

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

кваліфікаційної роботи ступеню магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Хорошкова Олексія Павловича  
(ПІБ)

академічної групи 141М-17-4  
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

(офіційна назва)

на тему Розробка електропривода електричного автомобіля типу «Кросовер»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Балахонцев О.В.			
розділів:				
Спеціальна частина	Балахонцев О.В.			
економічний	Тимошенко Л.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Казачковський М.М.			
----------------	--------------------	--	--	--

Дніпро  
2018

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня \_\_\_\_\_ магістра \_\_\_\_\_**  
**(бакалавра, спеціаліста, магістра)**

студенту Хорошков О.П. академічної групи 141М-17-4  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

(офіційна назва)

на тему Розробка електропривода електричного автомобіля типу «Кросо-вер»,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від  
№ \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічний	Опис механізму. Розрахунок сил та параметрів системи, що впливають на вибір двигуна	
Автоматизований електропривод	Вибір двигуна, перетворювача, складання схем для підключення силової частини приводу та перетворювача.	
Дослідження динаміки електроприводу	Моделювання системи керування двигуном, побудова структурної схеми двигуна та системи керування. Отримання графіків перехідних процесів.	
Техніко-економічне обґрунтування	Провести розрахунки капітальних затрат та експлуатаційних витрат при модернізації системи електропривода.	

Завдання видано \_\_\_\_\_ Балахонцев О.В. \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Хорошков О.П. \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з 44 с., 14 рис., 6 табл., 17 джерел, презентація на 11 слайдах.

Об'єкт детальної розробки: розробка електропривода електричного автомобіля типу «Кросовер».

Мета роботи: модернізація автомобіля заміною двигуна внутрішнього згоряння на електропривід.

Вибрані елементи силового кола: двигун постійного струму Kostov Motors K11 Dual, перетворювач Evnetics Solution Jr., аккумуляторна батарея.

Здійснено розрахунок перехідних процесів у середовищі Simulink програмного забезпечення Matlab в режимах пуску, прикладення навантаження та гальмування. Отримано діаграми навантаження та швидкості розробленої моделі.

Витрати на паливо та експлуатацію були скорочені в декілька разів за рахунок зміни палива на електроенергію, а також підвищення надійності системи за рахунок спрощення конструкції. Строк окупності проекту склав менше 5 років.

**ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, СИНТЕЗ САР, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.**

					ЕП.ПД.18.14.Р.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

The explanatory notes consist of 44 pages, 14 figures, 6 tables, 17 sources, the presentation on 11 slides.

The object of detailed development: the development of electric drive electric car "Crossover" type.

Objective: modernization of the car by replacing the internal combustion engine with the electric drive.

Selected elements of the power circle: DC motor Kostov Motors K11 Dual, converter Evnetics Solution Jr., rechargeable battery.

The calculation of transition processes in the Simulink Matlab software in startup, load application and inhibition modes is calculated. Load diagrams and speeds of the developed model are obtained.

Fuel and operation costs were reduced several times due to fuel changes for electricity, as well as increased reliability of the system due to simplification of the design. The payback period of the project was less than 5 years.

DC MOTOR, SELECTION OF POWER SUPPLY, SYNTHESIS OF BAR, ENERGY SAVING.

					<i>ЕП.ПД.18.14.Р.ПЗ</i>	Арк.
						4
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Зміст:

Вступ.....	6
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Опис механізму.....	8
1.2 Вимоги до електроприводу.....	11
1.3 Розрахунок потужності.....	13
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	19
2.1 Вибір компонентів електромобіля.....	20
2.2 Обґрунтування вибору електроприводу.....	22
2.3 Функціональна та електрична схеми підключення.....	24
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	27
3.1 Розрахунок параметрів САР однозонного електропривода.....	28
3.2 Дослідження динаміки електроприводу за допомогою цифрового моделювання на ЕВМ.....	30
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ.....	32
4.1 Розрахунок капітальних витрат.....	33
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	37
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	37
4.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт.....	38
4.2.3 Розрахунок вартості спожитого палива.....	40
4.3 Розрахунок економічної ефективності впровадження проектного рішення.....	41
Висновки.....	43
Список використаної літератури.....	44

## ВСТУП

На сьогоднішній день нікого не здивувати автомобілем, який використовує як паливо – електроенергію. Переобладнання авто з двигуном внутрішнього згоряння на електропаливо стало особливо популярним в Україні за останні роки.

Основною причиною таких трансформації є економічність, оскільки ціна на електроенергію нижче навіть чим ціна природного газу.

Переобладнання дуже актуально для компаній, які займаються доставкою або розвезенням дрібногабаритного і легкого вантажу, доставкою їжі з ресторанів, кур'єрських служб. Часто компаніям необхідно вирішувати проблему: що робити зі зношеними автомобілями? Ремонт - неефективне і ресурсовитратно, тим більше що це дає лише тимчасовий результат і з часом до цього питання необхідно повертатися знову, закупівля нових автомобілів - дорого. Переобладнання вирішує цю проблему, так як вклавшись один раз, Ви закриваєте всі питання. Електромобіль не вимагає частого обслуговування, він набагато надійніше свого бензинового аналога, дешевше свого заводського брата

Проектування - це кропіткий творчий пошук, який обов'язково супроводжується необхідними проектними та перевірочними розрахунками, пов'язаними з досягненням заданих показників точності та надійності та продуктивності.

Тільки інженер, який володіє гарною загальною конструкторською та технологічною підготовкою, може створити сучасну машину або систему, відтворюючи відомі йому прототипи, але на більш високому науково-технічному рівні.

					<i>ЕП.ПД.18.14.ВС.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П.</i>			<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В</i>					6	1
<i>Реценз.</i>						<i>Національний ТУ «Дніпровська політехніка» 141М-17-4</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М</i>						
<i>Затверд.</i>								

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

					<i>ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П</i>			<i>Технологічна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В</i>					<i>7</i>	<i>392</i>
<i>Реценз.</i>						<i>Національний ТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М</i>				<i>«Дніпровська політехніка»</i>		
<i>Затверд.</i>						<i>141м-17-4</i>		

## 1.1 Опис механізму

Електромобіль – це автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від автономного джерела електроенергії, а не двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ). Електромобіль слід відрізнити від автомобілів з ДВЗ і електричною передачею, а також від тролейбусів та трамваїв.

До головних складових електромобіля відносять:

- електродвигун;
- акумуляторна батарея;
- спрощена трансмісія;
- інвертор;
- зарядний пристрій на борту;
- електронна система керування елементами конструкції;
- перетворювач.

Для коректної роботи ємність акумуляторної батареї підбирають з урахуванням потужності двигуна.

Забезпеченням зарядки додаткової батареї на 12 В займається перетворювач. Ця батарея служить в якості живлення різних елементів транспортного засобу, таких як:

- аудіо система;
- клімат – контроль;
- освітлення.

Система керування організовує такі процеси:

- моніторинг використаної енергії;
- керування рекуперацією енергії гальмування;
- оцінка рівня заряду;
- керування динамікою руху;
- регулювання тяги;

					ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



– керування напругою.

Якщо порівнювати електромобіль з авто, де використовується ДВС, то можна відмітити наступні переваги та недоліки. До переваг відносять:

– відсутність шкідливих вихлопів;

– простота конструкції і управління;

– компактність, мала вага;

– масове застосування електромобілів змогло б допомогти у вирішенні проблеми «енергетичного піку» за рахунок підзарядки акумуляторів в нічний час;

– тягові електродвигуни мають ККД до 90–95% в порівнянні з 22–60% у ДВС;

– менший шум за рахунок меншої кількості рухомих частин і механічних передач;

– висока плавність ходу;

– можливість підзарядки джерела енергії під час рекуперативного гальмування;

– можливість гальмування самим електродвигуном ( режим електромагнітного гальма) без використання механічних гальм.

Недоліки:

– акумулятор електромобіля.

Також, слабким місцем електромобіля є невисокий рівень автономного функціонування, викликаний коротким кілометражем без підзарядки. Цей параметр визначається наступними факторами:

– стилем водіння;

– умовами та швидкістю пересування;

– ємністю використовуваних акумуляторів;

– рівнем використання додаткового обладнання.

					<i>ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Наприклад, при швидкості 80 км/год середній показник дальності пересування електричного транспортного засобу складе близько 140 км. Якщо ж підвищити швидкість до 120 км/год, цей показник різко впаде до 80 км. Завдяки впровадженню систем рекуперативного гальмування ступінь автономності може підвищуватися до показника в 300 км та більше.

Таблиця 1.1 – Огляд існуючих рішень.

Авто	Потужн. Р, кВт	Батарея кВт · год	Оберт. момент, Нм	Перетворювач	Тип двигуна	Вага, кг
Ford Focus electric	107 (143 л.с)	23	250	–	–	1650
Nissan Leaf	80 (109 л.с)	24	280	редуктор	EM57	1521
Renault Kangoo ZE	44 (60 л.с)	22	226	Редуктор та інвертор заднього руху	Синхронний електромотор перемінного струму	1570
Toyota RAV4 EV	115 (154 л.с)	30-41,8	218-273	–	–	2270
Volkswagen e-Up	60 (82 л.с)	18,7	210	редуктор	2 асинхронних	1500
Audi e-tron	265-300 (360-408 л.с)	95	561-664	–	–	–
I-Pace	290 (400 л.с)	90	696	1-ступ. Коробка та диференціал	2 синхронних з постійними магнітами (EV400)	2670
BYD E6	75 (268 л.с)	75	406	варіатор	Синхронний з постійними магнітами	2020

Для розрахунку приймаємо вагу електромобіля  $m = 1750$  кг; нормальні умови навколишнього середовища та кут нахилу дорожнього покриття  $\alpha = 0^\circ$ .

