемиканні передач тягове зусилля зникає внаслідок переривання силового потоку в трансмісії. Часткове усунення недоліків механічних трансмісій досягається встановленням на вході коробки передач гідротрансформатора, а всередині неї - фрикційних муфт, які забезпечують перемикання передач під навантаженням. Проте гідромеханічні трансмісії складніше, дорожчі, важчі і мають менший ККД, ніж механічні трансмісії. Гідрооб'ємні та електричні трансмісії вільні від недоліків механічних і гідромеханічних трансмісій.

Трансмісія з нерегульованим гідродвигуном містить одне ланцюг, що перетворює енергію - регульований насос з діапазоном регулювання 1:4 при постійній потужності. У електротрансмісіях є два безступеневі перетворювачі енергії - генератор і двигун, що дозволяє змінювати складові потужності у співвідношенні 1:20 і ширше. Це є основною перевагою електричних трансмісій, яка в поєднанні з високою надійністю обумовлює їх практичне застосування.

Принципово можливі три види електротрансмісій: трансмісії постійного, змінного і змінно-постійного струму.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Генератор постійного струму, як правило, використовується для живлення тягових двигунів постійного струму мотор-коліс.

У дизель-електричному приводі часто застосовуються синхронні генератори, трифазне напруга яких перетворюється кремнієвими вентилями в постійне (точніше, пульсуюче) і подається до двигунів. Такий привід називається приводом змінно-постійного струму. Основною перевагою синхронних генераторів є відсутність колектора, через що вони більш надійні, ніж генератори постійного струму. Напівпровідникові випрямлювачі мають високий рівень надійності, зокрема при виконанні їх з некерованими вентилями. Тому надійність привода в цілому підвищується.

ККД генераторів змінного струму дещо вищий, ніж постійного, і з урахуванням втрат у випрямлювачі можна вважати обидва привода приблизно рівноцінними. Вартість синхронного генератора з випрямлювачем більша, ніж генератора постійного струму, через високу вартість напівпровідникових вентилів, але вартість останніх достатньо знизилась за останні часи.

Розміри і маса синхронного генератора залежать від його частоти обертання. При однакових частотах обертання генераторів змінного і постійного струму (наприклад, при з'єднанні їх з дизелем без підвищуючого редуктора) маса синхронного генератора менше маси генератора постійного струму на 15-25%, маса випрямлювача становить приблизно 5-10% маси генератора, так що загальна маса трохи зменшується. Більш суттєву вигоду в розмірах і масі можна отримати, якщо застосувати підвищуючий редуктор між дизелем і синхронним генератором.

З генератором змінного струму можуть бути реалізовані універсальні трансмісії: а) змінно-постійного струму, коли за генератором включається керований або частіше не керований випрямлювач; б) змінного струму, коли від синхронного генератора через перетворювачі частоти (з ланцюгом

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

постійного струму або безпосереднім зв'язком) живуться енергією асинхронні частотно-керовані короткозамкнуті двигуни мотор-колес; в) змінного струму з вентильними двигунами, які представляють собою швидкісні синхронні машини (обернені двигуни постійного струму), живлені через інвертори, обладнані складними системами примусової і машинної комутації; г) змінного струму з двигунами, які мають фазні ротори, і їх статорні обмотки включені послідовно; д) змінного струму з двигунами, які мають фазні ротори і керовані за схемою групового вентильного каскаду.

Трансмісії постійного струму є найбільш простими, оскільки двигуни живляться від генератора без проміжних силових перетворювачів, а будь-які характеристики трансмісії регулюються магнітними потоками генератора та двигунів по ланцюжку збудження. Потужність, необхідна для збудження, становить 1,0-2,5% від номінальної потужності машин, тому регулюючі пристрої можуть бути низькопотужними.

Однак колекторно-щітковий вузол машин постійного струму є найбільш слабким місцем машини, і значна частина несправностей і пошкоджень в трансмісії викликана саме роботою цих вузлів. Це особливо важливо для пневмоколесних машин, призначених для роботи в умовах позадорожжя, де збільшується небезпека потрапляння на колектор пилу, вологи, бруду, що суттєво знижує надійність роботи колектора. Безколекторні двигуни є більш надійними та менш чутливими до зазначених умов роботи.

Основною труднощі при застосуванні безколекторних двигунів у транспортних засобах є складність регулювання частоти обертання. У промисловому електроприводі асинхронні двигуни знайшли широке застосування тоді, коли не потрібно значного змінення частоти обертання або вона може змінюватися ступенями. У останньому випадку застосовують двох- і трьохшвидкісні асинхронні двигуни з перемиканням полюсів. Для зміни частоти обертання в межах досить вузьких діапазонів

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовують асинхронні двигуни з фазним ротором, до цепи якого підключають реостати, конденсатори або напівпровідникові пристрої. Застосовують також схеми з каскадним з'єднанням двох асинхронних двигунів. Частоту обертання асинхронних короткозамкнених двигунів в межах досить вузьких діапазонів змінюють включенням до цепи статора магнітних підсилювачів або напівпровідникових пристроїв. Усі ці способи застосовуються при постійній частоті живлення та не забезпечують економічного регулювання частоти обертання в широких межах.

У транспортних засобах двигуни постійного струму постійно з'єднані з великою масою, при русі з місця вони повинні розвивати найбільший момент. Швидкості, навіть якщо виключити кратковічні пускові режими, змінюються в широких межах, особливо для машин підвищеної прохідності. Частоту обертання двигунів можна змінювати лише плавно і відносно повільно через велику масу транспортного засобу. Тому зазначені вище способи її регулювання можуть бути використані в окремих випадках, коли самохідна машина повинна працювати лише в вузькому діапазоні швидкостей.

У автономних транспортних засобах можна змінювати частоту живлення асинхронних двигунів зміною частоти обертання теплового двигуна. Однак дизель і газотурбінна установка з заблокованою тяговою турбіною дозволяють зміну частоти обертання лише в відносно невеликому діапазоні, при цьому з пониженням частоти обертання зменшується потужність. Отже, це можливо лише при багатоступінчатому перемиканні полюсів машин змінного струму, що ускладнює їх конструкцію та трансмісію в цілому. У більшій мірі цей спосіб може бути прийнятним при використанні газотурбінної установки з вільною тяговою турбіною, і потужність якої залишається відносно високою в межах частот обертання 0,5-1,0 номінальної. Такий діапазон також недостатній і потребує або додаткових перемикань полюсів, хоча і при меншій кількості перемикань, або виконання двигунів з дуже високим ковзанням. Цей

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

спосіб неприйнятний в тих випадках, де за умовами приводу робочих і допоміжних механізмів необхідна робота теплового двигуна при постійній частоті обертання.

Основним способом регулювання швидкості транспортних засобів з асинхронними двигунами є зміна частоти струму, який живить двигуни, незалежно від частоти струму генератора, який приводиться тепловим двигуном. Для цього використовують перетворювачі частоти, в яких вихідну частоту струму можна змінювати незалежно від вхідної.

Трифазне напруга генератора підводиться до перетворювачів частоти, які досить різноманітні за схемою та принципами дії. Найчастіше використовувані перетворювачі можна поділити на дві групи: перетворювачі з вираженням в вузлі постійного струму (ПЧПС) та перетворювачі з безпосереднім зв'язком вхідної та вихідної ланки, коротко називані безпосередніми перетворювачами (НПЧ).

У ПЧПС трифазна напруга генератора перетворюється випрямлячем в постійну напругу, яка подається на вхід інверторів, де перетворюється в трифазну напругу змінної частоти. До інверторів приєднані тягові двигуни. У НПЧ ті самі тиристри по черзі працюють у випрямляючому та інверторному режимах. Управління тиристорами здійснюється як за вхідною частотою струму, отриманою від генератора, так і за вихідною частотою, яка задається системою управління.

У випадку асинхронних тягових двигунів можливі три варіанти виконання перетворювачів частоти: 1) загальний перетворювач для всіх двигунів; 2) кілька перетворювачів приєднані до загальних шин, до яких паралельно приєднані всі двигуни; 3) кожен двигун з'єднаний з окремим перетворювачем.

Для мотор-колісних машин перший і другий варіанти використання складно внаслідок суттєвої різниці в радіусі кочення, що залежить від тиску всередині шини, вертикального навантаження на колесо, різниці опору кочення різних коліс і т. д. Крім того, при повороті машини колеса

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

різних бортів мають різні швидкості. Тому для прийняттого розподілу навантаження між двигунами необхідно або виконувати їх з дуже високим ковзанням, що збільшує розміри двигуна та знижує його ККД, або передбачати можливість зміни частоти живильного струму кожного двигуна, для чого кожен двигун повинен керуватися від свого перетворювача. Еластичне деформування шин зменшує нерівномірність розподілу навантаження. При використанні ПЧПС випрямляч може бути як загальним для всіх або групи інверторів, так і індивідуальним для кожного. У приводі з синхронними двигунами інвертори в ПЧПС або НПЧ повинні обов'язково бути індивідуальними для кожного двигуна.

Одним з недоліків приводу змінного струму є складність перетворювачів частоти та систем управління приводом. Силова частина та система управління перетворювачем частоти містять безконтактні напівпровідникові елементи, кожен з яких є високонадійним. Однак завдяки великій кількості елементів загальна ймовірність відмов у перетворювачі ще достатньо висока, і до цього часу, як показують попередні розрахунки і результати експериментів, перетворювачі частоти за надійністю поступаються генератору і двигунам. Тому розробки і дослідження з цими системами проводяться головним чином в напрямку підвищення надійності перетворювачів шляхом розробки більш вдосконалених систем управління та створення таких умов роботи вентилів, при яких ймовірність відмов у роботі мінімальна. До недоліків приводів з перетворювачами частоти слід також віднести спотворення форми кривих сили струму та напруги, викликані роботою перетворювача, що збільшує втрати в генераторі та двигунах.

2.2 Формулювання вимог до автоматизованого електроприводу і системи автоматизації

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

До вимог до автоматизованого електроприводу відносяться такі:

- мінімальна швидкість, яку розвиває автобус - $v_{\min} = 5 \text{ км/ч}$;
- максимальна швидкість - $v_{\max} = 65 \text{ км/ч}$;

$$D = \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = 12$$

- діапазон регулювання - ;

- здатність подолання підйому з середніми продольними нахилами 5% з окремими ділянками до 8% протяжністю 1500 м і максимальними нахилами не більше 10% на довжині не більше 100 м;

- температура навколишнього середовища від -40°C до 65°C (без випадання вологи);

- відносна вологість повітря до 98 %;

- розгін і гальмування повинні забезпечуватися з прискоренням, рівним

У тяговому електроприводі зазвичай використовується наступний закон управління: На малих швидкостях використовується закон збереження моменту, оскільки при розгоні, а також виникненні перешкод на дорозі (яма, вибійка, нерівності асфальту і т. д.) необхідно підтримувати постійний момент, а при швидкостях близьких до номінальної і вище використовується закон збереження потужності. Проте оскільки в даному курсовому проекті тяговий електродвигун використовується тільки при розгоні і гальмуванні, доцільно застосовувати закон збереження моменту.

2.3 Визначення можливих варіантів та вибір раціональної системи електроприводу

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Можливі варіанти тягових приводів наведені в пункті 2.1 даного дипломного проекту. Підсумовуючи викладене там, можна побачити, що в якості тягового двигуна в даній системі електроприводу може застосовуватися або двигун постійного струму, або асинхронний двигун або кроковий двигун.

Застосування двигуна постійного струму є нераціональним через великі розміри двигунів потрібної потужності, а також через великі втрати та проблеми з щітковим колектором. Найбільш перспективним виглядає застосування асинхронних двигунів разом з перетворювачем частоти, через легкість регулювання та хороші статичні та динамічні властивості даної системи.

2.4 Проектування функціональної схеми автоматизованого електроприводу

Функціональна схема містить певний набір пристроїв або блоків, кожен з яких призначений для виконання певних функцій. Проектована функціональна схема електропривода тягово-гальмівного модуля на рисунку 2.1. Силова частина складається з акумуляторної батареї та перетворювача, що складається з лінії зв'язку постійного струму та трифазного інвертора. Постійне напруга мережі надходить на інвертор, після чого транзисторний інвертор з використанням широтно-імпульсної модуляції за допомогою заданої послідовності комутації IGBT — транзисторів перетворює напругу постійного струму за допомогою ШІМ у трифазну змінну напругу зі змінною частотою. Транзистори забезпечують високу швидкість перемикання (з несучою частотою 10 кГц).

