

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електропривода  
(повна назва)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломної роботи

магістра

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 14 Електрична інженерія

(шифр і назва галузі знань)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

(освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)

освітній рівень магістр

(назва освітнього рівня)

Кваліфікація 2151.2 (Int) Інженер-електромеханік

(код і назва кваліфікації)

на тему: **Розробка технічних рішень для інтеграції електромобілів в енерго-мережу**

Виконавець:

Студент 6 курсу, групи 141М-16-4

Єрмак Ігор Віталійович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	Бешта О.С.		
розділів:			
Аналітичний	Балахонцев О.В.		
Основний	Балахонцев О.В.		
Економічний	Тимошенко Л.В.		

Рецензент	Луценко І.М.		
-----------	--------------	--	--

Нормоконтроль	Казачковський М.М.		
---------------	--------------------	--	--

Дніпропетровськ  
2018

Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад  
"Національний гірничий університет"

---

---

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
Електроприводу  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 року

**ЗАВДАННЯ**

на виконання кваліфікаційної роботи магістра  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

(освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)

студенту 141М-16-4 Єрмаку Ігору Віталійовичу  
(група) (прізвище та ініціали)

Тема дипломної роботи Розробка технічних рішень для інтеграції  
електромобілів в енергомережу  
**1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ**

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31.10.2017 №1806-л

**2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ**

**Об'єкт досліджень** підключення електричного автомобіля до енергомережі в процесі заряду та когенерації

**Предмет досліджень** схемотехніка двонаправлених зарядних пристроїв, підключення зарядних станцій до енергомережі та їх розташування

**Мета НДР** розробка технічних рішень для інтеграції електричного автомобіля в енергомережу та вибір оптимальних режимів і графіків заряду/розряду.

**Вихідні дані для проведення роботи** характеристики існуючих електричних автомобілей, параметри трансформаторних підстанцій, наукові статті.

**3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ**

**Наукова новизна** використання електричних автомобілів як регуляторів потужності

**Практична цінність** зменшення витрат палива на генерацію додаткової потужності для покриття пікових навантажень на енергомережу

**4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

Обґрунтування доцільності використання електричних автомобілів як регуляторів потужності та оцінка можливостей існуючої мережі для розвитку інфраструктури зарядних станцій

## 5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	18.09.2017-8.11.2017
Основний розділ	9.11.2017-1.01.2018
Економічний розділ	2.01.2018-18.01.2018

## 6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Соціальний ефект \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Відповідність оформлення ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення

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

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Єрмак І.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

Термін подання дипломної роботи до ЕК 19.01.2018

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 сторінок, 13 таблиць, 20 рисунків, 16 джерел

**Об'єкт детальної розробки:** електричний автомобіль та його інтеграція в енергосистему

**Мета роботи:** розробка технічних рішень для інтеграції електричного автомобіля в енергомережу та вибір оптимальних режимів і графіків заряду/розряду.

Розглянуті існуючі технічні рішення зарядних пристроїв для можливості заряду батареї електричного автомобіля та можливості генерації електричної енергії до енергомережі. Були обрані оптимальні графіки та режими заряду/розряду електричної батареї, розраховані необхідні потужності зарядних станцій та кількості точок підключення. Виконано розрахунок координат оптимального місця розташування зарядної станції.

Розраховано економічний ефект від використання електричних автомобілів як системи зберігання енергії для покриття пікових навантажень на енергомережу.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ АВТОМОБІЛЬ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ,  
КОГЕНЕРАЦІЯ, ДВОНАПРАВЛЕНИЙ ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ

					ЕП.МР.18.06.Р.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 71 страниц, 13 таблиц, 20 рисунков, 16 источников

**Объект детальной разработки:** электрический автомобиль и его интеграция в энергосистему

**Цель работы:** разработка технических решений для интеграции электрического автомобиля в энергосеть и выбор оптимальных режимов и графиков заряда / разряда.

Рассмотрены существующие технические решения зарядных устройств для возможности заряда батареи электрического автомобиля и возможности генерации электроэнергии в сеть. Были выбраны оптимальные графики и режимы заряда / разряда электрической батареи, рассчитанные необходимые мощности зарядных станций и количества точек подключения. Выполнен расчет координат оптимального расположения зарядной станции.

Рассчитан экономический эффект от использования электрических автомобилей как системы хранения энергии для покрытия пиковых нагрузок на энергосеть.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АВТОМОБИЛЬ, АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ,  
КОГЕНЕРАЦИЯ, ДВОНАПРАВЛЕННОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО

					ЕП.МР.18.06.Р.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

The explanatory note: 71 pages, 13 tables, 20 drawings, 16 sources

**The object of detailed design:** an electric car and its integration into the energy system

**The purpose of the work:** design of technical solutions for the integration of an electric car into the power grid and the selection of optimal modes and charge / discharge schedules.

Existing technical solutions for electric vehicles chargers at consumption mode from network and generation mode to the network are considered. Optimal schedules and modes of charge / discharge of the electric battery, calculated necessary capacities of charging stations and the number of plug-in points were chosen. The coordinates of the optimal location of the charging station were calculated.

The economic effect of using electric cars as an energy storage system for covering peak loads on the power grid is calculated.

ELECTRICE VEHICLE, BATTERIE, V2G, BIDIRECTIONAL CHARGING  
DEVICE

					<i>ЕП.МР.18.06.Р.ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ</b> .....	10
1.1. Сучасні електричні автомобілі та їх параметри .....	11
1.2. Стандартні режими заряду та підключення електромобілів.....	18
1.3. Взаємодія електричних автомобілів з електричною мережею .....	21
1.4. Опис технології когенерації з електромобілів до електричної мережі (V2G) .....	24
1.5. Постановка задач дослідження .....	25
<b>2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ</b> .....	27
2.1. Технічні рішення зарядних станцій.....	28
2.1.1. Графік заряду/розряду та вибір оптимального режиму заряду .....	28
2.1.2. Рішення для зарядних пристроїв .....	37
2.1.3. Розрахунок необхідної потужності зарядних станцій та кількості точок підключення.....	41
2.2. Оптимальне розміщення зарядних станцій .....	44
<b>3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</b> .....	54
3.1. Економічний ефект для власника електричного автомобіля при участі в когенерації енергії до електричної мережі.....	56

					<i>ЕП.МР.18.06.3.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ермак І.В.</i>			<i>Магістерська робота</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В.</i>					7	61
<i>Реценз.</i>						<i>НГУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>				<i>141М-16-4</i>		
<i>Затверд.</i>								

3.2. Економічний ефект від зменшення негативного впливу на екологію ....	60
Висновок .....	64
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>65</b>
<b>СПИСОК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>66</b>
<b>РЕЦЕНЗІЇ ТА ВІДГУКИ.....</b>	<b>68</b>

					<i>ЕП.МР.18.06.3.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ермак І.В.</i>			<i>Магістерська робота</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В.</i>					<i>8</i>	<i>71</i>
<i>Реценз.</i>						<i>НГУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>				<i>141м-16-4</i>		
<i>Затверд.</i>								



## ВСТУП

Одним з основних напрямків розвитку транспортних засобів на сьогоднішній день є поступова заміна транспорту, що використовує двигуни внутрішнього згоряння, на електромобілі з метою зменшення викидів CO<sub>2</sub>. У багатьох європейських країнах прийняті законодавчі акти, які сприяють поширенню електротранспорту і містять основні вимоги і умови реалізації масштабної програми розвитку електричної мобільності. Збільшення кількості електричних транспортних засобів робить їх важливою складовою системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни. Розвиток електричних мереж з електромобілями, розробка та використання технологій Smart Grid для них здійснюється з урахуванням додаткових вимог і обмежень щодо режимів заряду тягових батарей автомобілів з метою забезпечення їх ефективної інтеграції в гібридну систему електропостачання.

Однак існує ще одна можливість інтеграції електричних транспортних засобів в електричну мережу при використанні їх для регулювання навантаження енергосистеми. Підхід полягає в тому, щоб заряд акумуляторів транспортних засобів здійснювати в основному під час мінімуму енергосистеми, а в пікові періоди часу - генерувати енергію від акумулятора в мережу. Масове використання електромобілів в такому режимі дозволить знизити попит на електроенергію в пікові періоди, що, в свою чергу, знижує потребу в пікових електростанціях і допомагає знизити шкідливі викиди, так як такі генеруючі джерела зазвичай менш екологічні та ефективні в порівнянні електростанціями, що забезпечують постійну (базову) навантаження. Це завдання актуальна як для багатьох європейських країн, так і для України.

Достатня кількість електричних транспортних засобів, що працюють паралельно в режимі регуляції навантаження, схоже по режиму роботи і дії на мережу гідроакumuлюючих електростанцій. Тому забезпечення такого режиму забезпечує переваги для джерела живлення, включаючи зменшення викидів.

					<i>ЕП.МР.18.06.В.ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# **1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ**

## 1.1. Сучасні електричні автомобілі та їх параметри

Зміна клімату, погіршення екології і забруднення навколишнього середовища - це неминучі проблеми, які вимагають активного та оперативного вирішення. Згідно Паризькому угодою з клімату, яке офіційно вступило в чинності 4 листопада 2016 року, передбачено обмеження глобального потепління в межах 2 градусів Цельсія (по відношенню до показника доіндустріальної епохи). Таким чином, економісти, соціологи і кліматологи шукають шляхи зменшення глобального потепління, оптимізації викидів шкідливих речовин в повітря і очищення вод. Всі вони згодні з тим, що електромобіль пропонує стійке рішення в боротьбі зі зміною клімату, а також сприяє поліпшенню якості повітря в міських умовах.

З огляду на переваги електромобіля для суспільства і екології, кількість гравців на ринку електромобілів в світі стрімко зростає. У 2011 р розвитком напрямку електромобілів займалися тільки 4 бренду (Renault, Nissan, Tesla, Mitsubishi), а сьогодні в цей процес вже залучено більше 20 гравців, включаючи непрофільні компанії, такі як Google, яка представила свої розробки у вигляді безпілотного електромобіля.

