

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 Криворотого Олександра Олександровича
(ПІБ)

академічної групи 141М-17-4

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

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

(офіційна назва)

на тему Розробка електроприводу електричного мотоциклу

(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 Криворотому Олександр Олександровичу академічної групи 141М-17-4

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

(офіційна назва)

на тему Розробка електроприводу електричного мотоциклу _____

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 _____

(підпис керівника)

Балахонцев О.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Криворотий О.О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 54 с., 16 рис., 11 табл., 17 джерел, презентація представлена у вигляді слайдів.

Об'єкт детальної розробки: розробка електропривода електромотоциклу.

Мета роботи: модернізація мотоциклу з двигуном внутрішнього згоряння на мотоцикл з електродвигуном.

Вибрані елементи силового кола (тяговий синхронний двигун з постійними магнітами типу НРМ48-5000, перетворювач VEC 300-48 з системою векторного керування, акумуляторна батарея Volta bikes, 48v). Розраховані параметри астатичної системи регулювання швидкості.

Здійснений розрахунок перехідних процесів в електроприводі в режимах пуску, прикладення навантаження, гальмування з використанням пакета MATLAB. 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.

СИНХРОННИЙ ДВИГУН З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ, ДВУЗОННА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, СИНТЕЗ САР, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.

					ЕП.МР.18.08.Р.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 54 с., 16 рис., 11 табл., 17 источников, презентация представлена в виде слайдов.

Объект детальной разработки: разработка электропривода электромотоцикла.

Цель работы: модернизация мотоцикла с двигателем внутреннего сгорания на мотоцикл с электродвигателем.

Выбранные элементы силовой цепи (тяговый синхронный двигатель с постоянными магнитами типа НРМ48-5000, преобразователь VEC 300-48 с системой векторного управления, аккумуляторная батарея Volta bikes, 48v). Рассчитаны параметры астатической системы регулирования скорости.

Проведен расчет переходных процессов в электроприводе в режимах пуска, приложения нагрузки, торможение с использованием пакета MATLAB. Получены диаграммы нагрузки и скорости разработанной модели.

Расходы на топливо и эксплуатацию были сокращены в несколько раз за счет изменения топлива на электроэнергию, а также повышение надежности системы за счет упрощения конструкции. Срок окупаемости составил менее 5 лет.

СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ДВУХЗОННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ, ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, СИНТЕЗ САР, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.

					ЕП.МР.18.08.Р.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

ABSTRACT

Explanatory notes 54 p., 16 fig., 11 tables, 17 sources, the presentation is presented in the form of slides.

The object of detailed development: development of an electric motor of an electric motor.

Purpose: modernization of a motorcycle with an engine of internal assembly on a motorcycle with an electric motor.

Selected elements of the power circle (traction synchronous motor with permanent magnets type HPM48-5000, VEC 300-48 converter with vector control system, Volta bikes battery, 48v). The parameters of the astatic speed control system are calculated.

The calculation of the transients in the electric drive in the modes of start-up, application of load, braking using the MATLAB package has been 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.

SYNCHRONOUS MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS, VECTOR CONTROL, DUAL-ZONE SPEED CONTROL SYSTEM, SELECTION OF POWER SUPPLY, SYNTHESIS OF ACS, ENERGY SAVING.

					<i>ЕП.МР.18.08.Р.ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

ВСТУП	7
1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис механізму та актуальність підвищення економічності	10
1.2 Вимоги до електропривода	11
1.3 Розрахунок потужності.....	15
2.АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	21
2.1 Обґрунтування типу приводу.	22
2.2 Вибір електродвигуна.....	25
2.3 Вибір та опис типу перетворювача.	25
2.4 Вибір акумуляторної батареї	29
2.5 Електрична схема підключення.....	31
3.ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	33
3.1 Математична модель СДПМ.....	34
3.2 Вибір структури САК ЕП.....	35
3.2 Моделювання роботи приводу.....	36
4.ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ	41
Вступ.....	42
5.1 Розрахунок капітальних витрат	42
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	46
5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	46
5.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт	47
5.2.3 Розрахунок вартості спожитого палива.....	49
5.3.1 Розрахунок економічної ефективності впровадження проектного рішення.	50
5.3.2 Визначення економічних показників.....	50
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	53

					<i>ЕП.МР.18.08.3.ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі перед розробниками транспортних засобів стоїть жорстке завдання підвищення їх економічності та екологічності. Стандарти EURO з кожним роком стають все більш жорсткішими, а відповідати цим стандартам стає все важче, адже з двигунів внутрішнього згоряння уже витиснуто максимум можливостей, як з точки зору економічності так і з точки зору зменшення викидів вуглекислого газу. Саме тому сучасні компанії, що займаються випуском транспортних засобів шукають нові рішення, що дозволять відмовитися від двигунів внутрішнього згоряння в сторону "зелених" приводів, котрі мають мізерні викиди в атмосферу, а то і зовсім їх не мають.

Одним із таких приводів може стати електродвигун. Технології, котрі зараз використовуються в розробці електродвигунів досягли таких висот, що при однаковій потужності з ДВЗ, розміри таких двигунів відрізняються в декілька разів, а то і більше десяти. А сучасні системи керування електроприводами роблять ці двигуни надійними та максимально продуктивними. КПД електродвигунів в деяких випадках досягає 98%, для порівняння КПД ДВЗ складає всього 30%. А акумуляторні батареї зроблені з сучасних матеріалів стали значно потужнішими та легшими, а заряд таких батарей до максимуму займає декілька годин.

Завданням даного проекту є модернізація мотоциклу з двигуном внутрішнього згоряння на мотоцикл з електричним приводом. Це дозволить зменшити витрати на паливо та забезпечить нульові викиди вуглекислого газу. Також при зміні типу приводу буде досягнуто більш висока надійність вузлів і агрегатів приводу за рахунок зменшення кількості окремих вузлів, а надійність конструкції електродвигуна дозволить значно збільшити життя мотоциклу та зменшить кількість необхідного технічного обслуговування. А динамічні характеристики мотоциклу стануть більш стабільними та значно покращаться, адже електродвигун має більш стабільні показники прискорення з місця. Не варто забувати і про зменшення ваги транспортного засобу, що позитивно позначиться не тільки на динаміці, а й на запасі ходу, адже чим ме-

					ЕП.МР.18.08.ВС.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нша вага тим більший запас ходу. За рахунок зменшення ваги також буде досягнуто краще розподілення ваги по осям, що позитивно позначиться на керуванні транспортним засобом. І найголовніше в такій модернізації буде скорочено витрати на паливо, адже вартість бензину зараз лише підвищується, і при однаковій відстані, що проїде мотоцикл за день буде витрачено значно менше грошей на електроенергію ніж на паливо.

Загалом така модернізація дозволить зробити мотоцикл значно кращим з точки зору економічності та екологічності, покращить його динамічні характеристики, що в свою чергу значною мірою покращить отримане задоволення від керування цим транспортним засобом.

					<i>ЕП.МР.18.08.ВС.ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

					<i>ЕП.МР.18.08.01.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Криворотий О.О</i>			<i>Розробка електропривода електричного мотоцикла</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В</i>					9	10
<i>Реценз.</i>		<i>Галушко О.М.</i>				<i>141М-17-4, НТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський</i>						
<i>Затверд.</i>								

1.1 Опис механізму та актуальність підвищення економічності

Сучасний мотоцикл, як і автомобіль, являє собою високотехнологічний транспортний засіб. В сучасних мотоциклах, як і раніше використовуються двигуни внутрішнього згоряння, проте на відміну від перших моделей, сьогоднішні мотоцикли є в декілька разів економічнішими. Це досягається за допомогою використання сучасних технологій, що дозволяють зменшити кількість палива необхідного для виконання однієї і тієї ж роботи. Використання бортових комп'ютерів, розробка більш продуктивних деталей двигуна, все це зменшує витрату палива. Проте посилення норм стандартів EURO, змушує виробників мотоциклів шукати нові рішення для зменшення викидів та покращення ККД двигунів внутрішнього згоряння. Проте, як би виробники не намагалися цього досягти, ресурс ДВЗ досягає свого піку, і досягнути подальшого покращення ККД стає неможливим, а використання "чистого" в таких двигунах поки, що не є вигідним.

Найбільш вигідним рішенням даної проблеми є використання інших тягових установок. Одними із таких установок можуть стати електродвигуни. Завдяки розвитку сучасних технологій, покращення акумуляторних батарей, зменшення ваги електродвигунів, дозволяє використовувати такі приводи в сучасних мотоциклах та автомобілях.

В останнє десятиліття виробники мотоциклів почали виробництво перших серійних мотоциклів на електротязі. З'явилися перші виробники мотоциклів виключно на електротязі. Одним із таких представників є компанія Zero. Котра представляє на ринку декілька серій електромотоциклів. Не лише в стороні і імениті виробники. Компанія Harley Davidson в 2019 році запускає серійне виробництво повністю електричного мотоциклу.

Пов'язано це з тим, що ККД двигуна внутрішнього згоряння досягає приблизно 30%, а електродвигуна 98%, показники динаміки розгону також вигідно вирізняють ці двигуни. Показники розгону є більш стабільними ніж у мотоциклів с ДВЗ, а в додаток до цього більш просте і зручне управління тягою двигуна. Мотоцикли, що працюють на електроенергії, мають дуже прос-

					<i>ЕП.МР.18.08.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ту конструкцію що дозволяє знизити кількість вузлів а, отже, прості в експлуатації та обслуговуванні.

Єдиним недоліком електротранспорту на даний момент є велика вартість АКБ і без спеціальної інфраструктури або просто зарядної станції загального користування. Власнику електричного транспортного засобу доведеться зважати на те, що необхідно вибрати заряджатися вдома і розраховувати свій маршрут, контролюючи режим їзди, або возити з собою зарядний пристрій, який нерідко має не малі масово-габаритні параметри. Проте зважаючи на розвиток технологій цей недолік скоріш за все буде вирішений дуже скоро.