На схемі 2.1 передбачається використання зворотного зв'язку за струмом (датчики струму). Дані з зворотних зв'язків надходять на мікроконтролер, де вони обробляються, і відповідно до заданої програми

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

- ДМ - датчик моменту;
- ДСД - датчик швидкості двигуна.

Система працює наступним чином: при натисканні на педаль "Вперед" завдання з БУ подається на ДВС і АД, розгін відбувається за рахунок АД до 1400 об/хв, що відповідає оптимальному режиму дизеля. Оптимальним режимом дизеля будемо вважати режим мінімального споживання палива і мінімального викиду вихлопних газів. При досягненні на дизелі моменту, рівного , що відповідає 1400 об/хв, дизель починає працювати в оптимальному режимі, а АД переходить в генераторний режим і відбувається накопичення енергії. На дизелі спочатку стоїть датчик моменту. Залежно від відхилення моменту АД працює то в генераторному режимі, то в режимі двигуна. Наприклад, при збільшенні навантаження момент зростає, і з датчика моменту йде сигнал в МК, з якого на БУ подається сигнал на включення АД в тяговий режим. Якщо ж з датчика АБ з'явився сигнал про заповнення НЕЕ, то сигнал з МК надходить на БУ і йде відключення АД. При натисканні на педаль "гальмо" відбувається рекуперація енергії з віддачею її в НЕЕ. На випадок аварії передбачено механічний гальмо.

3. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

3.1 Розрахунок навантажень та побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму

Для проведення розрахунку скористаємося типовою швидкісною діаграмою (рисунок 3.1).

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

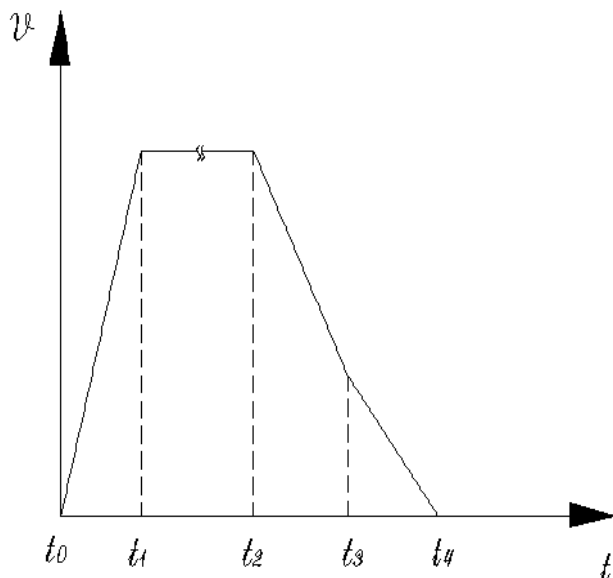


Рисунок 3.1 - Типова швидкісна діаграма

Ділянка t_0-t_1 - розгін від нульової швидкості до установленої швидкості руху (режим тяги);

t_1-t_2 - режим роботи ДВС з постійною швидкістю (тяговий двигун відключений);

t_2-t_3 - зменшення швидкості до швидкості, близької до маневрової (режим гальмування);

t_3-t_4 - режим "дотягування";

t_4-t_5 - час стоянки на зупинки.

Визначимо статичну силу опору коченню:

$$F_c = F_{\text{кач}} + F_{\text{ск}} + F_{\text{укл}} + F_{\text{сопрветра}}, \quad (3.1)$$

де $F_{\text{кач}}$ - сила тертя кочення (3.3);

$F_{\text{ск}}$ - сила тертя ковзання в підшипниках візка, визначається за формулою (3.4);

$F_{\text{укл}}$ - сила дії ухилу (прийемо середнє значення ухилу 4°), визначається за формулою (3.2);

$F_{\text{супрвітра}}$ - сила опору повітряній масі, визначається за формулою (3.6).

3.2 Визначення загальної потреби в літєвих акумуляторах

Для визначення загальної потреби в літєвих акумуляторах необхідно врахувати потребу в енергії, яку повинен забезпечувати акумуляторний блок для роботи автобуса.

Енергію, необхідну для розгону автобуса від стоячого положення до сталої швидкості, можна розрахувати, використовуючи формулу кінетичної енергії:

$$F_{укл} = G \cdot \sin \alpha, \quad (3.2)$$

де G - вага автобуса:

$$G = m \cdot g = 26000 \cdot 9,81 = 2.55 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

де m - маса автобуса. Прийmemo $m = 26\text{т}$.

Значення $F_{кач}$, $F_{ск}$ та $F_{укл}$:

$$F_{кач} = f \frac{G}{R_k}, \quad (3.3)$$

де f - Коефіцієнт тертя кочення ходових коліс, прийmemo значення = 0,003 м;

R_k – радіус колеса;

$$R_k = 0,225 \text{ м.}$$

Підставивши числові значення, можемо розрахувати необхідну енергію для розгону. Також необхідно врахувати енергію, яка витрачається на підтримання руху автобуса при постійній швидкості. Для цього використовується енергія, споживана автобусом на одиницю відстані (наприклад, на 1 км). Цю енергію можна визначити експериментально або шляхом розрахунку, враховуючи силу опору руху, масу автобуса, швидкість та інші параметри.

Після визначення загальної потреби в енергії можна розрахувати необхідну кількість літєвих акумуляторів, враховуючи їх ємність та

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

робочу напругу, щоб забезпечити нормальну роботу автобуса в заданих режимах.

Тоді:

$$F_{\text{кач}} = 0,003 \frac{2,55 \cdot 10^5}{0,225} = 3400 \text{ Н};$$

$$F_{\text{ск}} = f_c \frac{R_{\text{ц}}}{R_{\text{кол}}} G; \quad (3.4)$$

де f_c - Коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках коліс, прийmemo $f_c = 0,06$;

$R_{\text{ц}}$ – радіус цапфи ходового колеса; $R_{\text{ц}} = 0,1$ м.

$$F_{\text{ск}} = 0,06 \frac{0,1}{0,225} \cdot 2,55 \cdot 10^5 = 6800 \text{ Н};$$

$$F_{\text{укл}} = G \cdot \sin \alpha = 2,55 \cdot 10^5 \cdot \sin 4^\circ = 15300 \text{ Н}.$$

Визначимо значення F опору повітря:

$$F_{\text{сопрветра}} = k_{\text{аз}} \cdot S_{\text{каб}} (V_{\text{ветра}} + V_{\text{тр}}), \quad (3.5)$$

Де $k_{\text{аз}}$ - коефіцієнт, що враховує аеродинамічні характеристики кузова трамвая, прийmemo значення $k_{\text{аз}} = 0,08$;

$S_{\text{каб}}$ - площа фронтальної поверхні кабіни, яка зазнає опору вітру.

$$S_{\text{каб}} = 7,7775 \text{ м}^2;$$

$V_{\text{ветра}}$ - швидкість вітру, прийmemo $V_{\text{ветра}} = 5 \text{ м/с}$;

$V_{\text{тр}}$ - номінальна швидкість трамвая, прийнята

$$V_{\text{тр}} = 65 \text{ км/год} = 18 \text{ м/с};$$

$$F_{\text{сопрветра}} = k_{\text{аз}} \cdot S_{\text{каб}} (V_{\text{ветра}} + V_{\text{тр}}) = 0,08 \cdot 7,7775 \cdot (5 + 18) = 14,3 \text{ Н}$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Визначимо моменти механізму:

при русі вгору по ухилу, руховий режим:

$$\begin{aligned} F_c &= F_{\text{кач}} + F_{\text{ск}} + F_{\text{укл}} + F_{\text{сопрветра}} = \\ &= 3400 + 6800 + 15300 + 14,3 = 25520 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow} = \frac{F_c \cdot R_K}{j \cdot \eta}$$

де η – ККД трансмісії; $\eta = 0,9$.

$$M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow} = \frac{25520 \cdot 0,225}{2 \cdot 0,9} = 3190 \quad \text{Нм}$$

- при русі вгору по ухилу, гальмівний режим:

$$M_{\text{мех.торм}}^{\uparrow} = \frac{F_c \cdot R_K \cdot \eta}{j} = \frac{25520 \cdot 0,225 \cdot 0,9}{2} = 2584 \quad \text{Нм}$$

під час руху вниз по ухилу, руховий режим:

$$\begin{aligned} F_c &= F_{\text{кач}} + F_{\text{ск}} - F_{\text{укл}} + F_{\text{сопрветра}} = \\ &= 3400 + 6800 - 15300 + 14,3 = -5087 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$M_{\text{мех.дв}}^{\downarrow} = \frac{F_c \cdot R_K}{j \cdot \eta} = \frac{-5087 \cdot 0,225}{2 \cdot 0,9} = -635,8 \quad \text{Нм}$$

при русі вниз по ухилу, гальмівний режим:

$$M_{\text{мех.торм}}^{\downarrow} = \frac{F_c \cdot R_K \cdot \eta}{j} = \frac{-5087 \cdot 0,225 \cdot 0,9}{2} = -515 \quad \text{Нм}$$

- при русі горизонтальною ділянкою, руховий режим:

$$\begin{aligned} F_c &= F_{\text{кач}} + F_{\text{ск}} + F_{\text{сопрветра}} = \\ &= 3400 + 6800 + 14,345 = 10220 \text{ Н} \end{aligned}$$

$$M_{\text{мех.дв}} = \frac{F_c \cdot R_K}{j \cdot \eta} = \frac{10220 \cdot 0,225}{2 \cdot 0,9} = 1277 \quad \text{Нм}$$

при русі горизонтальною ділянкою, гальмування:

$$M_{\text{мех.торм}} = \frac{F_c \cdot R_K \cdot \eta}{j} = \frac{10220 \cdot 0,225 \cdot 0,9}{2} = 1034 \quad \text{Нм}$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Розрахуємо тепер момент інерції приводу, щоб далі визначити кутові та лінійні уповільнення.

Момент інерції приводу визначимо за такою формулою:

$$J = J_{дв} + J_{швидкий} + J_{тих} + J_{шасси}, \quad (3.5)$$

де $J_{дв}$ - момент інерції двигуна; швидкий - момент інерції швидкохідного валу; тих - момент інерції тихохідного валу; шасі - момент інерції шасі автобуса.