За 5 років в світі було реалізовано понад 2 млн. електромобілів (включаючи гібриди, що підключаються до електромережі). У Європі лідером з продажу електромобілів є бренд Renault, який займає 25,6% ринку. На другому і третьому місці знаходяться Nissan з часткою 22,8% і Tesla з часткою 14,2%.

Ринок електромобілів в Україні в останніх кілька років показує виключно позитивну динаміку розвитку. Темп зростання продажів електрокарів, залишається одним з найвищих навіть в порівнянні з традиційним автотранспортом. За перші 3 квартали 2017 року було зареєстровано більше електромобілів, ніж за весь 2016 рік. Розвиток ринку стосується не тільки

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ермак І.В.</i>			<i>Огляд технологій та ринку електричних автомобілів в Україні</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Балахонцев О.В.</i>					11	71
<i>Реценз.</i>						<i>НГУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>				<i>14 1м-16-4</i>		
<i>Затверд.</i>								

безпосередньо кількості реалізованих авто, а й розвитку загальної інфраструктури, включаючи відкриття електричних заправних станцій, а також станцій технічного обслуговування електрокарів. Найбільшу динаміку зростання в цьому напрямку показують великі міста України, особливо Київ [10].

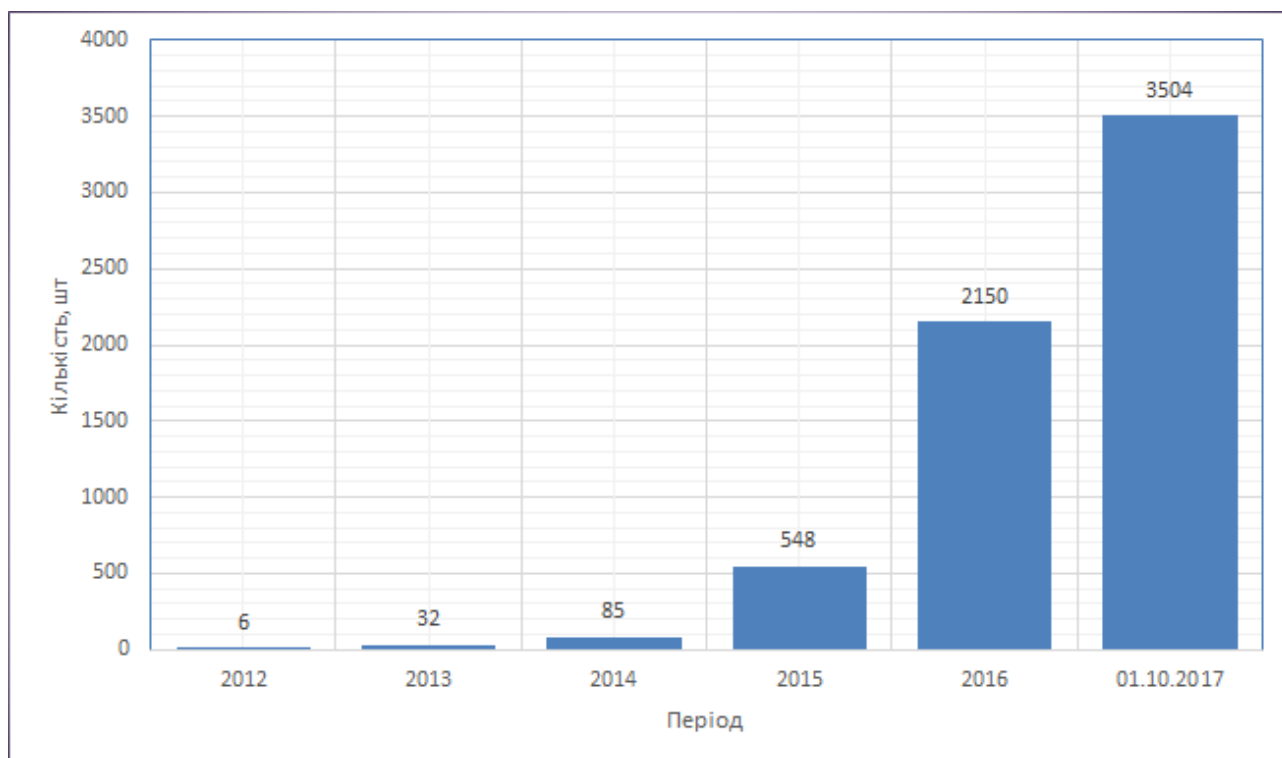


Рисунок 1.1 – Кількість реєстрацій електромобілів в Україні на 1 жовтня 2017 року

Кількість зареєстрованих електромобілей в Україні станом по областях  
на 31 березня 2017 року

<b>Рік</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>31.03.2017</b>
<b>АР Крим</b>	0	1	0	1	0	2
<b>Вінницька</b>	0	0	0	4	9	8
<b>Волинська</b>	0	0	1	8	12	3
<b>Дніпропетровська</b>	0	0	6	31	99	36
<b>Донецька</b>	0	0	1	1	5	0
<b>Житомирська</b>	0	0	0	4	4	4
<b>Закарпатська</b>	0	0	0	3	5	4
<b>Запорізька</b>	0	2	0	7	49	24
<b>Івано-Франківська</b>	0	0	7	35	34	12
<b>Київська</b>	0	0	4	26	97	41
<b>Кіровоградська</b>	0	0	0	5	20	3
<b>Луганська</b>	0	0	0	0	0	1
<b>Львівська</b>		2	5	34	69	47
<b>м. Київ</b>	3	20	14	94	440	176
<b>Миколаївська</b>	0	0	0	2	16	8
<b>Одеська</b>	3	0	6	69	353	133
<b>Полтавська</b>	0	0	0	3	27	5

## Продовження таблиці 1.1

<b>Рівненська</b>	0	1	0	5	17	12
<b>Сумська</b>	0	0	0	2	7	2
<b>Тернопільська</b>	0	0	0	1	8	4
<b>Харківська</b>	0	0	9	121	301	147
<b>Херсонська</b>	0	0	0	2	10	1
<b>Хмельницька</b>	0	0	0	3	8	4
<b>Черкаська</b>	0	0	0	0	5	2
<b>Чернівецька</b>	0	0	0	1	5	4
<b>Чернігівська</b>	0	0	0	1	2	1

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

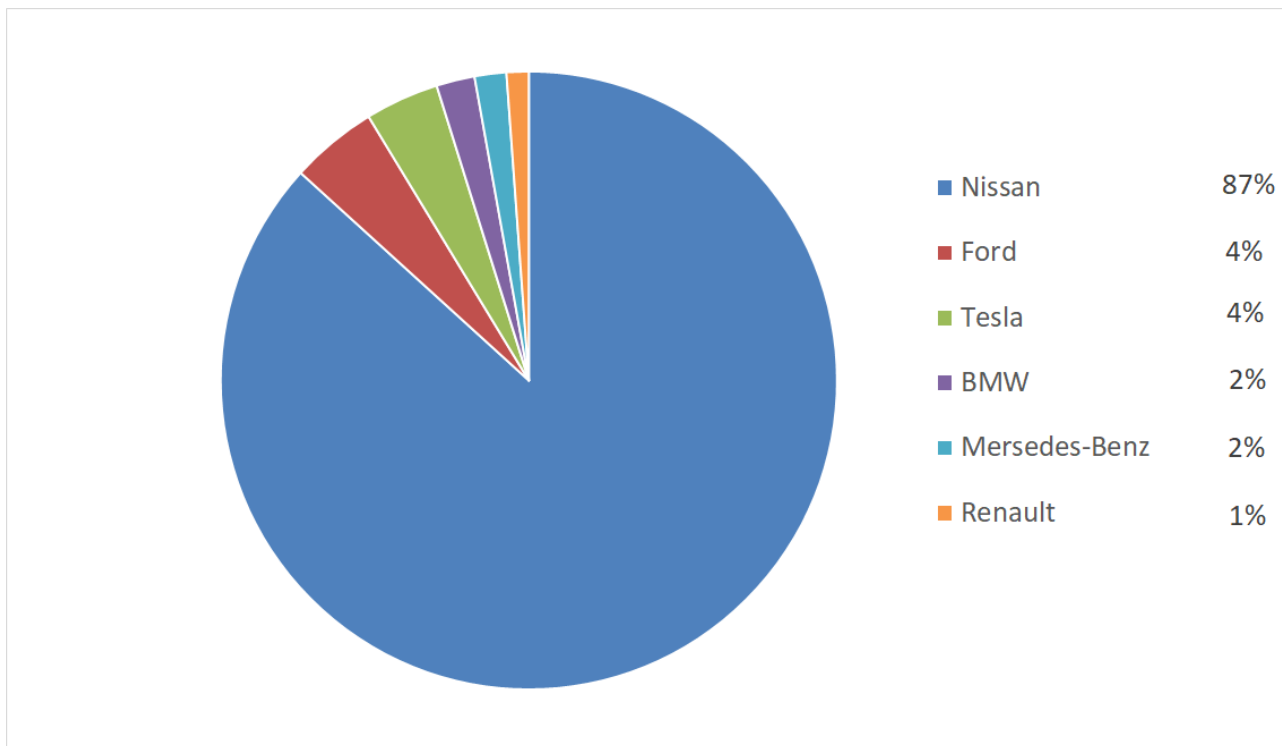


Рисунок 1.2 - Найбільш поширені виробники електромобілів та їх частка на ринку України

Таблиця 1.2

Технічні характеристики розповсюджених електромобілів в Україні

№	Модель	Потужність дви- гуна, кВт	Запас ходу, км	Швидкість зарядки, год			Потужність АКБ, кВт*год	Потужність бортового зарядного
				220 В	380 В	Supercharger (80% заряду)		
1	Tesla Roadster	148 - 211	355	16	3	0.8	53	16.8
2	Tesla Model S	231 - 391	335 - 435	20- 30	3-4	0.5-0.7	60-90	11/22
3	Tesla Model X	385 - 560	355 - 413	20- 30	3	0.5-0.7	70-90	18
4	Nissan Leaf (2013)	80	135 - 172	7-8	3	0.5	24	3.3/6.6