1.2 Вимоги до електропривода

На даний момент існує багато способів вирішення поставленого завдання. Деякі виробники використовують класичну компоновку приводу мотоцикла (ремінна передача), а деякі більш сучасну з мотор-колесом.

Класична компоновка мотоцикла являється уже досить звичною. Заднє колесо мотоцикла отримує оберти від електродвигуна за допомогою цепної передачі. Так як електродвигун являється досить тяговитим у порівнянні з двигуном внутрішнього згорання то зазвичай виробники не використовують редуктор або трансмісію, а момент передається напряму від двигуна до колеса через шків.

Мотор-колесо — різновид ведучого колеса, комплексний агрегат, в якому об'єднані безпосередньо колесо, електричний двигун, силова передача і гальмівна система. Також встановлення такого типу приводу дозволяє зменшити вагу електромотоцикла.

У даній роботі буде використана класична компоновка мотоциклу з приводом через ремінну передачу. Для отримання даних розрахунку параметрів електромотоциклу, розглянемо уже існуючі рішення представлені на світовому ринку мотоциклів.

					ЕП.МР.18.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.1 Характеристики електромоторциклів

Марка	Двигун	Потужність	Оберти	Момент	Трансмсія	Передаг. число
Sur-Ron Light Bee	Sur-ron, 48v3000w	$P_H = 3000$ Вт $P_{max} = 6000$ Вт	4500 об/хв	200Нм	зубчатий ремінь HTD 8M	1: 7.6
Volta «Кросс 500»	-	36v 500 w DC	-	-	-	-
Tacita T-Cruise	трифазний індукційний асинхронний е.д. з рідинним охолодженням	28 кВт (38 к.с.), 30 кВт (41 к.с.)	$n_{max} = 8000$ об/хв	60 Нм, 70 Нм	5-ступенева к.п. через зчеплення з гідравлічним приводом + задня передача	-
ZERO SR ZF13.0	безколекторний, постійного струму Z-Force® 75-7	50 кВт(67 к.с.)	4000 об/хв	144 Нм	Одношвидкісна	130Т / 30Т
ZERO FX ZF3.3	Модель Z-Force® 75-5	20 кВт(27 к.с.)	3700 об/хв	95 Нм	ремінна передача напряму з мотора на заднє колесо	132Т / 25Т

Продовження таблиці 1.1

Керування	Акумулятор	Зарядка	Запас ходу	Швидкість	Вага
Контролер Sug-гоп: 48v/60v; максимальний струм: 450А	літій іонний, 60v32Ah (1920Wh)	автоматичний зарядний пристрій: 220vAC/67.2v10A-DC	до 100 км	75 км/год	50 кг
-	тягова, свинцево-кислотна, герметизована, типу AGM, 36v14Ah (504 Вт*ч) (складається із 3 ак. 6DZM14)	автоматичний зарядний пристрій AC 220v/ DC 36 v, 1.6A	18 - 25 км	25 км/год	34 кг
-	Літій-полімерний Li-Po 7.5 кВт•ч, 15 кВт•ч, 27 кВт•ч	CCS Тип 2 220V outlet 16 A	80 км-270 км	125 км/год	299 кг
Високоєфективний 3-х фазний інвертор з функцією рекуператії енергії. Макс. струм : 660А	Z-Force® Li-Ion intelligent 14.0 кВт*ч	Вбудоване 220В, потужність 1,3 кВт	до 260 км	164 км/год	188 кг
Високоєфективний 3-х фазний інвертор з функцією рекуператії енергії. Макс. струм : 420А	Z-Force® Li-Ion intelligent 3,3 кВт*ч	Вбудоване 220В, потужність 650 Вт	до 66 км	137 км/год	112 кг

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ЕП.МР.18.08.01.ПЗ

Арк.

13

Виходячи з таблиці можна побачити, що виробники електромотоциклів використовують безколекторні електродвигуни постійного струму. Для того, щоб зрозуміти чому було обрано саме ці двигуни, потрібно оглянути їх переваги та недоліки.

Переваги безколекторного приводу постійного струму:

- простота і надійність конструкцій;
- практично лінійні регульовальні та механічні характеристики, завдяки чому забезпечується зручність експлуатації;
- велика величина пускового моменту;
- компактні розміри (особливо сильно виражені у двигунів на постійних магнітах);
- можливість використання одного і того ж механізму як в режимі двигуна, так і генератора;
- ККД при повному навантаженні, як правило, вище на 1-2% ніж у асинхронних і синхронних машин, а при неповному навантаженні перевага може зростати до 15%.

До недоліків таких двигунів можна віднести високу собівартість, що виникає за рахунок використання дорогих постійних магнітів в роторі машини.

					<i>ЕП.МР.18.08.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.3 Розрахунок потужності

Для розрахунку потужності двигуна необхідно визначити ряд параметрів, що впливають на споживання потужності.

Таблиця 1.2 Розрахункові параметри

Параметр	Значення	Одиниця виміру
маса, m	220	Кг
коефіцієнт опору повітря, C_x	0.4	$\text{Нс}^2/\text{м}^*\text{кг}$
лобова площа мотоцик-лу, S	0.35	м^2
швидкість, V	60	м/с
щільність повітря, ρ	1,15	$\text{кг}/\text{м}^3$
коефіцієнт тертя, f	0,015	
прискорення вільного падіння, g	9,8	$\text{м}/\text{с}^2$

Розрахунок сили тертя-кочення:

$$F_{mk} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$$

де f - коефіцієнт тертя;

m - маса;

g - прискорення вільного падіння;

$$F_{mk} = 0,015 \cdot 220 \cdot 9,8 \cdot 1 = 32,34 \text{ (H)}$$

Сила опору повітря:

$$F_{пов} = C_x \cdot S \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2};$$

де C_x - коефіцієнт опору повітря;

S - лобова площа мотоциклу;

ρ - щільність повітря;

V - швидкість.

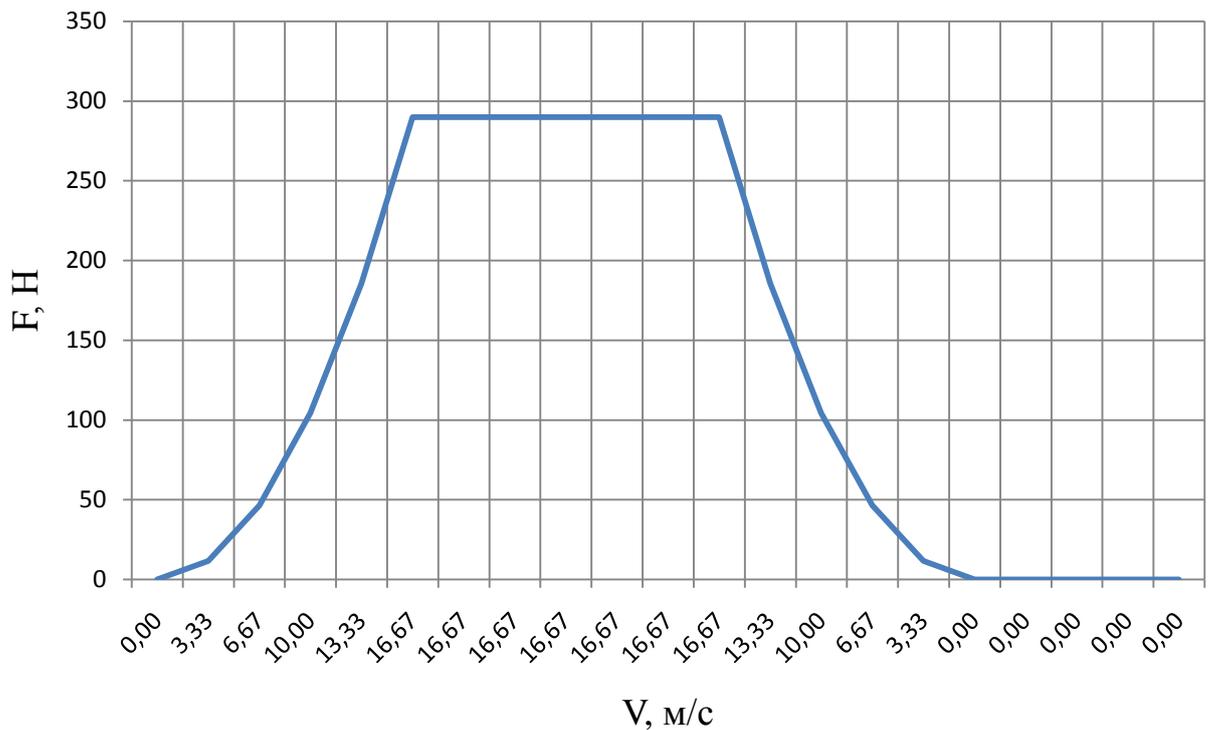


Рис.1.2 Сила опору повітря.

Розрахунок динамічних сил:

$$F_{дин} = m \cdot a;$$

де m - маса;

a - прискорення;

Сила прикладена до привода:

$$F_{пр} = F_{дин} + F_{пов};$$

Періоди руху:

прискорення, t_1 - 5 с;

рух зі сталою швидкістю, t_2 - 6 с;

гальмування, t_3 - 5 с;

пауза, t_4 - 4 с.

Отримані розрахункові дані представлені в таблиці 3.1. На основі отриманих даних будується діаграма навантаження двигуна мотоциклу та розраховується еквівалентна потужність електродвигуна.

