

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка підходу до реалізації частотно-регульованого
електроприводу гібридного автомобіля з використанням передаточних
функцій системи

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАМ-63
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Митулинський Б.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Міронов Д.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Хорошун Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«12» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Митулинському Богдану Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка підходу до реалізації частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля з використанням передаточних функцій системи

Керівник роботи Міронов Дмитро Вікторович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » листопада 2024 року № 4/7-1080

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики електроприводу гібридного автомобіля.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.
4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Функціональна схема гібридного автомобіля – 1А1.
Функціональна схема встановлення електроприводу гібриду – 2А1.
Функціональна схема силової установки – 2А1.
Математично-структурна схема гібридного автомобіля – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі
завдання

12.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	25.11.2024	
2	Технологічний розділ	04.12.2024	
3	Конструкторський розділ	11.12.2024	
4	Науково-дослідний розділ	18.12.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.12.2024	
6	Оформлення графічної частини	20.12.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	27.12.2024	

Студент

(підпис)

Митулинський Б.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Міронов Д.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Розробка підходу до реалізації частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля з використанням передаточних функцій системи».

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка ефективної системи управління частотно-регульованим електроприводом для гібридного автомобіля з використанням передаточних функцій системи для підвищення енергоефективності, стабільності та динамічних характеристик транспортного засобу.

Основні завдання, які необхідно вирішити у роботі:

- проаналізувати поточний стан електромобільності у світі та Україні, визначити тенденції і актуальність гібридних технологій;
- виконати технічний опис конструктивних і функціональних елементів гібридного автомобіля;
- розробити математичну модель системи управління частотно-регульованим електроприводом на основі динамічних звень і передаточних функцій;
- виконати вибір основних елементів системи, зокрема тягового електродвигуна, акумуляторної батареї та системи живлення бортового обладнання;
- провести параметричний синтез системи управління і дослідити стійкість руху електроприводу.

Перший розділ «Загально-технічний розділ» включає аналіз сучасного стану електромобільності та гібридизації транспортних засобів, а також визначення актуальності теми дослідження та постановку задачі.

Другий розділ «Технологічний розділ» містить опис конструктивного виконання різних типів гібридних автомобілів, включаючи паралельні, послідовні, комбіновані та м'які гібриди. У ньому також наведено структурну схему гібридного автомобіля та виконано технічний опис основних компонентів.

Третій розділ «Конструкторський розділ» включає вибір тягового електродвигуна, акумуляторної батареї та системи живлення бортового обладнання. Проведено розрахунки та аналіз технічних характеристик обраних елементів для забезпечення їх відповідності вимогам гібридного автомобіля.

Четвертий розділ «Науково-дослідний розділ» містить розробку математичної моделі системи управління частотно-регульованим електроприводом. Розглянуто динаміку руху електроприводу, досліджено стійкість системи за допомогою диференціальних рівнянь та передаточних функцій, а також виконано параметричний синтез системи управління.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто основні принципи забезпечення безпеки у виробничому середовищі, а також заходи, спрямовані на зниження ризиків під час роботи з високовольтними системами гібридного автомобіля.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 71 сторінки формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини і 6 сторінок додатків.

Ключові слова: гібридний автомобіль, частотно-регульований привід, передаточна функція, параметричний синтез, режими роботи приводу.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Сучасний стан електромобільності та гібридизації транспортних засобів	9
1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Технічний опис функціональної схеми гібридного автомобіля	15
2.2 Конструктивне виконання гібридних транспортних засобів	21
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Виконання електричної схеми гібридного автомобіля.	34
3.2 Вибір елементів силової електричної схеми гібридних автомобілів	39
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	51
4.1 Розробка системи управління частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля	51
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
5.1 Система управління охороною праці на виробництві: принципи та функції	59
5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
БІБЛІОГРАФІЯ	70
ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Останні роки відзначаються стрімким розвитком електрифікації колісного транспорту, що обумовлено кількома ключовими чинниками. По-перше, загострення проблеми екологічного забруднення повітря та зміни клімату, викликані викидами парникових газів від транспортного сектору, стимулюють перехід до чистих технологій. По-друге, наявність обмежених ресурсів викопного палива та їх нерівномірний розподіл змушують шукати альтернативні джерела енергії. По-третє, технічний прогрес у сфері акумуляторних технологій, електродвигунів і систем управління робить електротранспорт економічно вигіднішим і доступнішим. Окрім цього, державні стимули, інфраструктурна підтримка та попит на зменшення експлуатаційних витрат спонукають виробників активно впроваджувати гібридні та електричні транспортні засоби.

З огляду на зазначені причини, важливість гібридизації транспортних засобів стає все більш очевидною, оскільки вона поєднує переваги традиційного двигуна внутрішнього згоряння та електричного приводу. Тема розробки підходу до реалізації частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля з використанням передаточних функцій системи є надзвичайно актуальною в контексті підвищення енергоефективності та екологічності транспортних засобів. Структура роботи дозволяє поетапно дослідити всі технічні й наукові аспекти розробки, включно з вибором елементів електричної схеми, розробкою системи управління та конструктивними особливостями.

Метою магістерської роботи є розробка підходу до реалізації частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля з використанням передаточних функцій системи для підвищення ефективності роботи електроприводу та оптимізації його технічних характеристик.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Дослідити сучасний стан електромобільності та гібридизації транспортних засобів у світі та Україні.
2. Описати функціональну схему та конструктивні особливості гібридного автомобіля.

3. Розробити електричну схему силової частини електроприводу гібридного автомобіля.
4. Виконати вибір елементів силової електричної схеми.
5. Розробити систему управління частотно-регульованим електроприводом з використанням передаточних функцій системи.
6. Провести поетапний розрахунок частотно-регульованого електроприводу та його основних елементів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сучасний стан електромобільності та гібридизації транспортних засобів

На сьогоднішній день електромобільність переживає стрімкий розвиток у всьому світі. Це явище є результатом взаємодії технологічного прогресу, екологічних викликів та змін у глобальній енергетичній політиці. Відповідно до даних *Global EV Outlook 2023*, загальна кількість проданих електромобілів у світі в 2023 році склала майже 14 мільйонів одиниць, що становить близько 18% від загальних обсягів продажів нових автомобілів (рис. 1.1). Зростання попиту на електромобілі є закономірним наслідком сучасних глобальних тенденцій та зусиль провідних країн у боротьбі зі змінами клімату, зменшенням залежності від викопного палива та прагненням до енергоефективності [1].

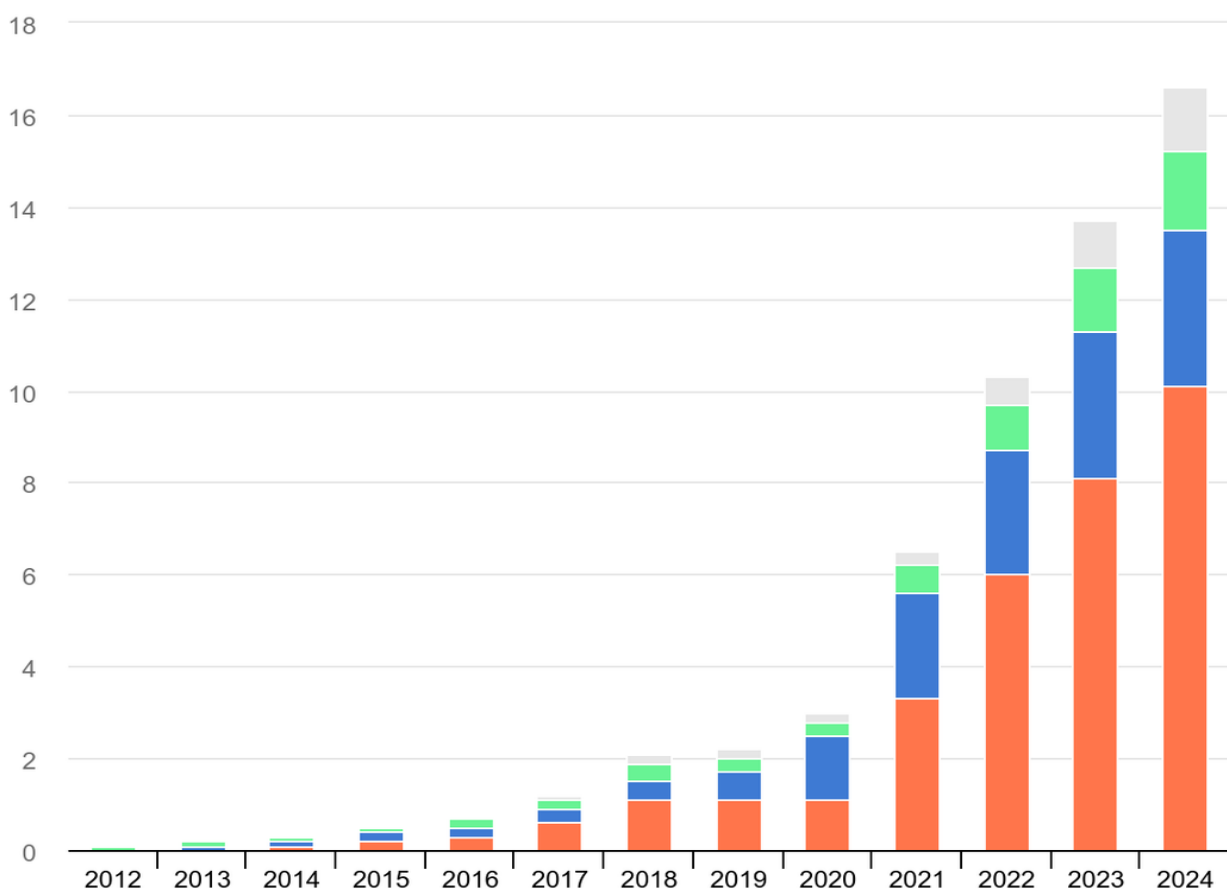


Рисунок 1.1 – Динаміка продажу електромобілів у світі

Однією з головних причин активного розвитку електротранспорту є необхідність скорочення шкідливих викидів у атмосферу. Транспортний сектор залишається одним із найбільших забруднювачів повітря, а його внесок у глобальні викиди вуглекислого газу сягає приблизно 20-25%. У містах з інтенсивним рухом автотранспорту якість повітря значно погіршується через викиди шкідливих речовин, що створює загрозу для здоров'я населення. Електромобілі, які працюють на електричній енергії, мають нульові локальні викиди, що дозволяє суттєво покращити екологічну ситуацію в мегаполісах та сприяє досягненню цілей сталого розвитку.

Ще одним важливим фактором є зростання глобального попиту на енергетичну незалежність. Використання електротранспорту зменшує залежність країн від імпорту нафти та газу, що є особливо актуальним в умовах геополітичної нестабільності. Електроенергія може вироблятися з відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова чи гідроенергія, що забезпечує стабільність енергопостачання та знижує ризики, пов'язані зі змінами цін на паливо.

Третій фактор полягає у зниженні витрат на обслуговування та експлуатацію електромобілів. Порівняно з автомобілями з двигуном внутрішнього згоряння, електричні транспортні засоби мають менше рухомих частин, що знижує їх зношуваність та необхідність у частому ремонті. Крім того, вартість електроенергії для зарядки значно нижча за вартість традиційного палива, що робить електромобілі фінансово вигіднішими у довгостроковій перспективі.

Для пришвидшення впровадження електромобільності багато країн застосовують активну політику стимулювання, яка включає фінансові субсидії, податкові пільги та інвестиції в інфраструктуру.

Китай залишається світовим лідером у розвитку електромобільного ринку. У 2023 році на Китай припадало понад 60% від загального обсягу продажів електромобілів у світі. Такий успіх забезпечується завдяки масштабним державним програмам підтримки, які включають субсидування виробництва та купівлі електромобілів, а також розвиток зарядної інфраструктури. Китайський

уряд поставив амбітну мету: до 2030 року 40% нових автомобілів на ринку мають бути електричними.

Європейський Союз також демонструє значний прогрес у цьому напрямку. У 2023 році частка електромобілів на ринку нових автомобілів у Європі досягла 25%. Європейська політика зосереджена на скороченні викидів вуглекислого газу та переході до "зеленої" енергетики. Уряди країн ЄС надають податкові знижки та субсидії на придбання електромобілів, а також активно фінансують розвиток мережі зарядних станцій. Такі країни, як Норвегія та Німеччина, є флагманами цього процесу завдяки прозорим стимулам та екологічним ініціативам.

Сполучені Штати Америки також демонструють позитивну динаміку. У 2023 році продажі електромобілів у США зросли до 1,4 мільйона одиниць, що відповідає 10% ринку. Федеральний уряд впроваджує податкові кредити для покупців електричних транспортних засобів та інвестує значні кошти у розширення інфраструктури зарядок, що є важливим чинником для подальшого зростання ринку [2].

В Україні розвиток електромобільності набирає обертів завдяки низці державних ініціатив та законодавчих змін, спрямованих на стимулювання використання електричного транспорту. Згідно з Національною транспортною стратегією до 2030 року, передбачено активне заохочення використання електромобілів, що відображається у відповідних змінах до законодавства. Одним із ключових кроків стало звільнення від сплати акцизу на ввезення електромобілів у 2016 році та від податку на додану вартість (ПДВ) з 2018 року. Ці заходи сприяли зниженню вартості електромобілів для кінцевих споживачів, що, у свою чергу, призвело до зростання їх популярності.

Крім того, у 2021 році було прийнято законопроекти №3476 та №3477, які передбачають податкові пільги для підприємств, що займаються виробництвом електричного транспорту та зарядних пристроїв в Україні. Це має стимулювати розвиток вітчизняного виробництва та створення нових робочих місць у цій галузі. Уряд також затвердив План заходів з підтримки електромобільності, який передбачає розвиток мережі зарядних станцій на автомобільних дорогах

державного значення, а також заходи для забезпечення стійкості фінансування доріг в умовах зростання кількості електромобілів.

Завдяки цим заходам, в Україні спостерігається позитивна динаміка у сфері електромобільності. Станом на початок 2022 року в країні було зареєстровано понад 33 тисячі електромобілів, причому лише у 2021 році українці придбали 8,8 тисячі авто з електродвигуном, що на 19% більше порівняно з 2020 роком.

Глобальний розвиток електромобільності демонструє стійке зростання завдяки комплексним заходам, що охоплюють екологічні, економічні та енергетичні аспекти. Провідні країни світу не лише стимулюють споживачів переходити на електротранспорт, але й створюють умови для розширення його інфраструктури та зменшення виробничих витрат. З огляду на ці тенденції, можна прогнозувати подальше зростання частки електричних та гібридних транспортних засобів у загальному обсязі світового автомобільного ринку.