5	BMW I3(2013)	125	130	8	3	0.5	22	7.4
6	Renault Zoe (2013)	65	145	6-9	1	0.5	22	43
7	Renault Zoe (240)	65	240	7-9	1	0.5	22	22
8	Renault Fluence ZE	65	180	7-8	1	0.5	22	22
9	Ford Focus Electric	107	160 - 180	7-8	3-4	-	23	6.6
10	VOLKSWAGEN E-GOLF	85	130 - 190	7-8	4-5	0.5	24.2	3.6/7.2
11	Mersedes-Benz B-Class	132	140 - 200	9-10	3	0.5	28	10
12	KIA SOUL EV	81	150 - 212	8-9	5	0.5	27	6.6
13	HYUNDAI IONIQ ELECTRIC	88	177 - 250	8-14	-	0.4-0.5	28	-
14	Nissan E-NV200	80	120	7-8	4	0.5	24	3.3/6.6
15	RENAULT KANGOO Z.E.	44	120	7-8	-	-	22	3.3

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16



Для підтримання такого попиту на електромобілі, Верховною Радою України 5 жовтня 2017 року було зареєстровано законопроект щодо стимуляції росту попиту на електромобілі та підтримання розвитку інфраструктури для них. Основними завданнями законопроекту є скасування будь податкового навантаження на імпорт, реалізацію та подальший продаж на вторинному ринку всіх транспортних засобів (мотоцикли, авто, вантажівки, автобуси, човни, літаки і т.д.), які здійснюють рух з допомогою електродвигунів, які, в свою чергу, живляться від акумуляторних батарей, конденсаторів або з відновлюваних джерел таких, як сонячні панелі або водневі генератори, і створення законодавчих умов для розвитку інфраструктури зарядних станцій.

З огляду на стан економіки України, були розглянуті всі відомі механізми заохочення ринку, які не потребують додаткових витрат з бюджету, зокрема пропозицію щодо скасування податків і зборів на додану вартість на електромобілі при їх розмитненні до 2025 року.

Законопроект передбачає:

- Тимчасове, до 2025 року, звільнення від усіх видів оподаткування операцій з ввезенням, продажем і покупкою електричних транспортних засобів і зарядних станцій до них.
- Тимчасове, до 2025 року, звільнення від ліцензування на продаж електричної енергії, використовуваної в мережах зарядних станцій для електричних транспортних засобів.
- Тимчасове, до 2025 року, звільнення від оподаткування служб таксі, які будуть використовувати електричні автомобілі.
- Тимчасове, до 2025 року, звільнення від збору в пенсійний фонд при першій реєстрації транспортного засобу.

Пропозиції Кабінету Міністрів України та Центральним органам виконавчої влади, внести певні преференції для розвитку попиту на електричні транспортні засоби, внести зміни до своїх нормативно-правові акти.

При збереженні і підвищенні щорічного зростання попиту на електричні автомобілі загальна кількість проданих електрокарів до 2025 року, на думку

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

авторів законопроекту, буде складати 47 000 одиниць. Для порівняння, всього в Україні в 2015 році було придбано 97 000 автомобілів, що становить 48% від всіх продажів. Загальна кількість зареєстрованих електричних автомобілів складе 159 000 одиниць (10% від загальної кількості) до 2025 року.

## 1.2. Стандартні режими заряду та підключення електромобілів

Стратегія розвитку ринку електромобілів включає в себе не тільки стимулювання та збільшення кількості електромобілів, а й створення необхідної інфраструктури для них. Оскільки дальність ходу електромобілів досить обмежена і не перевищує в середньому 150 км на одному заряді, для їх використання необхідні спеціальні зарядні пристрої. Вони можуть бути встановлені вдома у володаря автомобіля та на спеціально створених зарядних станціях, які можуть бути розміщені в місцях скупчення автомобілів або окремо від них.

Для зарядки акумуляторних батарей електромобілів використовується змінний (однофазний або трифазний) і постійний струм. Мережа змінного струму загальнодоступна, але для підзарядки необхідно його випрямити і знизити напругу до напруги бортової мережі електромобіля. Випрямні пристрої громіздкі, нагріваються при роботі, вимагаючи додаткового охолодження. Тому їх потужність доводиться обмежувати. Мала потужність таких зарядних пристроїв істотно збільшує час зарядки. Зарядка потужним постійним струмом дозволяє зарядити батареї набагато швидше, але вимагає створення мережі спеціальних зарядних станцій.

Розрізняють чотири режими заряду електромобіля (в англійській термінології MODE).

### MODE 1

Це зарядка змінним струмом від побутової мережі, коли до звичайної розетки підключається кабель без додаткових захисних пристроїв. Він не гарантує безпеки в разі перегріву кабелю / розетки або короткого замикання,

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

тому не використовується в сучасних електромобілях. Час зарядки стандартного електрокара з батареєю в 20-25 кВт \* год становить 6-8 годин.

## MODE 2

Аналогічний до режиму MODE 1, але із застосуванням фірмового кабелю з захистом. Він стежить за тим, щоб не було короткого замикання або перегріву кабелю, за допомогою простих світлових індикаторів інформує про процес заряду. На відміну від зарядних пристроїв, здатних працювати в діапазоні напруги 100-240 В, автомобільні зарядки розраховані або на Європу (220/230 Вольт), або на США (120 Вольт).

## MODE 3

Зарядка змінним струмом підвищеної потужності з використанням окремої розетки, яка по суті є спеціальної зарядної станцією. Вона має необхідний захист, стежить за процесом заряду, а підключення машини здійснюється через вбудований в неї кабель з відповідним конкретному електромобілю роз'ємом. Розетка типу MODE 3 може бути встановлена в будь-якому місці - в будинку, офісі або на вулиці. Залежно від типу використаного кабелю (однофазного або трифазного), зарядка може видавати від 7,2 до 43 кВт.

## MODE 4

Найшвидший на даний момент спосіб зарядки електромобіля. На відміну від попередніх варіантів, тут використовується постійний струм. Популярний японський стандарт зарядної станції CHAdeMO видає до 62,5 кВт енергії, що дозволяє зарядити акумулятор стандартного електрокара за 20-30 хв. TESLA MOTORS оснащує свої автомобілі великими по ємності батареями (до 90 кВт \* год) і використовує свій спосіб швидкої зарядки. Фірмові станції TESLA SUPERCHARGER видають мають потужність 135 кВт.

Зарядний пристрій для електромобіля на основі MODE 4 має свою особливість: за фактом акумулятор швидко наповнюється лише на 80%, решта 20% ємності заповнюється дуже повільно. Це зроблено для того, щоб збільшити термін служби тягової батареї.

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	Арк.
						19
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Основним стандартом заряду в Європі є TYPE 2 більш відомий за типом використовуваного роз'єму, розробленого однойменної німецькою компанією - Mennekes. З його використанням допустима зарядка в MODE 1, 2, 3. Тобто до 43 кВт змінним струмом. У Франції та Італії електричні компанії запропонували TYPE 3 роз'єм, конструкція якого включає захист контактів, і внаслідок цього здешевлює вартість станції, в той же час її потужність обмежена MODE 2 зарядкою.









	Тип 1 / USA	Тип 2 / Europa	GB / China
AC	 SAE J1772 / IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
DC	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3 / IEC 62196-3
COMBO	 SAE J1772 / IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

Рисунок 1.3 – Основні стандарти зарядних станцій в Європі

Таблиця 1.3 – Режими зарядки електромобілей

РЕЖИМ	Напруга живлення	Потужність заряджання, кВт	Підключення
MODE 1	220 В змінного струму	3-3.5	
MODE 2	220 В змінного струму	3.3-7.5	
MODE 3	220 В 1ф/380 В 3ф змінного струму	7.2-43	
MODE 4	400-500 В постійного струму	63/120(Tesla Supercharger)	

### 1.3. Взаємодія електричних автомобілів з електричною мережею

За визначенням, електричні автомобілі здатні взаємодіяти з енергосистемою, оскільки вони заряджаються, використовуючи електричну мережу.

Взаємодія мережі з електричними автомобілями можлива на різних етапах розвитку технології електромобілів та технології SmartGrid.

					ЕП.МР.18.06.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Як зазначено в таблиці 1.4, взаємодія першого покоління EV пов'язана з мінімальним контролем функцій, відома як однонаправлена технологія "grid-to-vehicle" (G2V)

Сьогодні всі електричні автомобілі (EA) відносяться до цього класу, крім обмеженої кількості моделей.

З першим поколінням транспортних засобів, потік енергії виключно односпрямований, для зарядки Засоби мобільного зв'язку для користувачів електричним автомобілем будуть служити інструментом пошуку зарядних станцій в діапазоні EA або подібних програм. Користувач електричним автомобілем може

мати можливість за власним бажанням обирати часові проміжки для зарядки, коли йому це буде зручно.

Друге покоління EV взаємодії потребує оптимізовану схему заряду, яка повинна мінімізувати вартість зарядки для власника електричного автомобіля, використовуючи зарядні механізми, які враховують існуючі тарифи на електроенергію.

Третє покоління взаємодії електромобілів включає в себе технологію V2G, тобто здатність двостороннього енергообміну EA. Згідно з [84], перше реальне використання V2G буде розгорнуті у програмах для транспортування автомобіля (V2L). У цьому випадку EV буде діяти як генератор для ізольованого навантаження. Розширена концепція V2L - автомобіль-до-дому (V2H), де автомобіль працює як джерело живлення для будинку. Крім того, автомобіль-до-мережі (V2G) можливе для цього покоління транспортних засобів, а EA-агрегатори – ні. Тому технологія V2G буде використовуватися в основному для мінімізації часу окупності транспортного засобу за допомогою енергетичного арбітражу, тобто заряджання в години меншої вартості електричної енергії та генерація енергії назад у мережу за більш високою вартістю, наприклад в пікові години.

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	Арк.
						22
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Четверте покоління взаємодії електричних автомобілів представляє схеми координації вищого рівня для ЕА, що пропонує широке використання технології V2G.