Момент інерції шасі автобуса визначимо за формулою:

$$J_{шасси} = \frac{m \cdot R_K^2}{j^2}$$

де m – маса автобуса.

$$J_{шасси} = \frac{26000 \cdot 0,225^2}{2^2} = 329 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції тихохідного валу визначимо як суму моментів інерції чотирьох колес автобуса. Момент інерції колеса визначатимемо як момент інерції диска:

$$J_{тих} = \frac{4 \cdot m_K \cdot R_K}{j^2 \cdot 2}$$

де m_K - маса колеса, $m_K=25$ кг.

$$J_{тих} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 0,225}{2^2 \cdot 2} = 2,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Так як двигун ще не обраний, його момент інерції, і момент інерції пов'язаного з ним швидкохідного валу визначимо приблизно як 15% від суми $J_{тих} + J_{шасси}$. Таким чином:

$$J_{дв} + J_{швидкий} = 0,15(J_{тих} + J_{шасси}) = 0,15(2,8 + 329) = 49,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

За формулою 3.5 визначаємо момент інерції приводу:

$$J = 49,7 + 329 + 2,8 = 381,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розрахуємо тепер параметри навантажувальної діаграми для горизонтальної ділянки довжиною 1000 м. Час розгону визначимо за формулою:

$$t_{\text{разг1}} = \frac{V_{\text{ном}} - V_0}{a_{\text{разг}}}$$

де $V_{\text{ном}}$ - номінальна швидкість руху, $V_{\text{ном}} = 65 \text{ км / год} = 18 \text{ м / с}$;

V_0 - початкова швидкість руху, $V_0 = 0 \text{ м/с}$;

$a_{\text{разг}}$ - прискорення автобуса при розгоні $= 1 \text{ м/с}^2$.

$$t_{\text{разг1}} = \frac{18 - 0}{1} = 18 \text{ с.}$$

Час гальмування до маневрової швидкості становитиме:

$$t_{\text{торм1}} = \frac{V_{\text{маневр}} - V_{\text{разг}}}{a_{\text{торм}}} = \frac{1,4 - 18}{-1} = 16,7 \text{ с.}$$

Час дотягування визначимо як:

$$t_{\text{дотяг}} = \frac{S_{\text{дотяг}}}{V_{\text{маневр}}} = \frac{10}{1,4} = 7,2 \text{ с.}$$

Протяжність шляху розгону визначимо за такою формулою:

$$S_{\text{разг1}} = \frac{a_{\text{разг}} \cdot t_{\text{разг1}}^2}{2} = \frac{1 \cdot 18^2}{2} = 163 \text{ м;}$$

Дистанція гальмування визначається за співвідношенням:

$$S_{\text{торм1}} = V_{\text{разг}} \cdot t_{\text{торм1}} + \frac{a_{\text{торм}} \cdot t_{\text{торм1}}^2}{2} = 18 \cdot 16,6 - \frac{1 \cdot 16,6^2}{2} = 162 \text{ м}$$

Визначимо шлях руху, що встановився, коли працює ДВС:

$$S_{\text{уст1}} = S_1 - S_{\text{разг1}} - S_{\text{торм1}} - S_{\text{дотяг}},$$

де S_1 - загальна довжина ділянки, $S_1 = 1000 \text{ м-коду}$.

$$S_{\text{уст1}} = 1000 - 163 - 162 - 10 = 665 \text{ м.}$$

Час руху на встановленій швидкості ($V_{\text{ном}}$) складе:

$$t_{\text{уст1}} = \frac{S_{\text{уст1}}}{V_{\text{уст}}} = \frac{665}{18} = 36,8 \text{ с.}$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Побудуємо тепер навантажувальну діаграму для горизонтальної ділянки руху довжиною 1000 м-коду.

З отриманих даних будуємо навантажувальну діаграму (рисунок 3.2).

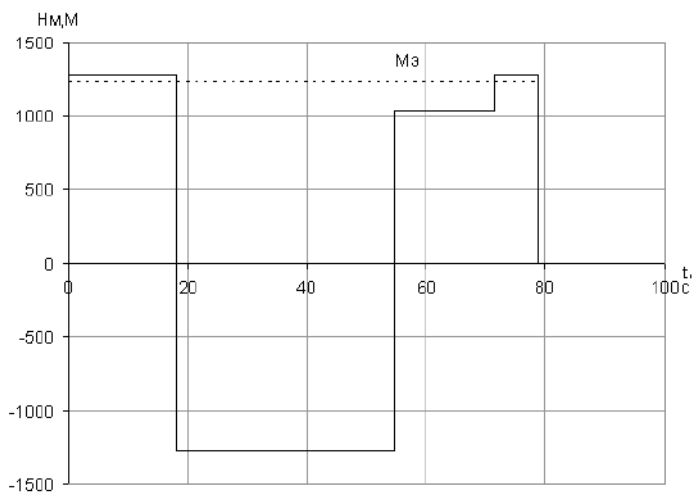


Рисунок 3.2 - Навантажувальна діаграма для прямолінійної ділянки довжиною 1000м

На ділянці, що розглядається, двигун працює

$$t_1 = t_{\text{разг1}} + t_{\text{усл1}} + t_{\text{торм1}} + t_{\text{дотяг}} = 18 + 36,8 + 16,7 + 7,2 = 78,75$$

Визначимо величину еквівалентного моменту для цієї ділянки за формулою 3.6.

$$M_{19} = \sqrt{\frac{M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow 2} \cdot t_{\text{разг1}} + M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow 2} \cdot t_{\text{усл1}} + M_{\text{мех.торм}}^{\uparrow 2} \cdot t_{\text{торм1}} + M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow 2} \cdot t_{\text{дотяг}}}{t_1}}$$

(3.6)

Підставивши у формулу 3.6 чисельні значення, отримаємо:

$$M_{19} = \sqrt{\frac{1277^2 \cdot 18 + 1277^2 \cdot 36,8 + 1034^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2}{78,75}} = 1230 \text{ Нм}$$

Для прямолінійної ділянки руху тривалістю 1500 м всі параметри навантажувальної діаграми, за винятком часу і тривалості ділянки руху з швидкістю, що встановилася, аналогічні параметрам навантажувальної діаграми, побудованої для ділянки руху довжиною 1500 м.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$t_{раз2} = 18 \text{ с}; S_{раз2} = 163 \text{ м};$$

$$t_{торм2} = 16,7 \text{ с}; S_{торм2} = 162 \text{ м};$$

$$t_{домяг} = 7,2 \text{ с}; S_{домяг} = 10 \text{ м}.$$

Визначимо протяжність ділянки руху з швидкістю, що встановилася.

$$S_{уст2} = S_2 - S_{раз2} - S_{торм2} - S_{домяг} ,$$

де S_2 - загальна довжина ділянки, $S_2 = 1500$ м-коду.

$$S_{уст2} = 1500 - 163 - 162 - 10 = 1165 \text{ м}.$$

Час руху на встановленій швидкості складе:

$$t_{уст2} = \frac{S_{уст2}}{V_{уст}} = \frac{1165}{18} = 64,5 \text{ с}.$$

Всі значення статичних моментів навантажувальної діаграми, що розраховується, ідентичні значенням статичних моментів для навантажувальної діаграми, розрахованої для прямолінійної ділянки довжиною 1000м.

Визначимо еквівалентний момент для ділянки руху, що розраховується. Визначимо час роботи двигуна на цій ділянці:

$$t_2 = t_{раз2} + t_{уст2} + t_{торм2} + t_{домяг} = 18 + 64,5 + 7,2 = 106,4 \text{ с}.$$

Визначимо величину еквівалентного моменту цієї ділянки за формулою 3.7.

$$M_{2э} = \sqrt{\frac{M_{мех.дв}^{\uparrow 2} \cdot t_{раз2} + M_{мех.дв}^{\uparrow 2} \cdot t_{уст2} + M_{мех.торм}^{\uparrow 2} \cdot t_{торм2} + M_{мех.дв}^{\uparrow 2} \cdot t_{домяг}}{t_2}}$$

(3.7)

Підставивши у формулу 3.7 чисельні значення, отримаємо

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$M_{2э} = \sqrt{\frac{1277^2 \cdot 18 + (-1277)^2 \cdot 64,5 + 1034^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2}{106,4}} =$$

$$= 1242 \text{ Н*м}$$

Навантажувальна діаграма ділянки зображено малюнку 3.3.

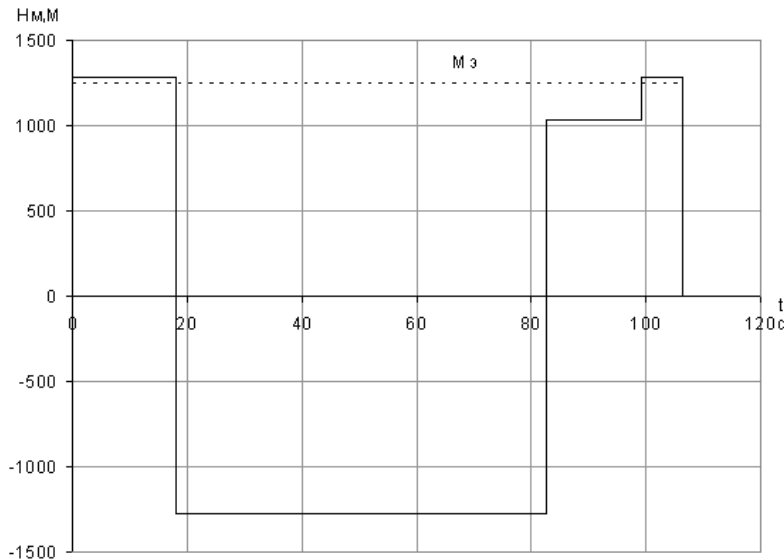


Рисунок 3.3 - Навантажувальна діаграма для прямолінійного ділянки завдовжки 1500 м.

Для визначення параметрів навантажувальної діаграми для ділянки з рухом під ухилом.

Час розгону становить $t_{розг} = \frac{18-0}{1} = 18$ с. Час гальмування до маневрової швидкості складе:

$$t_{тормз} = \frac{V_{маневр} - V_{розг}^{\uparrow}}{a_{торм}} = \frac{1,39 - 18}{-1} = 16,7 \text{ с.}$$

Час дотягування $t_{дотяз} = 7,2$ с. Довжина шляху розгону складає $S_{розг} = 163$ м. Довжина гальмування визначається за співвідношенням:

$$S_{тормз} = V_{розг}^{\uparrow} \cdot t_{тормз} + \frac{a_{торм} \cdot t_{тормз}^2}{2} = 18 \cdot 16,7 - \frac{1 \cdot 16,7^2}{2} = 162 \text{ м.}$$

Визначимо шлях установившогося руху:

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

$$S_{уст3} = S_3 - S_{разг3} - S_{торм3} - S_{дотяг} ,$$

де S_3 - загальна протяжність ділянки, $S_3=700$ м.

$$S_{уст3} = 700 - 163 - 162 - 10 = 365 \text{ м.}$$

Час руху на установленій швидкості складе:

$$t_{уст3} = \frac{S_{уст3}}{V_{уст}} = \frac{365}{18} = 20,2 \text{ с.}$$

Навантажувальна діаграма зображена на рисунку 3.4.

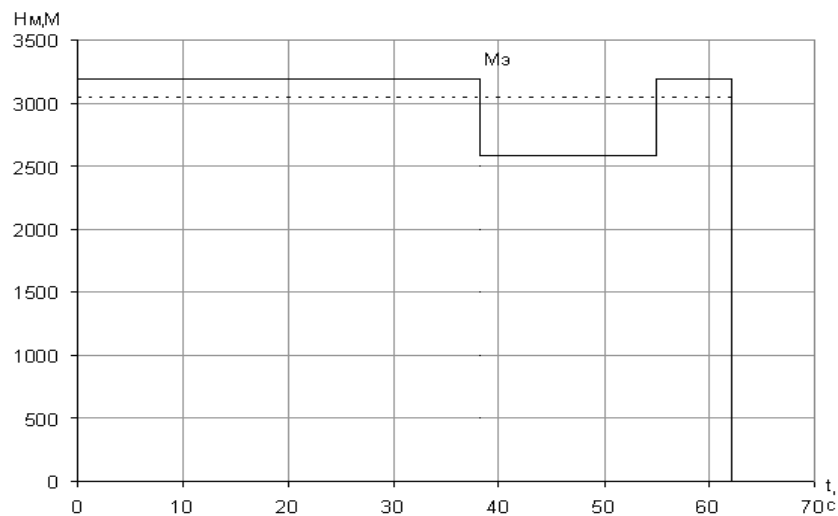


Рисунок. 3.4 Навантажувальна діаграма для ділянки руху під ухилом.

На розглянутій ділянці двигун перебуває під навантаженням

$$t_3 = t_{разг3} + t_{уст3} + t_{торм3} + t_{дотяг} = 18 + 20,2 + 16,7 + 7,2 = 62,1 \text{ с.}$$

Визначимо величину еквівалентного моменту для цієї ділянки за формулою 3.8.

$$M_{3э} = \sqrt{\frac{M_{мех.дв}^{\uparrow} \cdot t_{разг3} + M_{мех.дв}^{\uparrow} \cdot t_{уст3} + M_{мех.торм}^{\uparrow} \cdot t_{торм3} + M_{мех.дв}^{\uparrow} \cdot t_{дотяг}}{t_3}}$$

(3.8)

Підставивши числові значення у формулу 3.8, отримаємо

$$M_{3э} = \sqrt{\frac{3190^2 \cdot 18 + 3190^2 \cdot 20,2 + 2584^2 \cdot 16,7 + 3190^2 \cdot 7,2}{62,1}} = 3039 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Розрахуємо параметри і побудуємо навантажувальну діаграму для ділянки руху з ухилом. Час розгону складає $t_{разг4} = 18$ с.