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ				

## 1.2 Вимоги до електроприводу

1. **Надійність.** Як і будь-який технічний об'єкт, електропривод зобов'язаний виконувати задані функції в обговорених умовах протягом певного проміжку часу.

2. **Точність.** Цей показник відноситься до головної функції електроприводу – здійснювати керований рух. Електропривод повинен підтримувати швидкість на заданому рівні, не виходячи за допустимі відхилення.

3. **Швидкодія** – здатність системи досить швидко реагувати на різноманітні впливи. Наприклад, усувати відхилення від заданої швидкості викликане поривами вітру.

4. **Якість динамічних процесів.** Забезпечення певних закономірностей їх протікання в часі.

5. **Енергетична ефективність.** Цей показник став особливо істотним останнім часом. Оскільки будь-який процес передачі і перетворення енергії супроводжується її втратами, важливо, яка питома частка цих втрат.

6. **Сумісність** електроприводу з системою електропостачання та інформаційною системою більш високого рівня є важливим показником, який став істотним лише останнім часом, коли до складу електроприводу увійшли напівпровідникові перетворювачі, що генерують вищу гармоніки і в силу цього шкідливо впливають на мережу живлення.

7. **Ресурсоємність.** Матеріаломісткість і енергоємність, закладені в конструкцію та технологію виробництва, трудомісткість при виготовленні, монтажі, наладці, експлуатації та ремонті.

Тягові електродвигуни експлуатуються в складних погодних умовах, у вологому та запиленому повітрі. На відміну від електродвигунів загального призначення ТЕД працюють в найрізноманітніших режимах (короткочасних, повторно-короткочасних з частими пусками), що супроводжуються широкою зміною частоти обертання ротора і навантаження по струму.

					ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Струм при рушанні з місця може в 2 – 3 рази перевищувати номінальний.

При експлуатації ТЕД мають місце часті механічні, теплові та електричні перевантаження, тряска, поштовхи і вібрації. Тому при розробці їх конструкції передбачають підвищену електричну і механічну міцність деталей та вузлів, теплостійку і вологостійку ізоляцію струмоведучих частин та обмоток, стійку комутацію.

Тягові електродвигуни повинні мати характеристики, що забезпечують високі тягові та енергетичні властивості рухомого складу.

Як правило, визначають наступні характеристики:

- електромеханічні;
- електротягові;
- тягові;
- теплові (залежність температур окремих частин від часу при різній силі струму);
- аеродинамічні (характеризують обдув двигуна).

Електромеханічні: залежність від струму якоря; частоти обертання; обертаючого моменту та ККД.

Електротягові: залежність від струму якоря; навколишнього середовища рушійних коліс; сили тяги та ККД на ободі рушійних коліс.

Експлуатаційні властивості тягових електродвигунів можуть бути універсальними, тобто підходящі всім видам ЕРС, та приватними, тобто для ЕРС певних видів. Деякі експлуатаційні властивості можуть бути взаємосуперечливими.

Згідно завданню на швидкість електромобіль повинен розвинути швидкість  $v = 50$  км/год, рухатися деякий час з цією швидкістю, та зупинитися.

					<i>ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

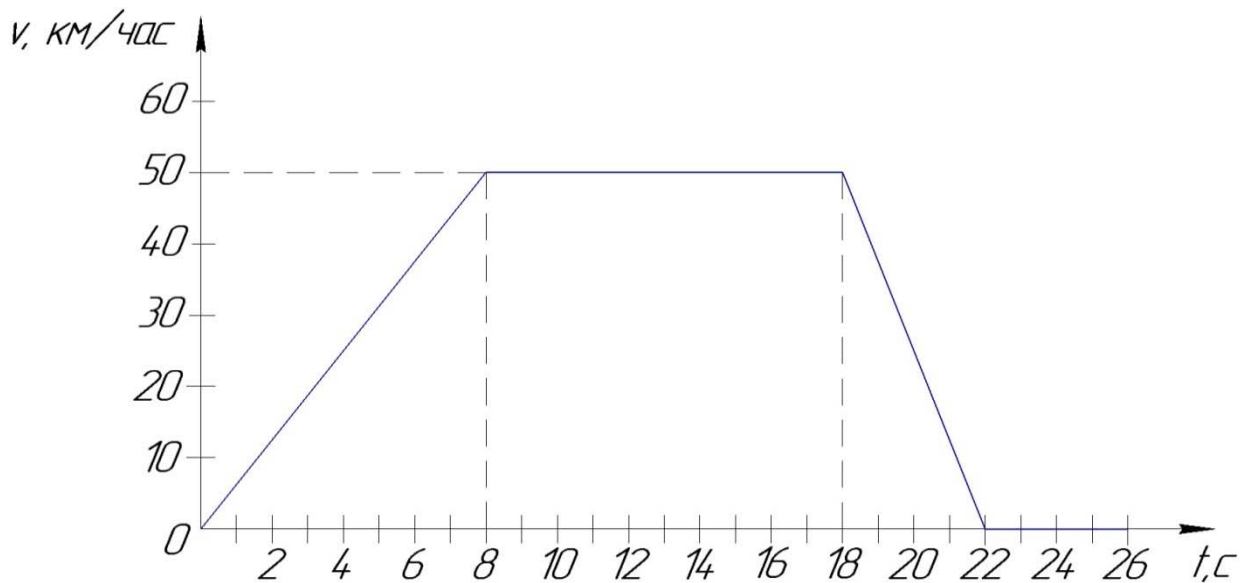


Рис.1 Завдання на швидкість.

### 1.3 Розрахунок потужності

Для того, щоб починати розрахунки, треба визначити основні сили, що діють на електромобіль:

1.  $F_{\text{кач}}$  – сила тертя кочення коліс;
2.  $F_{\text{під}}$  – сила опору підйому;
3.  $F_{\text{пов}}$  – сила опору повітря.

При руху електромобіля на швидкостях, які перевищують швидкість пішоходів, є помітний вплив сили опору повітря. Для розрахунку сили опору повітря використовують наступну емпіричну формулу:

$$F_{\text{пов}} = C_x \cdot S \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{50^2}{2} = 1967,6 \text{ Н}, \quad (1.1)$$

де,  $C_x$  – коефіцієнт опору повітря (визначається для кожного кузова експериментально),  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м} \cdot \text{кг}$ ;  $S$  – лобова площа електромобіля,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  – щільність повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $v$  – швидкість електромобіля,  $\text{км}/\text{год}$ .

При руху електромобіля під ухил, на нього діє сила опору підйому:

$$F_{\text{під}} = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 1750 \cdot 9,81 \cdot 0 = 0 \text{ Н}. \quad (1.2)$$

									ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ	Арк.
										13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Для розрахунку сили тертя кочення коліс треба враховувати деформацію шини, силу тертя шини, деформацію дороги, силу тертя шини о дорогу та силу тертя в підшипниках колеса. Так як розрахунок впливу даних величин достатньо складний, то на практиці використовують емпіричні коефіцієнти тертя кочення.

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти тертя кочення.

Дорога	Коефіцієнт тертя кочення, $f$	
	При швидкості 50 км/год	Середнє значення
З асфальтобетонним або цементобетонним покриттям у відмінному стані	0,014	0,014 – 0,018
З асфальтобетонним або цементобетонним покриттям у задовільному стані	0,018	0,018 – 0,020
Булижна мостова	0,025	0,023 – 0,030
Гравій	0,020	0,020 – 0,025
Грунтовка: суха, укочена	–	0,025 – 0,035
Грунтовка: після дождю	–	0,050 – 0,150
Пісок	–	0,100 – 0,300
Укочений сніг	–	0,070 – 0,100

$$F_{\text{кач}} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha = 0,018 \cdot 1750 \cdot 9,81 \cdot 1 = 309 \text{ Н}, \quad (1.3)$$

де,  $f$  – коефіцієнт тертя кочення;  $m$  – вага електромобіля, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\alpha$  – кут нахилу дороги, °.