Таблиця 1.4.

Найбільш поширені концепції взаємодії електричних автомобілів та електричної мережі

Покоління ЕА	Напрямок енергії	Характеристика комунікацій	Взаємодія з мережею
1-е покоління	Однонаправлена G2V	Карта зарядних станцій та інформація про електричний автомобіль на смартфоні	Ручне налаштування часу заряду
2-е покоління	Однонаправлена G2V	Вартість електричної енергії та рівень викидів CO <sub>2</sub>	Інтелектуальне заряджання, враховуючи ціни, плюс
3-е покоління	Двонаправлена G2V, V2L, V2H, V2G	Усі попередні властивості	Зменшення навантаження на будинок, Зменшення піку споживання електричної енергії, локального споживання
4-е покоління	Двонаправлена G2V, V2L, V2H, V2G	Зовнішній пристрій для координації електричного автомобіля	Допоміжні послуги (регулювання потужності резерву), розподіл мережевих послуг,

#### 1.4. Опис технології когенерації з електромобілів до електричної мережі (V2G)

Дослідження з V2G вперше були введені в 1997 році Кемптоном і Леентером [7] після подання першого патента на цю технологію від імені Університету штату Делавер. Згідно з цією технологією, транспортний засіб віддає частину енергії, що зберігається в акумуляторі. З цього виходить, що використовувані силові компоненти повинні бути двонаправленими. З точки зору мережі, концепція посилює старе бачення, яке розглядає автомобілі як просто електричне навантаження і представляє сценарії, в яких вони можуть діяти як малі генеруючі одиниці.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд системи V2G

Рівень потужності, доступний для одного EV-сумісного V2G, може відрізнятись залежно від особливості силової електроніки в автомобілі. Кемптон і Данью [7] розрахувати потенційну доступну потужність від V2G у кількох країнах, припускаючи, що потужність електроенергії 15 кВт на автомобіль. Наприклад, у Португалії 5,8 мільйонів транспортних засобів призводять до 87 ГВт, для середнього навантаження 5 ГВт; Німеччина, з 44,6 мільйони автомобілів має потенціал 670 ГВт, для середнього навантаження 58 ГВт. Звичайно, ці розрахунки стосуються ідеальних сценаріїв.

Останнім часом Брукс і Тесен [7] пояснюють технологію V2G як концепцію, а не особливу технологію. Автори зазначають, що концепція V2G не обов'язково спричиняє генерацію енергії від акумулятора електричного автомобіля до

									Арк.
									24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



мережі, оскільки також і ті транспортні засоби, що мають односпрямовану зарядний пристрій можуть бути генераторами. Відповідно до [7], V2G - це технологія, яка повинна бути визнана як здатність електричного автомобіля передати електричну енергію від батареї до мережі. У цій темі V2G розглядається як технологія, відповідно до [7]. У огляді V2G досліджень Річардсона [7], висновок полягає в тому, що гранична перевага технології V2G, у порівнянні з загальною вигодою електричного автомобіля, мабуть, відносно невелика.

### 1.5. Постановка задач дослідження

На сьогодні електричні автомобілі набувають дедалі більшого поширення в усьому світі, і Україна посідає одне з найперших місць по темпам розвитку ринку електричних автомобілів. Хоча фінансова перевага електричного автомобіля в процесі експлуатації досить суттєва, у порівнянні із традиційними автомобілями з двигуном внутрішнього згорання вони мають суттєві недоліки. Електромобілі мають більш обмежену дальність ходу, що є певною перешкодою при виборі водієм особистого транспорту, та й тривалість життєвого циклу акумуляторної батареї досить невелика. А зі зростанням кількості електричних автомобілів, зростає їх роль як учасника ринку електричної енергії, оскільки в процесі заряджання вони будуть не тільки споживати значну загальну потужність, а й можуть генерувати невикористану частину потужності в електричну мережу.

Виходячи із вище сказаного, у даній дипломній роботі будуть розглянуті наступні питання:

- Дослідження топології зарядних пристроїв для електричних автомобілів, вплив умов експлуатації на тривалість життєвого циклу електричної батареї, яка є найбільш вразливим елементом електричного автомобіля.
- Визначення оптимального графіку та режиму заряду/розряду.
- Розрахунок необхідної кількості та потужності зарядних станцій.

										Арк.
										25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕП.МР.18.06.01.ПЗ

- Визначення оптимального місця розташування зарядних станцій та факторів, які на це впливають.
- Дослідити економічну доцільність використання технології когенерації з електричних автомобілів до мережі (V2G)

					<i>ЕП.МР.18.06.01.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

**2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ  
РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗВИТКУ  
ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАРЯДНИХ  
СТАНЦІЙ**

## 2.1. Технічні рішення зарядних станцій

На відміну від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання, електричні автомобілі на «заправку» свого бака – акумуляторної батареї, потребують значно більше часу. Якщо автомобілі з ДВС на це витрачаються 1-2 хвилини, то електричним автомобілям на це необхідно від 1 години до 7-8 годин, в залежності від ємності батареї. Для цього необхідний розвиток інфраструктури зарядних станцій, створення їх в достатній кількості, з необхідної кількістю точок підключення та з необхідною потужністю.

В той же час, не всі автомобілі постійно перебувають в дорозі і потребують достатньо швидкої зарядки. Значна частина автомобілів більшу частину дня перебуває на стоянках, маючи досить великий запас енергії в батареї. А беручи до уваги останні тенденції в розвитку енергетики, а саме питання покриття пікових навантажень, що саме системи накопичення та зберігання енергії є найкращим рішенням цієї проблеми. А електричний автомобіль може стати частиною такої системи.

### 2.1.1. Графік заряду/розряду та вибір оптимального режиму заряду

Ключовим компонентом взаємодії електричного автомобіля в системі V2П є акумулятор. Що стосується технології виготовлення акумулятора, дослідження ринку свідчать про те, що літій-іон (Li-ion) є найбільш пріоритетною технологією в галузі електричних автомобілей [7]. Дослідницький звіт від Frost & Sullivan [7] передбачає, що приблизно 80% зареєстрованих електромобілів оснащені літій-іонним акумулятором (рис. 2.1.).

Фактично, розвиток електромобілів суттєво залежить від досягнень літій-іонної технології виробництва акумуляторів. Порівняно з іншими технологіями, літій-іонні батареї мають більший об'єм енергії на одиницю ваги, без ефекту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.МР.18.06.02.ПЗ			
Розроб.		Ермак І.В.			Розробка технічних рішень для розвитку інфраструктури зарядних станцій	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Балахонцев О.В.					28	71
Реценз.						НГУ		
Н. Контр.		Казачковський М.М.				141М-16-4		
Затверд.								

пам'яті та низького саморозряду, в той час, коли батарея не використовується [7].

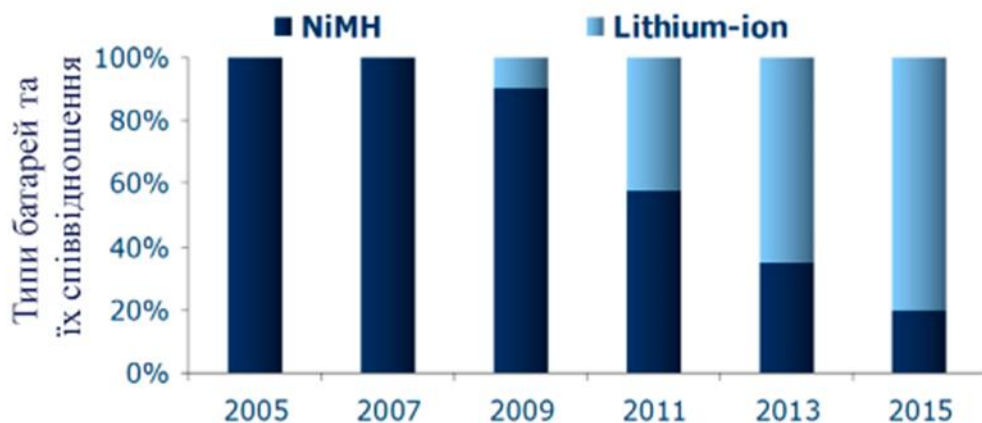


Рисунок 2.1 – Частка Li-іон акумуляторів на ринку електричних автомобілів

Це фундаментальні аспекти створення літій-іонних батарей як провідне рішення в автомобільних додатках.

Тривалість роботи акумулятора розглядається як кількість циклів, коли акумулятор розряджається на 80% від його номінальної ємності (Ah), після повного заряду, відповідно до [7]. Збережена ємність, яка є потужністю, яка використовується після циклу повної зарядки, є нелінійним параметром, який змінюється в залежності від кліматичних умов та умов використання. З електричної точки зору, варіація обумовлена зміною внутрішнього еквівалентного опору батареї з часом.

З цієї причини, зміна внутрішнього опору акумулятора часто використовується як індикатор процесу старіння та очікуваний строк служби. Для будь-якого типу літій-іона акумулятор, чотири основні чинники можуть розглядатися як вплив на процес старіння: кількість циклів (N), температура експлуатації та зберігання (T), швидкість заряду або розряду, швидкість C (1C - швидкість, необхідна для заряджання в 1 годину повністю розрядженої

						ЕП.МР.18.06.02.ПЗ	Арк.
							29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

батареї);най глибина розряду. Опис цих факторів наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Фактори, які впливають на тривалість експлуатації акумулятора

Кількість циклів заряду/розряду	Ємність та тривалість строку служби залежать від кількості циклів. Ця змінна є лічильником повних циклів зарядки / розряду батареї електричного автомобіля. Якщо транспортний засіб використовується в режимі V2G, кількість циклів буде врахувати фазу розрядження.
Температура	Температура суттєво впливає на характеристики акумулятора та тривалість строку його служби. Низькі температурні умови, від -20 ° С до -10 ° С, дуже поширені на північних широтах Використана енергія значно зменшується при низькій температурі, і в той же час процес заряду не є ефективним, як це при температурі 20-25 ° С. Робота в умовах підвищеної температури, 45 ° С або вище, також має негативний вплив.
Глибина розряду	Рівень глибини розряду значно впливає на тривалість роботи акумулятора та зменшує ємність. Це вказано в даних від виробників, що при використанні 100% заряду замість 60%, призводить до швидшої деградації батареї та скорочення терміну експлуатації. Тому виробники батарей для електричних автомобілів обмежують енергетичне вікно, що використовується, до рівня, який є компромісом між діапазоном використання автомобілів і тривалістю роботи акумулятора.