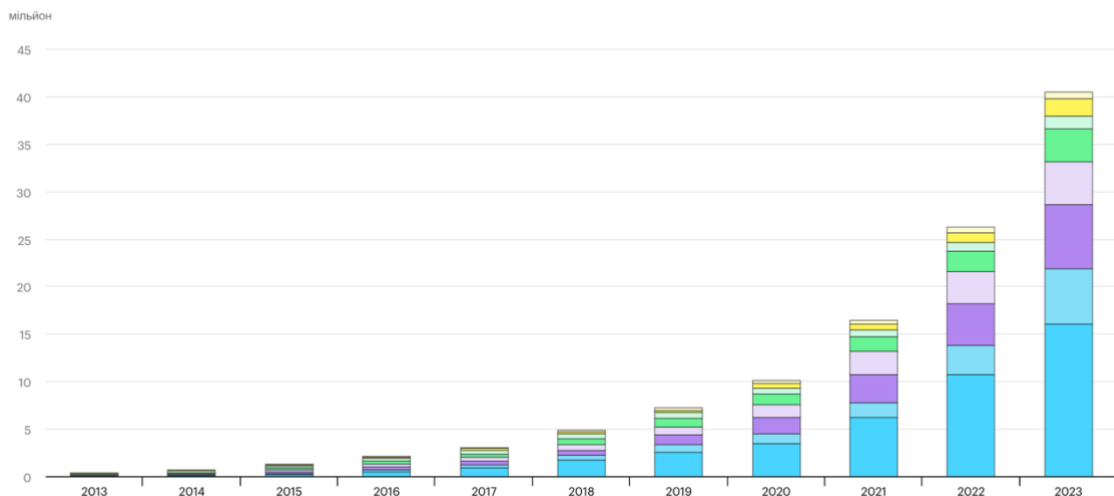


Рисунок 1.2 – Парк електромобілів у світі

Станом на 2023 рік світовий ринок електромобілів демонструє стійке зростання, відображаючи глобальні тенденції до екологічної стійкості та енергетичної незалежності. Китай продовжує утримувати лідерство на ринку електромобілів [3]. У 2023 році в країні було зареєстровано 8,1 мільйона нових електромобілів, що становить близько 60% від світових продажів. Це свідчить про зростання на 35% порівняно з попереднім роком. Крім того, Китай експортував понад 1,2 мільйона електромобілів, що підкреслює його роль як

провідного виробника та експортера електричних транспортних засобів.

Європа також демонструє значний прогрес у впровадженні електромобільності. У 2023 році в Європі було продано майже 3,2 мільйона електромобілів, що становить близько 25% від загального обсягу продажів автомобілів у регіоні. Зокрема, Німеччина стала третьою країною після Китаю та США, яка зареєструвала понад 500 тисяч нових електромобілів за рік, з часткою 18% від загальних продажів автомобілів. Інші країни, такі як Франція та Велика Британія, також досягли частки електромобілів у продажах на рівні 25%, Нідерланди — 30%, Швеція — 60%, а Норвегія продовжує лідирувати з показником майже 95%.

Сполучені Штати Америки також фіксують зростання ринку електромобілів. У 2023 році в США було зареєстровано 1,4 мільйона нових електромобілів, що становить приблизно 10% від загального обсягу продажів автомобілів у країні [4]. Це відображає зростання на понад 40% порівняно з 2022 роком, що свідчить про підвищений інтерес споживачів до електричних транспортних засобів.

Загалом, світовий ринок електромобілів продовжує розширюватися, зосереджуючись переважно в Китаї, Європі та США, які разом складають близько 95% від загального обсягу продажів електромобілів у 2023 році. Ця тенденція підкреслює глобальний перехід до більш екологічно чистих та енергоефективних транспортних рішень.

1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

Аналіз сучасного стану електромобільності у світі та Україні показав, що перехід на електричний та гібридний транспорт є глобальною тенденцією, обумовленою екологічними, енергетичними та економічними факторами. Провідні країни світу, такі як Китай, США та держави Європейського Союзу, активно стимулюють розвиток електротранспорту через державні програми підтримки, податкові пільги та інвестиції у зарядну інфраструктуру. В Україні

також створюються умови для переходу до електромобільності завдяки податковим стимулам і розширенню мережі зарядних станцій.

Актуальність магістерської роботи полягає у необхідності підвищення ефективності гібридних транспортних систем, що поєднують переваги електричного приводу та двигунів внутрішнього згоряння. Реалізація частотно-регульованого електроприводу дозволить оптимізувати енергоспоживання та роботу системи управління гібридного автомобіля. Застосування передаточних функцій системи в розрахунках забезпечує науковий підхід до вирішення завдання, що робить дослідження не лише практично значущим, але й інноваційним.

Для досягнення поставленої мети, а саме розробки підходу до реалізації частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля з використанням передаточних функцій системи, необхідно вирішити такі задачі:

1. Описати технічні характеристики та функціональну схему гібридного автомобіля, що стане основою для подальших розрахунків.
2. Проаналізувати конструктивне виконання гібридних транспортних засобів, враховуючи їх ключові компоненти та особливості.
3. Розробити електричну схему гібридного автомобіля та обґрунтувати вибір елементів силової електричної схеми.
4. Виконати розрахунки частотно-регульованого електроприводу на основі передаточних функцій системи.
5. Розробити систему управління для частотно-регульованого електроприводу, забезпечивши її оптимальне функціонування.
6. Провести поетапний розрахунок основних елементів електроприводу та оцінити ефективність роботи розробленої системи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технічний опис функціональної схеми гібридного автомобіля

Електричні та гібридні автомобілі є альтернативою традиційним транспортним засобам з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). Вони працюють на основі електричної енергії, що робить їх більш екологічно чистими та енергоефективними. Електричний автомобіль (EV, Electric Vehicle) – це транспортний засіб, який використовує виключно електричний двигун для приводу. Енергія зберігається у тяговій акумуляторній батареї і подається на електродвигун, забезпечуючи рух автомобіля. Основні переваги електромобілів: відсутність шкідливих викидів, низькі витрати на обслуговування, висока ефективність перетворення енергії. Основний недолік – обмежений запас ходу та залежність від розвиненої інфраструктури зарядних станцій. Гібридний автомобіль (HEV, Hybrid Electric Vehicle) – це транспортний засіб, який поєднує в собі два типи двигунів: двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електричний двигун [5]. Гібридні системи оптимізують споживання палива, знижують викиди шкідливих речовин і підвищують загальну ефективність транспортного засобу.

Різновиди електричних і гібридних автомобілів охоплюють широкий спектр технологічних рішень, що забезпечують різний рівень енергоефективності, екологічності та функціональності. Вибір конкретного типу залежить від потреб споживачів, умов експлуатації та технологічного рівня інфраструктури. Далі розглянемо детальніше основні види електро- і гібридних транспортних засобів.

Battery Electric Vehicle (BEV). Повністю електричні автомобілі (BEV) працюють виключно на електричній енергії, яку накопичують у великих акумуляторних батареях. Принцип роботи BEV передбачає передачу енергії від батареї до електродвигуна, який приводить транспортний засіб у рух. Запас ходу електромобіля залежить від ємності акумулятора та його технологічних характеристик. В сучасних моделях запас ходу коливається від 300 до 600 км. Популярними прикладами є Tesla Model S, Nissan Leaf та Volkswagen ID.4. BEV

вважаються найбільш екологічними транспортними засобами, оскільки під час руху не виробляють шкідливих викидів. Однак основний виклик – необхідність у розвиненій мережі зарядних станцій.

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV). PHEV поєднує характеристики повністю електричних автомобілів та гібридів. Вони оснащені акумулятором більшої ємності, що дозволяє автомобілю працювати у чисто електричному режимі на короткі дистанції (близько 50–80 км). Коли заряд акумулятора закінчується, у роботу вступає двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), який розширює загальний запас ходу автомобіля. Ця технологія забезпечує гнучкість у використанні: для поїздок містом можна користуватися електротягою, а для довгих поїздок – ДВЗ. Прикладами є BMW 330e, Mitsubishi Outlander PHEV та Toyota Prius PHEV.

Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV). FCEV використовують водневі паливні елементи для виробництва електричної енергії. Водень у реакції з киснем генерує електроенергію, яка подається до електродвигуна. Перевагами FCEV є швидка заправка воднем (3–5 хвилин) та великий запас ходу (500–700 км). Недоліком є висока вартість водневих паливних елементів та відсутність розвиненої інфраструктури для заправки воднем. Серед відомих моделей – Toyota Mirai та Hyundai Nexo.

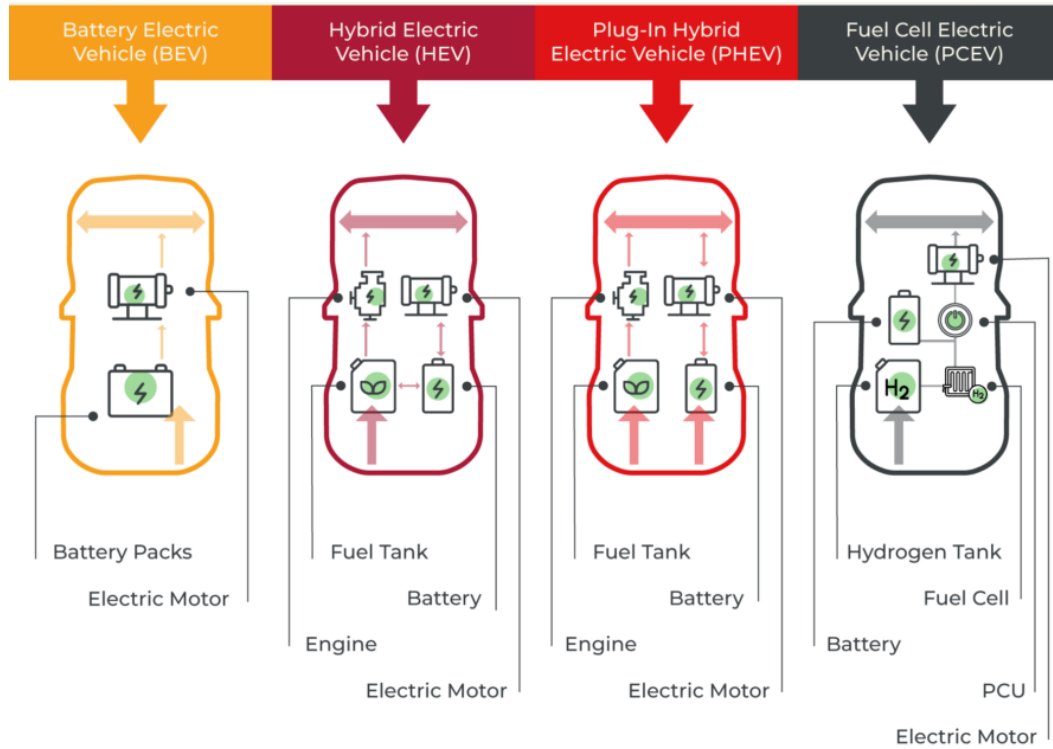


Рисунок 2.1 – Типи електричних транспортних засобів

Паралельний гібрид (Parallel Hybrid). У паралельних гібридних автомобілях електродвигун і ДВЗ одночасно або окремо можуть забезпечувати рух транспортного засобу. Це дозволяє зменшити витрати палива та підвищити ефективність під час прискорення або старту. Акумуляторна батарея заряджається завдяки рекуперації енергії при гальмуванні. Прикладом є Toyota Prius, що стала еталоном паралельних гібридів.

Послідовний гібрид (Series Hybrid). У послідовних гібридах ДВЗ не бере безпосередньої участі у русі автомобіля. Його функція – виробляти електроенергію для зарядки акумулятора або живлення електродвигуна. Уся енергія, що використовується для руху, надходить до коліс через електродвигун, що забезпечує плавний рух. Прикладом є BMW i3 REx.

Комбінований гібрид (Series-Parallel Hybrid). Комбіновані гібриди поєднують можливості паралельного і послідовного гібридів. Автомобіль може автоматично перемикається між електричним і змішаним режимами залежно від умов руху. Це забезпечує максимальну енергоефективність. Відомими представниками є Honda Accord Hybrid та Toyota Highlander Hybrid.

М'який гібрид (Mild Hybrid). М'які гібриди оснащені невеликим електродвигуном, який допомагає ДВЗ під час розгону, запуску чи роботи в режимі холостого ходу. Однак цей електродвигун не може самостійно рухати автомобіль. Система старт-стоп дозволяє автоматично вимикати ДВЗ під час зупинок, що сприяє економії палива.

Мікрогібрид (Micro Hybrid). Мікрогібриди є найпростішою формою гібридизації та оснащуються системою старт-стоп для зменшення споживання палива. Це дозволяє економити до 10% палива в умовах міського руху, але електродвигун як самостійне джерело руху відсутній.

Гібридні автомобілі, поєднуючи ДВЗ та електричний двигун, виступають ефективним компромісом між традиційними та повністю електричними транспортними засобами [6].

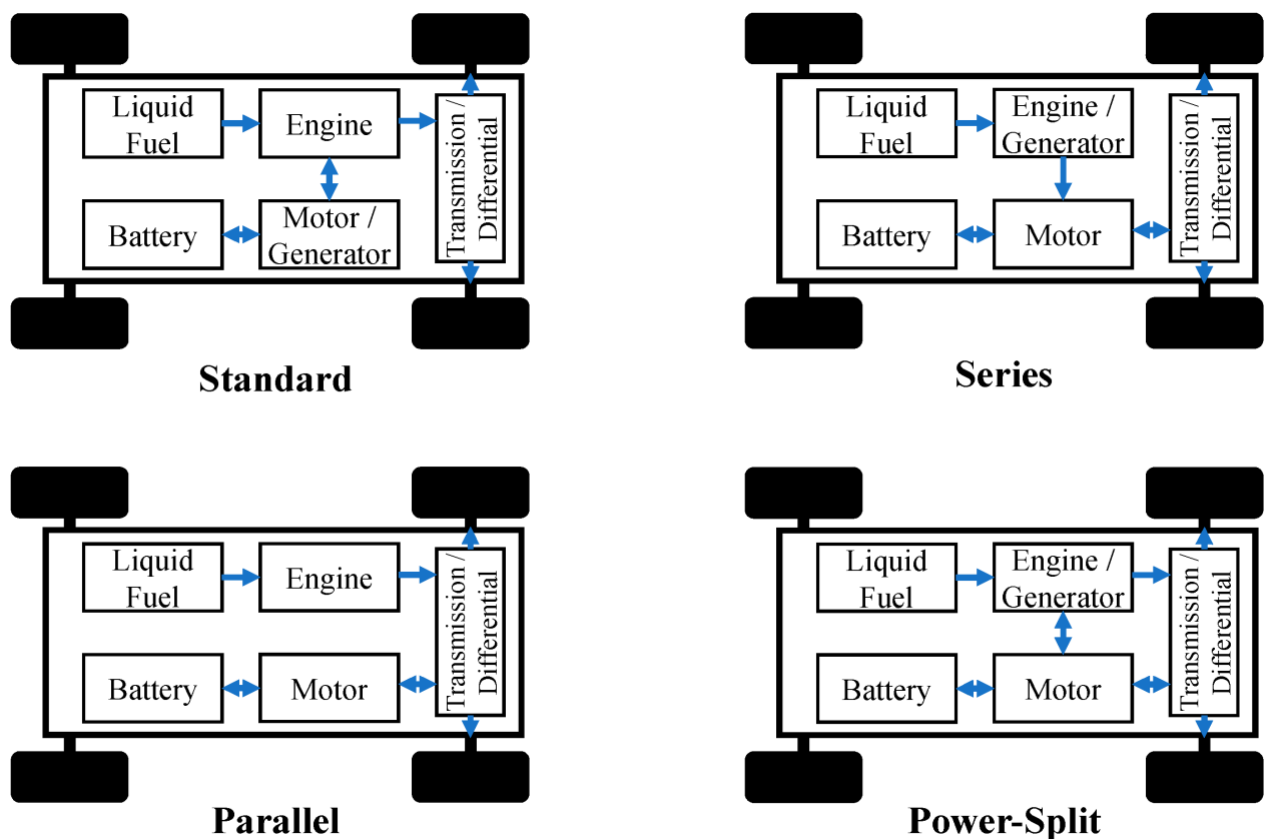


Рисунок 2.2 – Типи гібридних транспортних засобів

З огляду на різноманітність електричних та гібридних транспортних засобів, саме гібридні автомобілі є оптимальним рішенням у сучасних умовах. Вони поєднують переваги електричних систем – високу енергоефективність та

екологічність – із надійністю та великою дальністю ходу, що забезпечує двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). Таке поєднання дозволяє мінімізувати витрати енергії та палива, що особливо важливо в умовах інфраструктурних обмежень.