Таблиця 1.3 Розрахунок динамічних характеристик

t [с]	v [v/c]	v [м/с]	a [м/с ²]	Fпов [Н]	Fдин [Н]	Fпр[Н]
0	0	0,00	0,00	0	0	0
1	12	3,33	3,33	11,59	733,3	744,93
2	24	6,67	3,33	46,37	733,3	779,7
3	36	10,00	3,33	104,33	733,3	837,66
4	48	13,33	3,33	185,47	733,3	918,81
5	60	16,67	3,33	289,8	733,3	1023,13
6	60	16,67	0,00	289,8	0	289,8
7	60	16,67	0,00	289,8	0	289,8
8	60	16,67	0,00	289,8	0	289,8
9	60	16,67	0,00	289,8	0	289,8
10	60	16,67	0,00	289,8	0	289,8
11	60	16,67	0,00	289,8	0	289,8
12	48	13,33	-3,33	185,47	-733,3	-547,86
13	36	10,00	-3,33	104,33	-733,3	-629,01
14	24	6,67	-3,33	46,37	-733,3	-686,97
15	12	3,33	-3,33	11,59	-733,3	-721,74
16	0	0,00	-3,33	0	-733,3	-733,3
17	0	0,00	0,00	0	0	0
18	0	0,00	0,00	0	0	0
19	0	0,00	0,00	0	0	0
20	0	0,00	0,00	0	0	0

На основі таблиці 1.3 побудовано навантажувальну характеристику та тахограму швидкості, графіки яких представлені на рисунку 1.3.



Рис. 1.3 Тахограма швидкості та навантаження приводу.

На основі даних таблиці 1.3 можна розрахувати еквівалентну силу опору:

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i^2 * t_i)}{\sum t_{pi}}};$$

де F_i - сила прикладена до приводу в i -й проміжок часу;

t_i - час на протязі котрого була прикладена сила F_i ;

t_{pi} - період роботи.

Для спрощення розрахунку еквівалентної сили розрахунок проведемо в табличному вигляді.

Таблиця 1.4 Розрахунок параметрів еквівалентної сили

$F_{прив}^2 [H]$	$F_{прив}^2 [H] * t$
0	0
554913,75	554913,8
607934,17	607934,2
701676,51	701676,5
844203,24	844203,2
1046801,82	1046801,8
83984,04	503904,2
300152,04	300152,0
395647,71	395647,7
471921,37	471921,4
520910,55	520910,6
537777,78	537777,8
0	0
0	0
0	0
0	0

Підставивши значення таблиці отримаємо значення еквівалентної сили:

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{6485843,2}{20}} = 569 (H)$$

Для визначення еквівалентної потужності двигуна використовується формула:

$$P_{екв} = F_{екв} \cdot V_{cp};$$

де V_{cp} - середня швидкість мотоциклу за цикл.

Значення середньої швидкості:

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n};$$

де V_i - поточне значення швидкості.

$$V_{cp} = \frac{183,3}{20} = 9,17 \left(\frac{M}{c}\right)$$

$$P_{екв} = 569 * 9,17 = 5220 (Bm)$$

Еквівалентна потужність двигуна електромотоциклу становить 5 кВт.

					ЕП.МР.18.08.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2.АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

					<i>ЕП.МР.18.08.02.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Криворотий</i>			<i>Розробка електропривода електричного мотоцикла</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев</i>					21	11
<i>Реценз.</i>		<i>Галушко О.М.</i>				<i>141М-17-4, НТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський</i>						
<i>Затверд.</i>								

2.1 Обґрунтування типу приводу.

Для приводу в рух електромотоциклу буде використано вентильний електродвигун. Вентильний електродвигун - це синхронний двигун, заснований на принципі частотного регулювання з самосинхронізацією, суть якого полягає в управлінні вектором магнітного поля статора залежно від положення ротора. Синхронні двигуни з постійними магнітами (в англійській літературі BLDC або SDPM) ще називають безколекторними двигунами постійного струму, тому що контролер такого двигуна живиться постійною напругою[10]. Будова даного двигуна представлена на рисунку 2.1.

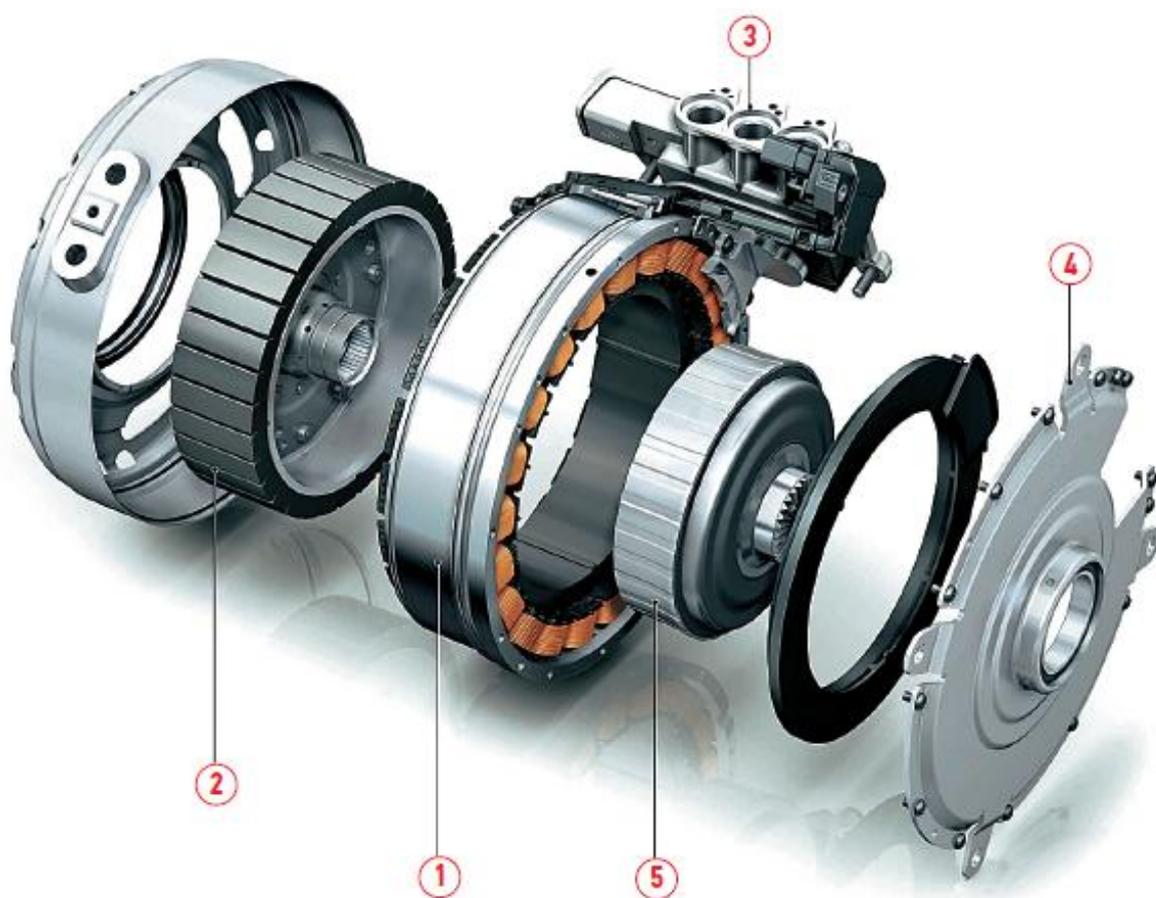


Рис.2.1 Конструкція синхронного двигуна з постійними магнітами.

1-статор з обмоткою збудження; 2 - ротор з постійними магнітами; 3 - роз'єми підключення; 4 - захисна кришка з підшипниками; 5 - щеплення.

Цей тип двигуна створений з метою поліпшення властивостей електродвигунів постійного струму. Високі вимоги до виконавчих механізмів зумовили застосування специфічних двигунів постійного струму: безколекторних

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.МР.18.08.02.ПЗ

Арк.

22

трифазних двигунів постійного струму. Конструктивно вони нагадують синхронні двигуни змінного струму: магнітний ротор обертається в шихтованому статорі з трифазними обмотками. Але обороти є функцією від навантаження і напруги на статорі. Ця функція реалізована за допомогою перемикачів обмоток статора в залежності від координат ротора. Для гальмування і реверсу вентильного двигуна не потрібна мостова схема реверсу живлення - досить подати керуючі імпульси на обмотки статора в зворотній послідовності[11].

У вентильному двигуні індуктор знаходиться на роторі (у вигляді постійних магнітів), якірна обмотка знаходиться на статорі. Напруга живлення обмоток двигуна формується в залежності від положення ротора. Якщо в двигунах постійного струму для цієї мети використовувався колектор, то в вентильному двигуні його функцію виконує напівпровідниковий комутатор (датчик положення ротора з інвертором(ДПР))[11].

Головна відмінність вентильного двигуна від синхронного є його самосинхронізація за допомогою датчика положення ротора, в результаті чого, частота обертання поля пропорційна частоті обертання ротора.

Система керування містить силові ключі, часто тиристори або силові транзистори з ізолюваним затвором. З них збирається інвертор напруги або інвертор струму. Система управління ключами зазвичай реалізується на основі використання мікроконтролера. Наявності мікроконтролера вимагає велика кількість обчислювальних операцій з управління двигуном[11].

Принцип роботи вентильного двигуна заснований на тому, що контролер комутує обмотки статора так, щоб вектор магнітного поля статора завжди був ортогональний вектору магнітного поля ротора. За допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) контролер управляє струмом, що протікає через обмотки електродвигуна, тобто вектором магнітного поля статора, і таким чином регулюється момент, діючий на ротор. Знак γ кута між векторами означає напрямок моменту діючого на ротор[11].

					<i>ЕП.МР.18.08.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Комутація проводиться так, що потік збудження ротора - Φ_0 підтримується постійним щодо потоку якоря. В результаті взаємодії потоку якоря і збудження створюється обертовий момент M , який прагне розвернути ротор так, щоб потоки якоря і збудження збіглися, але при повороті ротора під дією ДПР відбувається перемикання обмоток і потік якоря повертається на наступний крок.

В цьому випадку і результуючий вектор струму буде зміщений і нерухомий щодо потоку ротора, що і створює момент на валу двигуна.

У руховому режимі роботи магніторушійна сила статора випереджає МРС ротора на кут 90° , який підтримується за допомогою датчика положення ротора. В гальмівному режимі МРС статора відстає від МРС ротора, кут 90° , що так само підтримується за допомогою ДПР[11].