Час гальмування до маневрової швидкості становить:

$$t_{торм4} = \frac{V_{маневр} - V_{ном}^{\downarrow}}{a_{торм}} = \frac{1,39 - 18}{-1} = 16,7 \text{ с.}$$

Час дотягування $t_{дотяг} = 7,2$ с. Протяжність шляху розгону складає $S_{разг4} = 163$ м.

Відстань гальмування визначається за співвідношенням:

$$S_{торм4} = V_{ном}^{\downarrow} \cdot t_{торм4} - \frac{a_{торм} \cdot t_{торм4}^2}{2} = 18 \cdot 16,7 - \frac{1 \cdot 16,7^2}{2} = 162 \text{ м}$$

Визначимо шлях сталого руху:

$$S_{уст4} = S_4 - S_{разг4} - S_{торм4} - S_{дотяг}$$

де S_4 - загальна протяжність ділянки, $S_4 = 700$ м.

$$S_{уст4} = 700 - 163 - 162 - 10 = 365 \text{ м.}$$

Час руху на установленій швидкості складе:

$$t_{уст3} = \frac{S_{уст3}}{V_{уст}} = \frac{365}{18} = 20,2 \text{ с.}$$

На розглянутій ділянці двигун перебуває під навантаженням

$$t_4 = t_{разг4} + t_{уст4} + t_{торм4} + t_{дотяг} = 18 + 20,2 + 16,7 + 7,2 = 62,1 \text{ с.}$$

Визначимо величину еквівалентного моменту для цієї ділянки за формулою 3.9.

$$M_{4э} = \sqrt{\frac{M_{мех.дв}^{\downarrow 2} \cdot t_{разг4} + M_{мех.дв}^{\downarrow 2} \cdot t_{уст4} + M_{мех.торм}^{\downarrow} \cdot t_{торм4} + M_{мех.дв}^{\downarrow 2} \cdot t_{дотяг}}{t_4}}, \quad 3.9$$

Підставивши числові значення у формулу 3.9, отримаємо:

$$M_{4э} = \sqrt{\frac{(-635,8)^2 \cdot 18 + (-635,8)^2 \cdot 20,2 + (-515)^2 \cdot 16,7 + (-635,8)^2 \cdot 7,2}{62,1}} = 302,9 \text{ Нм}$$

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			32

Навантажувальна діаграма для цієї ділянки руху зображена на рисунку 3.5.

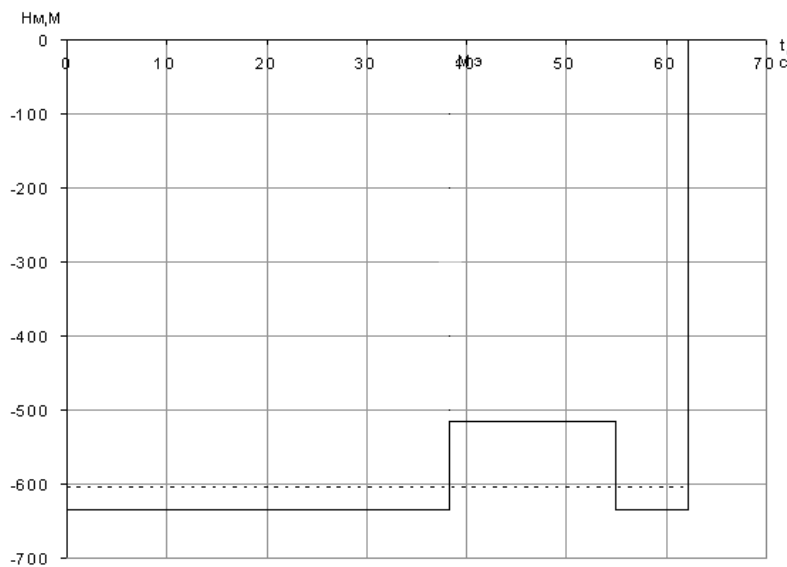


Рисунок 3.5 – Навантажувальна діаграма для ділянки руху з ухилу

3.3 Попередній вибір двигуна по потужності

Для вибору потужності двигуна скористаємося методом еквівалентних моментів, а потім, коли визначимо параметри двигуна, уточнимо отримані результати методом еквівалентних втрат.

Визначимо статичний еквівалентний момент, як для двигуна, що працює в тривалому циклічному режимі зі змінним навантаженням [2] за формулою:

$$M_{сэ} = \sqrt{\frac{1}{t_{ц}} \sum_{i=1}^n M_{ci}^2 t_i}$$

де M_{ci} - статичний момент на i -му інтервалі навантажувальної діаграми механізму;

t_i - тривалість i -го інтервалу;

$t_{ц}$ - час циклу;

n - кількість інтервалів у циклі.

Час циклу визначимо як суму всіх часів ділянок руху, часів стоянок на зупинках та часу стоянки на кінцевій зупинці. Прийmemo час стоянки на зупинці $t_{ост}=30$ с, час стоянки на кінцевій зупинці $t_{кін}=20$ хвилин=1200 с. Тоді час циклу визначимо як:

$$t_{ц} = 2 \cdot t'_1 + 3 \cdot t'_2 + 2 \cdot t'_3 + t'_4 + 10 \cdot t_{ост} + t_{кін}$$

де t'_i - повний час руху на i -му ділянці.

$$t_{ц} = 2 \cdot 78,7 + 3 \cdot 106,4 + 2 \cdot 62,1 + 62,1 + 10 \cdot 30 + 1200 = 2163 \text{ с}$$

$$\sum M_{c_{k1}}^2 \cdot t_{k1} = 1277^2 \cdot 18 + 1277^2 \cdot 36,8 + 1034^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2 = 1,191 \cdot 10^8 ;$$

$$\sum M_{c_{k2}}^2 \cdot t_{k2} = 1277^2 \cdot 18 + 1277^2 \cdot 64,521 + 1034^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2 = 1,643 \cdot 10^8 ;$$

$$\sum M_{c_{k3}}^2 \cdot t_{k3} = 3190^2 \cdot 18 + 3190^2 \cdot 20,21 + 2584^2 \cdot 16,7 + 3190^2 \cdot 7,2 = 5,74 \cdot 10^8 ;$$

$$\sum M_{c_{k4}}^2 \cdot t_{k4} = (-635,8)^2 \cdot 18 + (-635,8)^2 \cdot 20,21 + (-515)^2 \cdot 16,7 + (-638,5)^2 \cdot 7,2 = 2,28 \cdot 10^7 ;$$

$$M_{сз} = \sqrt{\frac{(1,191 \cdot 10^8 \cdot 2 + 1,643 \cdot 10^8 \cdot 3 + 5,74 \cdot 10^8 \cdot 2 + 2,28 \cdot 10^7)}{2163}} = 892,4 \text{ Нм.}$$

Потужність двигуна визначимо із співвідношення

$$P_{расч} = \frac{k \cdot M_{сз} \cdot \omega_{расч}}{n} ,$$

де k - коефіцієнт запасу потужності, прийmemo значення $k=2$;

$\omega_{расч}$ - розрахункова кутова швидкість двигуна, визначимо її як

n – кількість електродвигунів.

$$\omega_{расч} = \frac{V_{ном}}{R_K} j = \frac{18}{0,225} 2 = 160 \text{ с-1.}$$

$$P_{расч} = \frac{2 \cdot 468,8 \cdot 160}{1} = 286500 \text{ Вт.}$$

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

3.4 Вибір номінальної швидкості та типорозміру двигуна

Враховуючи, що при $n=1400$ об/хв та $M=1400$ Н·м дизель працює з найменшою витратою палива і найменшими викидами, а також враховуючи, що електродвигун і дизель з'єднані жорстко на валу, підберемо найбільш підходящий за габаритом електродвигун.

Номінальний момент при $n=3000$ об/хв:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{315000}{314} = 1003 \text{ Нм}$$

Номінальний момент при $n=1500$ об/хв:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{315000}{155.4} = 2006 \text{ Нм}$$

Виходячи з розрахованої потужності, виберемо з довідника [3] тяговий двигун 4А355М4У3. Його параметри зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Параметр	Значення	Од. вим
Номінальна потужність, $P_{ном}$	315	кВт
Номінальна напруга, $U_{ном}$	220	В
Синхронна частота обертання, n_0	1500	хв ⁻¹
Номінальний ККД, $\eta_{ном}$	0,945	-
Номінальне ковзання, $S_{ном}$	0,01	-
Момент інерції двигуна, $J_{дв}$	1,7	кгм ²
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0.92	-

На основі отриманих даних, вибраний двигун забезпечує оптимальну роботу в заданих умовах експлуатації.

Синхронна швидкість обертання двигуна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад} \cdot \text{с}$$

Номінальна швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{ном} = \omega_0 \cdot (1 - S_{ном}) = 157 \cdot (1 - 0.01) = 155,4 \text{ рад} \cdot \text{с}$$

Розрахунок передаточного числа редуктора:

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$j = \frac{\omega_{ном} \cdot D_k}{2 \cdot v_{ном}} = \frac{155,4 \cdot 0,225}{2 \cdot 18} = 1,94$$

Номинальний струм двигуна:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cdot \eta_{ном}} = \frac{315000}{220 \cdot 0,945} = 549 \text{ А}$$

3.5 Побудова навантажувальної діаграми електропривода

Для побудови навантажувальних діаграм електропривода необхідно спочатку розрахувати динамічні моменти. Знайдемо величини динамічних моментів:

- При розгоні:

$$M_{\partial.разг} = \frac{J \varepsilon_{разг}}{\eta}$$

де $\varepsilon_{разг}$ - кутове прискорення вала двигуна при розгоні:

$$\varepsilon_{разг} = \frac{a_{разг}}{R_K} j = \frac{1}{0,225} 2 = 8,6 \text{ рад/с}^2$$

$$M_{\partial.разг} = \frac{95,4 \cdot 8,6}{0,945} = 869 \text{ Нм;}$$

- При гальмуванні:

$$M_{\partial.торм} = J \varepsilon_{торм} \eta$$

де $\varepsilon_{торм}$ - кутове уповільнення вала двигуна при гальмуванні:

$$\varepsilon_{торм} = \frac{a_{торм}}{R_K} j = \frac{1}{0,225} 2 = 8,6 \text{ рад/с}^2$$

$$M_{\partial.торм} = 95,4 \cdot 8,6 \cdot 0,945 = 776,1 \text{ Нм.}$$

Використовуючи розраховані у підпункті 3.1 відстані, часи руху та статичні моменти, послідовно побудуємо навантажувальні діаграми для кожної ділянки руху.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Побудуємо навантажувальну діаграму для горизонтальної ділянки руху протяжністю 1000 м. При розгоні необхідний крутний момент на валу двигуна визначається як сума динамічного моменту при розгоні та статичного моменту при розгоні, приведенного до вала двигуна:

$$M_{1.1} = M_{\text{д.разг}} + M_{\text{мех.дв}} = 869 + 1277 = 2146 \text{ Нм};$$

потім навантаження буде рівним

$$M_{1.2} = M_{\text{мех.дв}} = -1277 \text{ Нм};$$

при гальмуванні навантаження складе

$$M_{1.4} = M_{\text{мех.торм}} - M_{\text{д.торм}} = 1034 - 776 = 258 \text{ Нм.}$$

При дотягуванні до зупинки момент буде рівним $M_{1.5} = M_{\text{мех.дв}} = 1277 \text{ Нм}$. На основі отриманих даних будемо навантажувальну діаграму (рисунок 3.6).