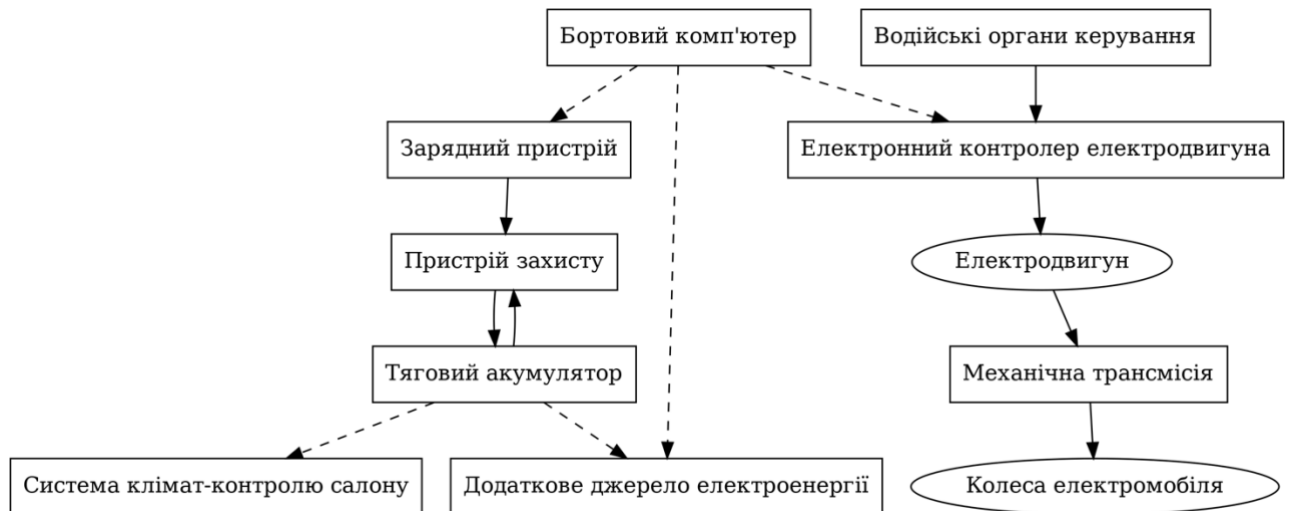


Рисунок 2.3 – Блок-схема гібридного транспортного засобу

На рисунку 2.3 представлена структурна схема функціонування гібридного транспортного засобу, що демонструє взаємодію ключових компонентів. Основні елементи схеми такі:

1. Тяговий акумулятор

Тяговий акумулятор є основним джерелом електричної енергії для електродвигуна. Він накопичує та забезпечує подачу енергії в систему. Крім того, акумуляторна батарея заряджається під час гальмування завдяки рекуперативному гальмуванню.

2. Зарядний пристрій

Зарядний пристрій забезпечує заряд акумулятора від зовнішніх джерел електроенергії або від додаткових генераторів у системі.

3. Пристрій захисту

Захищає акумулятор та інші електричні компоненти від перенавантажень і короткого замикання, забезпечуючи надійність роботи системи.

4. Електронний контролер електродвигуна

Цей блок керування отримує команди від водійських органів керування та бортового комп'ютера. Він регулює роботу електродвигуна, забезпечуючи оптимальне енергоспоживання та потрібну швидкість обертання.

5. Електродвигун

Електродвигун є основним виконавчим елементом, який перетворює електричну енергію на механічну. Завдяки частотно-регульованому управлінню можна забезпечити плавну та ефективну роботу двигуна залежно від навантаження.

6. Механічна трансмісія

Трансмісія передає обертальний момент від електродвигуна до коліс автомобіля, забезпечуючи рух транспортного засобу. Вона може бути спрощеною завдяки специфіці роботи електродвигуна.

7. Бортовий комп'ютер

Бортовий комп'ютер координує роботу всіх систем, аналізує поточний стан акумулятора, електродвигуна та механічної трансмісії. Він також взаємодіє з додатковими джерелами електроенергії та контролює загальну ефективність системи.

8. Додаткове джерело електроенергії

У гібридних автомобілях додатковим джерелом електроенергії є ДВЗ з генератором. Він виробляє електроенергію для зарядки акумулятора або живлення електродвигуна у випадках високого навантаження.

9. Система клімат-контролю салону

Для комфорту водія та пасажирів система клімат-контролю використовує енергію від акумулятора чи додаткових джерел.

Ця структурна схема демонструє тісний взаємозв'язок між електричними та механічними компонентами гібридного автомобіля. У подальших розділах роботи буде виконано детальний аналіз кожного з елементів схеми, а також розроблено підхід до оптимізації їх роботи за допомогою передаточних функцій системи та частотно-регульованого управління.

2.2 Конструктивне виконання гібридних транспортних засобів

Гібридні транспортні засоби, залежно від способу інтеграції двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електричного двигуна, поділяються на кілька типів: паралельні, послідовні, комбіновані, м'які та мікрогібриди [7]. Кожен із цих типів має особливості конструктивного виконання, які визначають їхню ефективність, функціональність та можливості використання.

2.2.1 Конструктивне виконання паралельного гібриду (Parallel Hybrid)

Паралельний гібрид є одним із найпоширеніших типів гібридних транспортних засобів завдяки своїй конструктивній простоті та ефективному використанню енергії. У такій системі двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигун працюють спільно або поодиночці для забезпечення руху автомобіля, оскільки обидва джерела енергії підключені до однієї трансмісії. Це означає, що обидва двигуни можуть приводити автомобіль у рух, залежно від умов руху та енергетичних потреб.

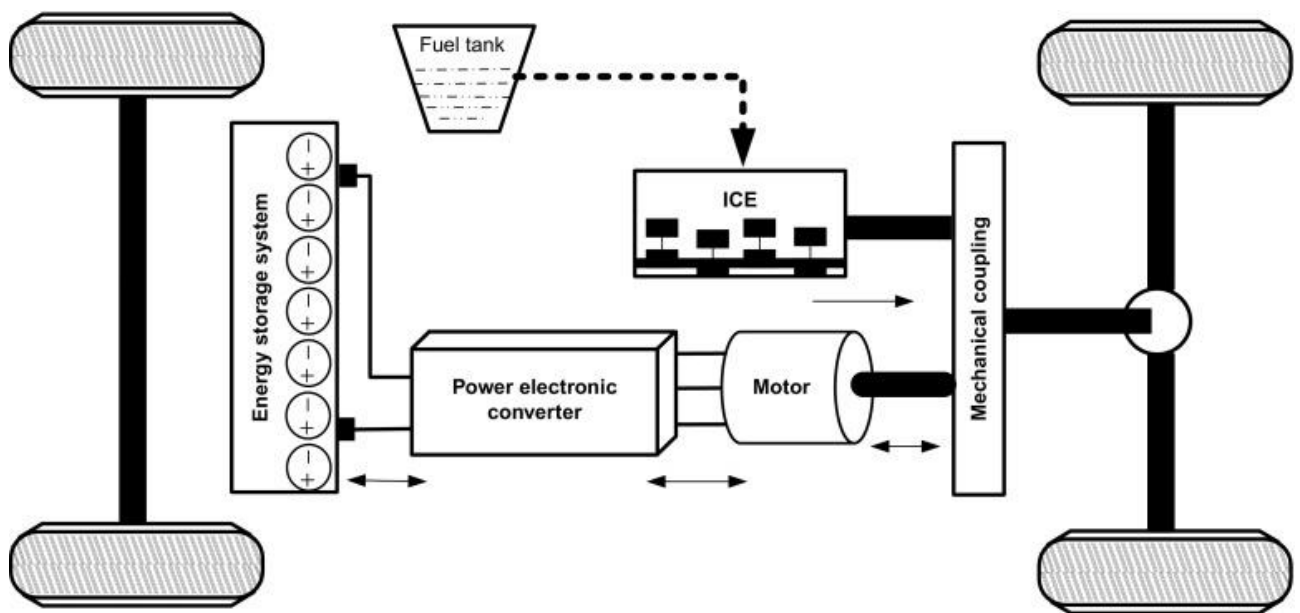


Рисунок 2.4 – Конструктивне виконання паралельного гібриду

Основною силовою установкою є ДВЗ, який залишається основним джерелом енергії для тривалих поїздок або руху на високих швидкостях. Допоміжну роль виконує електродвигун, який бере на себе роботу в режимах низьких навантажень, наприклад під час запуску автомобіля або повільного руху.

у міському середовищі. Така конструкція дозволяє суттєво зменшити витрати палива та викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Для накопичення та подачі електроенергії використовується тяговий акумулятор. Він заряджається під час рекуперативного гальмування, коли кінетична енергія рухомого автомобіля перетворюється на електричну енергію. Також зарядка акумулятора відбувається за рахунок роботи ДВЗ, який підключає генератор для виробництва електроенергії. Такий підхід дозволяє забезпечити оптимальний баланс між споживанням палива та використанням електричної енергії.

Паралельний гібридний автомобіль може функціонувати у кількох режимах залежно від навантаження та дорожніх умов. На низьких швидкостях та при малій потужності автомобіль рухається виключно за рахунок електродвигуна, що дозволяє знизити витрати палива та зробити рух безшумним. При підвищенні швидкості або у разі потреби в більшій потужності в роботу вступає ДВЗ, який забезпечує необхідний крутний момент. Під час інтенсивного прискорення або підйому на ухил обидва двигуни працюють одночасно, що дозволяє зменшити навантаження на ДВЗ і підвищити загальну потужність системи.

Серед конструктивних особливостей паралельного гібрида слід відзначити інтеграцію електродвигуна в систему трансмісії. Як правило, електродвигун розташований між ДВЗ та коробкою передач, що дозволяє ефективно передавати крутний момент на колеса. У конструкції часто використовуються автоматичні трансмісії або варіатори, які забезпечують плавність ходу та ефективну передачу енергії.

Однією з ключових переваг конструкції є гнучкість у виборі джерела енергії для руху автомобіля. Поєднання двох двигунів дозволяє оптимізувати витрати палива залежно від умов експлуатації. У міському русі, де швидкості є невисокими, електродвигун здатен самостійно забезпечувати рух автомобіля, мінімізуючи витрати палива. На трасах або під час довгих поїздок основна роль переходить до ДВЗ, що дозволяє збільшити загальний запас ходу автомобіля.

Іншою перевагою є простота конструкції системи порівняно з послідовними чи комбінованими гібридами. Електродвигун у паралельному гібриді є компактним і займає мінімум місця, що дозволяє зберегти загальну вагу автомобіля на прийнятному рівні. Це також позитивно впливає на вартість виробництва та обслуговування транспортного засобу.

Попри численні переваги, паралельні гібриди мають певні обмеження. Оскільки електродвигун є допоміжним і не може працювати автономно на великих відстанях, залежність від ДВЗ залишається суттєвою. Крім того, ефективність системи значною мірою залежить від ємності тягового акумулятора та його можливості швидкого заряджання.

Яскравим прикладом успішної реалізації паралельної гібридної технології є Toyota Prius, яка стала одним із перших серійних гібридних автомобілів і продемонструвала високу надійність та економічність системи. Інші відомі моделі, такі як Hyundai Ioniq Hybrid та Honda Insight, також використовують конструктивні рішення паралельного гібриду, забезпечуючи відмінні характеристики паливної економічності та комфорту.



Рисунок 2.5 – Приклад паралельного гібриду – Hyundai Ioniq Hybrid

Таким чином, конструкція паралельного гібридного автомобіля дозволяє поєднати високу ефективність використання енергії з гнучкістю роботи системи.

1. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) – виконує функцію генератора електричної енергії. Він не підключений до коліс автомобіля і працює лише тоді, коли рівень заряду акумулятора знижується.
2. Генератор – перетворює механічну енергію ДВЗ в електричну, яка використовується для живлення електродвигуна або зарядки акумулятора.
3. Електродвигун – основний компонент системи, який забезпечує рух автомобіля. Він отримує електроенергію від акумулятора або генератора та приводить у дію механічну трансмісію для передачі крутного моменту на колеса.
4. Тяговий акумулятор – накопичує електричну енергію для роботи електродвигуна. Зарядка акумулятора здійснюється як від генератора під час роботи ДВЗ, так і через систему рекуперативного гальмування.
5. Система управління – контролює роботу ДВЗ, генератора, акумулятора та електродвигуна, забезпечуючи оптимальну ефективність роботи системи.

Робота послідовного гібриду передбачає кілька основних етапів. При запуску автомобіля електродвигун отримує електроенергію від акумулятора і приводить автомобіль у рух. Якщо рівень заряду акумулятора знижується до певного рівня, у роботу автоматично включається ДВЗ, який через генератор виробляє електроенергію для живлення електродвигуна або підзарядки акумулятора. Таким чином, ДВЗ працює лише в режимі генерації електрики і не передає механічну енергію безпосередньо на колеса автомобіля.

Важливою особливістю є те, що електродвигун завжди залишається єдиним джерелом обертового моменту для коліс. Це дозволяє позбутися необхідності використання складної механічної трансмісії, що знижує вагу автомобіля та підвищує його загальну надійність.

Послідовний гібрид має кілька ключових переваг:

- Ефективна робота ДВЗ: Двигун внутрішнього згоряння працює в оптимальному діапазоні обертів, що забезпечує мінімальні витрати палива та зменшення викидів.

- Плавність ходу: Використання електродвигуна як єдиного джерела руху забезпечує безшумний та плавний хід автомобіля з миттєвим відгуком на натискання педалі акселератора.
- Проста трансмісія: Відсутність складної механічної коробки передач спрощує конструкцію та знижує експлуатаційні витрати.

Основним недоліком послідовного гібриду є обмежена ефективність на великих швидкостях або при високих навантаженнях. Оскільки ДВЗ використовується лише для генерації електроенергії, його робота в пікових режимах може призвести до підвищеного споживання палива. Крім того, велика залежність від ємності акумулятора обмежує можливості дальніх поїздок без запуску ДВЗ.



Рисунок 2.7 – Приклад послідовного гібриду – BMW i3 REx

Послідовні гібриди знайшли застосування у сучасних електрифікованих автомобілях з розширеним запасом ходу (Range Extender). Відомим прикладом є BMW i3 REx, де ДВЗ працює виключно як генератор для заряджання акумулятора під час довгих поїздок. Інші приклади включають моделі Chevrolet Volt та Nissan Note e-POWER, які демонструють високу ефективність цієї системи.

2.2.3 Конструктивне виконання комбінованого гібриду (Series-Parallel Hybrid)

Комбінований гібрид є найскладнішим і водночас найефективнішим типом гібридного транспортного засобу, оскільки поєднує в собі принципи роботи як паралельного, так і послідовного гібриду. У такій системі електродвигун та двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) можуть працювати незалежно або одночасно для забезпечення руху автомобіля залежно від умов роботи та навантаження. Особливість конструкції полягає в можливості автоматичного вибору оптимального режиму роботи системи, що забезпечує високу ефективність і мінімальне споживання палива.