$$F_c(v) = F_{\text{пов}}(v) + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}}; \quad (1.4)$$

$$F_{\text{дин}} = m \cdot a \frac{dv}{dt}; \quad (1.5)$$

$$F_{\text{прив}} = F_c(v) + F_{\text{дин}}; \quad (1.6)$$

Розрахуємо дію сили опору повітря залежно від швидкості руху:

$$F_{\text{пов0}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{0^2}{2} = 0 \text{ Н}; \quad (1.7)$$

$$F_{\text{пов0}} = F_{\text{пов22}} = F_{\text{пов23}} = F_{\text{пов24}} = F_{\text{пов25}} = F_{\text{пов26}};$$

$$F_{\text{пов1}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{6,25^2}{2} = 30,74 \text{ Н}; \quad (1.8)$$

$$F_{\text{пов2}} = F_{\text{пов21}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{12,5^2}{2} = 122,97 \text{ Н}; \quad (1.9)$$

$$F_{\text{пов3}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{18,75^2}{2} = 276,69 \text{ Н}; \quad (1.10)$$

$$F_{\text{пов4}} = F_{\text{пов20}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{25^2}{2} = 491,89 \text{ Н}; \quad (1.11)$$

$$F_{\text{пов5}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{31,25^2}{2} = 768,58 \text{ Н}; \quad (1.12)$$

$$F_{\text{пов6}} = F_{\text{пов19}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{37,5^2}{2} = 1106,75 \text{ Н}; \quad (1.13)$$

$$F_{\text{пов7}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{43,75^2}{2} = 1506,41 \text{ Н}; \quad (1.14)$$

$$F_{\text{пов8}} = 0,427 \cdot 2,67 \cdot 1,29 \cdot \frac{50^2}{2} = 1967,56 \text{ Н}; \quad (1.15)$$

$$F_{\text{пов8}} = F_{\text{пов9}} = F_{\text{пов10}} = F_{\text{пов11}} = F_{\text{пов12}} = F_{\text{пов13}} = F_{\text{пов14}} = F_{\text{пов15}} = F_{\text{пов16}} = \\ = F_{\text{пов17}} = F_{\text{пов18}};$$

Розрахуємо повну величину сил діючих на електромобіль:

$$F_{c0} = F_{\text{пов0}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 0 + 0 + 309,02 = 309,02 \text{ Н}; \quad (1.16)$$

$$F_{c0} = F_{c22} = F_{c23} = F_{c24} = F_{c25} = F_{c26};$$

$$F_{c1} = F_{\text{пов1}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 30,75 + 0 + 309,02 = 339,76 \text{ Н}; \quad (1.17)$$

$$F_{c2} = F_{\text{пов2}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 122,97 + 0 + 309,02 = 431,99 \text{ Н}; \quad (1.18)$$

$$F_{c3} = F_{\text{пов3}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 276,69 + 0 + 309,02 = 585,7 \text{ Н}; \quad (1.19)$$

$$F_{c4} = F_{\text{пов4}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 491,89 + 0 + 309,02 = 800,9 \text{ Н}; \quad (1.20)$$

$$F_{c5} = F_{\text{пов5}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 768,58 + 0 + 309,02 = 1077,59 \text{ Н}; \quad (1.21)$$

$$F_{c6} = F_{\text{пов6}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 1106,75 + 0 + 309,02 = 1415,77 \text{ Н}; \quad (1.22)$$

$$F_{c7} = F_{\text{пов7}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 1506,41 + 0 + 309,02 = 1815,43 \text{ Н}; \quad (1.23)$$

$$F_{c8} = F_{\text{пов8}} + F_{\text{під}} + F_{\text{кач}} = 1967,56 + 0 + 309,02 = 2276,57 \text{ Н}; \quad (1.24)$$

$$F_{c2} = F_{c21}; F_{c4} = F_{c20}; F_{c6} = F_{c19};$$

					ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ	Арк.
						165
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{c8} = F_{c9} = F_{c10} = F_{c11} = F_{c12} = F_{c13} = F_{c14} = F_{c15} = F_{c16} = F_{c17} = F_{c18}$$

Розрахуємо силу привода:

$$F_{\text{прив}0} = F_{c0} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 309,02 + 1750 \cdot 0 = 309,02 \text{ Н}; \quad (1.25)$$

$$F_{\text{прив}0} = F_{\text{прив}23} = F_{\text{прив}24} = F_{\text{прив}25} = F_{\text{прив}26}$$

$$F_{\text{прив}1} = F_{c1} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 339,76 + 1750 \cdot 1,74 = 3377,95 \text{ Н}; \quad (1.26)$$

$$F_{\text{прив}2} = F_{c2} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 431,99 + 1750 \cdot 1,74 = 3470,18 \text{ Н}; \quad (1.27)$$

$$F_{\text{прив}3} = F_{c3} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 585,7 + 1750 \cdot 1,74 = 3623,9 \text{ Н}; \quad (1.28)$$

$$F_{\text{прив}4} = F_{c4} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 800,9 + 1750 \cdot 1,74 = 3839,1 \text{ Н}; \quad (1.29)$$

$$F_{\text{прив}5} = F_{c5} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 1077,59 + 1750 \cdot 1,74 = 4115,79 \text{ Н}; \quad (1.30)$$

$$F_{\text{прив}6} = F_{c6} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 1415,77 + 1750 \cdot 1,74 = 4453,96 \text{ Н}; \quad (1.31)$$

$$F_{\text{прив}7} = F_{c7} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 1815,43 + 1750 \cdot 1,74 = 4853,62 \text{ Н}; \quad (1.32)$$

$$F_{\text{прив}8} = F_{c8} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 2276,57 + 1750 \cdot 1,74 = 5314,77 \text{ Н}; \quad (1.33)$$

$$F_{\text{прив}9} = F_{c9} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 2276,57 + 1750 \cdot 0 = 2276,57 \text{ Н}; \quad (1.34)$$

$$F_{\text{прив}9} = F_{\text{прив}10} = F_{\text{прив}11} = F_{\text{прив}12} = F_{\text{прив}13} = F_{\text{прив}14} = F_{\text{прив}15} = \\ = F_{\text{прив}16} = F_{\text{прив}17} = F_{\text{прив}18}$$

$$F_{\text{прив}19} = F_{c19} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 1415,77 + 1750 \cdot (-3,47) = \\ = -4660,62 \text{ Н}; \quad (1.35)$$

$$F_{\text{прив}20} = F_{c20} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 800,9 + 1750 \cdot (-3,47) = \\ = -5275,48 \text{ Н}; \quad (1.36)$$

$$F_{\text{прив}21} = F_{c21} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 431,99 + 1750 \cdot (-3,47) = \\ = -5644,4 \text{ Н}; \quad (1.37)$$

					ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ	Арк.
						176
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$F_{\text{прив22}} = F_{\text{с22}} + m \cdot a \frac{dv}{dt} = 309,02 + 1750 \cdot (-3,47) = -5767,37 \text{ Н}; \quad (1.38)$$

Розрахуємо повну еквівалентну силу:

$$F_{\text{п.екв}} = \sqrt{\frac{F_{\text{прив}}^2 \cdot t_i}{T}} = \sqrt{\frac{306885032,48}{26}} = 3435,59 \text{ Н} \quad (1.39)$$

Враховуючи повну еквівалентну сили, тепер отримаємо еквівалентну потужність нашого електродвигуна:

$$P_{\text{екв}} = \frac{F_{\text{п.екв}} \cdot v \cdot k_3}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{3435,59 \cdot 13,9 \cdot 1,2}{0,85} = 67364,49 \text{ Вт}, \quad (1.40)$$

де,  $k_3$  – коефіцієнт запасу (1,1...1,3);  $\eta_{\text{мех}}$  – ККД механічної передачі.

З отриманих значень після розрахунку побудуємо діаграму сил діючих на електромобіль.

					ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ	Арк.
						187
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