Головні переваги даних двигунів:

- висока швидкодія і динаміка, точність позиціонування;
- широкий діапазон зміни частоти обертання;
- безконтактність і відсутність вузлів, що вимагають технічного обслуговування;
- можливість використання у вибухонебезпечному і агресивному середовищі;
- велика перевантажувальна здатність по моменту;
- високі енергетичні показники (ККД більше 90% і $\cos \varphi$ більше 0,95);
- великий термін служби, висока надійність і підвищений ресурс роботи за рахунок відсутності ковзних електричних контактів;
- низький перегрів електродвигуна, при роботі в режимах з можливими перевантаженнями.

Головний недолік таких двигунів - висока вартість двигунів, обумовлена використанням дорогих постійних магнітів в конструкції ротора.

					<i>ЕП.МР.18.08.02.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Вибір електродвигуна

Вибір двигуна здійснюється на основі розрахунків виконаних в пункті 1.3, Розділу 1.

Розрахункова потужність двигуна становить 5 кВт.

Виходячи з параметрів, отриманих в першому розділі, для приведення в рух електромотоцикла можна обрати електродвигун компанії GOLDEN MOTOR, моделі НРМ48-5000.

Параметри електродвигуна типу BLDC:

напруга живлення - 48 В;

номінальний струм живлення - 120 А;

номінальна потужність - 5000 Вт;

швидкість обертання валу - 3500 об/хв.

номінальний момент - 14 Нм

маса двигуна - 11 кг;

розмір двигуна - 126 мм довжина, діаметр 206 мм.

ККД - 91%

Пікова потужність даного двигуна 6 кВт, а споживаний струм 180 А.

2.3 Вибір та опис типу перетворювача.

Для забезпечення керування електродвигуном необхідно обрати перетворювач, що забезпечить двигун необхідним живленням та регулюванням його параметрів. Зважаючи на параметри електродвигуна найбільш підходящим для цього варіантом буде обрати перетворювач моделі VEC 300-48, що забезпечують максимальний струм близько 300 Ампер.

Даний контролер забезпечує векторне керування для синхронних двигунів з постійними магнітами. Дозволяє досягнути більш ефективного керування потужністю двигуна та забезпечити точність регулювання швидкості, особливо це помітно на малих швидкостях. Використання такого контролера для керування безколекторним двигуном дозволяє значно зменшити пульсації моменту, що забезпечує більш плавний і тихіший рух.

					<i>ЕП.МР.18.08.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

В контролері реалізується техніка управління двигуном, в котрій система намагається зорієнтувати статорний вектор магнітного потоку відносно потоку ротора. Оптимальний кут орієнтації залежить від того, яка характеристика двигуна повинна бути максимально реалізована. Найбільш поширеною є максимізація моменту на валу електродвигуна. Це досягається коли вектор потоку статора становить 90° відносно вектора потоку ротора, якщо двигун не має змінного опору, наприклад двигун з постійним магнітом. У цьому випадку ступінь орієнтації, становить від 115° до 120° .

Контролер спеціально розроблений для високопродуктивних безколекторних двигунів постійного струму (BLDC) від 1 кВт до 20 кВт з напругою від 48В до 96В. У серії продуктів використовується алгоритм FOC (Field Oriented Control / Sine Wave), в якому SVPWM використовується для керування пристроєм живлення таким чином, щоб він вводив синусоїдальний струм у трифазний двигун. Використовуючи 32-розрядний мікропроцесор, який включає останнє ARM-ядро, він демонструє відмінні оперативні можливості[9].

За допомогою сучасного контрольного рішення система може досягти наступних характеристик:

- максимальний контроль крутного моменту;
- постійне регулювання потужності;
- замкнутий цикл керування швидкістю та рекуперативне гальмування.

У порівнянні з традиційним контролером двигуна контролер PMSM має наступні очевидні переваги:

- прямий контроль крутного моменту, плавний пуск, відмінні характеристики прискорення, особливо на низьких швидкостях;
- низький рівень шуму за рахунок повного пригнічення низькочастотного шуму спричиненого коливанням моменту;
- забезпечення програмування за допомогою ПК для точного налаштування системи приводу, відстеження роботи в реальному часі;

					<i>ЕП.МР.18.08.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

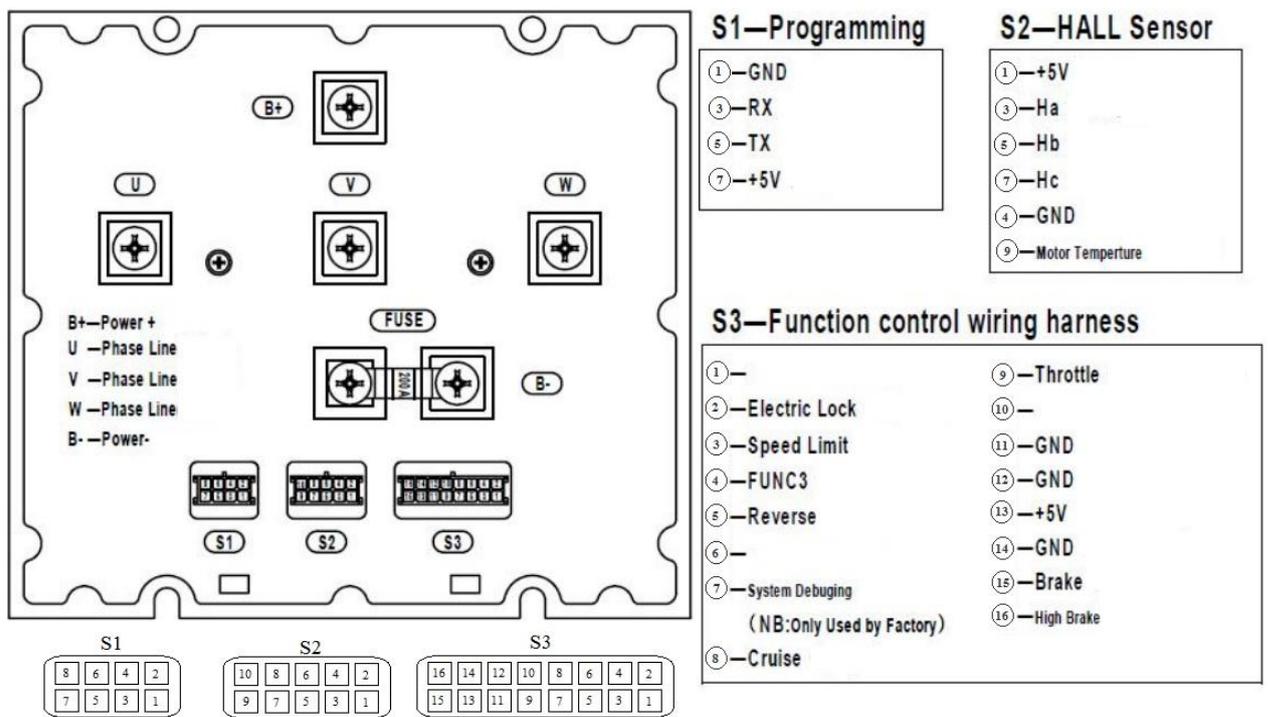


Рис 2.2 Схема входів/виходів контролера.

2.4 Вибір акумуляторної батареї

Вибір акумуляторної батареї буде здійснено на основі параметрів електродвигуна та контролера для управління ним. Основні параметри необхідні для вибору АКБ представлені в таблиці 2.2:

Таблиця 2.2 Параметри системи живлення

Назва	Значення
Номінальна напруга живлення двигуна	48 В
Максимальний струм перетворювача	300А
Номінальний струм живлення електродвигуна	120 А

Виходячи з цих параметрів можна визначити необхідні параметри акумуляторної батареї. Вибір батареї здійснюється на основі напруги живлення, номінальному струмі та ємності.

Для забезпечення необхідних характеристик обрано наступну АКБ:

Літій-іонний акумулятор Volta bikes, 48v 7.8Ah.

Характеристики даної батареї приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Параметри акумуляторної батареї

Назва	Значення
Номінальна напруга	48 В
Номінальна ємність	7.8 А·год (375.2 Вт·год.)
Внутрішній опір	100 мОм
Максимальна напруга в зарядженому стані	54,6 В
Мінімальна напруга (поріг автоматичного відключення)	39 В
Постійний струм розряду	25 А
Максимальний струм розряду	45 А
Час повної зарядки АКБ	3,9 год
Діапазон робочих температур	-15...+40
Кількість циклів заряду	1500
Маса	2,95 кг

Для забезпечення необхідного струму розряду акумулятора необхідно становити декілька батарей паралельно одна одній. Для визначення необхідної кількості батарей проведемо розрахунок параметрів.

Розрахунок кількості батарей для забезпечення максимального струму:

$$N = \frac{300}{45} \approx 6$$

Перевірка номінального значення струму розряду при визначеній кількості батарей:

$$I_{nr} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ (А)}$$

Розрахунковий струм розряду повністю задовольняє параметрам живлення двигуна.

Визначимо загальну ємність акумуляторних батарей:

$$C = 375,2 \cdot 6 = 2251,2 = 2,3 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

					ЕП.МР.18.08.02.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або

$$C = 7,8 \cdot 6 = 46,8 (A \cdot год)$$

Виходячи з розрахунку можна зробити висновок, що 6 секцій батареї, встановлених паралельно одна одні, забезпечать необхідні параметри живлення двигуна. Загальна маса батареї складе 17,7 кг.

Для зарядки такої АКБ можна використати автоматичний зарядний пристрій для літій-іонних акумуляторів на 48 В моделі Smart-C48V7A-Li з наступними параметрами:

- напруга живлення 200-264v, 50 / 60Гц;
- максимальний споживаний струм: 1.6 А;
- напруга на виході: 54.6 v (+/- 0.2v);
- метод заряду: CC / CV;
- струм заряду: 7A - 0.05A (змінюється автоматично).

2.5 Електрична схема підключення

Електрична схема підключення електродвигуна та іншого обладнання до контролеру VEC 300 представлена на рисунку 2.2. Силова схема підключення представлена на рисунку 2.3.