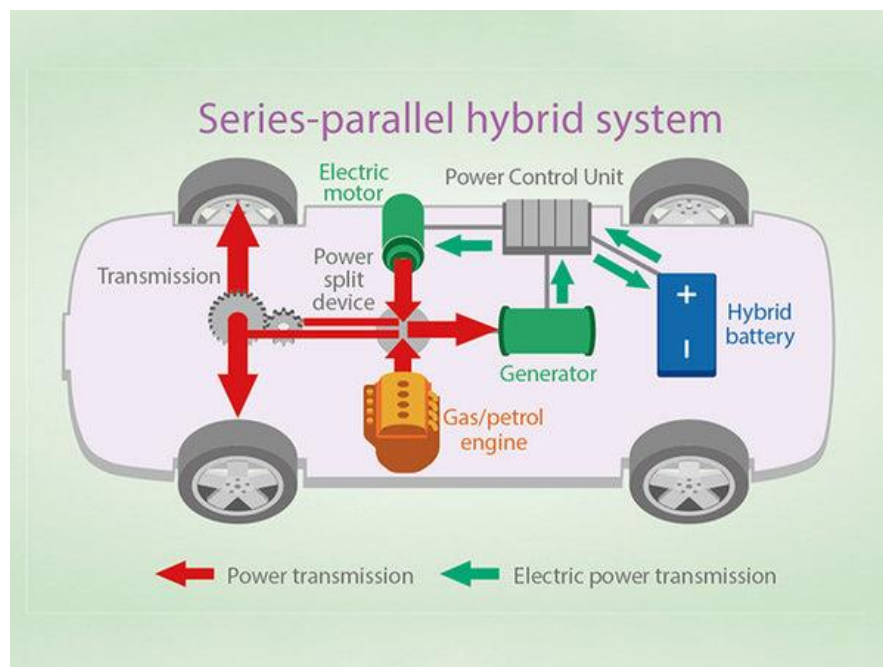


Рисунок 2.8 – Конструктивне виконання комбінованого гібриду

Головним компонентом комбінованого гібриду є планетарна передача або спеціальний розподільчий пристрій, який дозволяє об'єднувати обидва джерела енергії та передавати їхній крутний момент на колеса. Завдяки цьому автомобіль може працювати як у послідовному режимі (коли ДВЗ генерує електрику для електродвигуна), так і в паралельному режимі (коли ДВЗ та електродвигун одночасно забезпечують рух).

У конструкції комбінованого гібридного автомобіля поєднані наступні компоненти:

1. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) – основне джерело енергії для роботи автомобіля на великих швидкостях або в режимах підвищених навантажень. ДВЗ може приводити колеса в рух безпосередньо через механічну трансмісію або генерувати електроенергію для електродвигуна.
2. Електродвигун – головний привід для низьких швидкостей, міських умов та моментів інтенсивного прискорення. Він може працювати автономно або у взаємодії з ДВЗ, додаючи додаткову потужність.
3. Генератор – пристрій, що перетворює механічну енергію від ДВЗ у електричну для живлення електродвигуна чи заряджання акумулятора.
4. Тяговий акумулятор – накопичує електроенергію для електродвигуна та отримує заряд як від генератора під час роботи ДВЗ, так і від рекуперативного гальмування.
5. Планетарна передача або розподільчий механізм – ключовий елемент комбінованого гібриду, який забезпечує з'єднання та координацію роботи ДВЗ та електродвигуна.
6. Система управління – відповідає за автоматичний розподіл енергії між ДВЗ, електродвигуном та акумулятором залежно від умов руху.

Комбінований гібрид працює у кількох режимах залежно від навантаження та рівня заряду акумулятора:

1. Чисто електричний режим

На низьких швидкостях автомобіль приводиться в рух виключно електродвигуном, який отримує енергію від тягового акумулятора. Цей режим особливо ефективний для руху в міських умовах та дозволяє мінімізувати споживання палива й шкідливі викиди.

2. Послідовний режим

Коли рівень заряду акумулятора знижується, у роботу вступає ДВЗ, який працює як генератор електроенергії для живлення електродвигуна або заряджання акумулятора. У цьому випадку колеса продовжують

приводитися в рух електродвигуном, а ДВЗ працює в оптимальному режимі.

3. Паралельний режим

На великих швидкостях або під час інтенсивного прискорення обидва двигуни – ДВЗ та електродвигун – працюють одночасно, передаючи крутний момент на колеса. Це дозволяє забезпечити високу потужність та ефективність руху.

4. Рекуперативне гальмування

Під час гальмування кінетична енергія автомобіля перетворюється на електричну і використовується для заряджання тягового акумулятора, що підвищує загальну енергоефективність системи.

Головною перевагою комбінованого гібриду є гнучкість роботи системи. Автомобіль автоматично перемикається між режимами залежно від умов руху, забезпечуючи мінімальне споживання палива та оптимальну потужність. Крім того, конструкція дозволяє використовувати електродвигун як основний привід для міського руху, а ДВЗ – для тривалих поїздок або руху на високих швидкостях.

Додатковою перевагою є можливість рекуперативного гальмування, що дозволяє відновлювати енергію і підвищувати загальну ефективність системи. У підсумку комбінований гібрид забезпечує баланс між паливною економічністю, запасом ходу та екологічністю.

Незважаючи на переваги, комбіновані гібриди є технологічно складними та вимагають складних систем управління, що підвищує їхню вартість. Крім того, вони є важчими порівняно з традиційними автомобілями через наявність двох приводних систем (ДВЗ та електродвигун).



Рисунок 2.9 – Приклад послідовного гібриду – Toyota Prius

Яскравим прикладом комбінованого гібриду є Toyota Prius, яка успішно використовує планетарний розподільчий механізм для об'єднання роботи ДВЗ та електродвигуна. Інші відомі моделі включають Lexus RX 450h та Honda Accord Hybrid, які демонструють високу ефективність цієї технології на практиці.

2.2.4 Конструктивне виконання м'якого гібриду (Mild Hybrid)

М'який гібрид (Mild Hybrid) є спрощеним типом гібридного транспортного засобу, у якому електрична складова виконує допоміжну роль і не забезпечує автономний рух автомобіля [8]. Конструктивна особливість м'яких гібридів полягає у використанні невеликого електродвигуна-генератора (так званого стартер-генератора), який працює разом із двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ). Цей електродвигун не може самостійно приводити автомобіль у рух, але ефективно допомагає ДВЗ у певних режимах, таких як запуск, прискорення та рекупераційне гальмування.

У м'яких гібридах електросистема працює з 48-вольтовою бортовою мережею, що дозволяє забезпечити додаткову потужність при мінімальних енергетичних втратах. Це робить систему компактною, дешевшою у виробництві та простішою для інтеграції у традиційні автомобілі з ДВЗ.

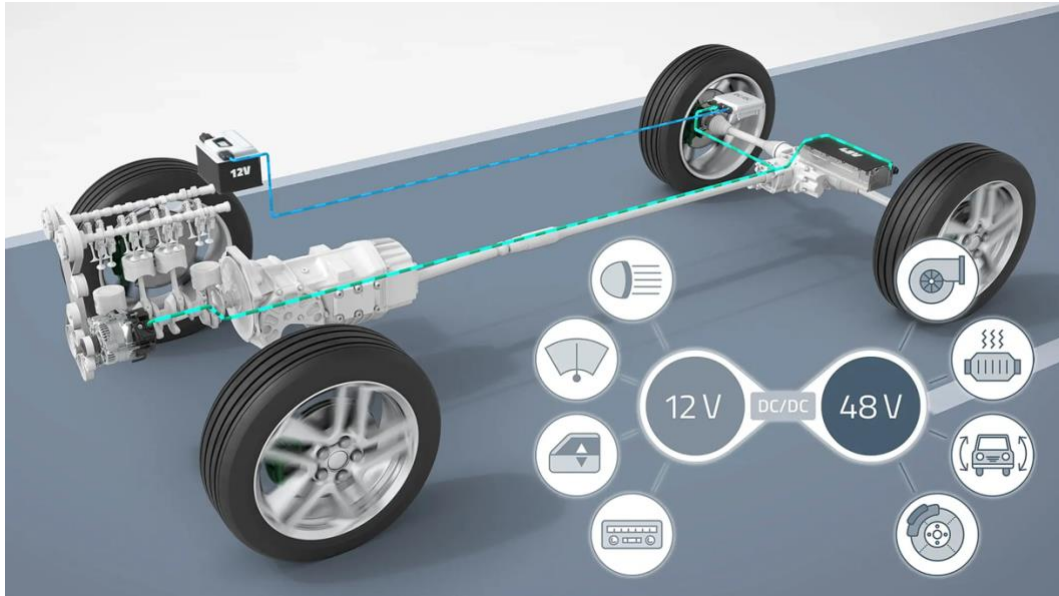


Рисунок 2.10 – Конструктивне виконання м'якого гібриду

М'який гібрид складається з таких основних компонентів:

1. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) – основний привід автомобіля, який виконує більшу частину роботи. Він залишається ключовим джерелом енергії для руху транспортного засобу.
2. Стартер-генератор – невеликий електродвигун, який виконує кілька функцій:
 - Підтримка запуску ДВЗ за допомогою системи "старт-стоп".
 - Допомога під час прискорення, додаючи невеликий крутний момент для зниження навантаження на ДВЗ.
 - Відновлення енергії під час гальмування та її використання для зарядки акумулятора.
3. 48-вольтова акумуляторна батарея – зберігає енергію, що виробляється під час рекуперативного гальмування або роботи стартер-генератора. Ця батарея має менші розміри та вагу порівняно з батареями повноцінних гібридів.
4. Інвертор – перетворює електричну енергію між стартер-генератором і акумулятором, керуючи потоками енергії у системі.
5. Система управління – відповідає за координацію роботи ДВЗ, стартер-генератора та акумулятора для досягнення максимальної енергоефективності.

М'який гібрид функціонує як допоміжна система, покращуючи роботу ДВЗ у кількох ключових режимах.

1. Запуск та система "старт-стоп"

Стартер-генератор забезпечує миттєвий і плавний запуск ДВЗ після зупинок (наприклад, на світлофорах), що дозволяє економити паливо у міському русі.

2. Допомога при розгоні

Під час прискорення електродвигун додає невеликий крутний момент до потужності ДВЗ. Це знижує навантаження на двигун внутрішнього згоряння, дозволяючи йому працювати ефективніше та економніше.

3. Рекуперативне гальмування

Під час гальмування кінетична енергія автомобіля перетворюється на електричну енергію, яка накопичується в 48-вольтовій акумуляторній батареї. Ця енергія використовується для живлення допоміжних систем або для підтримки роботи стартер-генератора.

4. Живлення допоміжних систем

Енергія з акумулятора може використовуватися для роботи електричних систем автомобіля, таких як клімат-контроль, освітлення та інші компоненти, що знижує навантаження на ДВЗ.

М'які гібриди мають низку важливих переваг, які роблять їх популярними серед виробників і споживачів:

- Низька вартість системи: Завдяки простій конструкції та використанню компактного акумулятора м'який гібрид є дешевшим у виробництві, ніж повноцінні гібриди або електромобілі.
- Покращена паливна ефективність: Допомога стартер-генератора дозволяє знизити витрати палива на 10–15% у порівнянні зі звичайними ДВЗ.
- Зменшення викидів CO₂: Завдяки зниженню навантаження на ДВЗ і використанню системи "старт-стоп", м'які гібриди є більш екологічними.
- Простота інтеграції: М'які гібриди можна легко інтегрувати у вже існуючі конструкції автомобілів із ДВЗ без значних змін у трансмісії чи силовій установці.

Головним недоліком м'яких гібридів є неможливість самостійного руху на електротязі. Стартер-генератор лише допомагає ДВЗ, але не здатен повністю замінити його у жодному з режимів. Тому паливна ефективність м'якого гібриду є нижчою порівняно з повноцінними гібридами (HEV) або підключаєми гібридами (PHEV).

М'які гібриди стають дедалі популярнішими серед автовиробників завдяки їхній економічності та простоті конструкції. Відомі моделі, які використовують цю технологію, включають Audi A6 48V Mild Hybrid, Mercedes-Benz C-Class Mild Hybrid та Suzuki Swift Hybrid.



Рисунок 2.11 – Приклад м'якого гібриду – Audi A6 48V Mild Hybrid

Таким чином, розвиток гібридних систем є важливим кроком на шляху до повної електрифікації транспорту. Кожен тип гібриду знаходить своє застосування залежно від вимог споживача, технологічного прогресу та інфраструктурних можливостей, забезпечуючи поступовий перехід від традиційних двигунів внутрішнього згорання до екологічно чистих рішень.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Виконання електричної схеми гібридного автомобіля

Електрична схема гібридного автомобіля – це структурне зображення, яке відображає взаємодію всіх елементів електричної системи, що забезпечують функціонування силової установки транспортного засобу. У ній чітко показані шляхи передачі енергії між ключовими компонентами, такими як тяговий акумулятор, генератор, електродвигун, пристрої захисту та система управління. Саме завдяки електричній схемі інженери можуть оптимізувати роботу гібридної системи, забезпечуючи ефективну координацію між електричним і механічним приводами автомобіля [9].

Головна функція електричної схеми гібридного автомобіля полягає у забезпеченні ефективного розподілу та управління енергією між усіма елементами системи. Вона дозволяє контролювати подачу електричної енергії від акумулятора до електродвигуна під час руху, а також забезпечує зворотну передачу енергії до акумулятора у процесі рекуперативного гальмування. Завдяки цьому забезпечується баланс між ефективністю енергоспоживання та продуктивністю транспортного засобу. Окрім цього, електрична схема є необхідним інструментом для діагностики та усунення несправностей, оскільки вона надає повну картину роботи електросистеми автомобіля.

Електрична схема гібридного автомобіля повинна відповідати високим технічним вимогам для забезпечення стабільної та безпечної роботи. Однією з ключових вимог є енергоефективність, оскільки система повинна мінімізувати втрати енергії під час її передачі, перетворення та зберігання. Важливою характеристикою є і безпека роботи – схема має бути захищена від перенавантажень, коротких замикань та перенапруги. Для цього використовуються спеціальні пристрої захисту, які ізолюють ключові компоненти в критичних ситуаціях.

Стабільність електричної мережі є ще однією важливою умовою: система повинна забезпечувати живлення усіх компонентів – як силових, так і

допоміжних – навіть за умов змінного навантаження. Крім того, електрична схема має бути гнучкою, що дозволяє системі оперативно перемикатися між різними режимами роботи, такими як електричний привід, генерація енергії за допомогою ДВЗ чи рекуперативне гальмування.

Інженери також приділяють увагу питанню мінімізації ваги та вартості елементів системи. Компактність і легкість компонентів є критично важливими для того, щоб гібридний автомобіль залишався ефективним з точки зору енергоспоживання і динамічних характеристик. Нарешті, схема повинна бути простою в обслуговуванні: можливість швидкої діагностики та заміни окремих компонентів є обов'язковою умовою для її надійної роботи.

Таким чином, електрична схема гібридного автомобіля є ключовим елементом його проектування, який визначає ефективність роботи силової установки [10]. Далі на прикладі конкретної електричної схеми (рис. 3.1) детально проаналізуємо її структуру, функції основних компонентів та їх взаємодію між собою. Цей аналіз дозволить краще зрозуміти принципи роботи електричної системи гібридного автомобіля та оцінити можливості її подальшої оптимізації.