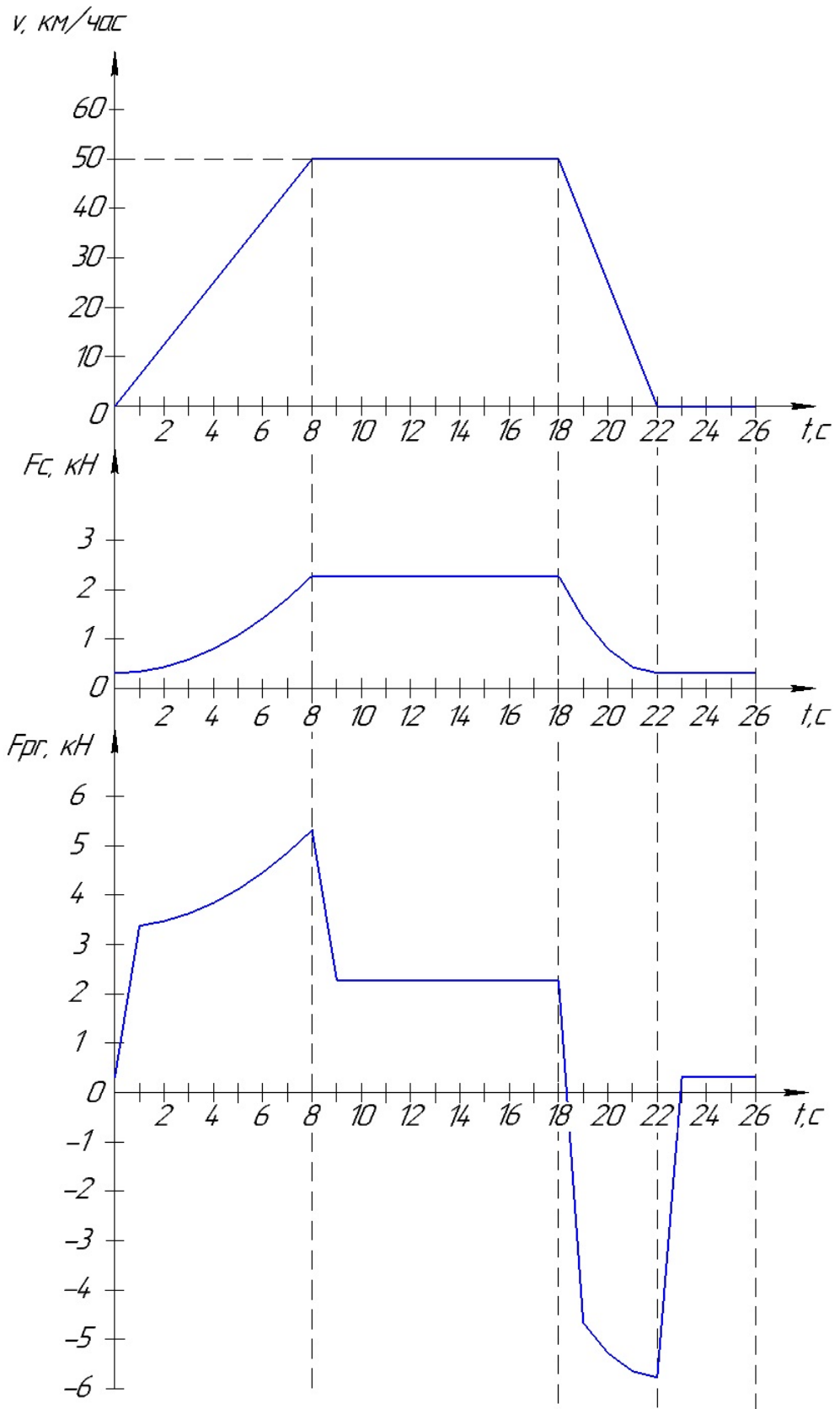


Рис. 2 – Діаграма сил.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.18.14.01.ПЗ

Арк.

198

# 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

					<i>ЕП.ПД.18.14.02.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П.</i>			<i>Автоматизований електропривод</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахогцев О.В.</i>					209	8
<i>Реценз.</i>						<i>Національний ТУ «Дніпровська політехніка» 14.1м-17-4</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>						
<i>Затверд.</i>								

## 2.1 Вибір компонентів електромобіля

Для нашого електромобіля оберемо електродвигун «K11 dual» компанії Kostov-Motors. Він має два паралельно підключених електродвигуна, які закріплені на одному валу.

<https://kostov-motors.com/ev-motors/mtr-00335/>

Як зазначається на сайті виробника, ця серія була розроблена для гонок, але найкраще підходять для звичайної їзди, бо оберти двигуна оптимізовані для найкращої плавності ходу навіть при сильному перевантаженні.



Рис. 2.1 – Електродвигун K11 dual компанії Kostov Motors.

Таблиця 2.1 – Параметри K11 dual.

Назва	K11 dual
Номер	R20-32078
Потужність, кВт	72
Частота обертання, об/хв	5600
Напруга, В	340
Сила струму, А	265
Обертний момент, Н·м	122

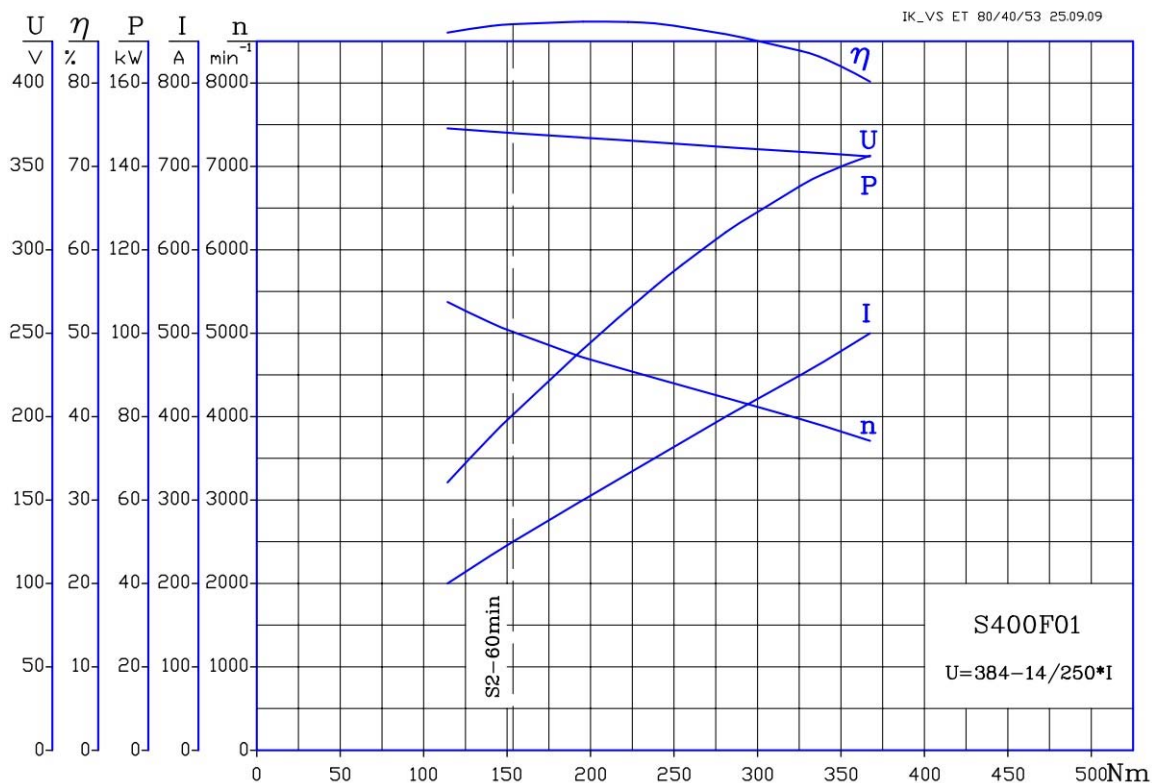


Рис. 2.2 – Характеристики двигуна.

Для нашого електродвигуна оберемо перетворювач Soliton Jr компанії Evnetics, який в піку витримує 600 А (максимальне значення) на 340 В, та має водяне охолодження.

[http://www.evwest.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=48](http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=48)



Рис.2.3 – Перетворювач для двигуна постійного струму.

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.18.14.02.ПЗ				

Акумуляторну батарею треба обирати по напрузі та ємності, щоб не використовувати перетворювач DC/DC, та необхідно з'єднати комірки послідовно, так щоб напруга акумуляторної батареї вийшла рівна напрузі електродвигуна, а саме 320 В.



Рис.2.4 – Комірка літійової батареї LYP 90.

Напруга – 3,5 В; ємність – 90 А · год; вага – 3 кг;

$$N = \frac{320}{3,5} = 92, \quad (2.1)$$

де,  $N$  – кількість необхідних комірок.

Тобто, 92 комірки матимуть вагу у 276 кг.

## 2.2 Обґрунтування вибору електроприводу

Двигуни постійного струму зараз використовуються в основному тільки в промисловості та складних приладах, де важливе точне регулювання швидкості роботи (прокатні стани, потужні металорізальні верстати, тяга на транспорті). Їх відрізняє висока вартість, а також деякі переваги, які виявляються важливими на складному обладнанні.

Двигун постійного струму має наступні переваги:

- високий ККД;
- простота пристрою та його керування;
- практично лінійні механічна та регульовальна характеристики;
- хороші пускові властивості;
- легко регулювати частоту обертання;
- частота обертання може бути дуже високою, ніж у випадку з перемінним;

									ЕП.ПД.18.14.02.ПЗ	Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

– так як ДПТ являє собою оборотну машину, то з’являється можливість використання його в руховому та генераторному режимі.

Але ДПТ має дві основні та незаперечні переваги, а саме можливість формування самих різних електромеханічних характеристик та широкий діапазон регулювання.

Для отримання жорсткої характеристики залежності частоти обертання двигуна від струму якірного ланцюга треба підключити ДПТ при паралельному або незалежному включенні обмотки збудження.

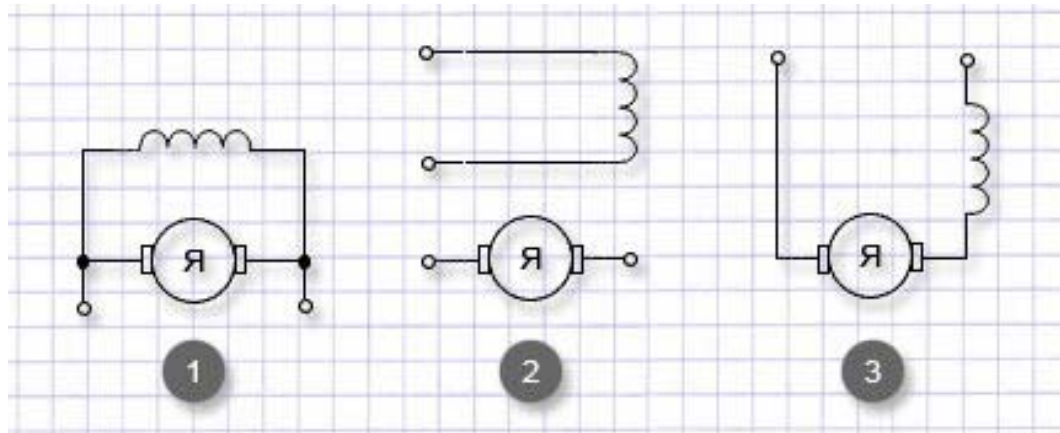


Рис.2.5 – Схеми підключення двигуна постійного струму:

1 – паралельно; 2 – незалежно; 3 – послідовно.