Швидкість заряду/розряду	Рівень струму, який використовуються для заряджання / розряджання акумулятора, сильно впливають тривалість життя та зменшення ємності. Для нормальної експлуатації акумулятора електричного автомобіля, рівень струму зарядки та рівномірного руху повинен становити 0.5 від номінального, і піковий струм в проміжку від 1С до 2С при високих швидкостях або прискореннях. Якщо використання батареї електричного автомобіля характеризується високими поточними швидкостями під час руху, тривалість роботи акумулятора зменшується. Таке ж твердження справедливе для частого використання V2G Режим, коли батарея EV повертає енергію назад до сітки.
--------------------------	---

Швидка деградація акумуляторної батареї електричного автомобіля може стати суттєвою проблемою при його експлуатації, що може в деякій мірі заважати розвитку ринку електричних автомобілів в цілому, оскільки батарея є найбільш дорогою частиною електричного транспортного засобу, і її заміна може вартувати до 50% від усієї вартості автомобіля. А так як строк служби батареї (поки вона не втратить майже половину своєї початкової ємності) становить від 3 (при 25 тис. км на рік) до 5 років (при 15 тис. км пробігу на рік) (рисунок 2.2), то заміна АКБ може стати досить суттєвим питанням з економічної точки зору.

Але з розвитком технології виготовлення батареї, ємність батареї поступово збільшується ( $\text{кВт}\cdot\text{г}/\text{дм}^3$ ), а ціна зменшується, то цей недолік може нівелюватися (рис. 2.3).

					ЕП.МР.18.06.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

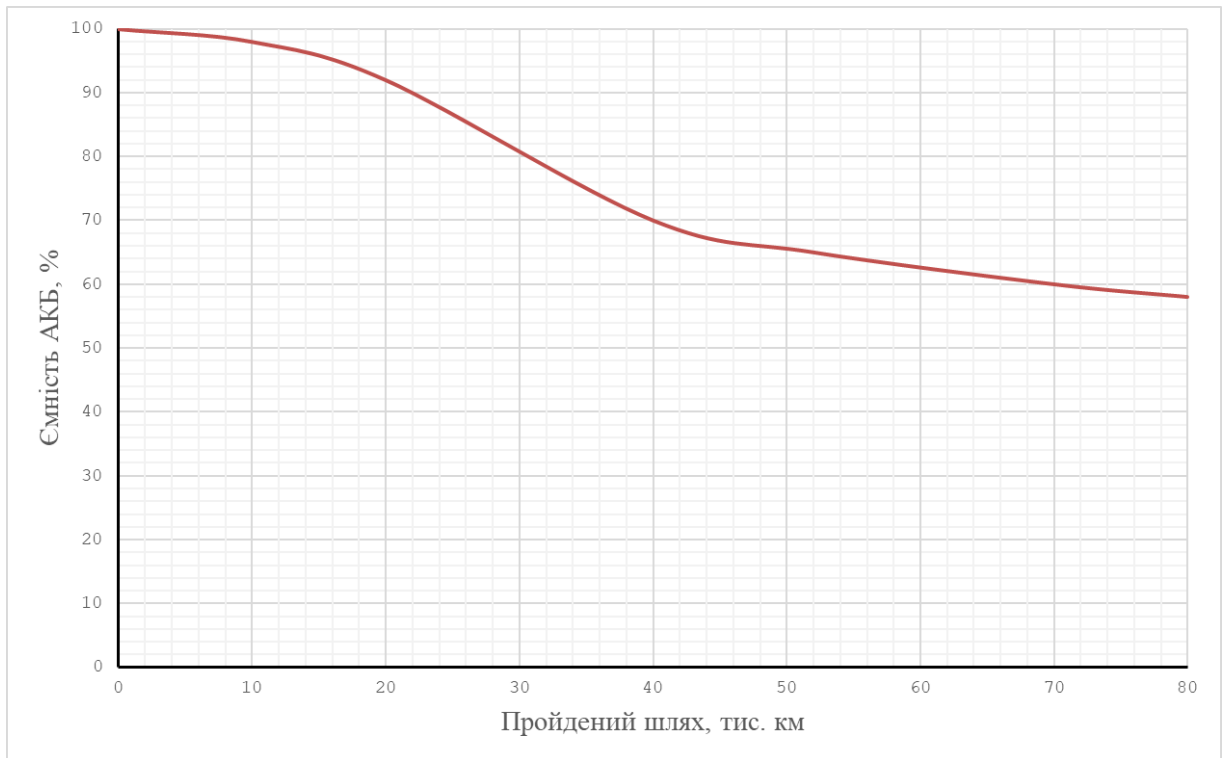


Рисунок 2.2 – Залежність зменшення ємності акумулятора від пройденого шляху

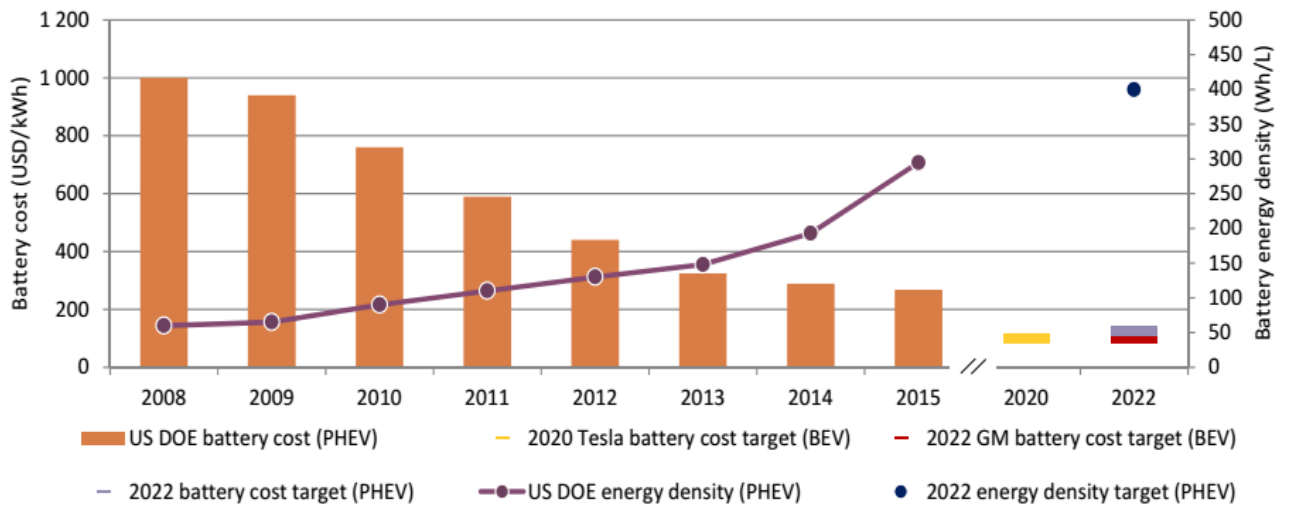


Рисунок 2.3 – Вартість батареї та їх ємності (згідно з оригіналом [5])

Але як би швидко не розвивалися технології виробництва акумуляторних батарей та не зменшувалася їх вартість, вони все рівно ще досить довгий час будуть залишатися слабкою ланкою в електричному автомобілі.



Для того, щоб максимально продовжити строк служби батареї, необхідно дотримуватись певних умов його експлуатації. Серед перерахованих вище факторів, які впливають на строк служби акумулятора, найбільш вагомим є швидкість заряду/розряду та кількість циклів заряду.

Електричний автомобіль, як учасник ринку електричної енергії, протягом доби може бути і споживачем, і генератором потужності. Графік заряду/розряду для кожного електричного автомобіля індивідуальний і повністю залежить від водія. Складові типової доби можна розділити на декілька категорій:

- поїздки з / до дому,
- переїзд з / на роботу,
- відрядження,
- поїздки по магазинах,
- поїздки до / з школи або навчальних центрів,
- відвідування друзів / сім'ї та інших.

Аналізуючи графіки, які показують скільки автомобілів та коли витрачають час на стоянку та на поїздки, отримаємо наступні результати.