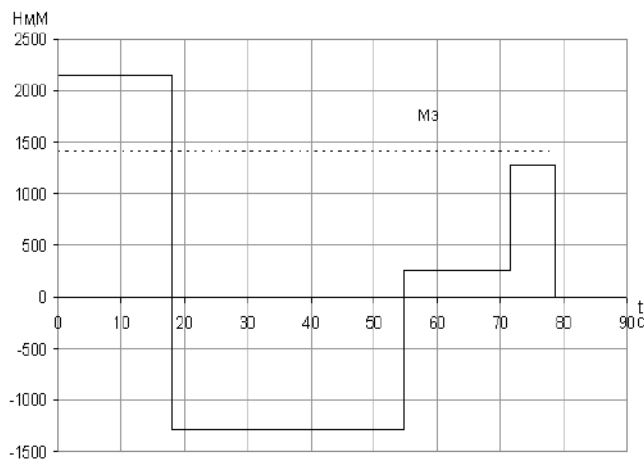


Рисунок 3.6 - Навантажувальна діаграма для прямолінійної ділянки протяжністю 1000 м

На розглянутій ділянці двигун працює

$$t_1 = t_{\text{разг1}} + t_{\text{уст1}} + t_{\text{торм1}} + t_{\text{дотяг}} = 18 + 36,8 + 16,7 + 7,2 = 78,7 \text{ с.}$$

Визначимо величину еквівалентного моменту для цієї ділянки за формулою 3.10.

$$M_{1.9} = \sqrt{\frac{M_{1.1}^2 \cdot t_{\text{разг1}} + M_{1.2}^2 \cdot t_{\text{уст1}} + M_{1.4}^2 \cdot t_{\text{торм1}} + M_{1.5}^2 \cdot t_{\text{дотяг}}}{t_1}} \quad (3.10)$$

Підставивши числові значення в формулу 3.10, отримаємо

$$M_{19} = \sqrt{\frac{2146^2 \cdot 18 + 1277^2 \cdot 36,8 + 258^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2}{78,7}} = 1408 \text{ Нм.}$$

Для прямолінійної ділянки руху довжиною 1500 м всі параметри навантажувальної діаграми, за винятком часу і тривалості ділянки руху з усталеною швидкістю, аналогічні параметрам навантажувальної діаграми, побудованої для ділянки руху протяжністю 1000 м.

Всі значення моментів розрахованої навантажувальної діаграми ідентичні значенням моментів для навантажувальної діаграми, розрахованої для прямолінійної ділянки протяжністю 1000 м. Визначимо еквівалентний момент для розрахованої ділянки руху. Визначимо час роботи двигуна на цій ділянці:

$$t_2 = t_{раз2} + t_{уст2} + t_{торм2} + t_{дотяг} = 18 + 64,5 + 16,7 + 7,2 = 106,4 \text{ с.}$$

Визначимо величину еквівалентного моменту для цієї ділянки за формулою 3.11.

$$M_{29} = \sqrt{\frac{M_{2.1}^2 \cdot t_{раз2} + M_{2.2}^2 \cdot t_{уст2} + M_{2.4}^2 \cdot t_{торм2} + M_{2.5}^2 \cdot t_{дотяг}}{t_2}} \quad (3.11)$$

Підставивши числові значення в формулу 3.11, отримаємо:

$$M_{29} = \sqrt{\frac{2146^2 \cdot 18 + 1277^2 \cdot 64,5 + 258^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2}{106,4}} = 1375 \text{ Нм}$$

Навантажувальна діаграма ділянки зображена на рисунку 3.7.

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			38

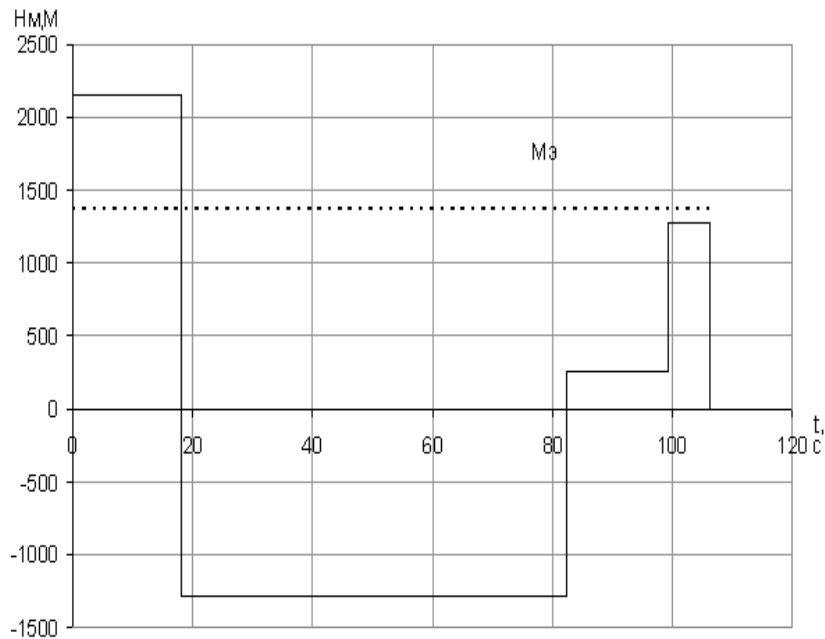


Рисунок 3.7 - Навантажувальна діаграма для прямолінійної ділянки протяжністю 1500 м

При розгоні на ділянці з підйомом необхідний крутний момент на валу двигуна визначається як сума динамічного моменту при розгоні та статичного моменту при розгоні, приведенного до валу двигуна:

$$M_{3.1} = M_{\text{д.разг}} + M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow} = 869 + 3190 = 4059 \text{ Нм};$$

потім навантаження буде рівне

$$M_{3.2} = M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow} = 3190 \text{ Нм};$$

при гальмуванні навантаження складе

$$M_{3.4} = M_{\text{мех.торм}}^{\uparrow} - M_{\text{д.торм}} = 2584 - 776 = 1808 \text{ Нм.}$$

При дотягуванні до зупинки момент буде рівний

$$M_{3.5} = M_{\text{мех.дв}}^{\uparrow} = 3190 \text{ Нм.}$$

На розглянутій ділянці двигун знаходиться під навантаженням

$$t_3 = t_{\text{разг3}} + t_{\text{уст3}} + t_{\text{торм3}} + t_{\text{дотяг}} = 18 + 20,2 + 16,7 + 7,2 = 62,1 \text{ с.}$$

Визначимо величину еквівалентного моменту для цієї ділянки за формулою 3.12.

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

$$M_{3.9} = \sqrt{\frac{M_{3.1}^2 \cdot t_{разг3} + M_{3.2}^2 \cdot t_{уст3} + M_{3.4}^2 \cdot t_{торм3} + M_{3.5}^2 \cdot t_{дотяг}}{t_3}} \quad (3.12)$$

Підставивши числові значення в формулу 3.12, отримаємо:

Навантажувальна діаграма зображена на рисунку 3.8.

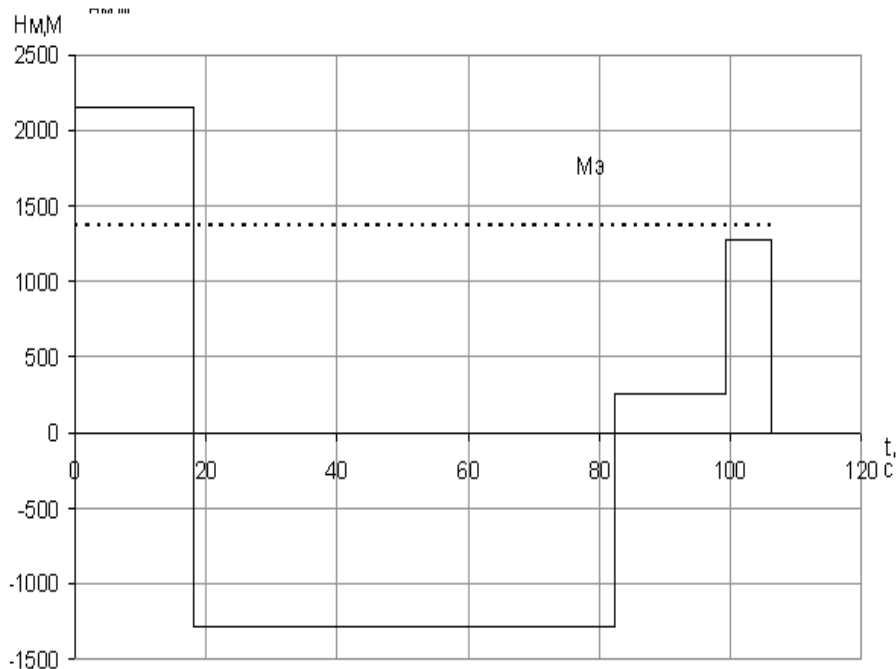


Рисунок 3.8 - Навантажувальна діаграма для ділянки руху під ухил

При розгоні з ухилу необхідний крутний момент на валу двигуна визначається як сума динамічного моменту при розгоні та статичного моменту при розгоні, приведенного до валу двигуна:

$$M_{4.1} = M_{д.разг} + M_{мех.дв}^{\downarrow} = 1776 + 298,94 = 2075 \text{ Нм};$$

потім навантаження буде рівне

$$M_{4.2} = M_{мех.дв}^{\downarrow} = 298,94 \text{ Нм};$$

при гальмуванні навантаження складе

$$M_{4.3} = M_{мех.торм}^{\downarrow} - M_{д.торм} = 242,14 - 1504 = -1261 \text{ Нм}.$$

При дотягуванні до зупинки момент буде рівний

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

$$M_{4,4} = M_{\text{мех.дв}}^{\downarrow} = 298,94 \text{ Нм.}$$

На розглянутій ділянці двигун знаходиться під навантаженням

$$t_4 = t_{\text{разг4}} + t_{\text{уст4}} + t_{\text{торм4}} + t_{\text{дотяг}} = 18 + 20,2 + 16,7 + 7,2 = 62,1 \text{ с.}$$

Визначимо величину еквівалентного моменту за формулою 3.13.

$$M_{4э} = \sqrt{\frac{M_{4,1}^2 \cdot t_{\text{разг4}} + M_{4,2}^2 \cdot t_{\text{уст4}} + M_{4,3}^2 \cdot t_{\text{торм4}} + M_{4,4}^2 \cdot t_{\text{дотяг}}}{t_4}} \quad (3.13)$$

Підставивши числові значення у формулу 3.13, отримаємо

$$M_{4э} = \sqrt{\frac{1448^2 \cdot 18 + (-317,9)^2 \cdot 20,2 + (-1785)^2 \cdot 16,7 + (-317,9)^2 \cdot 7,2}{62,1}} = 1228 \text{ Нм.}$$

Навантажувальна діаграма зображена на рисунку 3.9.

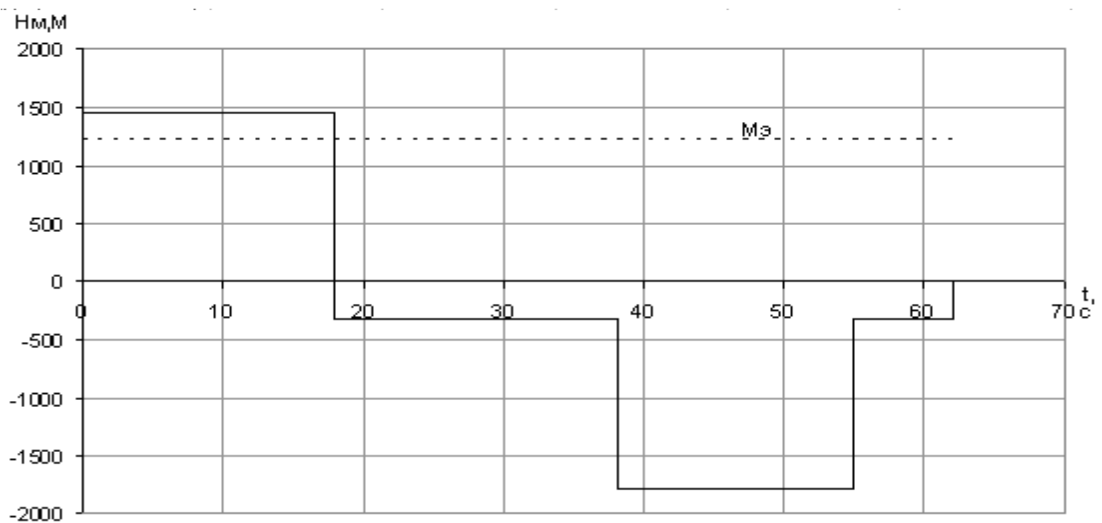


Рисунок 3.9 - Навантажувальна діаграма для ділянки руху з ухилу

3.6 Перевірка обраного електродвигуна на нагрів і перевантажувальну здатність

Оскільки обраний електродвигун у системі електроприводу працює при приблизно постійному магнітному потоці, середньоквадратичний