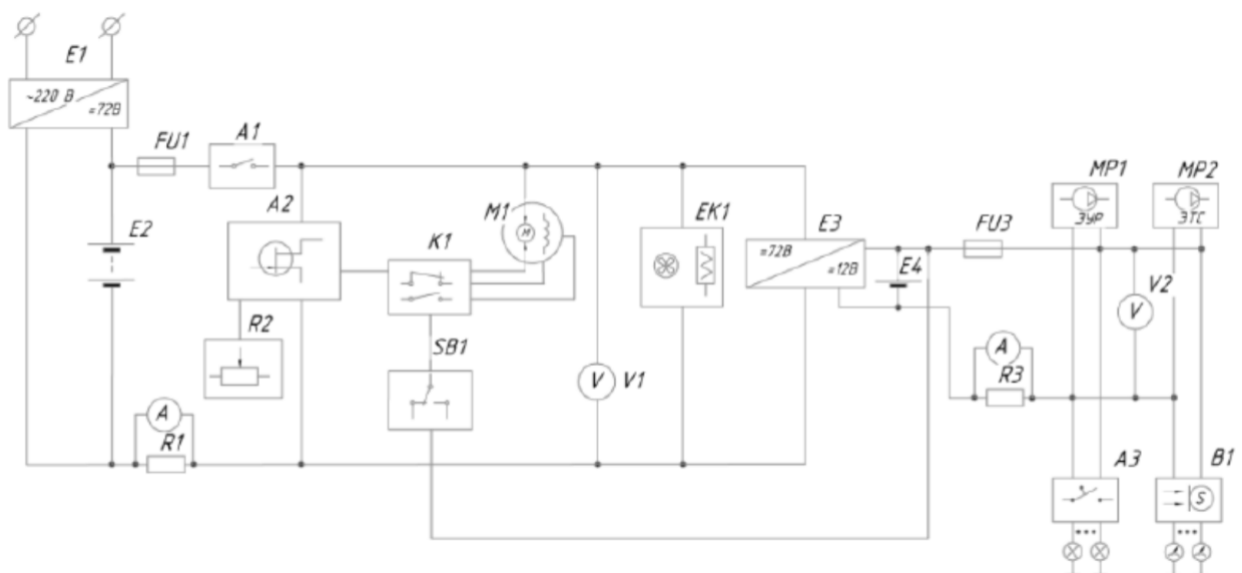


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема гібридного транспортного засобу

Електрична схема гібридного автомобіля є важливим елементом системи, що забезпечує роботу силових компонентів, передачу енергії та управління допоміжними пристроями. Схема, представлена на рисунку, включає джерела живлення, захисні пристрої, контролери, електродвигун, вимірювальні прилади та інші елементи, що взаємодіють для стабільної та ефективної роботи автомобіля.

На початку системи розташовані джерела живлення E1 та E2, які є акумуляторними батареями. Їх головне призначення – забезпечувати енергією основні споживачі, включаючи електродвигун і допоміжні системи. Важливими вимогами до акумуляторів є висока ємність, стабільність вихідної напруги та здатність працювати в умовах змінних навантажень. У сучасних гібридних автомобілях як джерела живлення використовуються літій-іонні акумуляторні батареї завдяки їх високій енергоємності, невеликій вазі та швидкому часу зарядки. Популярними моделями є батареї виробництва Panasonic, LG Chem та Samsung SDI, які широко застосовуються у гібридах таких виробників, як Toyota, Hyundai та Honda. Окрім літій-іонних батарей, у деяких моделях (наприклад, Toyota Prius) використовуються нікель-металогідридні (NiMH) акумулятори через їхню надійність і стійкість до глибоких розрядів.

Для захисту електричної системи використовуються запобіжники FU1 та FU3. Їхня функція полягає у захисті кола від перевищення струму чи короткого замикання. Вони спрацьовують миттєво у разі аварійних ситуацій, що забезпечує безпеку роботи всієї системи. Для захисту від короткого замикання і перевищення струму у схемах гібридних автомобілів застосовуються високовольтні запобіжники з рейтингами до 250–450 В постійного струму. Типовими моделями є запобіжники від виробників Bussmann, Littelfuse та Eaton, які характеризуються швидкою реакцією та можливістю витримувати високі струми.

У схемі також присутні контролери A1 та A2, які відповідають за керування роботою електродвигуна та моніторинг енергоспоживання. Контролери працюють у тісному зв'язку з датчиками та системами управління, забезпечуючи швидку реакцію на зміни умов руху та стабільне керування

енергетичними потоками. Контролери в гібридних автомобілях – це електронні блоки управління (ECU), що виконують керування подачею енергії на електродвигун та моніторинг роботи системи. У гібридах зазвичай використовуються інверторні контролери, які забезпечують перетворення постійного струму в змінний для живлення електродвигуна. Наприклад, автомобілі Toyota Hybrid Synergy Drive оснащені контролерами виробництва Denso, що забезпечують високу ефективність управління енергією.

Центральним елементом є електродвигун M1, який перетворює електричну енергію в механічну, забезпечуючи рух автомобіля. Його конструкція має відповідати високим вимогам енергоефективності, забезпечуючи плавну роботу як у режимі старту, так і під час прискорень. Крім того, для підключення та відключення електродвигуна використовується контактор K1, який виконує функцію комутації і має працювати надійно навіть при високих струмах. Електродвигуни, які використовуються у гібридних автомобілях, найчастіше представлені синхронними двигунами з постійними магнітами (PMSM) завдяки їх високому ККД, компактності та здатності миттєво забезпечувати крутний момент. Типовими моделями є електродвигуни виробництва Bosch, Siemens та Denso. Наприклад, у Toyota Prius використовується PMSM електродвигун з потужністю до 80 кВт, що забезпечує плавний розгін і ефективне використання енергії.

Контактори (K1) у схемах гібридних автомобілів виконуються у вигляді високовольтних реле, здатних працювати з напругами понад 300 В. Найчастіше застосовуються контактори від Teco Electronics та Panasonic, які характеризуються високою надійністю та тривалим ресурсом роботи при частих комутаціях.

Управління подачею електричної енергії та режимами роботи системи здійснюється за допомогою перемикача SB1 та реле EK1. Перемикач дозволяє подати керуючий сигнал, а реле автоматично змінює робочі режими схеми. У схемах гібридних автомобілів перемикачі представлені кнопковими перемикачами або високовольтними реле, що забезпечують передачу команд для зміни режимів роботи системи. Наприклад, компанії Omron та Schneider Electric

виробляють реле, які забезпечують високу швидкість та надійність у складних умовах роботи.

Для моніторингу основних параметрів системи використовуються вимірювальні прилади: вольтметр V1, амперметр A4 та резистори R1 і R2. Ці елементи забезпечують точне вимірювання напруги, струму та опору, дозволяючи контролерам адаптувати роботу системи відповідно до реальних умов. Для моніторингу напруги, струму та температури використовуються датчики від таких виробників, як Honeywell, LEM та Texas Instruments. Вимірювальні прилади, такі як вольтметри та амперметри, часто інтегровані у систему управління та працюють через CAN-шину для передачі даних до центрального контролера.

Додаткові елементи схеми включають механізми MP1 та MP2, які є споживачами електричної енергії. Вони можуть представляти системи охолодження, клімат-контролю або насоси, необхідні для функціонування автомобіля. Їх робота координується контролерами для уникнення надмірного навантаження на акумулятори. Допоміжні механізми, як-от електричні насоси, вентилятори та системи охолодження, у сучасних гібридах працюють на основі безщіткових електродвигунів (BLDC). Ці пристрої забезпечують енергоефективну роботу при мінімальному споживанні енергії. Виробники, такі як Mitsubishi Electric та Valeo, створюють компактні та продуктивні рішення для допоміжних систем.

Завершальними елементами є пристрої управління A3 та B1, що відповідають за роботу допоміжних систем та забезпечують зворотний зв'язок для оптимізації загальної ефективності системи. Завершальні елементи, такі як блоки управління клімат-контролем, освітленням або допоміжною електронікою, реалізуються у вигляді інтерфейсів з інтегрованими мікроконтролерами від STMicroelectronics та Renesas. Вони забезпечують зручність управління допоміжними системами та підтримують високий рівень автоматизації.

Таким чином, електрична схема гібридного автомобіля є комплексною взаємодією всіх ключових компонентів, кожен з яких виконує свою функцію. Її

основне призначення – забезпечити стабільну, надійну та ефективну роботу силової установки, контроль за споживанням енергії та оптимізацію енергетичних потоків у системі. Подальший детальний аналіз роботи кожного елемента дозволяє глибше зрозуміти їх роль у функціонуванні гібридного автомобіля.

3.2 Вибір елементів силової електричної схеми гібридних автомобілів

В даній роботі виконано аналіз та обґрунтований вибір основних елементів силової електричної схеми для переведення автомобіля Renault Megane на гібридний привід. Проект передбачає заміну або доповнення існуючої силової установки автомобіля сучасними електричними компонентами, які забезпечать високу енергоефективність, надійність і зниження шкідливих викидів.

У процесі вибору елементів будуть враховані такі критерії, як потужність та ефективність електродвигуна, ємність та енергетична щільність акумуляторної батареї, а також вимоги до стабільності живлення бортових систем. Важливо забезпечити оптимальний баланс між продуктивністю, вартістю, компактністю компонентів та їхньою інтеграцією у конструкцію автомобіля Renault Megane.

Подальша робота полягатиме у технічному обґрунтуванні вибраних компонентів на основі їх характеристик, порівнянні різних варіантів та визначенні найбільш доцільних рішень для переведення автомобіля на гібридний привід.

3.2.1 Технічні характеристики автомобіля Renault Megane

Для подальшої розробки силової електричної схеми та вибору основних елементів системи гібридизації обрано базову модель автомобіля Renault Megane IV у комплектації з традиційним двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ). Цей автомобіль належить до класу С-сегменту, що робить його оптимальним для адаптації під гібридний привід завдяки збалансованим габаритам, вазі та технічним характеристикам.



Рисунок 3.2 – Базова модель автомобіля Renault Megane IV

Renault Megane IV є популярним автомобілем як для міського, так і для заміського використання, що забезпечує універсальність його експлуатації. Мета гібридизації полягає у покращенні паливної економічності, зменшенні рівня шкідливих викидів та підвищенні енергоефективності транспортного засобу шляхом інтеграції електричної системи приводу.

Автомобіль оснащено чотирициліндровим бензиновим двигуном об'ємом 1.6 літра, який забезпечує максимальну потужність 85 кВт (115 к.с.) при 5500 об/хв та крутний момент 156 Н·м при 4000 об/хв. Стандартна механічна трансмісія має 6-ступеневу коробку передач, яка дозволяє ефективно передавати потужність на передні колеса. Маса автомобіля у спорядженому стані складає приблизно 1300 кг, що є важливим параметром для визначення необхідної потужності електродвигуна та ємності акумуляторної батареї.

Габаритні розміри автомобіля є наступними: довжина – 4359 мм, ширина – 1814 мм, висота – 1447 мм, а колісна база – 2669 мм. Об'єм багажного відділення у стандартній конфігурації становить 434 л, що дозволяє врахувати можливість розміщення акумуляторної батареї у багажному відсіку або під підлогою для оптимального розподілу ваги.

Одним із ключових параметрів, що впливатиме на вибір електродвигуна, є опір руху автомобіля, який залежить від аеродинамічних характеристик кузова. Для Renault Megane IV коефіцієнт аеродинамічного опору $C_x = 0.29$, що є прийнятним для сучасного легкового автомобіля середнього класу. Крім того, середня площа лобового опору становить близько 2.2 м^2 , що дозволяє розрахувати загальний опір повітря на різних швидкостях руху.

Паливний бак автомобіля має об'єм 50 літрів, що забезпечує середню дальність поїздки у 800–900 км при витраті палива близько 5.5–6.5 л/100 км у змішаному циклі. Цей параметр буде враховано при інтеграції гібридного приводу з метою збільшення загального запасу ходу транспортного засобу.

Таким чином, на основі вищевказаних технічних характеристик будуть виконані розрахунки для вибору електродвигуна, акумуляторної батареї та системи живлення бортового обладнання, а також розроблена система управління частотно-регульованого електроприводу авто. Основна увага приділятиметься досягненню оптимального співвідношення потужності електродвигуна та ємності акумуляторної батареї з урахуванням ваги автомобіля, опору руху та можливостей інтеграції у існуючу конструкцію Renault Megane IV.

3.2.2 Вибір тягового електродвигуна гібридного авто

Вибір тягового електродвигуна для гібридного автомобіля є одним із ключових етапів проєкту, оскільки саме цей компонент визначає ефективність руху на електротязі та рівень загальної продуктивності автомобіля. При виборі електродвигуна необхідно врахувати такі критерії, як [11]:

- необхідна потужність і крутний момент для забезпечення динаміки руху;
- вага автомобіля та його аеродинамічний опір;
- особливості режимів руху (місто, траса);
- ефективність електродвигуна (ККД, енергоспоживання);
- можливість інтеграції двигуна в існуючу трансмісію автомобіля.

Для Renault Megane IV потрібно визначити потужність електродвигуна, який забезпечить необхідну динаміку на електротязі, особливо під час старту, прискорення та в міських умовах. З урахуванням того, що загальна вага

автомобіля складає 1300 кг, а для динамічної їзди необхідно забезпечити питомий показник потужності на рівні 10–12 кВт/1000 кг, обчислимо необхідну потужність двигуна:

$$P_{\text{ел}} = \left(\frac{P_{\text{питомий}} \cdot m}{1000} \right) \quad (3.1)$$

де:

- $P_{\text{питомий}}$ – питома потужність, 10–12 кВт/т;
- m – вага автомобіля у спорядженому стані, 1300 кг.

Підставимо значення у формулу для середнього значення питомої потужності $P_{\text{питомий}}=11$ кВт/т:

$$P_{\text{ел}} = \frac{11 \cdot 1300}{1000} = 14.3 \text{ кВт.}$$

Отже, для забезпечення достатньої динаміки руху на електротязі потужність електродвигуна повинна бути на рівні 14–15 кВт. З урахуванням запасу на пікові навантаження (прискорення чи їзда під ухилом) можна вибрати електродвигун потужністю близько 20 кВт.

З огляду на ефективність, компактність і динамічні характеристики, найкращим рішенням є синхронний двигун із постійними магнітами (PMSM). Цей тип двигуна має високий коефіцієнт корисної дії (до 95%), забезпечує миттєвий крутний момент і має компактні розміри, що дозволяє легко інтегрувати його у конструкцію автомобіля.

Серед доступних моделей можна обрати:

- Siemens SIMOTICS S 1FK7 – потужність 20 кВт, номінальний крутний момент 60 Н·м;
- Denso EV Motor – потужність 18–22 кВт, компактність і надійність у реальних умовах експлуатації;
- Bosch SMG180/120 – електродвигун потужністю 20 кВт із високим піковим моментом до 90 Н·м.

Крутний момент двигуна обчислюється за формулою:

$$M = \frac{P_{\text{ел}} \cdot 9550}{n} \quad (3.2)$$

де:

- $P_{\text{ел}}$ – потужність електродвигуна, 20 кВт;

- n – номінальна швидкість обертання, прийmemo 3000 об/хв.

Підставляємо значення:

$$M = \frac{20 \cdot 9550}{3000} \approx 63.7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким чином, крутний момент обраного електродвигуна становитиме близько 60–65 Н·м, що є достатнім для забезпечення необхідної динаміки в міському циклі руху.

На основі виконаних розрахунків, для гібридизації автомобіля Renault Megane IV рекомендовано використати синхронний двигун із постійними магнітами (PMSM) потужністю близько 20 кВт та крутним моментом у межах 60–65 Н·м. Цей тип електродвигуна є оптимальним для гібридних транспортних засобів завдяки високому коефіцієнту корисної дії (ККД), компактності та здатності забезпечувати миттєвий крутний момент.

Серед доступних моделей, що відповідають вимогам, обрано Bosch SMG 180/120, який широко використовується в системах гібридних та електричних автомобілів завдяки своїм відмінним характеристикам. Цей двигун поєднує високу продуктивність, невеликі розміри та надійність в експлуатації.