Якщо ж обмотка збудження включена послідовно з якірною обмоткою, то буде сформована цікава електромеханічна характеристика, відповідно до якої швидкість різко зростає при зниженні навантаження на привід. Крива частоти обертів двигуна наближається до осі ординат асимптотично, тому при відсутності навантаження ДПТ може навіть піти «в розніс», тобто почне працювати з небезпечною для механізмів швидкістю.

Щоб уникнути цього, для забезпечення транспортної електромеханічної характеристики застосовується схема змішаного збудження. Це означає, що частина обмотки збудження підключається послідовно, а частина – паралельно.

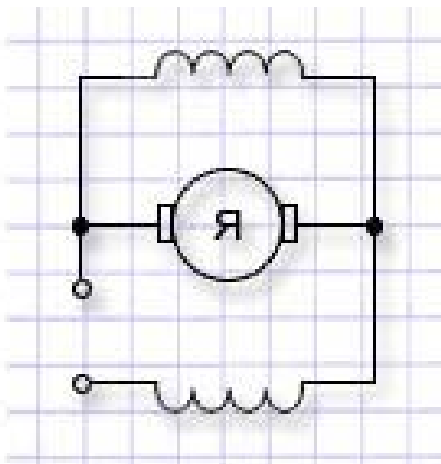


Рис.2.6 – Схема підключення двигуна постійного струму змішаного типу.

Також у ДПТ можна регулювати швидкість, введенням додаткових опорів в обмотку збудження, можна в якірній ланцюг, а можна комбінувати ці способи.

Але найбільш ефективний спосіб керування приводом досягається при впровадженні системи тиристорно-імпульсного регулювання. Ця система дозволяє сповна оцінити переваги таких приводів та експлуатувати їх з максимально ефективними енергетичними показниками.

### 2.3 Функціональна та електрична схеми підключення

Системи з регуляторами ЕРС використовуються у електроприводах до яких не висуваються жорсткі вимоги до швидкодії та точності регулювання швидкості (діапазону регулювання) і швидкість яких не перевищує номінальну швидкість двигуна (робота з постійним магнітним потоком). У таких систем є перевага – відсутня необхідність використовувати датчик швидкості (наприклад тахогенератор). Але для того щоб використати регулятор ЕРС, необхідно мати зворотній зв'язок за ЕРС двигуна.



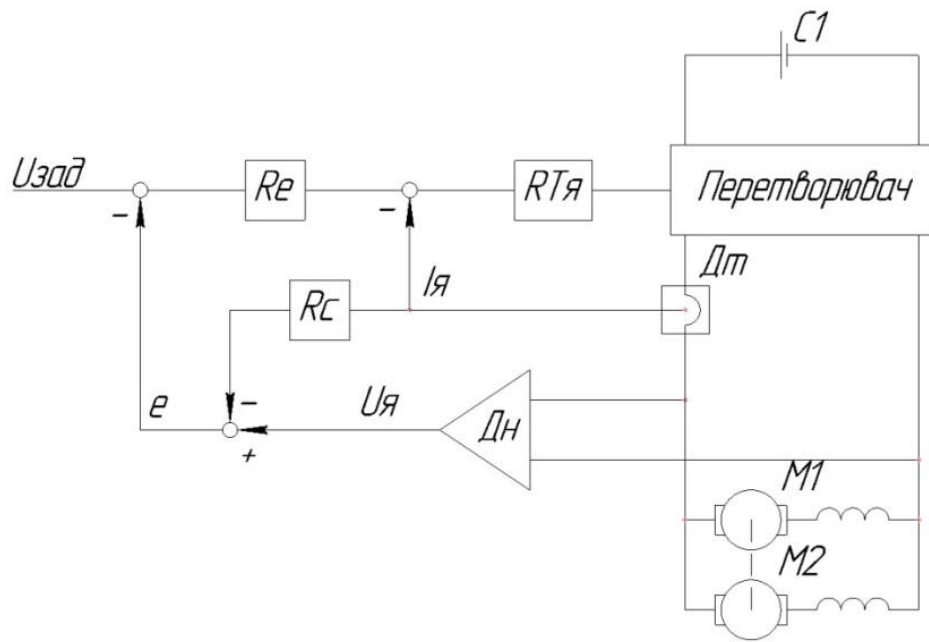


Рис. 2.7 – Функціональна схема однозонного електропривода.

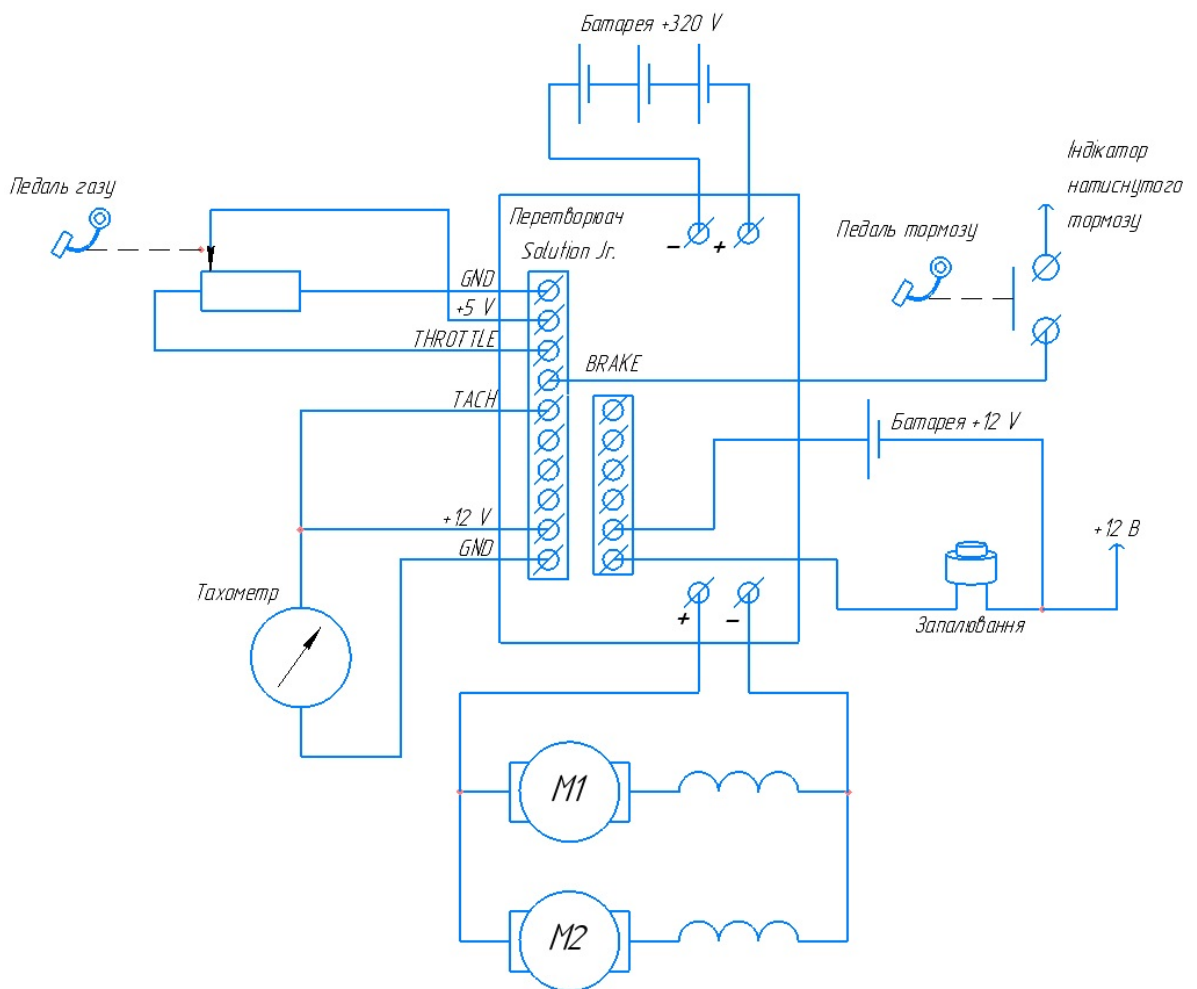


Рис. 2.8 – Електрична принципова схема електромобіля.

Педаль газу підключена до перетворювача через реостатне регулювання.

При натисненні ногоного або ручного гальма загоряється відповідний індикатор на панелі приладів.

Батарея +12 В служить для запитування бортової системи, аудіо-системи та освітлення у салоні електромобіля. Батарея +320 В служить для запитування електродвигуна електромобіля.

Виведені додаткові розетки на +12 В.

Тахометр встановлено для водія, аби він міг бачити навантаження на електродвигун.

Увімкнення усіх систем відбувається у момент вмикання запалювання.