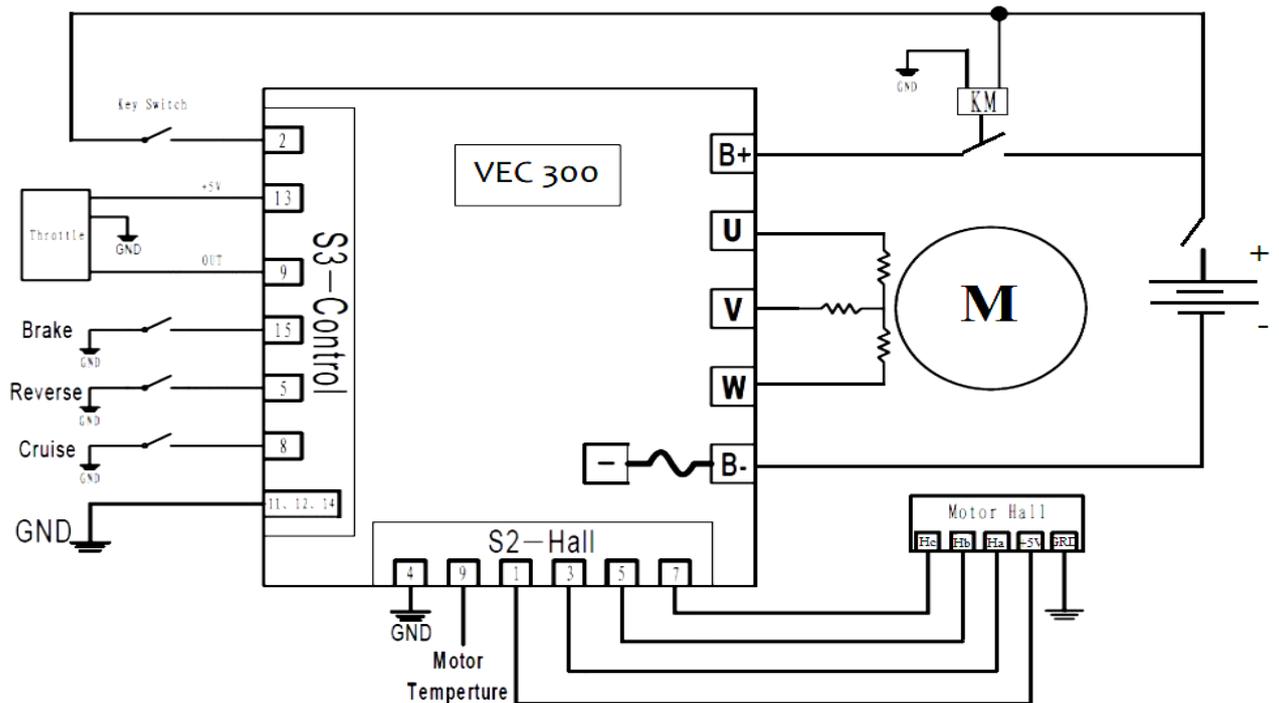


Рис. 2.2 Електрична схема підключення.

						ЕП.МР.18.08.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			31

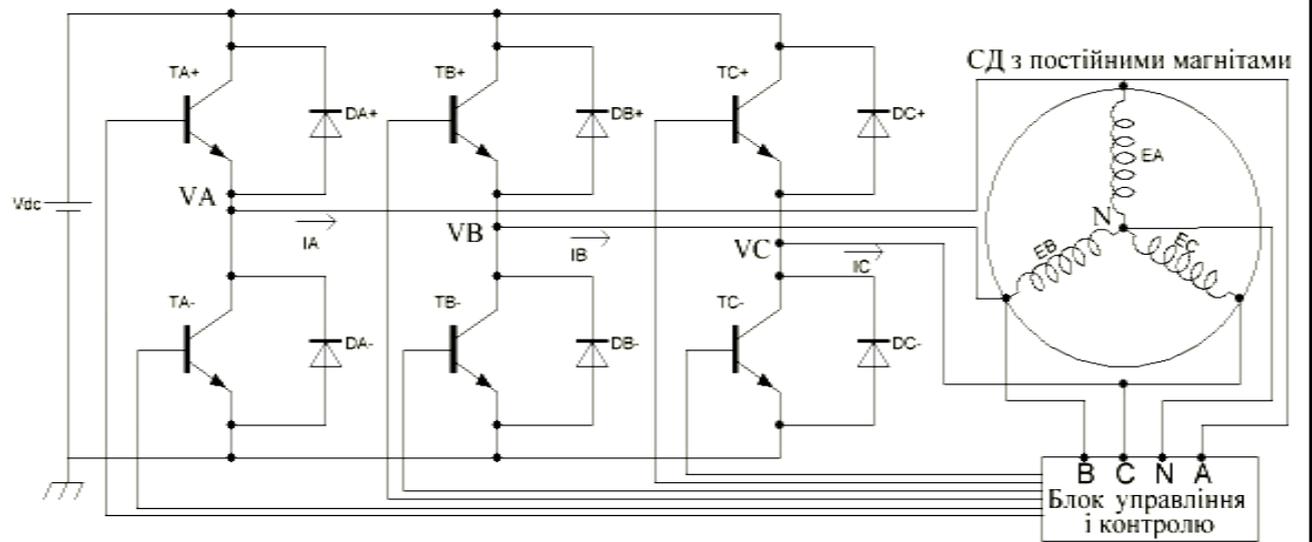


Рис.2.3 Принципіальна схема силової частини приводу.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

					<i>ЕП.МР.18.08.03.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Криворотий</i>			<i>Розробка електропривода електричного мотоцикла</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев</i>				33	8	
<i>Реценз.</i>		<i>Галушко О.М.</i>				<i>141М-17-4, НТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський</i>						
<i>Затверд.</i>								

3.1 Математична модель СДПМ

В ортогональній системі координат dq трифазна обмотка статора двигуна перетворюється в дві обмотки, осі котрих направлені по координатним осям d та q. Ротор такої машини представляє собою постійний магніт, тому рівняння для нього не записуються. Рівняння рівноваги статора СДПМ відповідають наступній системі рівнянь представлених у формі Коши:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{sd} = R_s \cdot I_d + L \frac{di_d}{dt} - p \cdot \psi_q \cdot \omega_{ел} \\ U_{sq} = R_s \cdot I_q + L \frac{di_q}{dt} - p \cdot \psi_d \cdot \omega_{ел} \\ \psi_d = L_d \cdot I_{sd} + \psi_r \\ \psi_q = L_q \cdot I_q \\ M = \frac{2}{3} \cdot p \cdot \psi_r \cdot I_{sq} \\ \frac{d\omega_p}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M - M_n - \beta \cdot \omega_p) \end{array} \right.$$

де $I_{sd}, I_{sq}, U_{sd}, U_{sq}$ - струми і напруги по осям d та q;

M_n, M - момент навантаження та електромагнітний момент;

J - момент інерції двигуна;

β - коефіцієнт демпфірування;

ψ_d, ψ_q, ψ_r - потокощеплення статора та ротора;

L_d, L_q - індуктивність обмотки статора по осям d та q.

Виходячи з того, що магнітна проникність феромагнітного матеріала магнітів встановлених на поверхні ротора близька до проникності повітря, можливо прийняти індуктивність по продольним осям приблизно однаковими, звідси $L_d = L_q = L_s$.

На основі приведених рівнянь можна побудувати структурну схему синхронного двигуна з постійними магнітами. Дана схема представлена на рис. 3.1:

										Арк.
										34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.МР.18.08.03.ПЗ					

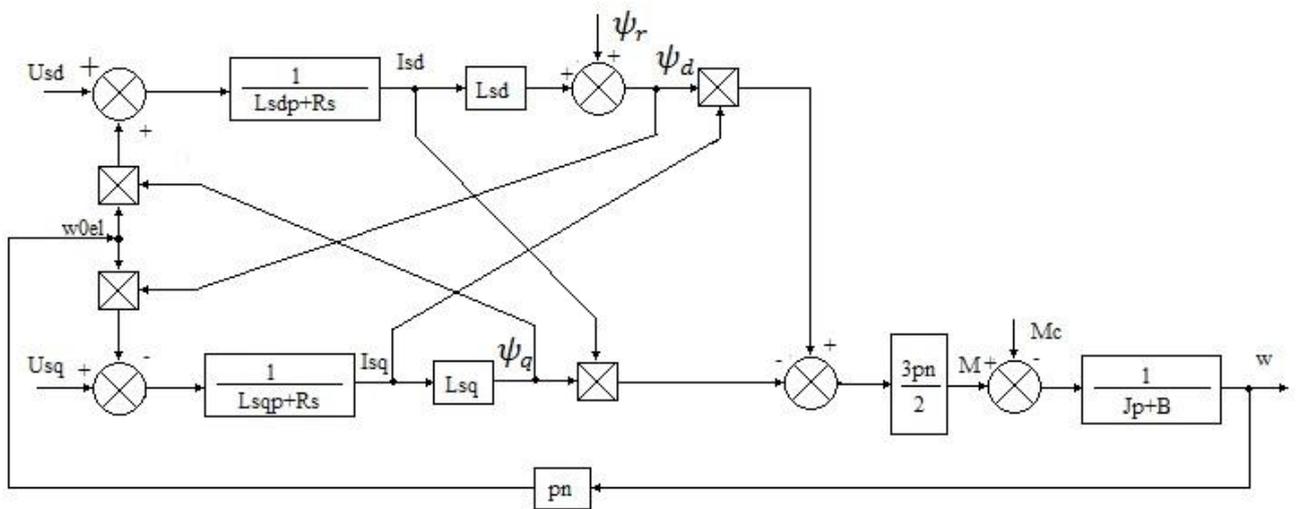


Рис.3.1 Структурна схема синхронного двигуна з постійними магнітами.

3.2 Вибір структури САК ЕП

Отримання достовірних якісних і особливо кількісних характеристик поведінки реальної системи автоматизованого електроприводу конкретного виробничого механізму вимагає максимального врахування особливостей роботи, як в цілому електроприводу, так і його окремих елементів. Перш за все врахування всіх особливостей роботи перетворювача частоти та системи електроприводу, параметрів електричних та механічних систем, що залежать від часу та інших параметрів.