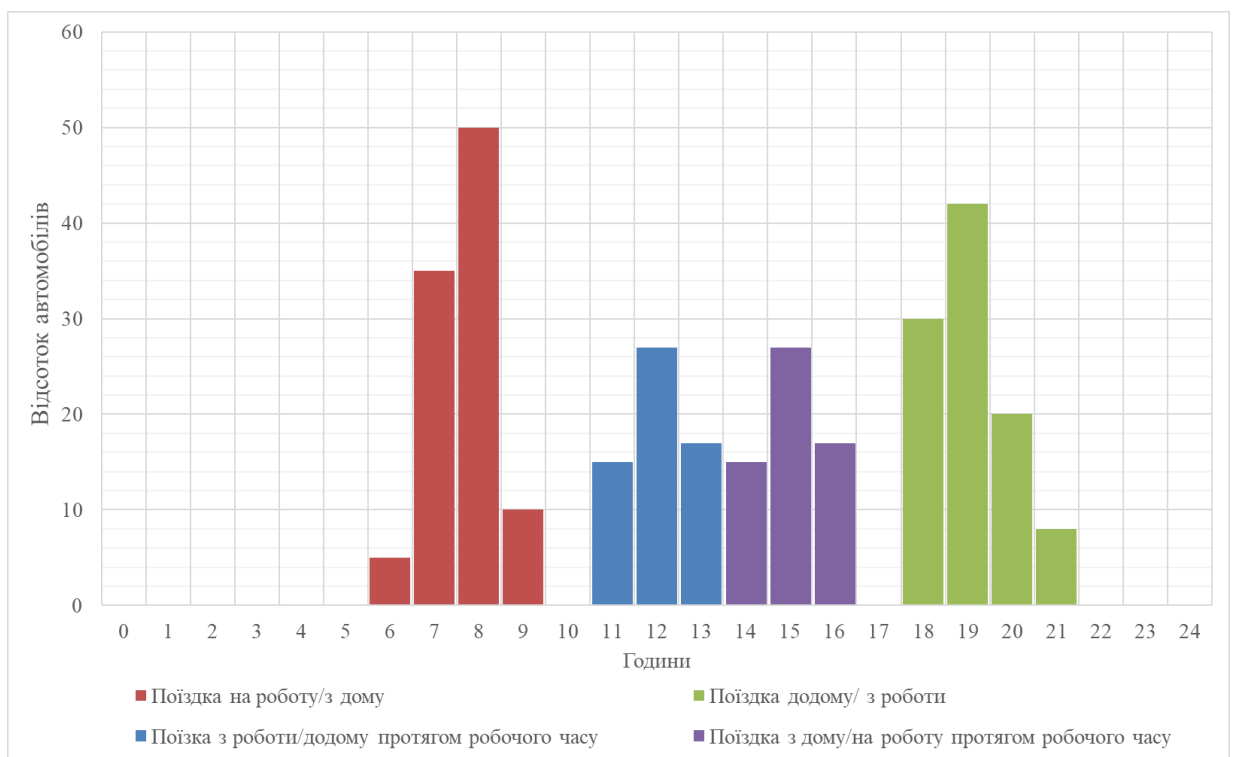


Рисунок 2.4 –Графік поїздок протягом дня

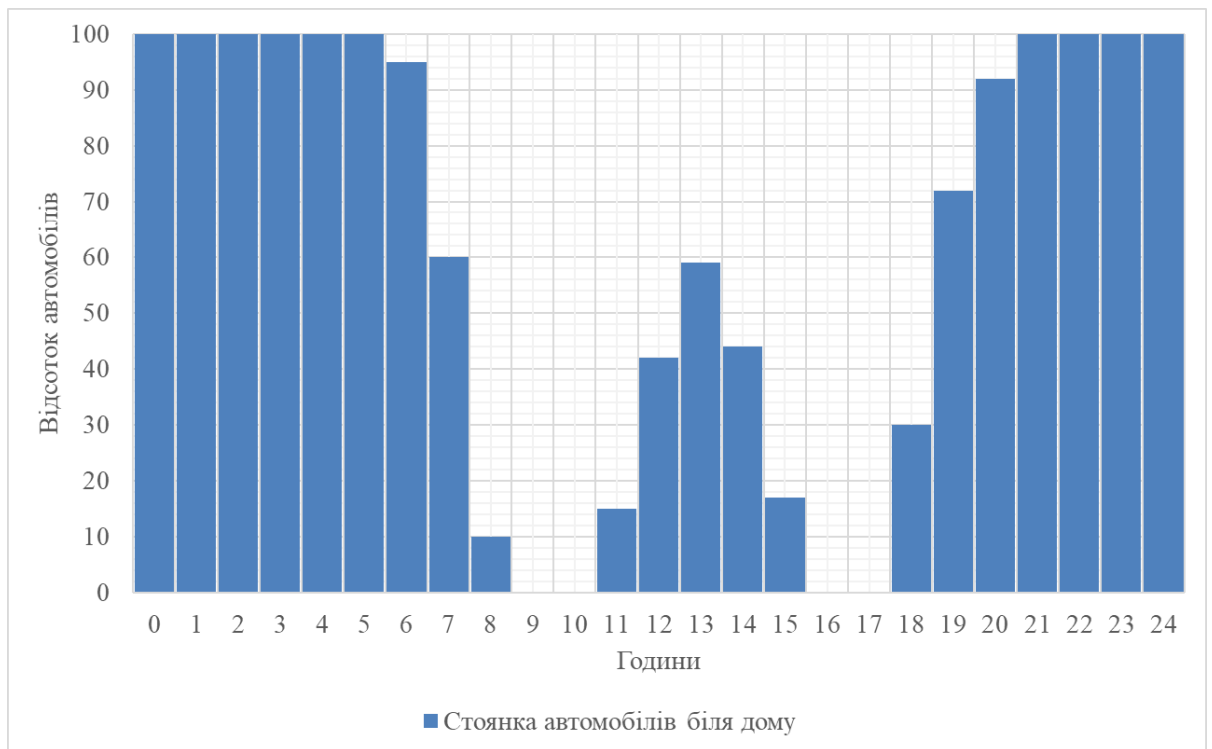


Рисунок 2.5 – Стоянка автомобілів біля дому протягом доби

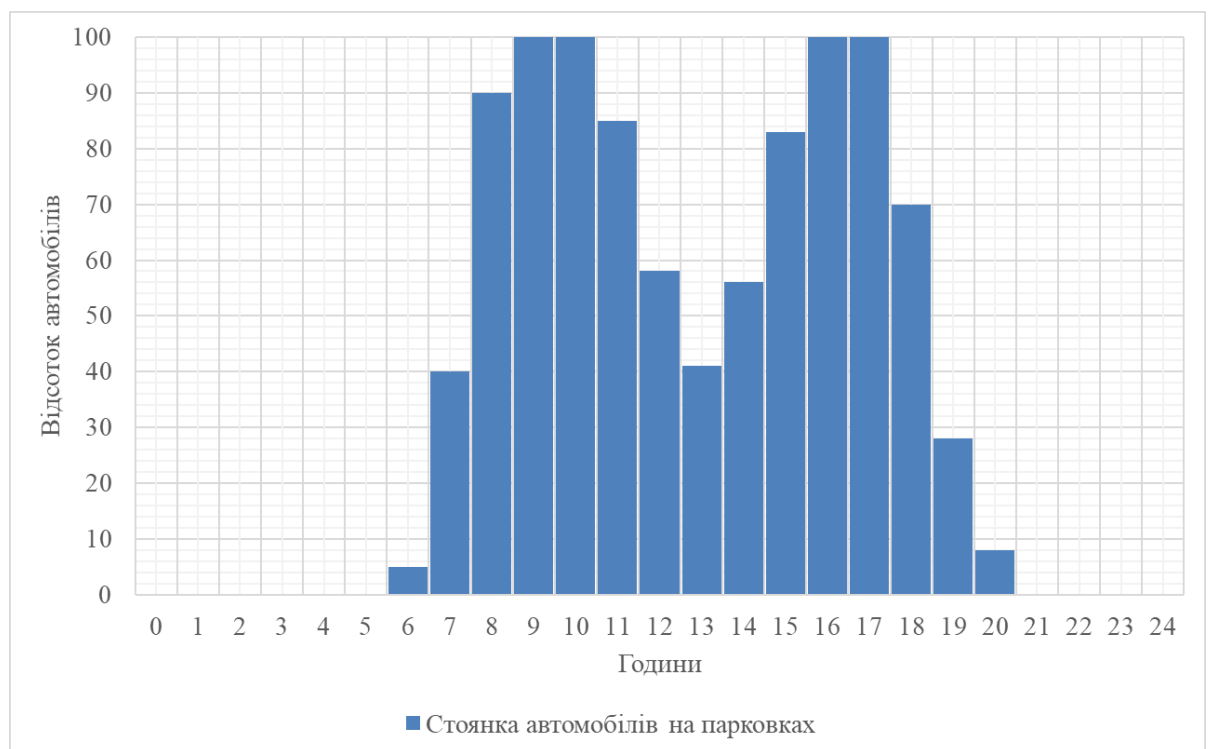


Рисунок 2.6 – Стоянка автомобілів на стоянках протягом доби

Як видно, протягом доби автомобіль більшу частину доби перебуває на стоянці або біля дому, або на паркінгах. З огляду на це, можливі 2 сценарії участі електричного автомобіля в енергосистемі – без V2G та з V2G, для яких графік

заряду/розряду буде мати різний вигляд, який представлений в таблиці 2.2 та 2.3 відповідно.

Таблиця 2.2. Графік заряду розряду для автомобіля без участі в V2G

Час	Участь	Процес
0.00- 7.00	Споживач	Споживання електричної енергії з енергомережі для заряду батареї
7.00- 9.00	Транспортний засіб	Поїздка з дому до роботи
9.00- 12.00	Споживач/лише стоянка	Споживання електричної енергії для заряду батареї за необхідністю.
12.00- 14.00	Транспортний засіб.	Поїдка додому під час обідньої перерви або по іншим потребам (залежить від водія)
14.00- 19.00	Споживач/лише стоянка	Споживання електричної енергії для заряду батареї за необхідністю
19.00- 21.00	Транспортний засіб	Остання поїздка протягом доби
21.00- 24.00	Споживання	Споживання електричної енергії з енергомережі для заряду батареї

Таблиця 2.3. Графік заряду розряду для автомобіля з участю в V2G

Час	Участь	Процес
0.00- 7.00	Споживач	Споживання електричної енергії з енергомережі для заряду батареї
7.00- 9.00	Транспортний засіб	Поїздка з дому до роботи

9.00- 10.30	Генератор	Генерація електричної енергії для покриття дефіциту енергії в ранковий пік навантаження
10.30- 12.00	Споживач/лише стоянка	Споживання електричної енергії для заряду батареї за необхідністю
12.00- 14.00	Транспортний засіб.	Поїдка додому під час обідньої перерви або по іншим потребам (залежить від водія)
14.00- 16.30	Споживач/лише стоянка	Споживання електричної енергії для заряду батареї за необхідністю
16.30- 18.00	Генератор	Генерація електричної енергії для покриття дефіциту енергії в вечірній пік навантаження
18.00- 20.00	Транспортний засіб	Остання поїздка протягом доби
20.00- 24.00	Споживання	Споживання електричної енергії з енергомережі для заряду батареї

В залежності від рівня заряду батареї та потреби водія, можна використувати різні режими заряду/розряду батареї. Для обох випадків оптимальним режимом заряду під час стоянки вдома буде режим MODE 2 (див. п.п.1.2). Його потужності 3.3 кВт цілком досить для того, повністю зарядити АКБ протягом 10-11 годин (окрім деяких моделей автомобільної марки TESLA MOTORS).