					ЕП.ПД.18.14.02.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

					<i>ЕП.ПД.18.14.03.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П.</i>			<i>Дослідження динаміки електропривода</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В.</i>					<i>27</i>	<i>5</i>
<i>Реценз.</i>						<i>Національний ТУ «Дніпровська політехніка» 14.1м-17-4</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>						
<i>Затверд.</i>								

### 3.1 Розрахунок параметрів САР однозонного електропривода

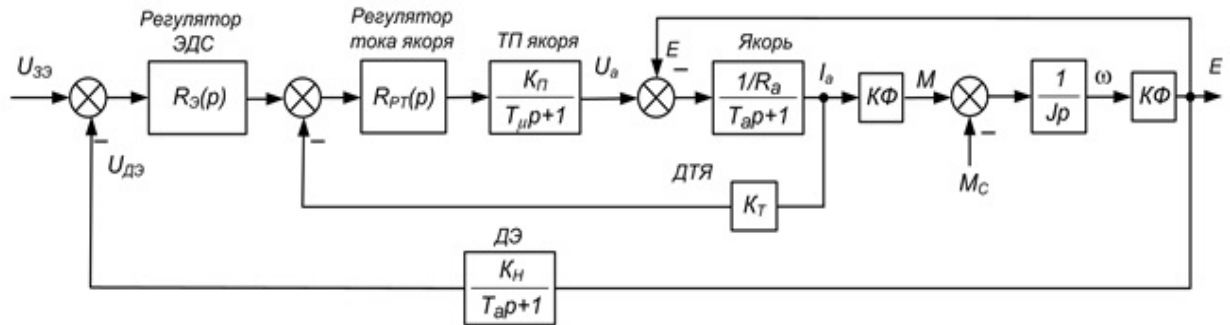


Рис.3.1 – Структурна схема системи регулювання швидкості з зворотним зв'язком за ЕРС двигуна.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані електродвигуна

Kostov Motors K11 Dual	$P_H$ , кВт	$U_H$ , В	$I_{ян}$ , А	$n_H$ , об/хв	$J$ , кгм <sup>2</sup>
	72	320	265	3800	3

Для знаходження передатної функції регулятора ЕРС будемо вважати, що вплив зворотного зв'язку за ЕРС на контур струму компенсовано. Це дозволяє представити згорнутий контур струму якоря у вигляді наступної аперіодичної ланки:

$$W_{ТЗ}(p) = \frac{1/K_T}{1+2 \cdot T_\mu p} \quad (3.1)$$

При оптимізації регулятора ЕРС згідно симетричного критерію отримаємо пропорційно-інтегральний регулятор ЕРС:

$$R_E(p) = \frac{[4 \cdot (2 \cdot T_\mu + T_a)p + 1] \cdot K_T \cdot T_M}{8 \cdot (2 \cdot T_\mu + T_a)^2 \cdot p \cdot K_H \cdot R_a} = \frac{[4 \cdot (2 \cdot T_\mu + T_a)p + 1] \cdot K_T \cdot J}{8 \cdot (2 \cdot T_\mu + T_a)^2 \cdot p \cdot K_H \cdot (K\Phi)^2}, \quad (3.2)$$

а при оптимізації згідно модульного критерію отримаємо пропорційний регулятор ЕРС:

$$R_E(p) = \frac{K_T \cdot T_M}{2 \cdot (2 \cdot T_\mu + T_a)^2 \cdot K_H \cdot R_a} = \frac{K_T \cdot J}{2 \cdot (2 \cdot T_\mu + T_a)^2 \cdot K_H \cdot (K\Phi)^2}. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт датчика ЕРС (датчика напруги) розрахуємо з наступного виразу:

$$K_H = \frac{U_{y\max}}{E_{MAX}}, \quad (3.4)$$

де  $U_{y\max}$  – максимальна напруга, що використовується в системі керування,  $E_{MAX}$  – максимальна ЕРС двигуна.

Проведемо розрахунок параметрів для моделювання в середовищі Simulink програмного забезпечення Matlab.

$$I_{яH}^2 \cdot R_{я} = 0,5 \cdot \Delta P_H ; \quad (3.5)$$

$$\Delta P_H = P_1 - P_2 = \frac{P_H}{\eta} - P_H = \frac{72000}{0,85} - 72000 = 12705 \text{ Вт}; \quad (3.6)$$

$$R_a = \frac{0,5 \cdot \Delta P_H}{I_{яH}^2} = \frac{0,5 \cdot 12705}{265^2} = 0,09 \text{ Ом}; \quad (3.7)$$

$$L_a = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot U_H}{\pi \cdot 2p \cdot I_H \cdot n_H} = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot 320}{3,14 \cdot 4 \cdot 265 \cdot 3800} = 0,00037 \text{ Гн}. \quad (3.8)$$

Магнітний потік дорівнюватиме:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 3800}{30} = 397,73 \text{ рад/с}; \quad (3.9)$$

$$K\Phi = \frac{U_H - I_H \cdot R_a}{\omega_H} = \frac{320 - 265 \cdot 0,09}{397,73} = 0,74 \text{ Вб}. \quad (3.10)$$

Розрахуємо сталі часу  $T_a$  та  $T_M$  :

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0,00037}{0,09} = 0,0041 \text{ с}; \quad (3.11)$$

$$T_M = R_a \cdot \frac{J}{(K\Phi)^2} = 0,09 \cdot \frac{3}{0,74^2} = 0,49 \text{ с}. \quad (3.12)$$

Визначимо ЕРС двигуна:

$$E = K\Phi \cdot \omega_H = 0,74 \cdot 397,73 = 294,32 . \quad (3.13)$$

Коефіцієнт датчиків:

$$K_H = \frac{U_{MAX}}{E} = \frac{10}{294,32} = 0,034 ; \quad (3.14)$$

$$K_T = \frac{U_{MAX}}{2 \cdot I_H} = \frac{10}{2 \cdot 265} = 0,018 ; \quad (3.15)$$

$$K_{\Pi} = \frac{U_H}{U_{MAX}} = \frac{320}{10} = 32 , \quad (3.16)$$

де,  $K_T$  – коефіцієнт датчика струму;  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт перетворювача.

					ЕП.ПД.18.14.03.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Дослідження динаміки електроприводу за допомогою цифрового моделювання на ЕВМ

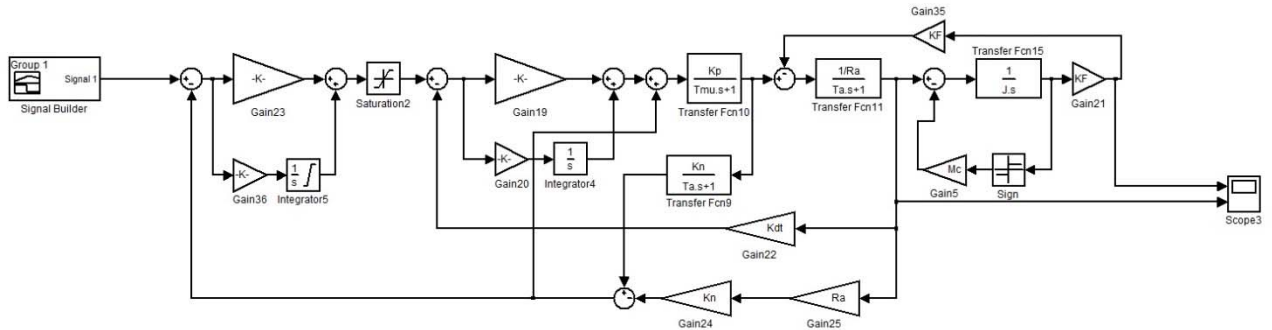


Рис.3.2 – Структурна схема однозонного електроприводу постійного струму виконана в середовищі Simulink програмного забезпечення Matlab.

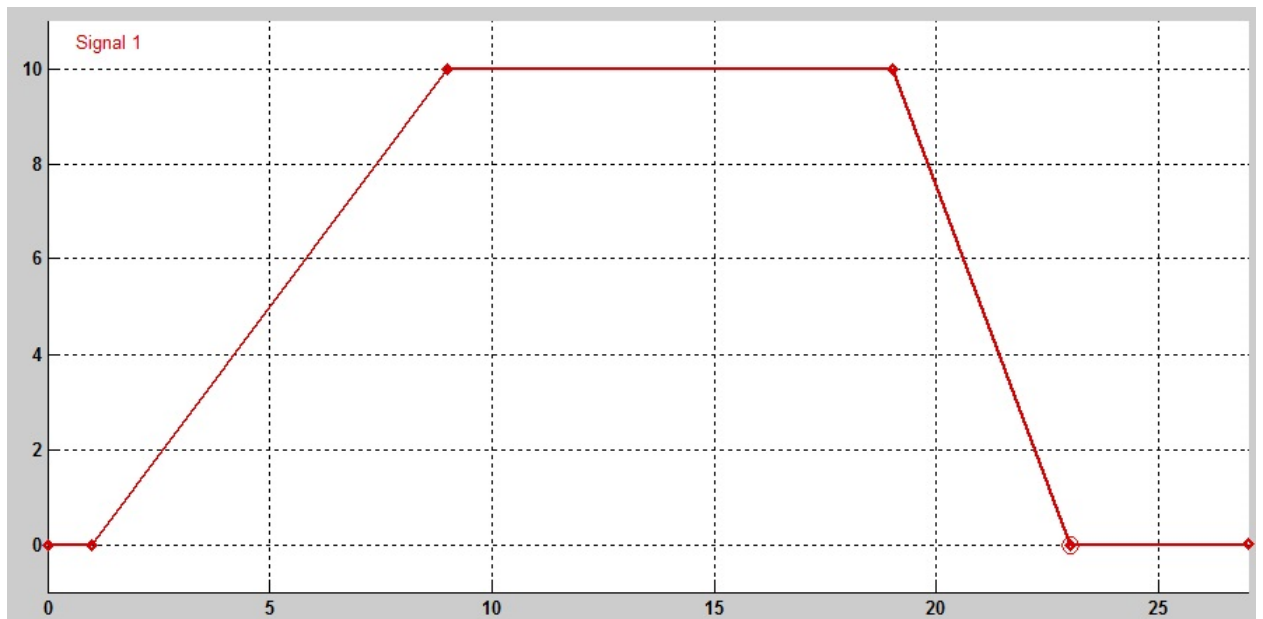


Рис 3.3 – Завдання на швидкість.