(еквівалентний) момент двигуна відображає його середню температуру нагріву. Тому для тривалого режиму роботи зі змінним навантаженням (ПВ=100%) можна визначити еквівалентний момент двигуна за час циклу тц з урахуванням погіршення умов охолодження:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_{\text{ox},i} \cdot t_i}},$$

де:

- M_i – електромагнітний момент двигуна на i -ій ділянці спрощеної навантажувальної діаграми електроприводу;

- t_i – часовий інтервал i -ої ділянки;

- $\beta_{\text{ox},i}$ – коефіцієнт охолодження самовентильованого двигуна на i -ій ділянці, який розраховується за формулою:

$$\beta_{\text{ox},i} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \sqrt{\frac{\omega_i}{\omega_{\text{ном}}}},$$

де:

- ω_i – середня кутова швидкість на i -її ділянці;

- β_0 – коефіцієнт погіршення охолодження при нерухомому роторі двигуна, який дорівнює $\beta_0 = 0,45-0,55$ для закритих самовентильованих двигунів.

$$\beta_{\text{ox,разг}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\text{срразг}}}{\omega_{\text{ном}}}} = 0,55 + (1 - 0,55) \cdot \sqrt{\frac{77,7}{155,4}} = 0,868,$$

$$\beta_{\text{ox,уст}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\text{уст}}}{\omega_{\text{ном}}}} = 0,55 + (1 - 0,55) \cdot \sqrt{\frac{155,4}{155,4}} = 1,$$

$$\beta_{\text{ox,норм}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\text{срторм}}}{\omega_{\text{ном}}}} = 0,55 + (1 - 0,55) \cdot \sqrt{\frac{38,85}{155,4}} = 0,775,$$

									Арк.
									42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

$$\beta_{\text{ох,дох}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\text{дох}}}{\omega_{\text{ном}}}} = 0.55 + (1 - 0.55) \sqrt{\frac{17}{155,4}} = 0.699,$$

На горизонтальній ділянці довжиною 1000 м:

$$\sum M_{1,i}^2 \cdot t_i = M_{1.1}^2 \cdot t_{\text{раз1}} + M_{1.2}^2 \cdot t_{\text{уст1}} + M_{1.4}^2 \cdot t_{\text{торм1}} + M_{1.5}^2 \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum M_{1,i}^2 \cdot t_i = 2146^2 \cdot 18 + (-1277)^2 \cdot 36,83 + 258^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2 = 1,561 \cdot 10^8 \text{ H}^2 \text{ M}^2 \text{ c}$$

;

$$\sum \beta_{1,i} \cdot t_i = \beta_{\text{ох,раз}} \cdot t_{\text{раз1}} + \beta_{\text{ох,уст}} \cdot t_{\text{уст1}} + \beta_{\text{ох,торм}} \cdot t_{\text{торм1}} + \beta_{\text{ох,дох}} \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum \beta_{1,i} \cdot t_i = 0.868 \cdot 18 + 1 \cdot 36,83 + 0.775 \cdot 16,7 + 0.699 \cdot 7,2 = 70,453 \text{ c}$$

На горизонтальній ділянці довжиною 1500 м:

$$\sum M_{2,i}^2 \cdot t_i = M_{2.1}^2 \cdot t_{\text{раз2}} + M_{2.2}^2 \cdot t_{\text{уст2}} + M_{2.4}^2 \cdot t_{\text{торм2}} + M_{2.5}^2 \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum M_{2,i}^2 \cdot t_i = 2146^2 \cdot 18 + (-1277)^2 \cdot 64,5 + 258^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2 = 2,012 \cdot 10^8 \text{ H}^2 \text{ M}^2 \text{ c}$$

$$\sum \beta_{2,i} \cdot t_i = \beta_{\text{ох,раз}} \cdot t_{\text{раз2}} + \beta_{\text{ох,уст}} \cdot t_{\text{уст2}} + \beta_{\text{ох,торм}} \cdot t_{\text{торм2}} + \beta_{\text{ох,дох}} \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum \beta_{2,i} \cdot t_i = 0.868 \cdot 25 + 1 \cdot 43,125 + 0.775 \cdot 15,28 + 0.699 \cdot 7,2 = 97,145 \text{ c}$$

При русі вгору під ухил:

$$\sum M_{3,i}^2 \cdot t_i = M_{3.1}^2 \cdot t_{\text{раз3}} + M_{3.2}^2 \cdot t_{\text{уст3}} + M_{3.4}^2 \cdot t_{\text{торм3}} + M_{3.5}^2 \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum M_{3,i}^2 \cdot t_i = 4059^2 \cdot 18 + 3190^2 \cdot 20,21 + 1808^2 \cdot 16,7 + 3190^2 \cdot 7,6 = 6,309 \cdot 10^8 \text{ H}^2 \text{ M}^2 \text{ c}$$

$$\sum \beta_{3,i} \cdot t_i = \beta_{\text{ох,раз}} \cdot t_{\text{раз3}} + \beta_{\text{ох,уст}} \cdot t_{\text{уст3}} + \beta_{\text{ох,торм}} \cdot t_{\text{торм3}} + \beta_{\text{ох,дох}} \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum \beta_{3,i} \cdot t_i = 0.868 \cdot 18 + 1 \cdot 20,21 + 0.775 \cdot 16,7 + 0.699 \cdot 7,2 = 53,83 \text{ c}$$

При русі вниз з ухилу:

$$\sum M_{4,i}^2 \cdot t_i = M_{4.1}^2 \cdot t_{\text{раз4}} + M_{4.2}^2 \cdot t_{\text{уст4}} + M_{4.4}^2 \cdot t_{\text{торм4}} + M_{4.5}^2 \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

$$\sum M_{4,i}^2 \cdot t_i = 233,1^2 \cdot 18 + (-635,8)^2 \cdot 20,21 + (-1291)^2 \cdot 16,7 + (-638,5)^2 \cdot 7,2 = 3,985 \cdot 10^7 \text{ H}^2 \text{ M}^2 \text{ c}$$

$$\sum \beta_{4,i} \cdot t_i = \beta_{\text{ох,раз}} \cdot t_{\text{раз4}} + \beta_{\text{ох,уст}} \cdot t_{\text{уст4}} + \beta_{\text{ох,торм}} \cdot t_{\text{торм4}} + \beta_{\text{ох,дох}} \cdot t_{\text{доляг}} ;$$

									Арк.
									43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ				

$$\sum \beta_{4,i} \cdot t_i = 0.868 \cdot 18 + 1 \cdot 20,21 + 0.775 \cdot 16,7 + 0.699 \cdot 7,2 = 53,83c$$

Знайдемо еквівалентний момент:

$$M_9 = \sqrt{\frac{\sum M_{1,i}^2 \cdot t_i + \sum M_{2,i}^2 \cdot t_i + \sum M_{3,i}^2 \cdot t_i + \sum M_{4,i}^2 \cdot t_i}{\sum \beta_{1,i} \cdot t_i + \sum \beta_{2,i} \cdot t_i + \sum \beta_{2,i} \cdot t_i + \sum \beta_{2,i} \cdot t_i}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1,561 \cdot 10^8 + 2,012 \cdot 10^8 + 6,309 \cdot 10^8 + 3,985 \cdot 10^7}{70,453 + 97,145 + 53,83 + 53,83}} = 1929 H_m,$$

Попередньо обраний електродвигун буде відповідати умовам нагріву, якщо:

$$M_9 \leq M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{315000}{155,4} = 2006 H_m$$

де $1929 \leq 2006$ – допустимий момент двигуна для даних умов експлуатації.

Перевірка умов перевантаження двигуна

Електродвигун буде відповідати умовам перевантаження, якщо максимальний момент M_{max} навантажувальної діаграми електроприводу не перевищує максимально допустимого моменту для даного двигуна, тобто:

$$M_{max} \leq M_{max, доп}$$

Максимальний момент навантажувальної діаграми спостерігається під час розгону автобуса при русі під ухил $M_{max} = 3190 H_m$.

За каталожними даними двигуна [3]:

$$\frac{M_{max, доп}}{M_{ном}} = 1,9$$

тоді:

$$M_{max, доп} = 1,9 \cdot M_{ном} = 1,9 \cdot 2003 = 3811 H_m$$

Ця умова виконується, отже обраний двигун відповідає умовам перевантаження.

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			44

4. ВИБІР КОМПЛЕКТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

4.1 Визначення можливих варіантів і обґрунтування вибору типу комплектного перетворювача

Для реалізації обраного закону частотного керування електроприводом виберемо перетворювач частоти, виконаний на інверторі напруги з використанням ШІМ.

При використанні частотного перетворювача запуск двигуна відбувається плавно, без пускових струмів і ударів, що зменшує навантаження на двигун і механіку, збільшуючи термін їх служби.

Застосування частотних перетворювачів з зворотним зв'язком забезпечує точне підтримання швидкості обертання при змінному навантаженні, що у багатьох випадках дозволяє значно покращити якість технологічного процесу.

Для живильної мережі перетворювач є чисто активним навантаженням і споживає рівно стільки енергії, скільки потрібно для виконання механічної роботи (з урахуванням ККД перетворювача та двигуна).

Частотний перетворювач дозволяє регулювати вихідну частоту в межах 0...400 Гц. Розгін і гальмування двигуна здійснюються плавно (за лінійним законом), час розгону і гальмування можна налаштовувати в межах 0.1...30 хв. Можливий плавний реверс двигуна. При розгоні відбувається автоматичне збільшення моменту для компенсації інерційного навантаження. Момент при запуску досягає 150% від номінального.

Частотні перетворювачі забезпечують повний електронний захист перетворювача та двигуна від перевантажень по струму, перегріву, витоку

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

на землю. Перетворювач дозволяє відстежувати і відображати на цифровому пульті основні параметри системи: задану швидкість, вихідну частоту, струм і напругу двигуна, вихідну потужність і момент, стан дискретних входів, загальний час роботи перетворювача тощо. Залежно від характеру навантаження можна обрати вольт-частотну характеристику або створити власну.

На сьогодні існує безліч фірм — виробників частотних перетворювачів («Siemens», «Mitsubishi», «ABB» та інші). Інвертори керуються мікропроцесором. Спеціальний метод широтно-імпульсної модуляції забезпечує винятково тиху роботу двигуна. Захист інвертора і двигуна забезпечується різноманітними захисними функціями.

Вибір перетворювача для регульованого електропривода виконується за номінальною напругою і струмом на вході та виході, максимально допустимим моментом і струмом у перехідному процесі:

$$I_{\max, пр.} \geq I_{\max, \theta}$$

Для цього перетворювача перевіряємо умову можливості працездатності при короткочасному струмі I_{MAX} , що відповідає максимальному моменту електропривода:

$$I_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot \omega_{зад}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}} = \frac{3190 \cdot 155,4}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 0,945} = 775,4$$

Згідно з [4], обираємо перетворювач частоти MITSUBISHI ELECTRIC FR-A540-375k. Технічні характеристики цього перетворювача наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Технічні параметри перетворювача частоти

Тип перетворювача	FR-A540-375k
Номінальна потужність	375 кВт
Номінальний вихідний струм	722 А

Максимальний струм (до 30 с)	1083 А
------------------------------	--------

При використанні цього перетворювача умова роботи на максимальному моменті виконується:

$$I_{\max, np.} \geq I_{\max, \partial}$$

4.2 Переваги частотного перетворювача

Частотні перетворювачі мають численні переваги для електроприводів:

- Плавний запуск і зупинка двигуна, що зменшує навантаження на механіку та подовжує термін її служби.

- Підвищена ефективність та точність регулювання швидкості обертання.

- Можливість реверсу та плавного регулювання моменту.

- Покращена енергоефективність та зниження витрат на електроенергію.

- Повний захист системи від перевантажень, перегріву та інших аварійних ситуацій.

Частотний перетворювач також забезпечує моніторинг основних параметрів системи, таких як швидкість, вихідна частота, струм і напруга двигуна, вихідна потужність і момент, що дозволяє оптимізувати роботу електропривода відповідно до конкретних умов експлуатації.