А для випадку взаємодії електричного автомобіля в системі V2G, водій зможе сам обирати рівень потужності, яка буде генеруватися в мережу з акумулятора. Але найбільш оптимальним режимом з точки зору теплового навантаження та збереження ресурсу АКБ буде режим MODE 2, якому відповідає потужність 7-7.5 кВт.

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

## 2.1.2. Рішення для зарядних пристроїв

Наявність зарядного пристрою на борту електричного автомобіля є однією з необхідних умов для його експлуатації, щоб зарядити акумуляторну батарею можна було в будь-якому місці.

Як зазначено в [6], деякі автомобілі дозволяють заряджати свої акумулятори використовуючи зарядні пристрої, які не знаходяться на його борту, такі як державні зарядні станції, але кожен транспортний засіб оснащений власною системою зарядки акумуляторних батарей. Ця система заряджання є керованим AC-DC перетворювачем, призначенням якого є підтримання номінальних параметрів батареї для максимально можливого подовження терміну експлуатації. Силова схема AC-DC може бути реалізована за різними топологіями відповідно до бажаної характеристики для системи. Рисунок 2.7 ілюструє основні категорії, які можна розділити на різні топології зарядних пристроїв батарей для електричних автомобілів.

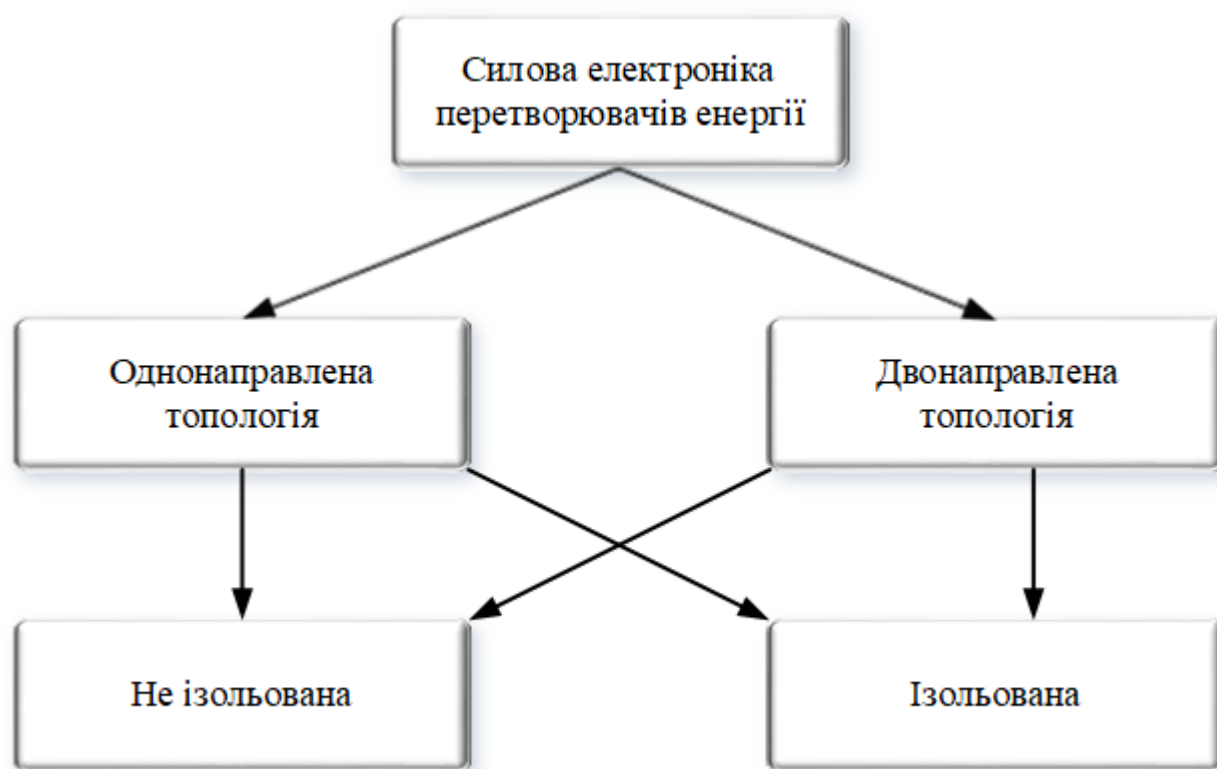


Рисунок 2.7 – Головні категорії зарядних пристроїв для електричних автомобілів

Як правило, топологія силової електроніки систем заряджання акумуляторів формується за допомогою двох перетворювачів потужності: перетворювач змінного струму, а потім перетворювач постійного струму. Обидва перетворювачі можуть мати різну топологію та можуть бути об'єднані по різному - з і без ізоляції між ними. Конвертер змінного струму використовується для випрямлення напруги змінного струму від електромережі до напруги постійного струму. DC-DC перетворювач використовується для адаптації випрямленої напруги до параметрів акумуляторів, а також для керування процесом заряджання акумулятора. На рисунку 2.8 показані основні топології AC-DC перетворювачів, а на рисунку 2.9 показано основні топології перетворювачів, які використовуються для керування заряджанням акумулятора тарозрядними процесами.

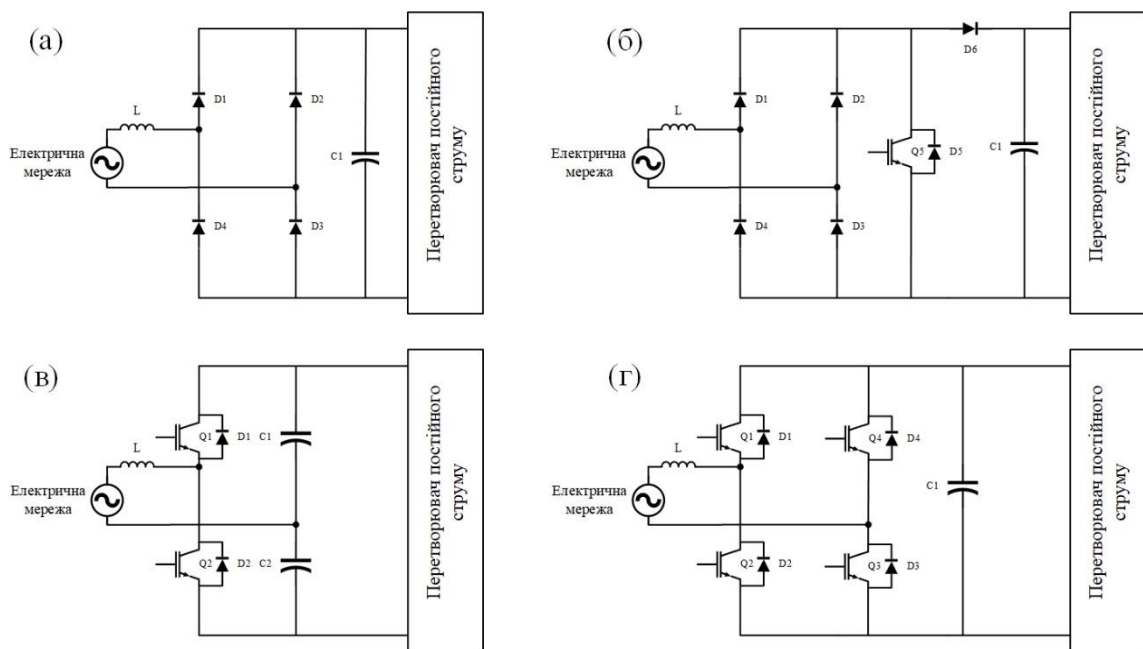


Рисунок 2.8 - Основні топології перетворювачів струму змінного струму, що використовуються в системах зарядки акумуляторів:(а) односпрямований некерований повний міст; (б) односторонній некерований повний міст з наступним перетворювачем; (в) двонаправлений повний контрольований напівпровідниковий перетворювач; (г) двонаправлений повний міст повністю керований

Найпростіший перетворювач змінного струму використовує діоди як випрямляючі компоненти, як показано на рисунку 2.8 (а). Легка реалізація та висока надійність. Однак вихідна напруга та споживаний струм не контролюються, і як наслідок сигнал споживаного струму не є синусоїдальним, і тому цей тип перетворювач впливає на якість електричної енергії в мережі. З іншої сторони, використовуючи керовані напівпровідники, можна керувати формою сигналу споживаного струму, а також вихідною напругою. До керованого АС-DC перетворювача, представленого на рисунку 2.8 (б), додаються випрямні діоди, які діють як DC-DC перетворювач, функцією якого є корекція коефіцієнту потужності (PFC). За допомогою цієї топології можна керувати формою сигналу та коефіцієнтом потужності споживаного струму. Суттєвим недоліком цієї схеми є те, що вона може працювати лише в однонаправленому режимі. Щоб зробити можливим двонаправлений потік енергії, необхідна топологія подібна до тієї, що представлена на рис. 2.8 (с) та (г). Різниця між цими двома перетворювачами - це кількість силових напівпровідників та конденсаторів, а також результируючий рівень вихідної напруги Рівень вихідної напруги перетворювача, представленого на рисунку 2.8 (с) в 2 рази вищий, ніж рівень напруги перетворювача, представленого на рисунку 2.8 (г).