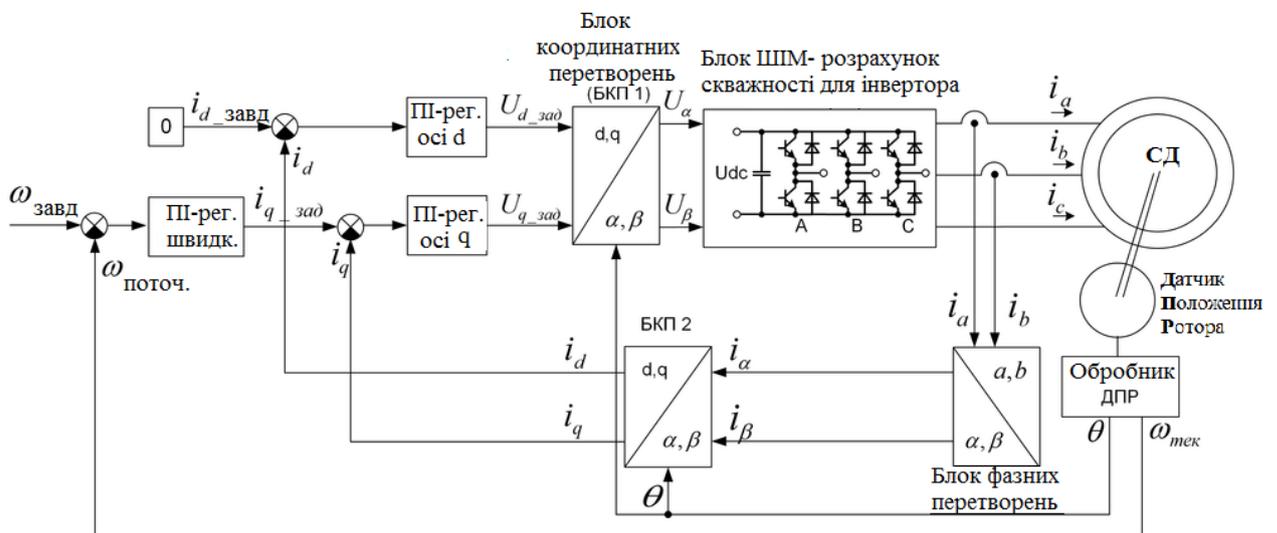


Рис.3.2 Функціональна схема моделі

На рисунку 3.1 представлена функціональна схема векторного керування синхронним двигуном. Дана схема дозволяє регулювати швидкість обертання вала двигуна.

На вхід подається завдання на швидкість, після чого вхідний сигнал потрапляє до суматора і порівнюється зі значенням зворотного зв'язку за швидкістю, що надходить від обробника датчика положення ротора. В схемі реалізовано контур швидкості з ПІ-регулятором. Осі d і q обертаються разом із ротором. При чому вісь q регулює струм, що утворює момент, а струм осі d є згідно направленим з магнітом ротора, тому його значення задається рівним нулю. БКП1 реалізує перетворення обертових координат напруги d, q на координати нерухомих осей α та β . А блок БКП2 реалізує зворотню дію але робить це з координатами струму. Блок ШІМ регулює шпаруватість вихідних імпульсів в залежності від завдання на вході системи. ДПР реалізує контроль за кутом повороту ротора, а його вихідний сигнал потрапляє на обробник ДПР, що дозволяє регулювати струм двигуна.

3.2 Моделювання роботи привода

Для створення математичної моделі електропривода змінного струму було використано програмний продукт Matlab.

При моделюванні системи електропривода були використані елементи бібліотеки SimPowerSystems.

Розрахункові параметри та константи схеми моделювання системи приводу представлені в таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 Параметри моделювання

Назва	Значення
ramp	(-10000...10000)
Tsc	$7 \cdot 20 \cdot 10^{-6}$
fc	100
ki	100
kp	5
sat	(-256...256)
Ts	$2 \cdot 10^{-6}$
SwK	2
p	4
Ld	0,000174
Lq	0,000293

λ	0,071
f_max	$20 \cdot 10^3$
Ts_vect	$20 \cdot 10^{-6}$
h	0,1
ib	$\lambda / (Lq - Ld) = 596,63$
Teb	$3/2 \cdot p \cdot \lambda \cdot ib$
Q	0

Функціональні схеми системи керування приводом, набрані в програмному середовищі Simulink представлені на наступних рисунках (рис.3.3-3.7).

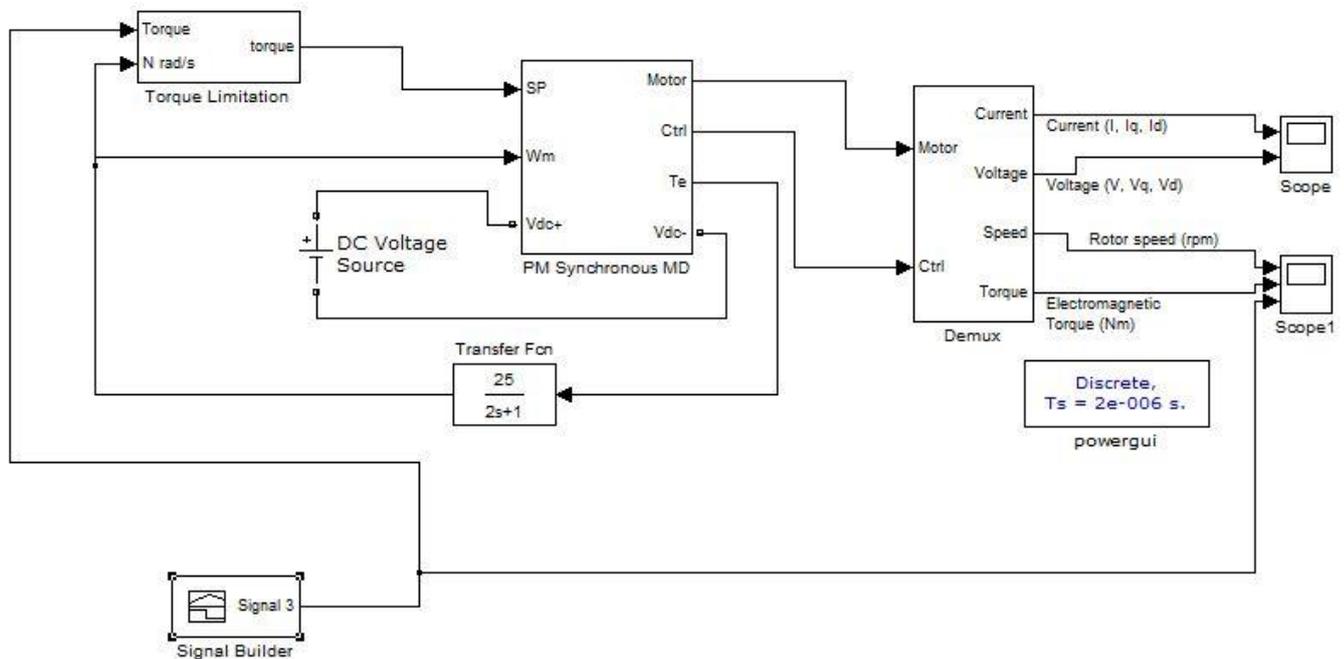


Рис.3.3 Структурна схема електропривода.

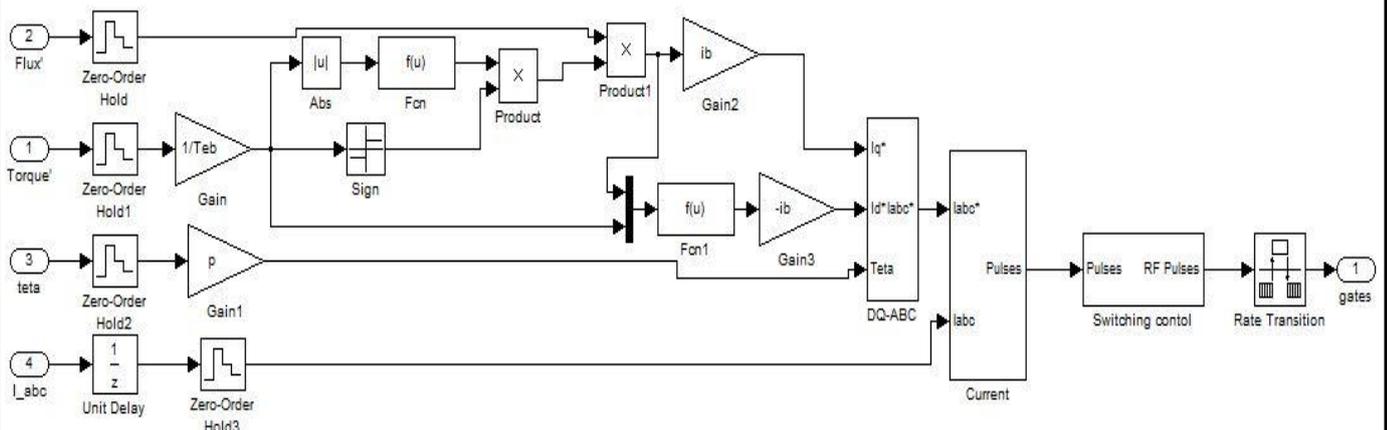


Рис.3.4 Структурна схема системи векторного керування приводом.