Таким чином, обраний частотний перетворювач MITSUBISHI ELECTRIC FR-A540-375k відповідає всім вимогам до параметрів електропривода, забезпечуючи його надійну і ефективну роботу.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

5. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

5.1 Розробка математичної моделі автоматизованого електроприводу

Для математичного опису трьохфазного асинхронного двигуна доцільно прийняти наступні припущення:

- намагнічуючі сили обмоток двигуна розподілені синусоїдально вздовж кола повітряного зазору;
- магнітна проникність сталі набагато більша, ніж у повітрі;
- відсутні втрати на гістерезис і вихрові струми;
- втрати в сталі статора і ротора відсутні;
- обмотки статора і ротора строго симетричні зі зсувом вісей обмоток на 120 градусів;
- насичення магнітної ланки відсутнє.

Існує метод математичного опису асинхронного електроприводу з преобразователем частоти, що ґрунтується на повних диференціальних рівняннях асинхронного двигуна, записаних на базі теорії узагальненої електричної машини. Такий підхід дозволяє побудувати структуру системи керування частотним електроприводом, яка називається системою векторного керування, і здійснити аналіз і синтез асинхронного електроприводу більш простими методами. Для цієї мети керовані координати електроприводу, змінені в нерухомій системі координат, перетворюються до обертової системи координат, в якій координати електроприводу розглядаються як векторні величини. З цих величин, розташованих у вигляді проекцій на обертові вісі координат, за допомогою координатних перетворень виділяються пропорційні або постійні величини координат електроприводу, які використовуються як сигнали керування в системі електроприводу.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Диференціальні рівняння асинхронного двигуна

$$\begin{cases} u_{1x} = R_1 i_{1x} + \frac{L_{12}}{L_2} \frac{d\Psi_2}{dt} + \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) \left(\frac{di_{1x}}{dt} - i_{1y} \omega_0' \right), \\ u_{1y} = R_1 i_{1y} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_2 \omega_0' + \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) \left(\frac{di_{1y}}{dt} - i_{1x} \omega_0' \right), \\ 0 = \frac{R_2}{L_2} \Psi_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} - R_2' \frac{L_{12}}{L_2} i_{1x}, \\ 0 = R_2 \frac{L_{12}}{L_2} i_{1y} - \Psi_2 \omega_2, \\ M = \frac{3}{2} p_{\text{п}} \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_2 i_{1y}, \end{cases}$$

де u_{1x} , u_{1y} , i_{1x} , i_{1y} - проекції вектора напруги та струму статора двигуна на вісі x та y ;

Ψ_2 - модуль результуючого вектора потокозчеплення ротора;

$\omega_2 = \omega_0' - \omega$ - кругова частота ковзання ротора відносно поля ротора.

Синтез та аналіз системи зручніше проводити в координатній системі (x, y) . Для цього фазні величини трьохфазної машини перетворюються на відповідні величини еквівалентної двохфазної машини в нерухомій координатній системі (α, β) , а потім в координатну систему, що обертається зі швидкістю потокозчеплення ротора ω_0 - (x, y) .

$$u_\alpha = \sqrt{\frac{2}{3}} u_a,$$

$$u_\beta = \frac{u_b - u_c}{\sqrt{2}},$$

$$u_x = u_\alpha \cos \omega_0 t + u_\beta \sin \omega_0 t,$$

$$u_y = -u_\alpha \sin \omega_0 t + u_\beta \cos \omega_0 t.$$

У цих координатах електромагнітні процеси асинхронного короткозамкненого двигуна описуються наступними рівняннями:

$$x = i_{1x} R_1 + \psi_{1x} - \omega_0 \psi_{1y}, y = i_{1y} R_1 + \psi_{1y} - \omega_0 \psi_{1x},$$

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			49

$$0 = i_2 x R_2 + \psi_{2x},$$

$$= i_2 y R_2 + (\omega_0 - \omega_2) \psi_{2x}.$$

Тут: R_1, R_2 - опір фазних обмоток статора і ротора;

ψ_{1x}, ψ_{2y} - складові потокозчеплення статора;

$\psi_{2x} = \psi_2$ - потокозчеплення ротора;

ω_0 - частота напруги статора;

$\omega_2 = \omega_{рп}$ - кутова швидкість ротора;

$рп$ - кількість пар полюсів.

Вирази потокозчеплень мають вигляд:

$$\psi_{1x} = L_{11} i_{1x} + L_{12} i_{2x},$$

$$\psi_{2x} = L_{12} i_{1x} + L_{22} i_{2x},$$

$$\psi_{1y} = L_{11} i_{1y} + L_{12} i_{2y},$$

$$\psi_{2y} = L_{12} i_{1y} + L_{22} i_{2y}.$$

Тут: L_{12} - взаємна індуктивність фазних обмоток статора і ротора.

Виразимо складові струмів ротора і статора:

$$i_{1x} = K_2 \cdot \psi_{1x} - K_{12} \cdot \psi_{2x},$$

$$i_{2x} = K_1 \cdot \psi_{2x} - K_{12} \cdot \psi_{1x},$$

$$i_{1y} = K_2 \cdot \psi_{1y} - K_{12} \cdot \psi_{2y},$$

$$i_{2y} = K_1 \cdot \psi_{2y} - K_{12} \cdot \psi_{1y}.$$

Тут:

$$K_1 = \frac{L_1}{L_1 \cdot L_2 - L_{12}^2},$$

$$K_2 = \frac{L_2}{L_1 \cdot L_2 - L_{12}^2},$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$K_{12} = \frac{L_{12}}{L_1 \cdot L_2 - L_{12}^2} .$$

Електромагнітний момент дорівнює:

$$M = 2 \cdot p_r \cdot L_{12} \cdot (i_{1y} \cdot i_{2x} - i_{1x} \cdot i_{2y}) .$$

Швидкість визначається з виразу

$$\frac{Jd\omega}{dt} M - M_c .$$

Отримана структура асинхронного двигуна показана на рисунку 5.1. Вона є складною системою взаємопов'язаних ланок управління. Однак вона дозволяє відносно просто досліджувати динамічні властивості двигуна при вказаних та збудних впливах і визначити параметри двигуна за допомогою методів моделювання.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

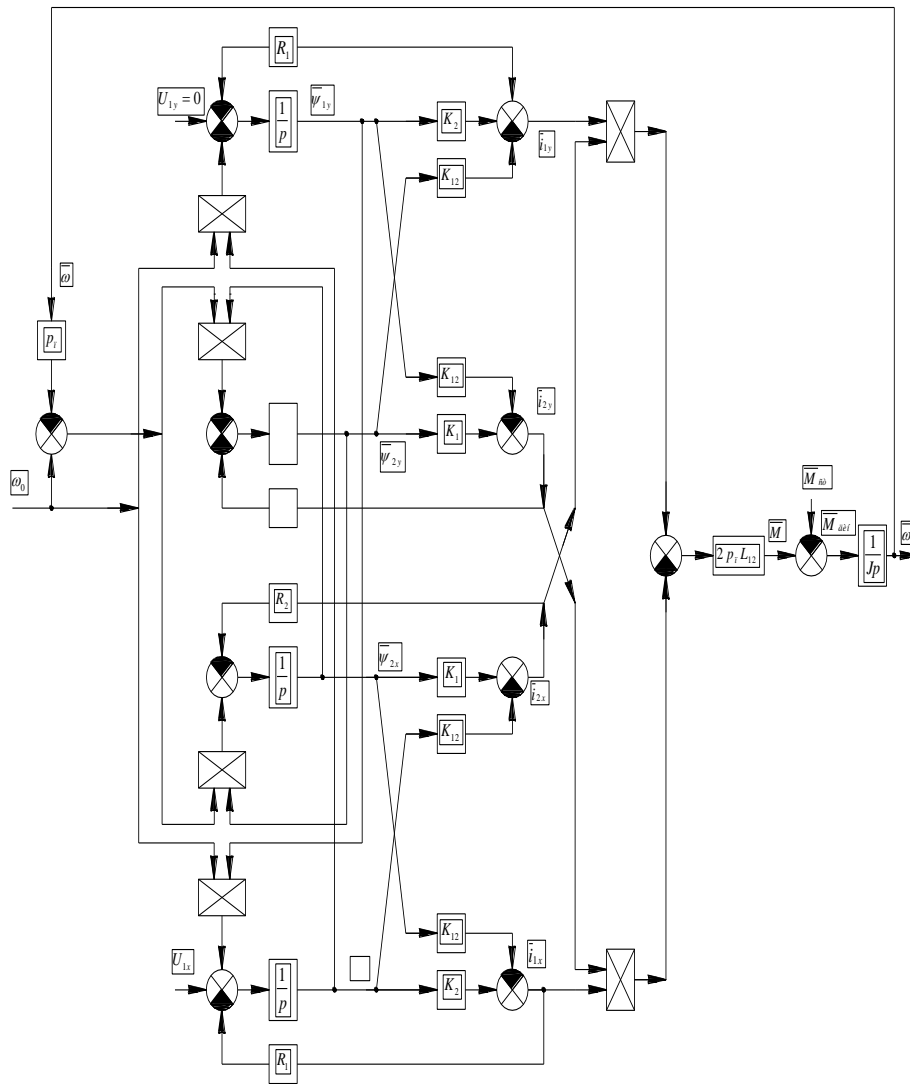


Рисунок 5.1 – Структура асинхронного двигуна

На основі еквівалентної електричної схеми можна скласти систему диференціальних рівнянь за законами Кірхгофа:

$$U_d = R_f \cdot i_d + L_f \cdot \frac{di_d}{dt} + V,$$

$$V = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt,$$

$$i_d - i_c - i - i_T = 0,$$

де U_d - напруга на виході неуправляемого випрямляча,

R_f - опір ланки випрямляча,

I_d - струм на виході випрямляча.

Випрямлена ЕДС випрямляча може бути представлена виразом:

$$e_d = U_{1m} \sin\left(\omega_1 t + \varphi_0 - n \frac{2\pi}{m'}\right),$$

де U_{1m} - максимальне значення напруги живлення випрямляча,

ω_1 - кутова частота напруги живлення випрямляча,

$\varphi_0 = \pi\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{m'}\right)$ - кут, що відповідає моменту природного відкриття

випрямляча,

m' - пульсація схеми випрямляча,

n - ціла частина від $\left(\frac{\omega_1 t}{2\pi / m'}\right)$, $n = \left[\frac{\omega_1 t}{2\pi / m'}\right]$

Для математичного опису напруги на виході випрямляча виділимо два інтервали:

- інтервал, що відповідає відкритому стану діода VD, коли ;
- інтервал, що відповідає закритому стану діода VD, коли .

Отже, напруга на виході випрямляча буде дорівнювати:

$$U_d = \begin{cases} e_d, & \text{если } e_d \geq V, \\ V, & \text{если } e_d < V. \end{cases}$$

При гальмуванні двигуна ключ S7 у ланці гальмування керується за сигналами датчика напруги. Замикання ключа відбувається в момент, коли напруга на конденсаторі фільтра C1 перевищує допустиме значення в інші часи ключ розімкнений. Отже, струм ланки гальмування можна описати наступним виразом:

$$i_T = \begin{cases} 0, & \text{если } e_d \geq U_{дон}, \\ \frac{V}{R_t}, & \text{если } e_d < U_{дон}. \end{cases}$$

Де R_t - опір ланки гальмування.

Вищезазначені рівняння описують математичну модель системи «мережа-неуправляемий випрямляч-фільтр-ланка гальмування».