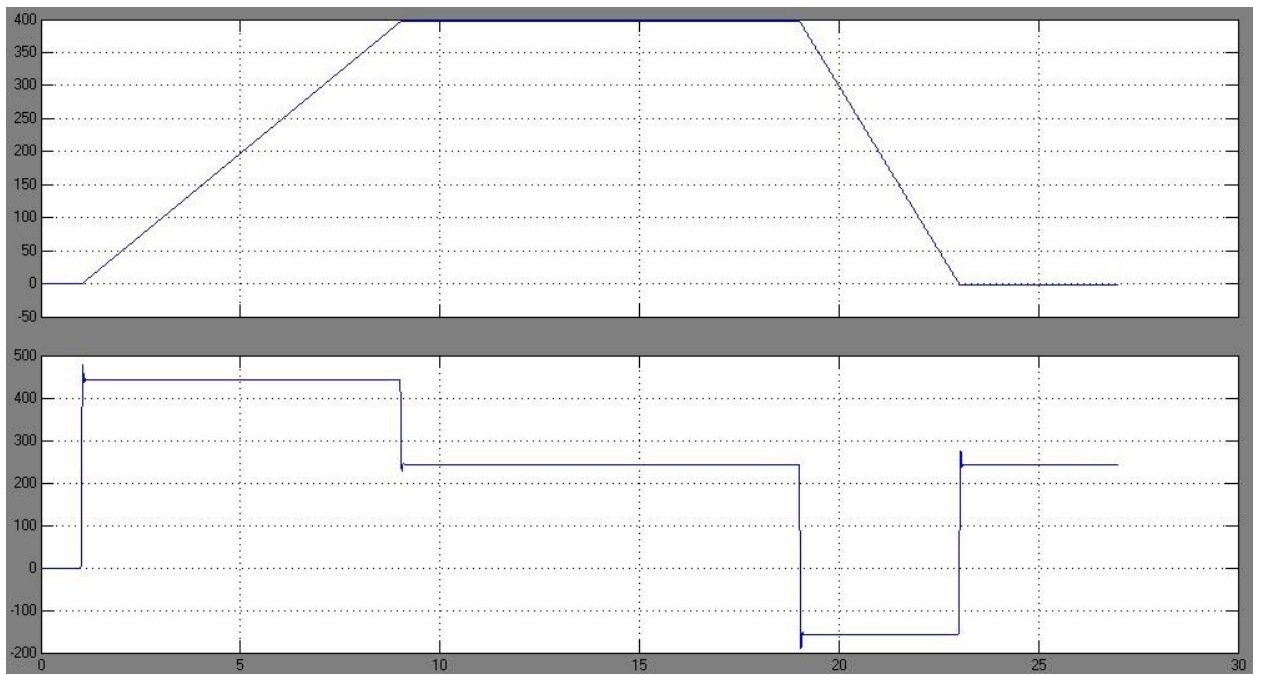


Рис.3.4 – Графік перехідних процесів.

# 4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

					<i>ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П.</i>			<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тимошенко Л.В.</i>					32	391
<i>Реценз.</i>						<i>Національний ТУ «Дніпровська політехніка» 14.1м-17-4</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М</i>						
<i>Затверд.</i>								



У даній частині дипломного проекту розглядаються техніко-економічні показники роботи електроприводу електромобіля після його переобладнання. Переобладнання пропонується для бензинового двигуна внутрішнього згоряння, який являється економічно не вигідним, та потребує великих витрат на паливо та своє обслуговування. Встановлення електродвигуна дозволить знизити витрати на поточне обслуговування автомобіля, збільшити надійність роботи системи та зменшити витрати на паливо.

Для економічного обґрунтування, що новий електродвигун є більш економічно вигідним необхідно визначити капітальні та експлуатаційні витрати для обох двигунів.

#### **4.1 Розрахунок капітальних витрат**

Капітальні вкладення – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати по реалізації проектного технічного рішення можуть включати:

– витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;

– витрати, пов'язані з виконанням монтажними та налагоджувальними роботами, також відносяться до капітальних;

– витрати фінансових коштів на проведення проектно-конструкторських робіт, підготовку персоналу та виконання інших робіт, необхідних для реалізації технічного рішення.

Проектні капіталовкладення визначаються на основі договірних цін на електрообладнання, розцінок на виконання монтажних та налагоджувальних робіт та інших вихідних даних, зібраних на попередньому етапі.

					ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

При визначенні величини проектних капіталовкладень ( $K_{пр}$ ) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^K C_i) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_i, \quad (4.1)$$

де  $K_{об}(\sum_{i=1}^K C_i)$  – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів  $i$  – го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

$Z_{тзс}$  – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$  – витрати на монтажні роботи

$Z_{н}$  – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_i$  – інші одноразові вкладення коштів.

Витрати на придбання технічних засобів та комплектуючих виробів представлено у вигляді зведення капітальних витрат (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Електродвигун Kostov Motors K11 Dual	1	140000	140000
2	Транспортування електродвигуна	1	2000	2000
3	Перетворювач Evnetics Solution Jr.	1	53200	53200
4	Транспортування перетворювача	1	894	894
5	Комірка літєвої батареї LYP 90	92	3220	296240
6	Транспортування батарей	92	268,26	24680
7	Проведення монтажних робіт	1	14319	14319
6	Проведення налагоджувальних робіт	1	39,75	397,75
Всього				531731

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ( $Z_{ТЗС}$ ) визначається виходячи з:

- відстані доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації;
- кількості, маси і габаритів обладнання;
- виду транспортних засобів;
- транспортних тарифів;
- розцінок на вантажно-розвантажувальні роботи;
- витрат на складську обробку.

для електродвигуна: місце придбання – Болгарія, місто Софія, вулиця Воєнна рампа, будинок 40.

Місце експлуатації – місто Дніпро, вулиця Молодогвардійська 32.

Відстань перевезення – 1450 км.

Витрати на перевезення за допомогою служби доставки – 2000 грн.

Для перетворювача: місце придбання – Сполучені Штати Америки, штат Флоріда, місто Санкт-Петербург, вулиця 4-та Авеню.

Витрати на перевезення за допомогою служби доставки – 894 грн.

Місце експлуатації – місто Дніпро, вулиця Молодогвардійська 32.

Для акумуляторної батареї: місце придбання – Сполучені Штати Америки, штат Флоріда, місто Санкт-Петербург, вулиця 4-та Авеню.

Витрати на перевезення за допомогою служби доставки – 24680 грн.

Місце експлуатації – місто Дніпро, вулиця Молодогвардійська 32.

Витрати на монтажні ( $Z_M$ ) та налагоджувальні ( $Z_H$ ) роботи можна визначити наступним чином:

$$Z_{M(H)} = \sum (Ч_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_i, \quad (4.2)$$

де  $Ч_i$  – чисельність працівників  $i$  – го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол;

$a_i$  – годинна тарифна ставка  $i$  – го розряду, грн;

					ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_i$  – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, годину;

$K_d$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{CM}$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Витрати на монтаж обладнання:

Кількість робітників – 4;

Часова тарифна ставка монтажника 5 – го розряду – 33,68 грн/год;

Час виконання робіт – 72 годин;

Коефіцієнт що враховує розмір доплат – 1,1;

Коефіцієнт що враховує відрахування на соціальні заходи – 1,22;

Коефіцієнт що враховує інші витрати – 1,1;

Згідно зі ст.7 Закону України «Про Державний бюджет України на 2018 рік» від 07.12.2017 р. № 2246-VIII з 01.01.2018 р. мінімальна заробітна плата, яка має відповідати першому тарифному розряду, складає 3723 грн на 1 січня 2018 року.

$$Z_m = (4 \cdot 33,68 \cdot 72) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 14319 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

Витрати на наладку обладнання:

Кількість робітників – 1;

Часова тарифна ставка наладчика 5 – го розряду – 33,68 грн/год;

Час виконання робіт – 8 години;

Коефіцієнт що враховує розмір доплат – 1,1;

Коефіцієнт що враховує відрахування на соціальні заходи – 1,22;

Коефіцієнт що враховує інші витрати – 1,1;

$$Z_n = (1 \cdot 33,68 \cdot 8) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 397,75 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

					ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносять:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання ( $C_T$ );
- вартість спожитого палива ( $C_p$ );

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$Z = C_a + C_T + C_p . \quad (4.5)$$

### 4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигід, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання.