Рисунок 3.3 – Синхронний двигун Bosch SMG 180/120

Bosch SMG 180/120 є синхронним двигуном з постійними магнітами, що забезпечує потужність до 20 кВт у номінальному режимі та здатен видавати піковий крутний момент до 90 Н·м. Його компактний дизайн дозволяє легко

інтегрувати двигун у конструкцію автомобіля, а високий ККД (до 95%) мінімізує енергетичні втрати, що є критично важливим для гібридної системи.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики Bosch SMG 180/120

Параметр	Значення
Тип електродвигуна	Синхронний із постійними магнітами (PMSM)
Номінальна потужність	20 кВт
Пікова потужність	30 кВт
Номінальний крутний момент	65 Н·м
Піковий крутний момент	90 Н·м
Номінальна швидкість обертання	3000 об/хв
Максимальна швидкість обертання	12 000 об/хв
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	До 95%
Напруга живлення	300–400 В
Вага	32 кг
Охолодження	Рідинне
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	180 × 120 × 320 мм

Електродвигун Bosch SMG 180/120 є високоефективним рішенням для гібридних транспортних засобів. Завдяки рідинному охолодженню двигун може працювати у широкому діапазоні навантажень, зберігаючи стабільність роботи та захищаючи компоненти від перегріву. Його невеликі габарити та вага дозволяють легко інтегрувати двигун у конструкцію автомобіля без значного збільшення загальної маси. Крім того, широкий діапазон швидкостей обертання забезпечує оптимальну роботу як під час старту і прискорення, так і під час стабільного руху.

Переваги Bosch SMG 180/120 для Renault Megane IV:

- Висока продуктивність та ККД у компактному форм-факторі.
- Швидкий відгук на команди завдяки миттєвому крутному моменту.
- Стійкість до навантажень та надійна робота при високих обертах.
- Низькі енергетичні втрати завдяки сучасним технологіям управління та конструкції.

Таким чином, двигун Bosch SMG 180/120 повністю відповідає розрахованим вимогам до потужності та крутного моменту для гібридизації

Renault Megane IV, забезпечуючи ефективну роботу у різних режимах руху автомобіля.

3.2.3 Вибір тягової акумуляторної батареї

Тягова акумуляторна батарея є основним джерелом електричної енергії для живлення електродвигуна та допоміжного обладнання у гібридному автомобілі [12]. Від правильного вибору батареї залежать запас ходу на електротязі, енергоефективність системи, загальна вага автомобіля та термін служби силової установки. При виборі тягової акумуляторної батареї необхідно врахувати такі критерії:

- Енергетична ємність батареї – для забезпечення роботи електродвигуна необхідно визначити кількість енергії, яку має накопичувати батарея.
- Напруга батареї – повинна відповідати вимогам електродвигуна для його стабільної роботи.
- Габарити та вага – обмеження за місцем встановлення батареї у конструкції автомобіля.
- Термін служби – довговічність та кількість циклів заряд-розряд, що важливо для надійності системи.
- Тип акумулятора – сучасні гібридні автомобілі найчастіше використовують літій-іонні акумулятори завдяки їх високій енергоемності та низькій вазі.

Щоб визначити ємність тягової акумуляторної батареї, потрібно врахувати середню потужність електродвигуна, тривалість руху на електротязі та ефективність батареї. Формула для розрахунку ємності виглядає наступним чином:

$$C = \frac{P_{\text{ел}} \cdot t}{U \cdot \eta} \quad (3.3)$$

де:

- C – ємність батареї, кВт·год;
- $P_{\text{ел}}$ – потужність електродвигуна, 20 кВт;
- t – тривалість руху на електротязі, 0.5 год (близько 30 хвилин);
- U – напруга батареї, 300 В;
- η – ККД акумулятора, прийmemo 0.95.

Підставимо значення у формулу:

$$C = \frac{20 \cdot 0.5}{300 \cdot 0.95} \approx 0.035 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 10 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Для забезпечення необхідного запасу ходу на електротязі при потужності електродвигуна 20 кВт акумуляторна батарея повинна мати ємність 10 А·год при напрузі 300 В. Це відповідає енергоемності близько 10–12 кВт·год з урахуванням можливих пікових навантажень і втрат.

Серед доступних типів акумуляторів найкраще підходять літій-іонні батареї (Li-Ion) завдяки їх високій енергетичній щільності, низькій вазі та довгому терміну служби. Цей тип батарей має значно кращі характеристики порівняно з нікель-металогідридними (NiMH) акумуляторами, що робить їх ідеальним вибором для сучасних гібридних систем. На основі розрахованих вимог рекомендовано використовувати літій-іонну акумуляторну батарею LG Chem 48S, яка широко застосовується у гібридних і електричних транспортних засобах завдяки високій продуктивності та надійності.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики LG Chem 48S

Параметр	Значення
Тип акумулятора	Літій-іонний (Li-Ion)
Енергетична ємність	12 кВт·год
Номінальна напруга	300 В
Ємність	40 А·год
Максимальна вихідна потужність	50 кВт
ККД	До 95%
Термін служби	Понад 3000 циклів
Вага	90 кг
Габаритні розміри	900 × 300 × 150 мм

Акумулятор LG Chem 48S є високопродуктивною літій-іонною батареєю, яка забезпечує необхідний запас енергії для роботи електродвигуна та допоміжних систем. Її компактні габарити та відносно невелика вага дозволяють інтегрувати батарею у багажний відсік або під підлогою автомобіля Renault Megane IV без значного впливу на баланс ваги транспортного засобу.



Рисунок 3.4 – Тягова АКБ LG Chem 48S

Батарея має високий ККД (до 95%), що мінімізує втрати енергії під час заряджання та розряджання, а також довгий термін служби – понад 3000 циклів заряд-розряд. Це робить її надійним рішенням для роботи у складі гібридної системи.

На основі розрахунків для гібридизації автомобіля Renault Megane IV рекомендовано використати літій-іонну акумуляторну батарею LG Chem 48S із ємністю 12 кВт·год та напругою 300 В. Ця батарея забезпечить достатній запас енергії для руху на електротязі протягом 30–40 км у міському режимі, при цьому зберігаючи ефективність та довговічність роботи.

3.2.4 Вибір системи живлення бортового обладнання

Система живлення бортового обладнання у гібридному автомобілі відповідає за забезпечення електричною енергією всіх допоміжних систем та електричних пристроїв транспортного засобу. До таких систем належать:

- освітлення (фари, ліхтарі, внутрішнє підсвічування);
- клімат-контроль та система вентиляції;

- мультимедійна система та прилади комфорту (склопідйомники, електродзеркала тощо);
- електронні блоки управління (ECU) і датчики.

Особливістю гібридного автомобіля є наявність високовольної тягової батареї для живлення електродвигуна, але бортове обладнання потребує низьковольтного живлення (зазвичай 12 В). Для цього необхідно передбачити перетворювач постійної напруги (DC/DC-конвертер), який знижуватиме напругу від тягового акумулятора (300 В) до стандартних 12 В, необхідних для роботи бортової мережі.

Система живлення бортового обладнання у гібридних автомобілях зазвичай включає такі елементи:

1. DC/DC-конвертер – основний пристрій, який перетворює високу напругу тягового акумулятора на низьковольтну напругу для живлення бортової мережі.
2. 12-вольтова акумуляторна батарея – зберігає енергію та підтримує стабільну роботу систем у випадку короткочасних пікових навантажень або вимкнення тягової батареї.
3. Реле та запобіжники – захищають низьковольтну мережу від короткого замикання та перевантаження.
4. Система управління зарядкою (BMS – Battery Management System) – контролює рівень напруги та струму в мережі 12 В і забезпечує стабільність живлення.

Щоб визначити параметри DC/DC-конвертера та ємність 12-вольтової акумуляторної батареї, необхідно оцінити загальну потужність бортового обладнання.

Припустимо, що загальне споживання енергії бортовими системами автомобіля складається з таких основних складових:

- освітлення – 200 Вт;
- клімат-контроль та вентиляція – 300 Вт;
- мультимедійна система – 100 Вт;
- електронні блоки управління та датчики – 150 Вт;

- інші споживачі (склопідйомники, обігрів дзеркал) – 100 Вт.

Загальна потужність споживання буде:

$$P_{\text{сум}} = 200 + 300 + 100 + 150 + 100 = 850 \text{ Вт.} \quad (3.4)$$

З огляду на запас для пікових навантажень (близько 20%), потужність DC/DC-конвертера слід розраховувати на:

$$P_{\text{резерв}} = 850 \cdot 1.2 \approx 1020 \text{ Вт.}$$

Таким чином, для забезпечення живлення бортового обладнання необхідний DC/DC-конвертер з потужністю 1–1.2 кВт та вихідною напругою 12 В.

На основі отриманих розрахунків рекомендовано використати DC/DC-конвертер Vicor DCM3422, який забезпечує високу ефективність та відповідає вимогам бортової системи.

Таблиця 3.3 – DC/DC-конвертер Vicor DCM3422

Параметр	Значення
Вхідна напруга	300 В
Вихідна напруга	12 В
Максимальна потужність	1200 Вт
Коефіцієнт корисної дії	До 96%
Вага	0.8 кг
Габаритні розміри	75 × 50 × 15 мм

Доповненням до конвертера є 12-вольтова акумуляторна батарея типу AGM (Absorbent Glass Mat) на 60 А·год. Батарея цього типу забезпечує стабільну роботу бортових систем, має високий термін служби та стійкість до глибоких розрядів. Відомими виробниками таких батарей є VARTA та Exide.

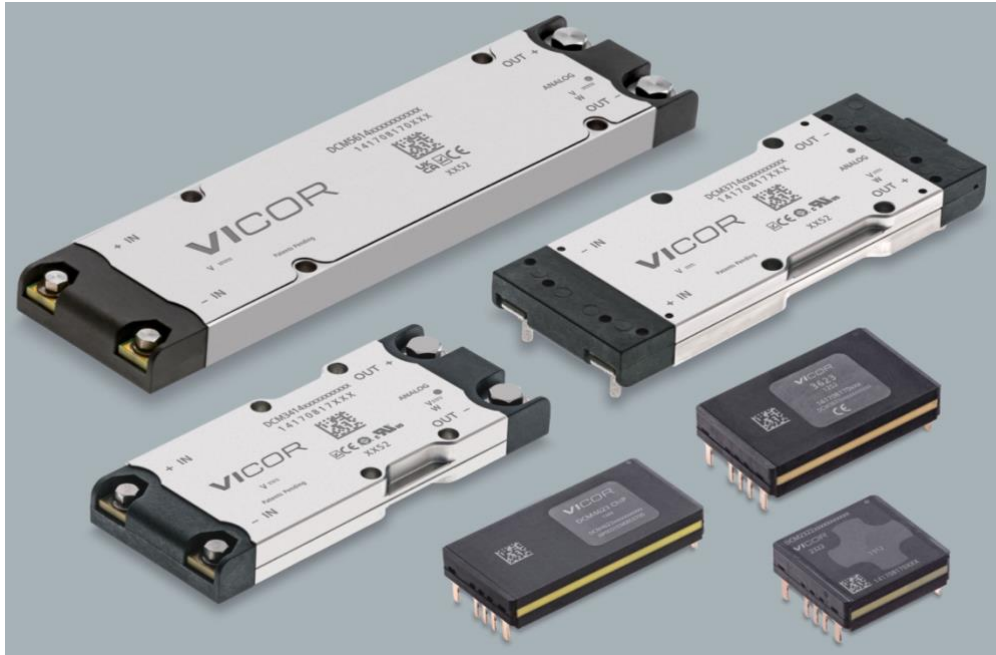


Рисунок 3.5 – DC/DC-конвертер Vicor DCM3422

Для живлення бортового обладнання гібридного автомобіля Renault Megane IV рекомендовано використовувати DC/DC-конвертер Vicor DCM3422 з потужністю 1.2 кВт та вихідною напругою 12 В. Як буферне джерело енергії вибрано AGM акумулятор на 60 А·год. Така система забезпечить стабільне живлення всіх допоміжних систем автомобіля, зберігаючи високу надійність та енергоефективність роботи у різних режимах експлуатації.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розробка системи управління частотно-регульованого електроприводу гібридного автомобіля

У цьому розділі розроблено систему управління частотно-регульованим електроприводом, яка є важливою складовою гібридного автомобіля. Головна мета цього етапу – забезпечити плавний і ефективний перехід між режимами роботи електродвигуна, підтримання стабільного крутного моменту та забезпечення необхідної динаміки руху автомобіля. Використання частотного регулювання дозволяє оптимізувати роботу електродвигуна за рахунок адаптивного керування його швидкістю та потужністю, враховуючи зовнішні впливи, такі як навантаження та умови експлуатації.

Для досягнення цієї мети розроблено структурну схему управління електроприводом, засновану на використанні динамічних ланцюжків із передаточними функціями, що описують взаємодію між компонентами системи. Крім того, математичний опис динаміки руху електропривода дозволить визначити залежності між вхідними сигналами (напругою та частотою живлення) і вихідними характеристиками (швидкістю та крутним моментом).

4.1.1. Розробка структурної схеми системи управління

Структурна схема системи управління частотно-регульованим електроприводом включає такі основні компоненти:

1. Контролер управління частотою (CUF) – генерує керуючий сигнал для інвертора, забезпечуючи необхідну частоту напруги живлення електродвигуна.
2. Інвертор (Inv) – перетворює постійну напругу від акумулятора у змінну напругу з регульованою частотою.
3. Електродвигун (ED) – приводить автомобіль у рух, перетворюючи електричну енергію у механічну.
4. Датчики швидкості та моменту (DSM) – вимірюють поточні значення швидкості обертання та крутного моменту електродвигуна.

5. Зворотний зв'язок (FB) – передає виміряні дані контролеру для корекції вхідного сигналу.

Для опису кожного елемента системи використовуються передаточні функції у вигляді передавальних операторів у частотній області [13]. Основні елементи системи управління описуються наступним чином:

1. Контролер управління частотою (CUF)

Контролер генерує сигнал частоти $f(t)$, який залежить від заданого сигналу $f_{\text{зад}}$ та відхилення швидкості $\Delta\omega(t)$. Передаточна функція контролера:

$$W_{\text{CUF}}(s) = \frac{K_c}{1+T_c s}, \quad (4.1)$$

де K_c – коефіцієнт підсилення, T_c – часова постійна, s – комплексна змінна.

2. Інвертор (Inv)

Інвертор перетворює постійну напругу U_{dc} у змінну напругу із частотою f і амплітудою U_{ac} . Його передаточна функція:

$$W_{\text{Inv}}(s) = \frac{K_i}{1+T_i s}, \quad (4.2)$$

де K_i – коефіцієнт перетворення, T_i – часова постійна інвертора.

3. Електродвигун (ED)

Динамічний опис електродвигуна враховує залежність швидкості $\omega(t)$ та моменту $M(t)$ від вхідної напруги $U_{ac}(t)$ і частоти $f(t)$. Передаточна функція двигуна:

$$W_{\text{ED}}(s) = \frac{K_e}{(1+T_e s)(1+T_m s)}, \quad (4.3)$$

де K_e – коефіцієнт підсилення двигуна, T_e – електрична стала часу, T_m – механічна стала часу.

4. Зворотний зв'язок (FB)

Сигнал зворотного зв'язку коригується через фільтр із передаточною функцією:

$$W_{\text{FB}}(s) = \frac{1}{1+T_f s}, \quad (4.4)$$

де T_f – постійна часу фільтра.

Структурна схема є замкнутою системою, яка описується загальною передаточною функцією:

$$W_{\text{сист}}(s) = \frac{W_{\text{CUF}}(s) \cdot W_{\text{Inv}}(s) \cdot W_{\text{ED}}(s)}{1 + W_{\text{FB}}(s) \cdot W_{\text{CUF}}(s) \cdot W_{\text{Inv}}(s) \cdot W_{\text{ED}}(s)}. \quad (4.5)$$

Ця модель дозволяє враховувати динаміку кожного компонента системи та взаємозв'язок між ними, забезпечуючи базу для подальшого аналізу динаміки руху та стійкості електроприводу гібридного автомобіля.