6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Розрахунок техніко-економічних показників здійснюється на основі аналізу порівняльних технічних даних двох альтернативних систем електроприводу. Економічна оцінка базується на принципі мінімальних витрат: мінімальних початкових витрат, експлуатаційних витрат, витрат електроенергії, витрат, пов'язаних із простоем електрообладнання. З технічних міркувань прийнято комплектний електропривід змінного струму фірми MITSUBISHI ELECTRIC типу FR-A540-375k. Порівняємо цей електропривід з електроприводом постійного струму. Технічні дані електрообладнання порівнюваних систем подано в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Технічні дані електрообладнання порівнюваних систем

Параметри	Варіант з ДПС	Проектований варіант
Тип двигуна	під замовлення	4A355M4У3.
Потужність, кВт	315	315
Коефіцієнт корисної дії, %	88,5	94,5
Частота обертання, об/хв	1450	1470
Тип претворювача	-	FR-A540-375k
Потужність преобразователя, кВт	-	375
Коефіцієнт корисної дії претворювача, %	-	0,98
Передавальний механізм	Коробка передач	Редуктор

Найбільш вартісними складовими електроприводу є двигун, претворювач та передавальний механізм. Таким чином, витрати на електропривід для варіанту з ДПС:

$$K_{\text{ЭП1}} = K_{\text{дв1}} + K_{\text{пра1}} + K_{\text{кс}}$$

Де Кдв1 - вартість електродвигуна під замовлення,

$$K_{\text{дв1}} = 4906730 \text{ грн.},$$

Кпра - вартість пусконаладжувальної апаратури, $K_{\text{пра1}} = 77500$ грн.,

Ккс - вартість коробки передач, $K_{\text{кс}} = 153500$ грн.

Для проектованого варіанту:

$$K_{\text{ЭП2}} = K_{\text{дв2}} + K_{\text{пра2}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{р}},$$

де Кдв2 - вартість електродвигуна 4А355М4У3,

$$K_{\text{дв2}} = 1816060 \text{ грн.},$$

Кпр - вартість преобразователя MITSUBISHI ELECTRIC,

$$K_{\text{пр}} = 423530 \text{ грн.},$$

Кр - вартість редуктора, $K_{\text{р}} = 57000$ грн.

Кпра - вартість пусконаладжувальної апаратури, $K_{\text{пра1}} = 37400$ грн.,

Вартість монтажних робіт обчислюється окремо для електроприводу та робочого механізму. Для електроприводу цю величину можна взяти рівною 6% від вартості електроприводу, для робочого механізму - 5% від вартості електроприводу. Таким чином, вартість монтажних робіт:

для варіанта з ДПС:

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$K_{mp1} = (0,06 + 0,05) \cdot K_{ЭП1} = 0,11 \cdot 51377310 = 5651500 \text{ руб}$$

для проектового варіанту:

$$K_{mp2} = (0,06 + 0,05) \cdot K_{ЭП2} = 0,11 \cdot 23340000 = 2567400 \text{ руб}$$

Транспортно-заготовельні роботи складають 2% від суми вартості електроприводу та вартості монтажних робіт

для варіанту з ДПС:

для проектового варіанту:

Планове накопичення монтажної організації складає 10% від вартості монтажних робіт

для варіанту з ДПС:

для проектового варіанту:

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Для наочності виконаного розрахунку капітальних витрат для обох варіантів складемо в таблицю 6.2

Таблиця 6.2

Капітальні вкладення для обох варіантів

Джерело витрат	для варіанта з ДПС	Проектований варіант
Електродвигун, грн.	4906731	1816062
Претворювач, грн.	-	423538
Пускорегулювальна апаратура, грн	77500	37400
Механічна передача, грн.	153500	57000
Монтажні роботи, грн.	565150	256740
Транспортно-заготовельні роботи, грн.	114058	51815
Планові накопичення монтажною організацією, грн	11406	5182
Сумарні капітальні вкладення, грн.	5828345	2647737

При розрахунку експлуатаційних витрат важливе значення має величина періоду, за який проводиться розрахунок. При порівнянні приводів обмежимося періодом 20 років.

Витрати на електроенергію визначаються кількістю енергії, споживаної за рік, номінальною потужністю двигунів, а також тарифною ставкою на електроенергію. Для розрахунку енергії, споживаної за рік, потрібно знати загальний час роботи електроприводу за рік, яке визначається коефіцієнтом використання:

$$K_{исп} = \frac{ПВ \cdot t_{роб.см}}{t_{см}},$$

де ПВ - тривалість увімкнення установки, од.;

$t_{роб.см}$ - тривалість роботи установки за зміну, $t_{роб.см} = 8$ год;

$t_{см}$ - число робочих годин за зміну, $t_{см} = 8$ год.

$$K_{исп} = \frac{1 \cdot 8}{8} = 1$$

Визначимо число робочих годин установки за рік:

$$T_y = T_{роб.дн.} \cdot n_{см} \cdot t_{см} \cdot K_{исп} ,$$

де $T_{роб.см.}$ - число робочих днів у році, $T_{роб.см.} = 365$;

$n_{см}$ - число змін на добу, $n_{см} = 2$;

$$T_y = 365 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 1 = 4048 \text{ ч}$$

Визначимо енергію, споживану за рік:

для варіанта з ДПС :

$$\mathcal{E}_{21} = \frac{P_{ном1} \cdot T_y}{\eta_{н1}}$$

Де $P_{ндвх}$, η_x - номінальні параметри двигуна, див. таблицю 6.1;

$$\mathcal{E}_{21} = \frac{315000 \cdot 4048}{0,885} = 1440 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

для проектового варіанту:

$$\mathcal{E}_{22} = \frac{P_{ном2} \cdot T_y}{\eta_{н2}} = \frac{315000 \cdot 4048}{0,945} = 1350 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

Отже, витрати на електроенергію за 20 років експлуатації

для варіанта з ДПС :

$$C_{Э1} = \mathcal{E}_{21} \cdot C_{мс} \cdot 20 ;$$

де $C_{тс}$ - тарифна ставка, $C_{тс} = 8$ грн/кВтгод;

для проектового варіанту:

$$C_{Э2} = 1350000 \cdot 87,34 \cdot 20 = 2358180000 \text{ руб}$$

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Амортизаційні відрахування складають 9,5% від загальної вартості електропривода. Тоді для обох варіантів:

Плановий час між капітальними плановими ремонтами для асинхронного двигуна:

$$T_{пл.ад} = T_{табл.дв} \cdot \beta_p \cdot \beta_o ,$$

де $T_{табл.дв}$ - тривалість ремонтного циклу для електродвигуна, $T_{табл.дв} = 9$ років;

β_p - коефіцієнт, що враховує змінність роботи обладнання, $\beta_p = 2$;

β_o - коефіцієнт, що враховує скорочення ремонтного циклу машин, які відносяться до категорії основного обладнання, $\beta_o = 0,85$.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Для частотного перетворювача:

$$T_{пл.пч} = T_{табл.пч} \cdot \beta_o ,$$

де $T_{табл.пч}$ - тривалість ремонтного циклу для частотного перетворювача, $T_{табл.пч} = 6$ років.

Для редуктора:

$$T_{пл.р} = T_{табл.р} \cdot \beta_o$$

Для коробки швидкостей:

$$T_{пл.кс} = T_{табл.кс} \cdot \beta_o$$

Калькуляція планових термінів між капітальними плановими ремонтами для асинхронного двигуна:

Для частотного перетворювача:

Для редуктора:

Для коробки швидкостей:

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За отриманими значеннями можна розрахувати кількість капітальних і поточних ремонтів на рік. Кількість капітальних ремонтів на рік складає:

$$M_{к.р.ад} = \frac{1}{T_{плад}} = \frac{1}{15,3} = 0,065 ;$$

$$M_{к.р.лч} = \frac{1}{T_{пллч}} = \frac{1}{5,1} = 0,196 ;$$

$$M_{к.р.р} = \frac{1}{T_{плад}} = \frac{1}{4,25} = 0,235 ;$$

$$M_{к.р.кк} = \frac{1}{T_{плкк}} = \frac{1}{4,25} = 0,235 .$$

Кількість поточних ремонтів на рік визначається аналогічно:

$$M_{т.р.ад} = 0,079 , M_{т.р.лч} = 0,079 , M_{т.р.р} = 0,238 , M_{т.р.кк} = 0,238 .$$

За заданою кількістю ремонтів на рік, а також за заданою нормою трудомісткості визначається річна трудомісткість ремонтів. Річна трудомісткість ремонтів електричних машин розраховується за формулою:

$$T_{к.р.ад} = M_{к.р.ад} \cdot H_{к.р.дв} \cdot K_{\omega}$$

де $H_{к.р.ад}$ - норма трудомісткості капітальних ремонтів для двигуна,
 $H_{к.р.ад} = 32$ людино-годин;

K_{ω} - поправочний коефіцієнт, який враховує частоту обертання електродвигуна, $K_{\omega} = 1,1$.

Для частотного перетворювача:

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для редуктора:

Для коробки передач:

Річна трудомісткість поточних ремонтів для відповідних типів обладнання розраховується за подібною методикою.

Визначаємо аналогічно трудомісткість капітальних ремонтів:

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Для зручності порівняння виконаний розрахунок трудомісткості ремонту і технічного обслуговування для обох варіантів зведено в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3

Трудомісткість ремонту і технічного обслуговування для обох варіантів

Тип обладнання	Базовий варіант	Проект. варіант
Річна трудомісткість капітальних ремонтів, людино-годин		
Електродвигун	2,4	2,4
Перетворювач	-	8,4
Пускорегулююча апаратура	0,6	0,6
Механічна передача	16,8	12,4
Річна трудомісткість поточних ремонтів, людино-годин		
Електродвигун	3,82	3,82
Перетворювач	-	2,13
Пускорегулююча апаратура	0,95	0,95
Механічна передача	15,4	12,1
Річна трудомісткість технічного обслуговування, людино-годин		
Електродвигун	22,8	22,8
Перетворювач	-	28,4
Пускорегулююча апаратура	6,8	5,7
Механічна передача	98,8	55,8
Сумарна трудомісткість експлуатації обладнання:	168,37	155,5

ВИСНОВОК

В результаті виконання дипломної роботи на тему «Розробка та дослідження автоматизованого тягово-гальмівного електромеханічного модуля для автобуса» встановлено наступне:

1. Аналіз стану та перспектив розвитку електромобілів, а також автомобілів з двигунами внутрішнього згорання показав стійку тенденцію до розширення застосування комбінованих енергетичних установок.

2. Результати математичного моделювання підтвердили доцільність і можливість широкого застосування тягово-гальмівного модуля в роботі автобуса.

3. Застосування цього модуля дозволяє суттєво знизити витрату пального автобуса в міському циклі.

4. Використання модуля зменшує викиди вихлопних газів в навколишнє середовище та знижує знос гальмівних колодок, що призводить до збільшення їхнього терміну експлуатації.

5. Аналіз економічної частини показав, що варіант з використанням перетворювача частоти та асинхронного двигуна (ПЧ-АД) вдвічі вигідніший у порівнянні з варіантом з постійним струмом (ДПТ).

6. Час зарядки накопичувача електричної енергії струмом 10А становить :

$$\Delta t = \frac{\Delta U_c}{I} ,$$

$$\Delta t = \frac{\Delta U_c}{I} = \frac{600 \cdot 130}{10} = 7800 \text{с} \approx 2 \text{ год}$$

						ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			64

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Болтенко В. К. Основи теорії електроприводу. / Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 2010. – 432 с.
2. Дмитрієв Ю. М. Електропривод: Теорія та практика. / Підручник. – Харків: Прапор, 2005. – 512 с.
3. Лісіцин М. О. Електромеханічні системи автоматичного керування. / Навчальний посібник. – Одеса: ОНПУ, 2012. – 368 с.
4. Суханов В. І. Сучасні методи управління електроприводами. / Монографія. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – 294 с.
5. Федоренко С. В. Теорія автоматичного керування електроприводами. / Підручник. – Львів: Львівська політехніка, 2009. – 451 с.
6. Кучер П. О. Системи автоматичного керування електроприводами. / Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 387 с.
7. Морозов М. М. Електропривод: Навчальний посібник. – Суми: СумДУ, 2013. – 425 с.
8. Черненко В. І. Основи електромеханіки та електроприводу. / Навчальний посібник. – Чернігів: ЧНТУ, 2007. – 399 с.
9. Петренко О. В. Інтелектуальні системи управління електроприводом. / Монографія. – Київ: НАУ, 2010. – 288 с.
10. Бондар Г. С. Електропривод та автоматизація промислових установок. / Навчальний посібник. – Дніпро: ДНУ, 2015. – 472 с.

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ДОДАТКИ

					ДРАТТАМ 24. 21147.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66