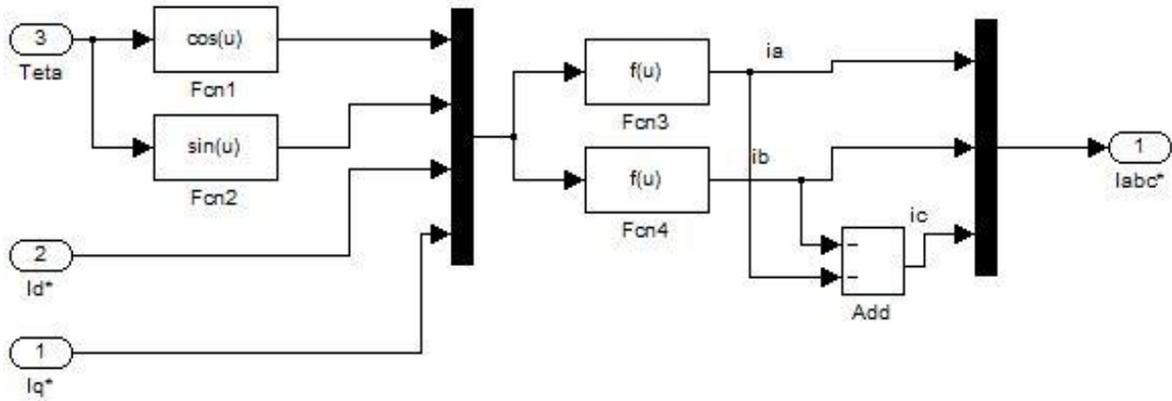


Рис.3.5 Структурна схема перетворювача координат DQ-ABC.

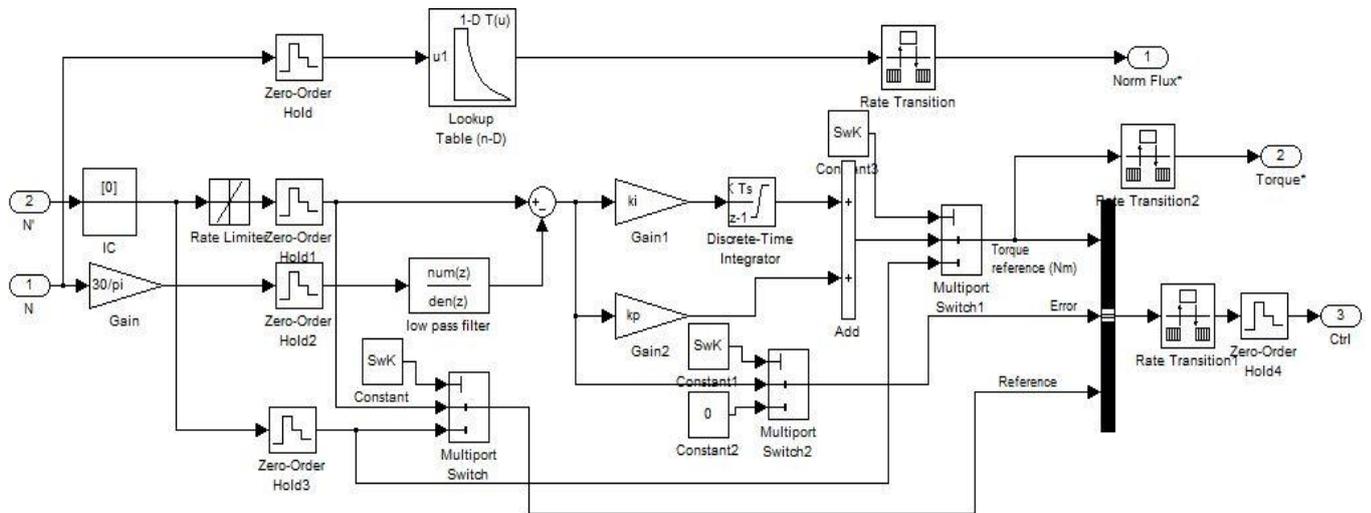


Рис. 3.6 Структурна схема системи контролю швидкості.

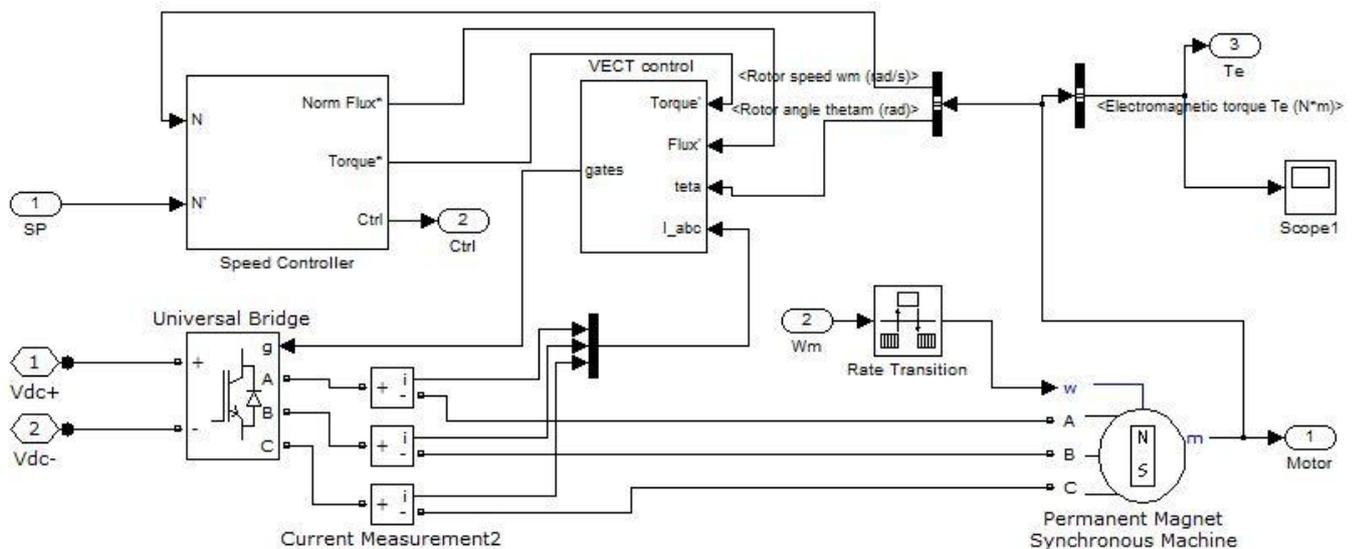


Рис.3.7 Структурна схема системи керування електропривода.

Моделювання перехідних процесів в системі регульованого приводу, на основі приведених структурних схем було проведено на ЕОМ в програмному продукті Matlab.

Програма відтворюється методом імітаційно-чисельного моделювання перехідних процесів в аналогових нелінійних системах регульованого електроприводу при типових задаючих та збуджуючих впливах. Вона дозволяє в широких межах варіювати структуру і значення параметрів елементів САР, виводити результати розрахунків у вигляді графіків, за якими визначаються динамічні якості системи.

Графіки перехідних процесів системи привода приведені на рис.3.8

Висновки

Виходячи з отриманих графіків динаміки електропривода можна зробити висновок, що схема зібрана правильно та повністю відповідає всім необхідним динамічним характеристикам. Отже, розрахунок параметрів схеми був виконаний вірно.

					<i>ЕП.МР.18.08.03.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

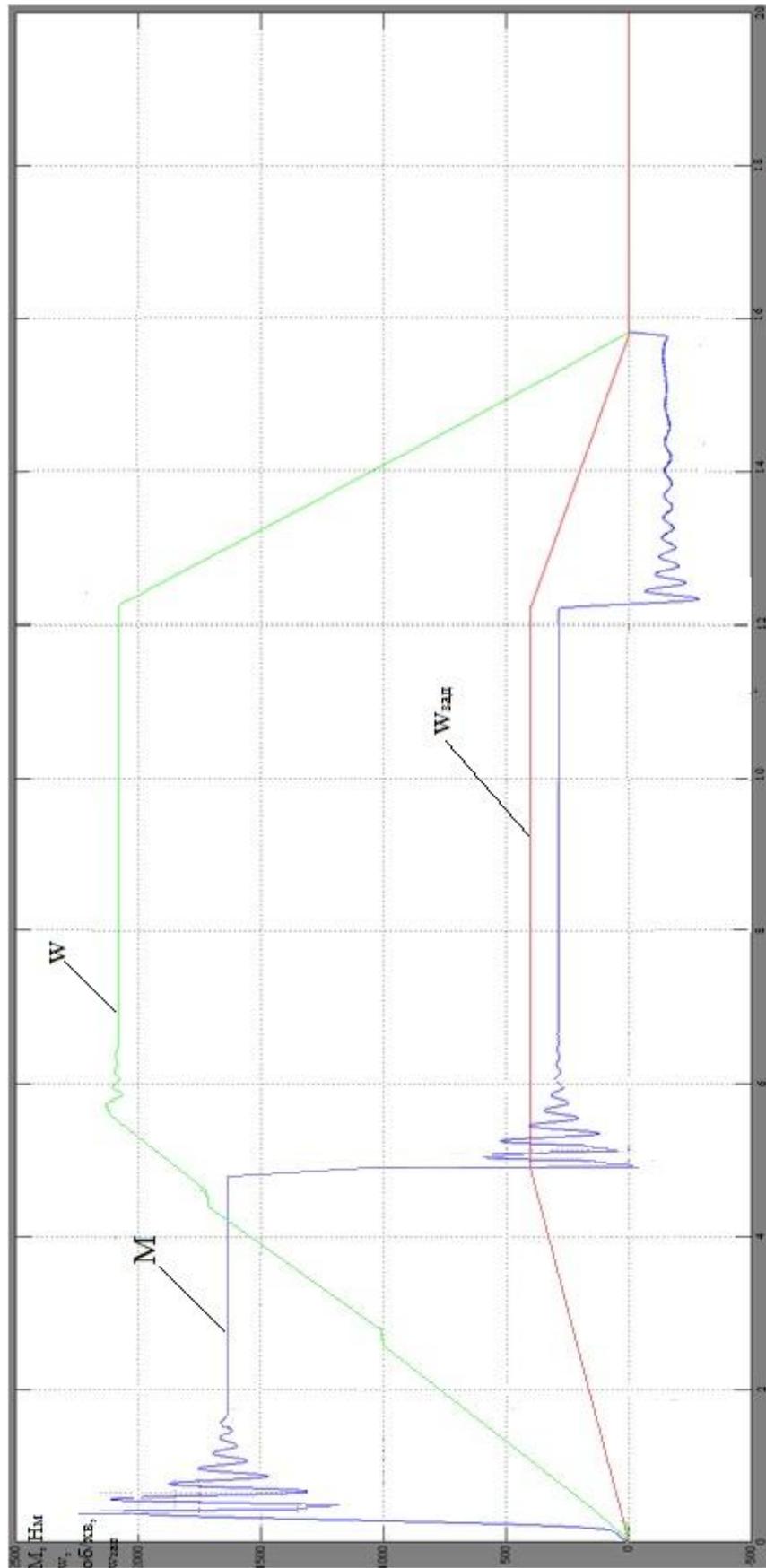


Рис.3.8 Діаграма циклу роботи приводу електромотоцикла.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.МР.18.08.03.ПЗ

Арк.