4.1.2. Математичний опис динаміки руху електроприводу гібридного автомобіля

Динаміка руху електроприводу гібридного автомобіля базується на взаємодії електричних і механічних процесів, які визначають поведінку системи в умовах змінних навантажень [14]. Математична модель цієї динаміки дозволяє описати зв'язок між вхідними сигналами (напругою та частотою живлення) і вихідними характеристиками (швидкістю обертання та крутним моментом). Основу моделі становлять рівняння електричної та механічної частин електродвигуна, а також рівняння динаміки автомобіля як системи. Усі ці рівняння описують поведінку електроприводу за допомогою диференціальних рівнянь та передаточних функцій.

Електрична частина системи моделюється рівняннями, що враховують зміну струму у обмотках двигуна залежно від прикладеної напруги та опору обмоток. Для синхронного двигуна з постійними магнітами це рівняння має вигляд:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U - k_e \omega, \quad (4.6)$$

де L – індуктивність обмотки двигуна, R – опір обмотки, i – струм у обмотці, U – прикладена напруга, k_e – коефіцієнт електромагнітного зв'язку, ω – кутова швидкість ротора. Це рівняння враховує взаємозв'язок між напругою, струмом і швидкістю обертання ротора двигуна.

Механічна частина електроприводу описується рівнянням руху ротора, яке враховує момент, створюваний двигуном, інерцію системи та момент опору. Воно записується у вигляді:

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = k_t i - M_{\text{оп}}, \quad (4.7)$$

де J – момент інерції ротора, B – коефіцієнт в'язкого тертя, k_t – коефіцієнт перетворення струму в момент, $M_{\text{оп}}$ – момент опору через навантаження. Це

рівняння описує зміну кутової швидкості ротора залежно від моменту двигуна і зовнішнього опору.

Для опису динаміки автомобіля в цілому використовується рівняння руху, яке враховує всі діючі на транспортний засіб сили. Це рівняння виглядає так:

$$m \frac{dv}{dt} = F_{\text{тяги}} - F_{\text{опору}}, \quad (4.8)$$

де m – маса автомобіля, v – лінійна швидкість, $F_{\text{тяги}}$ – тягові сили, що створюються двигуном, $F_{\text{опору}}$ – сума всіх сил опору. Тягові сили визначаються через момент на колесах $M_{\text{кол}}$ і радіус колеса r за формулою:

$$F_{\text{тяги}} = \frac{M_{\text{кол}}}{r}. \quad (4.9)$$

Сили опору включають опір повітря та опір коченню. Опір повітря розраховується як:

$$F_{\text{повітря}} = \frac{1}{2} C_x \rho A v^2. \quad (4.10)$$

де C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору, ρ – густина повітря, A – площа лобового опору. Опір коченню визначається за формулою:

$$F_{\text{кочення}} = \mu mg, \quad (4.11)$$

де μ – коефіцієнт опору коченню, g – прискорення вільного падіння. Сумарний опір руху записується як:

$$F_{\text{опору}} = F_{\text{повітря}} + F_{\text{кочення}}. \quad (4.12)$$

Для аналізу та синтезу системи всі рівняння можуть бути перетворені у частотну область з використанням передаточних функцій. Наприклад, електрична частина описується передаточною функцією:

$$W_{\text{ел}}(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1}{Ls + R}, \quad (4.13)$$

а механічна частина:

$$W_{\text{мех}}(s) = \frac{\Omega(s)}{T(s)} = \frac{1}{Js + B}. \quad (4.14)$$

Передаточна функція автомобіля:

$$W_{\text{авто}}(s) = \frac{V(s)}{F_{\text{тяги}}(s)} = \frac{1}{ms}. \quad (4.15)$$

Таким чином, математичний опис динаміки руху електроприводу за допомогою диференціальних рівнянь і передаточних функцій дозволяє повністю

охарактеризувати поведінку системи. Ця модель стане основою для подальшого аналізу стійкості системи та її параметричного синтезу.

4.1.3. Математичний опис стійкості руху електроприводу гібридного автомобіля

Стійкість руху електроприводу гібридного автомобіля є критично важливим аспектом, оскільки вона визначає здатність системи відновлювати стабільний стан після виникнення збурень. Математичний опис стійкості базується на аналізі динамічних властивостей системи за допомогою диференціальних рівнянь та динамічних зв'язів із відповідними передаточними функціями. У цій моделі розглядаються як електрична, так і механічна частини електроприводу.

Розглянемо систему електроприводу як замкнуту систему управління, яка складається з контролера, електродвигуна, навантаження і зворотного зв'язку. Для визначення стійкості руху необхідно дослідити поведінку системи у часі та частотній областях. Поведінка системи описується через диференціальні рівняння електричних і механічних компонентів. Електричну частину системи можна представити рівнянням:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U - k_e \omega, \quad (4.16)$$

де L – індуктивність обмоток двигуна, R – їх опір, i – струм у обмотках, U – напруга живлення, k_e – коефіцієнт зворотної електрорушійної сили, ω – кутова швидкість ротора. Цей зв'язок дозволяє визначити реакцію струму на зміну напруги чи швидкості обертання двигуна.

Механічна частина системи описується рівнянням руху:

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega = k_t i - M_{оп}, \quad (4.17)$$

де J – момент інерції ротора, B – коефіцієнт в'язкого тертя, k_t – коефіцієнт перетворення струму в момент, $M_{оп}$ – момент опору навантаження. Це рівняння визначає, як змінюється кутова швидкість двигуна внаслідок дії моментів.

Для аналізу стійкості використовують рівняння системи у частотній області. Передаточна функція електричної частини системи, яка описує залежність струму $I(s)$ від напруги $U(s)$, записується як:

$$W_{\text{ел}}(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1}{Ls + R}. \quad (4.18)$$

Передаточна функція механічної частини, що визначає зв'язок між моментом $T(s)$ і кутовою швидкістю $\Omega(s)$:

$$W_{\text{мех}}(s) = \frac{\Omega(s)}{T(s)} = \frac{1}{Js + B}. \quad (4.19)$$

Стійкість системи визначається за допомогою аналізу характеристичного рівняння замкнутої системи. Для замкнутої системи передаточна функція записується як:

$$W_{\text{замкн}}(s) = \frac{W_{\text{відкр}}(s)}{1 + W_{\text{відкр}}(s) \cdot W_{\text{звор}}(s)}, \quad (4.20)$$

де $W_{\text{відкр}}(s)$ – передаточна функція відкритої системи, $W_{\text{звор}}(s)$ – передаточна функція зворотного зв'язку. Характеристичне рівняння системи визначається як знаменник передаточної функції:

$$1 + W_{\text{відкр}}(s) \cdot W_{\text{звор}}(s) = 0. \quad (4.21)$$

Корені цього рівняння визначають полюси системи. Якщо всі корені знаходяться у лівій напівплощині комплексної площини, то система є стійкою.

Для перевірки стійкості часто застосовують частотні критерії, зокрема критерій Найквіста. Він базується на аналізі амплітудно-фазової характеристики $W_{\text{відкр}}(j\omega)$. Якщо траєкторія $W_{\text{відкр}}(j\omega)$ не охоплює точку -1 на комплексній площині, система є стійкою.

Крім того, можна застосувати критерій Гурвіца, який перевіряє знаки коефіцієнтів характеристичного рівняння. Для системи другого порядку, наприклад, характеристичне рівняння має вигляд:

$$s^2 + a_1 s + a_0 = 0, \quad (4.22)$$

де $a_1 > 0$ і $a_0 > 0$ є умовами стійкості.

Математичний опис стійкості руху електроприводу гібридного автомобіля дозволяє оцінити здатність системи відновлювати стабільний стан після збурень. Диференційні рівняння електричної та механічної частин системи у поєднанні з аналізом характеристичного рівняння забезпечують необхідний інструментарій для дослідження стійкості. Частотні критерії, такі як критерій Найквіста, дають змогу візуально перевірити стійкість системи, що є важливим кроком у її проектуванні та оптимізації.

4.1.4. Параметричний синтез системи частотно-регульований привід – електродвигун гібридного автомобіля

Параметричний синтез системи «частотно-регульований привід – електродвигун» полягає у визначенні оптимальних параметрів компонентів системи управління, які забезпечують стабільну, енергоефективну та динамічну роботу електроприводу [15]. Основним завданням синтезу є вибір параметрів регулятора, таких як коефіцієнт підсилення, часові постійні, а також налаштування інших елементів системи для досягнення бажаних характеристик.

Математичний опис системи враховує взаємодію між компонентами: регулятором, інвертором, електродвигуном і навантаженням. Для аналізу і синтезу система описується через диференційні рівняння, які переводяться у частотну область для зручності дослідження і налаштування.

Передаточна функція системи описує залежність вихідної швидкості $\omega(s)$ від вхідної напруги $U(s)$. Для замкнутої системи з регулятором і зворотним зв'язком вона має вигляд:

$$W_{\text{замкн}}(s) = \frac{W_{\text{відкр}}(s)}{1 + W_{\text{відкр}}(s) \cdot W_{\text{звор}}(s)}, \quad (4.23)$$

де $W_{\text{відкр}}(s)$ – передаточна функція відкритої системи, а $W_{\text{звор}}(s)$ – передаточна функція зворотного зв'язку.

Для даної системи відкритої передаточної функції включає в себе електричну, механічну та регуляторну частини. Запишемо її у вигляді:

$$W_{\text{відкр}}(s) = W_{\text{рег}}(s) \cdot W_{\text{інв}}(s) \cdot W_{\text{двигун}}(s), \quad (4.24)$$

де:

– $W_{\text{рег}}(s) = K_c \cdot \frac{1}{1 + T_c s}$ – передаточна функція регулятора;

– $W_{\text{інв}}(s) = \frac{K_i}{1 + T_i s}$ – передаточна функція інвертора;

– $W_{\text{двигун}}(s) = \frac{K_e}{(1 + T_e s)(1 + T_m s)}$ – передаточна функція електродвигуна.

Параметри системи синтезуються з метою досягнення бажаних динамічних характеристик, таких як час перехідного процесу, допустимі перерегулювання та частотний діапазон. Коефіцієнт підсилення K_c визначає

швидкість реагування системи на зміни вхідного сигналу. Його вибір базується на критеріях стійкості, які визначаються за характеристичним рівнянням:

$$1 + W_{\text{відкр}}(s) \cdot W_{\text{звор}}(s) = 0. \quad (4.25)$$

Приклад параметра K_c , що забезпечує стійкість, розраховується за методом Гурвіца або Найквіста.

Часова постійна регулятора T_c налаштовується так, щоб уникнути надмірного запізнення у системі, водночас згладжуючи коливання. Її вибір впливає на загальну плавність і стабільність перехідного процесу.

Часові постійні T_i , T_e , T_m визначаються на основі технічних характеристик інвертора і двигуна, зокрема їх індуктивності, моменту інерції та коефіцієнтів тертя.

Параметричний синтез системи «частотний привід – електродвигун» дозволяє забезпечити необхідні динамічні властивості та стійкість роботи електроприводу гібридного автомобіля. Завдяки аналізу передаточних функцій і характеристичного рівняння система налаштовується таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу, оптимальне використання енергії та плавність перехідних процесів. Це критично важливо для ефективної інтеграції приводу у конструкцію гібридного автомобіля.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Система управління охороною праці на виробництві: принципи та функції

Система управління охороною праці (СУОП) відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та здоров'я працівників. Її мета полягає у створенні безпечного виробничого середовища, зменшенні ризиків травматизму та запобіганні професійним захворюванням. На основі чинного законодавства, нормативних документів і стандартів підприємства організовують комплекс заходів для управління охороною праці, що включає розробку політик, навчання працівників, контроль і оцінку умов праці [16].

Основним принципом, на якому базується СУОП, є системність. Вона передбачає, що всі аспекти охорони праці мають бути інтегровані у виробничі процеси. Наприклад, створення безпечних умов праці повинно розглядатися як частина стратегічного планування підприємства. Завдяки цьому з'являється можливість підходити до вирішення проблем безпеки комплексно, охоплюючи технічні, організаційні та соціальні аспекти.

Функціонування СУОП реалізується через організацію діяльності спеціалізованих служб охорони праці на підприємствах. До їх основних завдань належить моніторинг умов праці, впровадження технічних і організаційних заходів для забезпечення безпеки, навчання та інструктаж працівників. Зазвичай служби охорони праці очолює інженер з охорони праці, який відповідає за координацію дій між різними підрозділами підприємства.

Фінансування охорони праці є ще одним важливим елементом системи. Підприємства створюють спеціальні фонди, кошти яких спрямовуються на придбання захисного обладнання, проведення навчань, модернізацію систем контролю та впровадження нових технологій. Наприклад, автоматизація

небезпечних виробничих процесів або вдосконалення вентиляційних систем може значно підвищити рівень безпеки працівників.

Регулярний контроль і оцінка ефективності заходів із охорони праці є обов'язковими складовими СУОП. На підприємствах проводяться перевірки за участю спеціалізованих комісій, які аналізують дотримання норм безпеки, виявляють проблеми та розробляють заходи для їх усунення. Такий підхід дозволяє підтримувати високий рівень безпеки та оперативно реагувати на нові виклики.

Навчання працівників і популяризація культури безпеки займають центральне місце у системі управління охороною праці. Кожен працівник повинен проходити регулярні інструктажі з безпеки, навчання з використання засобів захисту, а також отримувати інформацію про можливі ризики та способи їх уникнення. Це сприяє формуванню відповідального ставлення до безпеки праці на всіх рівнях підприємства.

Стимулювання працівників до дотримання правил охорони праці відбувається через моральні та матеріальні заохочення. Наприклад, премії за дотримання норм безпеки або визнання заслуг працівників під час корпоративних заходів можуть мотивувати їх до більш уважного ставлення до власної безпеки та безпеки колег.

Крім того, система управління охороною праці повинна враховувати економічні аспекти. Інвестиції у безпеку праці сприяють підвищенню продуктивності, зниженню кількості нещасних випадків і зменшенню витрат на лікування та компенсацію збитків. Підприємства, які приділяють значну увагу охороні праці, отримують конкурентну перевагу, оскільки створення безпечних умов праці підвищує лояльність працівників і їх продуктивність [17].

Узагальнюючи, система управління охороною праці є багатокомпонентною структурою, яка об'єднує різні підходи до забезпечення безпеки. Вона базується на принципах системності, стандартизації та інтеграції,

які дозволяють забезпечити високий рівень безпеки на виробництві. Завдяки цьому підприємства можуть ефективно захищати своїх працівників, знижувати ризики травматизму та створювати сприятливе виробниче середовище.

Управління охороною праці має стратегічне значення для сучасного підприємства, оскільки впливає на його економічні показники, репутацію та соціальну відповідальність. Інтеграція системи управління охороною праці в загальну структуру управління підприємством дозволяє більш ефективно досягати поставлених цілей у сфері безпеки. У цій системі важливою складовою є прогнозування можливих ризиків, аналіз їхніх причин та впровадження заходів для попередження небезпечних ситуацій.

Одним із ключових аспектів є постійний моніторинг умов праці. Для цього на підприємствах застосовуються сучасні системи автоматизації, що дозволяють контролювати параметри виробничого середовища, такі як температура, рівень шкідливих речовин у повітрі, шум, вібрації тощо. Наприклад, використання датчиків і систем моніторингу допомагає вчасно виявляти перевищення гранично допустимих норм, що знижує ризик виникнення аварій або професійних захворювань.

Ефективність системи управління охороною праці значною мірою залежить від організації процесів інформування та комунікації. Працівники повинні своєчасно отримувати інформацію про зміни у виробничих процесах, введення нових норм безпеки або використання нового обладнання. Регулярне проведення тренінгів та семінарів із залученням фахівців з охорони праці сприяє підвищенню рівня знань працівників і розвитку їхніх навичок реагування у складних ситуаціях.