Проектований об'єкт відноситься до 4 – ї групи основних засобів з мінімальним терміном корисного використання  $T_n = 5$  років.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартість основних засобів і нематеріальних активів є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_n - Л, \quad (4.6)$$

					<i>ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\Phi_{п}$  – початкова (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$L$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методу амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

Норма амортизації  $H_a$  при прямолінійному методі постійна протягом всього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_{п}-L}{\Phi_{п} \cdot T_{п}} \cdot 100\% = \frac{531731-0}{531731 \cdot 5} \cdot 100\% = 20\%, \quad (4.7)$$

де  $T_{п}$  – термін корисного використання (амортизаційний період).

Тоді річні амортизаційні відрахування (АВ) за прямолінійним методом:

$$AB = \frac{\Phi_{п} \cdot H_a}{100} = \frac{531731 \cdot 20\%}{100} = 1063,46 \text{ грн.} \quad (4.8)$$

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається за видами основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінного обладнання для базового варіанту. Результати розрахунків заносяться в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування	Капітальні витрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн
Електропривод (електродвигун та перетворювач частоти)	539331	20	1063,46

#### 4.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробіт-

ну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточні ремонти апаратури автоматики і систем автоматизації за рік можна розрахувати за формулою:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \left( R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi} \right), \quad (4.9)$$

де  $n$  – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

$R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

$t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю в залежності від виду ремонту ч/од: малого – 1,2; середнього – 7,0; капітального 15,0;

$m_i$  – число ремонтів за рік (для закритих електромашин число малих ремонтів – 2, середніх – 1, капітальних 0,1);

$R_{\Sigma i}$  – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання (для машини постійного струму від 50 до 100 кВт – 2,5);

$S_i$  – вартість однотипних елементів, що замінюються, грн;

$\Pi_i$  – кількість однотипних елементів, що замінюються;

$T_i$  – середній термін служби деталей даного типу, год;

$T_{\Phi}$  – число годин роботи апаратури в рік, год.

$$C_{T(E)} = \left( 33,68 \cdot (2,5 \cdot 1,2 + 7 + 0,1) \cdot 3 \cdot 2,5 + \frac{81 \cdot 6}{800} \cdot 2008 \right) = 3772 \text{ грн} \quad (4.10)$$

Для розрахунку річних витрат на технічне обслуговування бензинового двигуна розглянемо кросовер KIA Sportage 2013 року з пробігом 45000 км. Так як термін корисного використання двигуна постійного струму 5 років, то і для бензинового двигуна розрахуємо витрати за 5 років:

– 1 рік або 65000 км: проведення робіт; заміна моторного мастила, шайба зливної пробки, свічки запалювання, фільтр мастила, фільтр повітряний, фільтр палива, фільтр кондиціонера та гальмівна рідина.

Витрати: 4879 грн.

										Арк.
										39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ					

– 2 роки або 85000 км: проведення робіт; заміна моторного мастила, шайба зливної пробки, фільтр мастила, фільтр кондиціонера.

Витрати: 2280 грн.

– 3 роки або 105000 км: проведення робіт; заміна моторного мастила, шайба зливної пробки, свічки запалювання, фільтр мастила, фільтр повітряний, фільтр палива, фільтр кондиціонера, гальмівна рідина, мастило автоматичної коробки переключення передач, охолоджуюча рідина, ремінь ГРМ та ролики ГРМ.

Витрати: 12332 грн.

– 4 роки або 125000 км: проведення робіт; заміна моторного мастила, шайба зливної пробки, фільтр мастила, фільтр кондиціонера.

Витрати: 2280 грн.

– 5 років або 145000 км: проведення робіт; заміна моторного мастила, шайба зливної пробки, свічки запалювання, фільтр мастила, фільтр повітряний, фільтр палива, фільтр кондиціонера та гальмівна рідина.

Витрати: 4879 грн.

Середньорічні витрати на обслуговування бензинового двигуна складатимуть:

$$C_{T(B)} = \frac{4879+2280+12332+2280+4879}{5} = 5330 \text{ грн.} \quad (4.11)$$

### 4.2.3 Розрахунок вартості спожитого палива

Проведемо розрахунок, що авто працюючи у таксі проїжджатиме 250 км за день, тобто приблизно 90000 км за рік.

Проектний електромобіль на одній зарядці спроможний проїхати близько 250 км, тобто йому потребується не менше ніж 360 зарядок по 8 годин, тобто  $T_{\Pi} = 360 \cdot 8 = 2880$  годин споживання електроенергії.

					ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності і вартості електроенергії

$$C_{п(Е)} = W_p \cdot C_E \cdot K_B = 83520 \cdot 1,68 \cdot 1,3 = 182408 \text{ грн}, \quad (4.12)$$

де  $W_p = C_A \cdot T_{п} = 29 \cdot 2880 =$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт · год;

$C_A$  – ємність акумуляторної батареї електромобіля, кВт · год;

$C_e$  – тариф на електроенергію станом на 1 грудня 2018 року для населення становить 1,68, грн/ кВт · год;

$K_B$  – коефіцієнт втрат електроенергії при заряджанні електромобіля.

Для бензинового двигуна приймаємо, що в середньому за рік він проїздить з витратою палива 10л/100 км, та для подолання 90000 км йому потребується 9000 л бензинового палива.

$$C_{п(Б)} = 9000 \cdot C_B = 9000 \cdot 34,17 = 307530 \text{ грн}, \quad (4.13)$$

$C_B$  – ціна за 1 літр палива на АЗС «Shell» станом на 10.12.2018р.

### 4.3 Розрахунок економічної ефективності впровадження проектного рішення

Повна річна економія від впровадження проекту визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту.

$$E = E_T \pm \Delta C, \text{ грн}, \quad (4.14)$$

де,  $\Delta C$  – економія на експлуатаційних витратах.

$$\Delta C = C_{баз} - C_{пр} = 312860 - 187244 = 125616, \text{ грн}, \quad (4.15)$$

Одним з показників економічної ефективності є коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$ , який показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = \frac{E}{K} = \frac{125616}{531731} = 0,23, \text{ віднозн. од.}, \quad (4.16)$$

					ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де,  $E$  – загальна річна економія від проектного варіанту, грн;

$K$  – капітальні витрати, що обумовили економію, грн.

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження проекту:

$$T_p = \frac{K}{E} = \frac{531731}{125616} = 4,23, \text{ років.} \quad (4.17)$$

Висновки:

В економічному розділі проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності проектного рішення. Виконано розрахунок економічної ефективності проектного об'єкта модернізації. Проведені такі розрахунки капітальних витрат, експлуатаційних витрат, річну економію. За рахунок підвищення надійності обладнання, зменшення споживаної електроенергії, зниження витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.

Згідно з планом:

– витрати на закупівлю необхідних машин і механізмів та їх монтаж і наладка складатиме – 531731 грн;

– річні амортизаційні відрахування на рік – 1063,46 грн;

– за графіком ремонту обладнання на 2018 рік, електропривод підлягає 2 – м малим ремонтам, 1 – му середньому та 0,1 капітального. Що становить 3772 грн;

– витрати на електроенергію становлять –182408 грн за рік;

Річні експлуатаційні витрати разом – 187244 грн..

Згідно розрахунків такий проект є економічно вигідним.

					ЕП.ПД.18.14.04.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

В даному дипломному проєкті виконано переобладнання автомобіля з бензиновим двигуном внутрішнього згоряння на електропривод. Для переобладнання було обрано електродвигун Kostov Motors K11 Dual потужністю 72 кВт, перетворювач Evnetics Solution Jr.

Проведено розрахунок сил діючих на автомобіль та необхідна потужність електропривода. По отриманим даним побудовані відповідні характеристики.

Розраховані параметри САР однозонного електропривода. У середовищі Simulink програмного забезпечення Matlab зібрано схему та досліджено її роботу.

У розділі «Техніко-економічне обґрунтування» виконано розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, які становлять 531731 грн та 187244 грн відповідно. Згідно розрахунків проєкт є економічно вигідним, та окупність склала 4,23 роки.

					<i>ЕП.ПД.18.14.В.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П</i>			<i>Висновки</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В.</i>					43	39
<i>Реценз.</i>						<i>Національний ТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М</i>				<i>«Дніпровська політехніка»</i>		
<i>Затверд.</i>						<i>141М-17-4</i>		

### Перелік посилань:

1. Справочник технолога – машиностроителя: В 2 – х т./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. т.1. – 456 с.; т.2. – 688 с.
2. Справочник по электрическим машинам: В 2 – х т./ Под общ. Ред. И.П. Копылова и В.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. т.1. – 655 с.; т.2.– 496 с.
3. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. – Горький: Волго – Вятск. кн. изд., 1989. – 320 с.
4. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навч. Посібник. – Дніпро: НГУ, 2003. – 226 с.
5. И.В. Черных. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем".
6. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: Навч. посібник / С.М. Довгань. – Дн–ськ: НГА України, 2001.–137 с.
7. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под. Ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера 3-е изд., перераб. и доп. – М ,: Энергоиздат, 1982. – 418 с.
8. Методические указания к выполнению экономической части дипломной работы для студентов направления подготовки 6.050702 «Электромеханика». – Днепр: НГУ, 2015. – 15 с.

					<i>ЕП.ПД.18.14.П.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Хорошков О.П</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балохонцев О.В.</i>				44	39
<i>Реценз.</i>					<i>Перелік посилань</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М</i>					
<i>Затверд.</i>							
					<i>Національний ТУ «Дніпровська політехніка» 141м-17-4</i>		