40

4.ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРНУНТУВАННЯ

					<i>ЕП.МР.18.08.04.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Криворотий О.О</i>			<i>Розробка електропривода електричного мотоцикла</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тимошенко Л.В.</i>					41	10
<i>Реценз.</i>		<i>Галушко О.М.</i>				<i>141М-17-4, НТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський</i>						
<i>Затверд.</i>								

Вступ

Енергозбереження є сучасним напрямом у всьому світі. Зменшення споживання земних ресурсів та мінімізація викидів шкідливих газів у атмосферу являється завданням номер один у всіх сферах життєдіяльності людей у всьому світі.

Розробка "зелених" транспортних засобів дозволить знизити споживання викопного палива та значно зменшить викиди вуглекислого газу в атмосферу. Також це необхідність, адже стандарти EURO з кожним роком стають все більш жорсткими.

У даному дипломному проєкті проводиться модернізація мотоциклу з двигуном внутрішнього згоряння, та заміна даного двигуна на електродвигун. Це дозволить позбутися викидів газів у атмосферу, а також значно знизити витрати на паливо та обслуговування, та підвищити надійність транспортного засобу.

В техніко-економічному обґрунтуванні проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат; визначено кількість робочих, які безпосередньо зайняті обслуговуванням механізму; розрахований річний фонд заробітної плати.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

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

Капітальні витрати по реалізації проєктного 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;

					<i>ЕП.МР.18.08.04.ПЗ</i>	Арк.
						42
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

– 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.

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

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_i,$$

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_m – витрати на монтажні роботи

Z_n – 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. 5.1).

Таблиця 5.1 – Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Електродвигун НРМ48-5000	1	17700	17700
2	Транспортування електродвигуна	1	1650	1650
3	Перетворювач VEC-300-48	1	23 835	23 835
4	Транспортування перетворювача	1	520	520
5	Комірка літієвої батареї Volta bikes 48v 7.8Ah	5	5565	27825

Продовження таблиці 5.1

6	Транспортування батареї	5	280	1400
7	Проведення монтажних робіт	1	10739	10739
6	Проведення налагоджувальних робіт	1	39,75	397,75
Всього				84066

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ($Z_{мс}$) 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 – Одеса, вул. Карла-Маркса, 32.

Місце експлуатації – місто Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Відстань перевезення – 465 км.

Витрати на перевезення за допомогою служби доставки – 1650 грн.

Для перетворювача: місце придбання – Одеса, вул. Карла-Маркса, 32.

Витрати на перевезення за допомогою служби доставки – 520 грн.

Місце експлуатації – місто Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Для акумуляторної батареї: місце придбання – Одеса, вул. Карла-Маркса, 32.

Витрати на перевезення за допомогою служби доставки – 1400 грн.

Місце експлуатації – місто Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Витрати на монтажні (Z_m) та налагоджувальні (Z_n) роботи можна визначити наступним чином:

$$Z_{m(n)} = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_i,$$

					ЕП.МР.18.08.04.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

K_0 – 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 – 3;

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.

У нашому випадку монтаж виконує наладчик 5 розряду, а отже його тарифна заробітна плата з урахуванням тарифного коефіцієнту розряду (1,52) буде 5659 грн.

Знаходимо годинну тарифну ставку: $5659/168 = 33,68$ грн./год

$$Z_m = (3 \cdot 33,68 \cdot 72) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 10739 \text{ грн.}$$

Витрати на наладку обладнання:

Кількість робітників – 1;

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

Час виконання робіт – 8 години;

					ЕП.МР.18.08.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Коефіцієнт що враховує розмір доплат –1,1;

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

Коефіцієнт що враховує інші витрати – 1,1;

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

5.2 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_m);
- вартість спожитого палива (C_n);

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$Z = C_a + C_m + C_n .$$

5.2.1 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 має мінімальний термін 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:

					<i>ЕП.МР.18.08.04.ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л,$$

де Φ_{Π} – початкова (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;
Л – 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:

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi} - Л}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{84066 - 0}{840661 \cdot 5} \cdot 100\% = 20\%,$$

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

Тоді річні амортизаційні відрахування (АВ) за прямолінійним методом:

$$AB = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100} = \frac{84066 \cdot 20\%}{100} = 168,13 \text{ грн.}$$

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. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування	Капітальні витрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн
Базовий варіант	42000	20	84
Проектний варіант	84066	20	168,13

5.2.2 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, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

					<i>ЕП.МР.18.08.04.ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середній строк роботи обладнання	год.	650	800
число годин роботи обладнання на рік	год.	2008	2008
Загальні витрати	грн.	7926	2919

5.2.3 Розрахунок вартості спожитого палива.

Проведемо розрахунок, що мотоцикл подорожуючи країною проїжджатиме 12000 км за рік.

Електромобіль на одній зарядці спроможний проїхати близько 150 км, тобто йому потребується не менше ніж 80 зарядок по 4 годин. Для розрахунку візьмемо 85 циклів зарядки, тобто $T_n = 340$ годин споживання електроенергії.

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

$$C_{n(n)} = W_p \cdot C_E \cdot K_e = 782 \cdot 1,68 \cdot 1,2 = 1576 \text{ грн,}$$

де $W_p = C_A \cdot T_n = 2,3 \cdot 340 =$ – 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_e – коефіцієнт втрат електроенергії при заряджанні електромобіля.

Для бензинового двигуна приймаємо, що в середньому за рік він проїжджатиме з витратою палива 3,5л/100 км. Тобто потребується 420 л бензинового палива.

$$C_{n(B)} = 420 \cdot C_B = 420 \cdot 34,77 = 14603 \text{ грн,}$$

					<i>ЕП.МР.18.08.04.ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.1 Розрахунок економічної ефективності впровадження проектного рішення.

Таблиця 5.5 Річні експлуатаційні витрати

Назва	Базовий варіант	Проектний варіант
витрати на технічне обслуговування, грн.	7926	2919
амортизаційні відрахування, грн.	84	168,13
витрати електроенергії та палива, грн.	14603	1576
Загальні витрати, грн.	22613	4663,13

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

$$E = E_2 \pm \Delta C, \text{ грн.}$$

де, ΔC – економія на експлуатаційних витратах.

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}} = 22613 - 4663 = 17950, \text{ грн.}$$

5.3.2 Визначення економічних показників

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

$$E_p = \frac{E}{K}, \text{ віднос. од.}$$

де, E - загальна річна економія від впроваджуваного проекту, грн.;

K - капітальні витрати, що обумовили економію, грн.

$$E_p = \frac{17950}{84066} = 0,213 \text{ віднос. од.}$$

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

$$T_p = \frac{K}{E} \text{ років;}$$

$$T_p = \frac{84066}{17950} = 4,68 \text{ років.}$$

Висновки

У даному розділі була визначена загальна вартість капітальних витрат на впровадження розробленого технологічного рішення яка складає 84066 грн. Визначено експлуатаційні витрати, що дозволили визначити загальну економію. Загалом даний проект можна вважати економічно вигідним так, як витрати на паливо зменшено більше ніж в 10 раз, що дозволить окупити витрати на переобладнання приблизно за 4,7 років.

					<i>ЕП.МР.18.08.04.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ВИСНОВКИ

Завданням даного проекту є розробка електропривода електромотоцикла.

Для реалізації модернізації було використано синхронний двигун з постійними магнітами, перетворювач з системою векторного регулювання швидкості та пакет електробатарей з вихідною напругою 48В. Система керування двигуном забезпечую поле-орієнтовне керування. Проведена модернізація підвищила динамічні характеристики мотоциклу та надійність вузлів системи привода. Електромеханічні характеристики системи повністю відповідають встановленим вимогам та енергетичним показникам.

Динамічні показники якості роботи системи у всьому діапазоні регулювання швидкості повністю задовольняють вимогам технічного завдання.

Затрати на паливо були скорочені більш ніж в 10 разів, що дозволяє значно підвищити економічні показники даного транспортного засобу.

Система керування двигуном забезпечує всі необхідні системи захисту та індикацію аварійних станів для забезпечення безаварійної експлуатації електромотоциклу.

					<i>ЕП.МР.18.08.В.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

12. Golden Motor Україна. Каталог / Спосіб доступу: URL:
<https://www.goldenmotor.com/eCar/HPM48-5000.pdf> – Загол. з екрана.
13. Cars History. Посібник механікам мотоциклів / Спосіб доступу: URL:
https://www.carshistory.ru/posobie_mehanikam_motociklov/dinamika_motocikla/713.html – Загол. з екрана.
14. ICarbio. Статті / Спосіб доступу: URL:
<http://icarbio.ru/articles/soprotivlenie-vozduha.html> – Загол. з екрана.
15. Інтернет магазин електротранспорту Volta Bikes. Каталог товарів / Спосіб доступу: URL:
http://www.e-bike.com.ua/akkumulyatory-dlya-elektrotransporta/litij-ionnye-akkumulyatory-48?product_id=832 – Загол. з екрана.
16. Научный журнал «Молодой ученый» / Спосіб доступу: URL:
<https://moluch.ru/archive/124/> – Загол. з екрана.
17. НПФ ВЕКТОР. Публікації / Спосіб доступу: URL:
https://habr.com/company/npf_vektor/blog/367653/ – Загол. з екрана.

					<i>ЕП.МР.18.08.П.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54