Важливим компонентом системи є впровадження системи зворотного зв'язку. Завдяки цьому працівники мають змогу повідомляти про потенційні небезпеки, несправності обладнання чи порушення правил безпеки. Це сприяє оперативному реагуванню на загрози, знижуючи ризик виникнення

травматичних ситуацій. Крім того, залучення працівників до управління охороною праці формує культуру відповідального ставлення до безпеки.

Економічні аспекти також відіграють важливу роль у впровадженні заходів безпеки. Витрати на модернізацію виробництва, встановлення засобів захисту та навчання працівників розглядаються як інвестиції в довгострокову ефективність підприємства. Дослідження показують, що компанії, які впроваджують ефективні програми охорони праці, значно знижують витрати, пов'язані з нещасними випадками, простоєм виробництва та компенсаціями працівникам.

На рівні державного управління важливим завданням є контроль за дотриманням нормативних вимог у сфері охорони праці. Органи державного нагляду проводять перевірки, надають рекомендації та забезпечують дотримання стандартів безпеки. На підприємствах із високим рівнем ризику регулярність перевірок є особливо важливою. Крім того, держава сприяє впровадженню нових технологій та проведенню наукових досліджень у сфері безпеки праці, що дозволяє розвивати нові підходи до управління.

Особливу увагу слід приділяти ризикам, пов'язаним із впливом шкідливих речовин або небезпечних умов праці. Виробництва, які працюють із хімічними, радіоактивними або біологічно небезпечними матеріалами, повинні мати спеціальні процедури контролю та захисту працівників. Це включає використання спеціального захисного обладнання, таких як респіратори, захисні костюми та системи вентиляції.

Ще одним важливим аспектом є забезпечення психофізіологічного комфорту працівників. Надмірні навантаження, стрес або монотонність роботи можуть негативно впливати на продуктивність і безпеку праці. Тому системи управління охороною праці враховують фактори, що сприяють покращенню умов праці, такі як раціональна організація робочого часу, оптимізація

виробничих процесів, створення зон відпочинку та забезпечення якісного харчування на робочому місці.

Інноваційні підходи в управлінні охороною праці включають використання цифрових технологій і автоматизованих систем управління. Наприклад, інтеграція систем IoT (Інтернету речей) дозволяє створювати єдину мережу моніторингу умов праці. Дані, отримані від різних сенсорів, обробляються в реальному часі, що дозволяє швидко виявляти порушення та реагувати на них. Такі системи значно підвищують ефективність управління та дозволяють зменшити витрати на обслуговування.

Одним із ключових напрямків сучасної системи управління охороною праці є розвиток програм превентивних заходів. Ці програми спрямовані на попередження виникнення небезпечних ситуацій через регулярну оцінку ризиків, моніторинг виробничого середовища та впровадження інноваційних підходів до організації роботи. Наприклад, на підприємствах із високими технологічними ризиками активно впроваджуються системи прогнозування можливих аварій на основі аналізу великих даних. Це дозволяє виявляти потенційні загрози до їхньої реалізації, знижуючи ймовірність виникнення нещасних випадків.

Ефективність системи управління охороною праці залежить також від рівня залученості керівництва підприємства. Лідерська позиція керівників є важливим фактором у формуванні культури безпеки на виробництві. Керівництво повинно демонструвати свою прихильність до питань охорони праці, беручи участь у заходах, спрямованих на підвищення безпеки, та забезпечуючи необхідні ресурси для впровадження програм захисту працівників. Наприклад, регулярне відвідування робочих місць, відкриті зустрічі з працівниками та контроль за виконанням вимог охорони праці сприяють підвищенню загального рівня безпеки.

У підсумку, сучасна система управління охороною праці базується на інтеграції технологій, організаційних рішень та економічних стимулів. Це дозволяє створити ефективну, динамічну та гнучку систему, яка відповідає сучасним вимогам і забезпечує високий рівень безпеки праці. Підприємства, що впроваджують такі системи, отримують не лише економічні переваги, а й позитивну репутацію як соціально відповідальні організації

5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Захист населення і території від надзвичайних ситуацій (НС) є одним із ключових завдань державної політики у сфері забезпечення національної безпеки. В умовах сучасного світу, де ризики техногенного, природного та соціального характеру постійно зростають, необхідність у розробці ефективної концепції захисту стає надзвичайно актуальною. Ця концепція визначає основні принципи, завдання та механізми захисту громадян, об'єктів економіки та довкілля від наслідків надзвичайних ситуацій.

Першочерговим завданням концепції є створення умов для мінімізації ризиків виникнення НС, а також розробка заходів для захисту людей та об'єктів у разі їх виникнення. Указ Президента України від 26 березня 1999 року № 284/99 [18] затвердив основні положення концепції захисту населення і території, які визначають загальні цілі, завдання та інструменти забезпечення безпеки. Концепція спрямована на підготовку державних органів управління, підприємств та громадян до ефективного реагування на загрози та зменшення наслідків надзвичайних ситуацій.

Однією з основних характеристик надзвичайної ситуації є загроза життю та здоров'ю людей, значні економічні збитки або погіршення екологічного стану. Ці ситуації можуть виникати внаслідок аварій, катастроф, природних явищ, соціальних чи політичних конфліктів. Усі надзвичайні ситуації класифікуються за походженням: техногенного, природного, соціально-політичного або

військового характеру. Кожен із цих типів НС потребує специфічного підходу до планування та реагування.

До техногенних НС належать аварії на виробничих об'єктах, транспортні катастрофи, пожежі, вибухи, викиди радіоактивних або хімічно небезпечних речовин. Ці події часто супроводжуються значними руйнуваннями, травмами та смертями людей. Наприклад, аварії на хімічних заводах чи атомних електростанціях створюють довгострокові загрози для здоров'я населення та стану навколишнього середовища. Для таких ситуацій розробляються плани евакуації, організовуються навчання населення щодо дій у випадку аварії, а також впроваджуються системи моніторингу небезпечних об'єктів.

Природні НС включають стихійні лиха, такі як повені, землетруси, урагани, зсуви ґрунту. Вони можуть мати значний вплив на економіку регіону, призводячи до руйнування інфраструктури, загибелі людей та забруднення довкілля. У разі природних НС важливими є своєчасне прогнозування та оповіщення населення. Наприклад, сучасні метеорологічні системи дозволяють заздалегідь попереджати про наближення урагану чи паводка, що дає можливість підготуватися до евакуації чи мінімізації наслідків.

До НС соціально-політичного характеру належать ситуації, пов'язані з терористичними актами, заворушеннями, захопленням заручників або важливих об'єктів. Ці події вимагають залучення правоохоронних органів та спеціалізованих підрозділів для нейтралізації загроз. Планування заходів у цьому випадку включає забезпечення громадського порядку, захист стратегічних об'єктів і надання допомоги постраждалим.

Військові НС пов'язані із застосуванням зброї масового ураження або масштабними військовими діями, що створюють загрозу для населення та довкілля. У таких ситуаціях пріоритетним є забезпечення евакуації, організація укриттів, постачання гуманітарної допомоги та медичного обслуговування. Крім того, важливим завданням є координація дій між цивільними та військовими органами управління.

Концепція захисту населення базується на комплексному підході, який включає прогнозування, запобігання, реагування та ліквідацію наслідків НС.

Прогнозування надзвичайних ситуацій передбачає аналіз потенційних ризиків і їх ймовірності. Для цього використовуються сучасні технології, такі як геоінформаційні системи, моніторинг середовища, моделювання сценаріїв розвитку подій. Завдяки цьому можна заздалегідь підготувати ресурси та розробити плани реагування.

Запобігання НС включає впровадження технологій, які зменшують ризики виникнення аварій, модернізацію інфраструктури, створення резервів матеріальних і технічних ресурсів. Наприклад, будівництво дамб і укріплень може запобігти руйнівним наслідкам повеней, а впровадження автоматизованих систем контролю знижує ризик техногенних катастроф.

Реагування на НС є важливим етапом, що включає оповіщення населення, організацію евакуації, проведення рятувальних і медичних заходів. Для ефективного реагування необхідно забезпечити злагоджену роботу органів управління, використання сучасної техніки та залучення кваліфікованих фахівців. Наприклад, використання авіації для доставки гуманітарної допомоги або швидкого транспортування постраждалих може значно зменшити наслідки НС.

Ліквідація наслідків НС включає відновлення інфраструктури, очищення територій від забруднень, надання допомоги постраждалим. Цей етап є тривалим і потребує значних ресурсів. Наприклад, у разі радіаційного забруднення території очищення може тривати десятиліттями, як це було у випадку Чорнобильської катастрофи.

Важливою складовою концепції є навчання населення діям у разі НС. Проведення регулярних тренувань, інформаційних кампаній і створення інструкцій із безпеки сприяє підвищенню готовності громадян до можливих загроз. Наприклад, навчання з евакуації в школах або на підприємствах допомагає мінімізувати паніку та забезпечити організованість дій у надзвичайній ситуації [19].

Фінансування заходів із захисту населення є ключовим фактором реалізації концепції. Державні, регіональні та місцеві бюджети передбачають витрати на розвиток систем моніторингу, закупівлю спеціалізованого

обладнання, навчання персоналу. Крім того, створюються резервні фонди для реагування на НС.

Одним із ключових елементів концепції захисту населення є розвиток системи оповіщення про надзвичайні ситуації. Сучасні технології дозволяють створювати багаторівневі системи сповіщення, які охоплюють різні канали комунікації: радіо, телебачення, мобільний зв'язок, інтернет. Використання автоматизованих систем дозволяє забезпечити швидке інформування населення про загрозу НС, що є критично важливим для вчасної евакуації або вжиття превентивних заходів. Наприклад, надсилання SMS-повідомлень або використання мобільних додатків для оповіщення є ефективними методами комунікації в сучасних умовах.

Ефективність захисту залежить також від підготовленості рятувальних служб. Спеціалізовані підрозділи, такі як Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), повинні мати доступ до сучасної техніки, засобів захисту та навчання. Для цього важливим є регулярне проведення навчальних тренувань, як на локальному рівні, так і в рамках міжнародної співпраці. Залучення міжнародних експертів і обмін досвідом дозволяють адаптувати найкращі світові практики до умов конкретної країни.

У контексті зміни клімату природні надзвичайні ситуації стають дедалі частішими та руйнівнішими. Для ефективного управління такими загрозами необхідно створювати регіональні плани дій, які враховують специфіку природних явищ у конкретній місцевості. Наприклад, у регіонах із високою ймовірністю паводків варто передбачати створення систем водозахисних споруд, таких як дамби та резервуари. Крім того, важливим є використання технологій прогнозування, які дозволяють заздалегідь оцінити масштаби можливого лиха та підготувати ресурси для реагування.

Соціальний аспект також відіграє значну роль у забезпеченні захисту населення. У разі НС важливо враховувати потреби найбільш вразливих груп населення, таких як діти, люди похилого віку, особи з інвалідністю. Для них необхідно забезпечити додаткові заходи безпеки, такі як доступність укриттів, спеціалізовані транспортні засоби для евакуації та медичну підтримку. Такий

підхід сприяє зниженню негативних наслідків НС і підвищує рівень соціальної справедливості.

Окремо варто згадати роль приватного сектора в реалізації концепції захисту населення. Багато підприємств і організацій відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки своїх працівників і клієнтів. Наприклад, великі торговельні центри повинні мати власні системи евакуації, протипожежного захисту та навчання персоналу. Крім того, приватні компанії можуть співпрацювати з державними органами, надаючи технічну підтримку або ресурси для ліквідації наслідків НС. Це створює умови для більш ефективного реагування на загрози та підвищує стійкість суспільства загалом.

У підсумку, концепція захисту населення і території у разі надзвичайних ситуацій є комплексним підходом, який об'єднує заходи прогнозування, запобігання, реагування та ліквідації наслідків. Вона забезпечує мінімізацію ризиків і наслідків НС, сприяє захисту громадян, довкілля та інфраструктури. Впровадження цієї концепції на національному рівні є важливим кроком до підвищення стійкості держави перед сучасними викликами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розробка системи управління частотно-регульованим електроприводом гібридного автомобіля підтвердила актуальність використання сучасних підходів до оптимізації енергоефективності та динамічних характеристик транспортних засобів. Використання математичних моделей і передаточних функцій дозволило точно описати динамічні процеси в електроприводі, що сприяє глибокому розумінню принципів його роботи.

2. У ході роботи було виконано повний цикл вибору компонентів системи, включаючи електродвигун, тягову акумуляторну батарею та систему живлення бортового обладнання. Це дозволило створити цілісну концепцію гібридного автомобіля, яка поєднує енергоефективність, високу продуктивність та доступність для інтеграції у реальні умови експлуатації.

3. Математичний аналіз стійкості та динаміки руху електроприводу показав, що розроблена система здатна забезпечити плавний рух і стабільність при змінних навантаженнях. Це підтверджує ефективність використаних підходів до параметричного синтезу компонентів системи.

4. Результати параметричного синтезу системи «частотний привід – електродвигун» дозволили оптимізувати параметри регулятора та інших елементів для забезпечення стабільної роботи системи. Це створює основу для подальшого вдосконалення системи управління, орієнтованого на зниження енергетичних втрат і підвищення надійності.

5. Загалом, виконана робота доводить перспективність переходу на гібридні приводи у сучасних автомобілях, що дозволяє не лише знизити споживання палива, але й значно зменшити шкідливий вплив на довкілля. Отримані результати можуть бути використані для розробки нових поколінь гібридних транспортних засобів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Дідковський М.І., Кунько В.М., Лисенко В.О. Електромобілі та гібридні транспортні засоби. Київ: Видавничий дім «Слово», 2021. – 320 с.
2. Ковальчук О.В., Руденко С.М. Теоретичні основи електроприводу. Харків: ХНУ ім. Каразіна, 2019. – 256 с.
3. Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives. Pearson Education, 2015. – 688 p.
4. Miller J.M. Hybrid Electric Vehicle Propulsion System Architectures. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016. – Vol. 21, No. 3. – pp. 567–575.
5. Husain I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. CRC Press, 2021. – 446 p.
6. Chan C.C., Chau K.T. Modern Electric Vehicle Technology. Oxford University Press, 2020. – 303 p.
7. IEEE. Standard for Safety for Motor Control Centers. IEEE Std 141-2020. – New York, 2020.
8. Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. Дослідження систем електроприводу гібридних автомобілів. Київ, 2021. – №5. – С. 125–134.
9. Karlsson S., Carlson A. Energy Storage Systems for Hybrid Electric Vehicles. Journal of Power Sources, 2020. – Vol. 110, No. 2. – pp. 204–216.
10. Попович В.В., Іваненко М.С. Експлуатація гібридних автомобілів у міських умовах. Збірник наукових праць НТУ, 2022. – №8. – С. 98–112.
11. Bosch R&D. Technical Guide for Hybrid Systems. Stuttgart: Bosch Automotive Press, 2020. – 190 p.
12. Wang F., Liu Y. Control Strategies for Frequency-Regulated Drives in Hybrid Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2019. – Vol. 66, No. 4. – pp. 2751–2763.
13. Чумаченко О.В., Іващенко С.В. Системи управління електроприводами з частотним регулюванням. Одеса: ОНПУ, 2018. – 210 с.
14. Веклич А.М., Лаптев Д.С. Математичне моделювання динамічних процесів у системах електроприводу. Львів: НУЛП, 2017. – 270 с.

15. Соколовський Д.В. Оптимізація параметрів систем управління електроприводами. Харків: ТОВ «Промо-книга», 2019. – 230 с.
16. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навч. посібник / В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
17. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
18. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.
19. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.