Найбільш базова топологія перетворювача постійного струму, яка використовується в системах заряджання акумуляторів є «buck» DC-DC перетворювач напруги. Ця топологія, представлена на рисунку 2.9 (а), не є ізольованою і дозволяє лише односпрямовану операцію (G2V). Поєднання структури цієї топології з «DC-DC boost» перетворювачем можна отримати двонаправлену топологію, яка показана на рисунку 2.9 (в). Під час заряджання батареї, енергія протікає з енергосистеми до батареї (G2V), а конвертер працює як DC-DC перетворювач напруги. Коли енергія протікає від батареї до електромережі (V2G), конвертер працює як перетворювач змінного струму. Якщо потрібна гальванічна розв'язка, то слід використовувати на високочастотні трансформатори. На малюнку 2.9 (б) представлена ізольована однонаправлена

					ЕП.МР.18.06.02.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

топологія DC-DC перетворювача, а на малюнку 2.9 (г) представлена ізолювана двонаправлена топологія DC-DC перетворювача. Як можна помітити, в порівнянні з неізолюваними топологіями, ізолювані топології використовують більшу кількість силових напівпровідників, крім того, їх системи управління є більш складними.

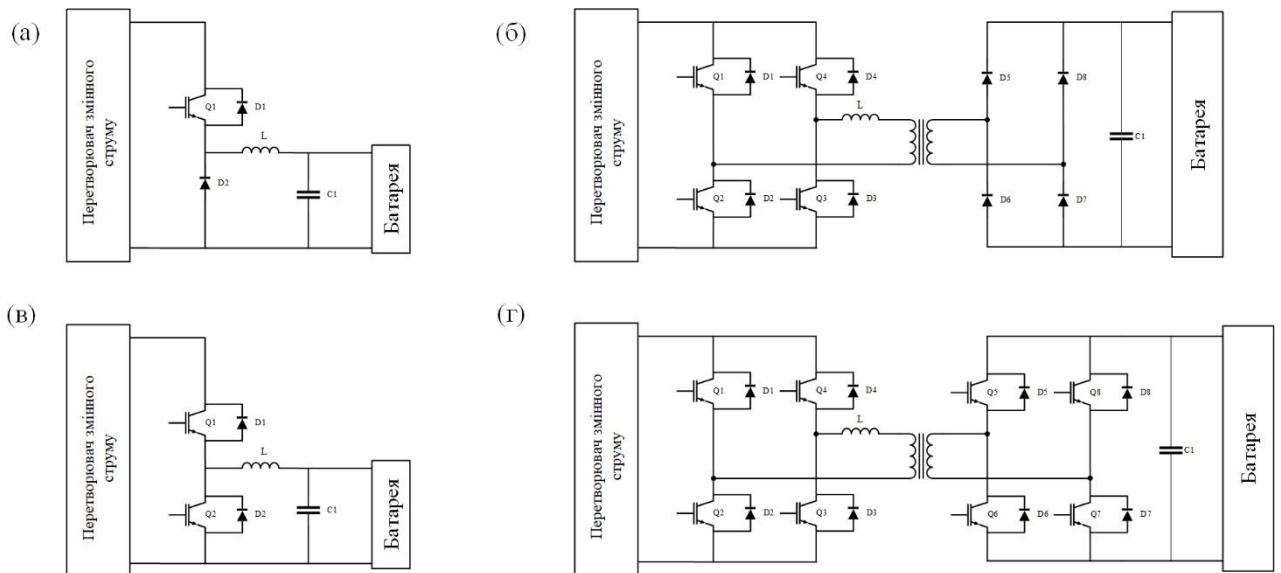


Рисунок 2.9 - Основні топології перетворювачів постійного струму, що використовуються в системах зарядки акумуляторів: (а) однонаправлений перетворювач; (б) однонаправлений ізолюваний перетворювач; (в) двонаправлений «buck boost» перетворювач; (г) двонаправлений ізолюваний перетворювач.



## Система заряду батареї електричного автомобіля

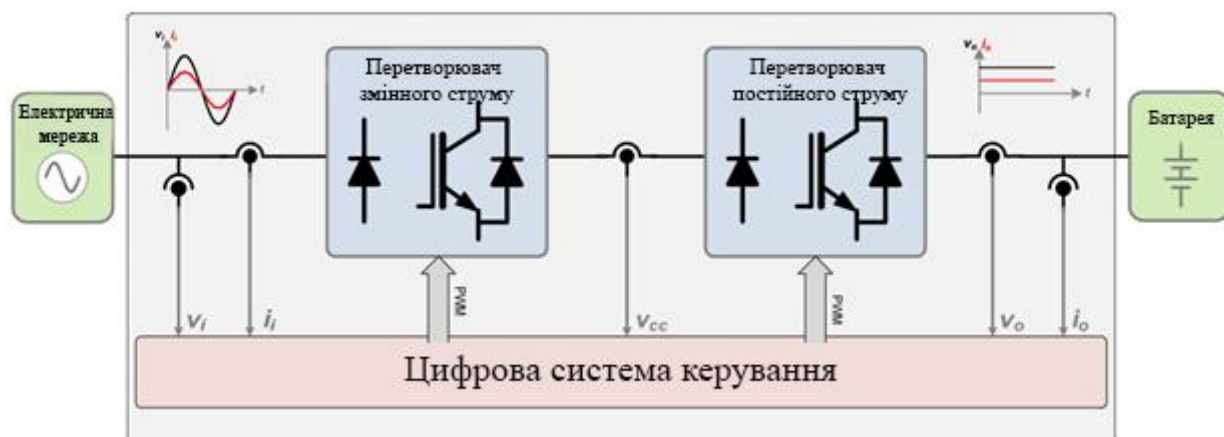


Рисунок 2.10 - Структура зарядної системи батареї електричного автомобіля

### 2.1.3. Розрахунок необхідної потужності зарядних станцій та кількості точок підключення

На відміну від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання, електричні автомобілі мають набагато більш обмежений запас ходу та потребують набагато більше часу для зарядки акумулятора.

Для того, щоб задовольнити потребу в зарядці автомобілів, необхідно розвивати загалом інфраструктуру електричних автомобілів, створюючи зарядні станції з необхідною кількістю точок підключення та потужністю. Для розрахунку необхідної кількості зарядних станцій і необхідної кількості точок підключення, почнемо з визначення кількості електричних автомобілів, які будуть споживачами потужності, на прикладі м. Дніпро.

Як можна бачити з графіка, на кінець 2026 року в м. Дніпро буде близько 11200 електричних автомобілів. Отже, для одночасної зарядки буде необхідно 11200 точок підключення. Надалі стає питання в необхідній кількості зарядних станцій. Для визначення цього будемо відштовхуватися від середньої кількості електричних автомобілів на 1000 жителів.

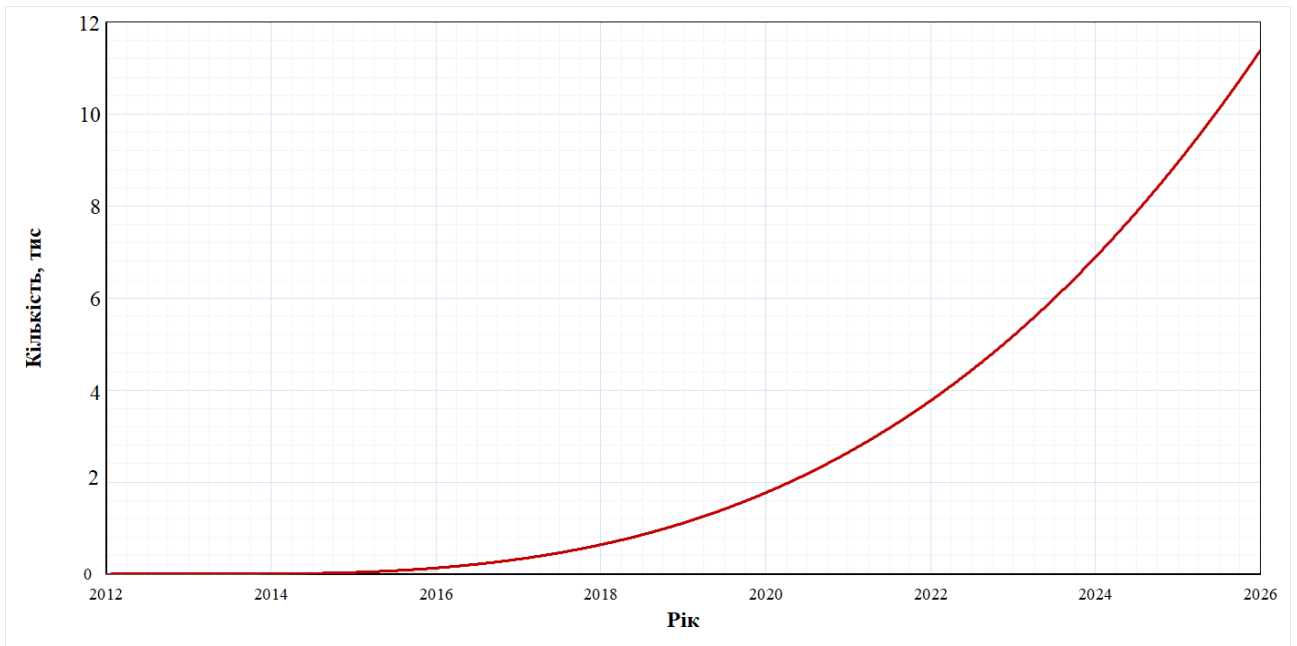


Рисунок 2.11 – Кількість електричних автомобілів та прогноз до 2026 р. в м. Дніпро

За даними Організації Об'єднаних Націй (ООН), станом на 2013 рік, населення м. Дніпро становило 987 тис. людей. Припустимо, що кількість населення суттєво до 2026 року не зміниться.

Отже середня кількість електричних автомобілів становитиме:

$$N_{\text{EA.сер}} = \frac{N_{\text{EA.}}}{N_{\text{населення}}} = \frac{11300}{987000} \approx 11 \text{ (EA/тис)} \quad (2.1)$$

В той самий час, кількість всього автомобілів в Україні на 1 тисячу населення становить 202 шт.

Середня площа автомобільно стоянки, де може бути обладнана зарядна станція, становить 3000 м<sup>2</sup>. Тому. На одній стоянці може бути розташовано:

$$N_{\text{авт}} = \frac{S_{\text{парк}}}{S_{\text{парк.авт}}} = \frac{3000}{15} = 200 \text{ (шт)} \quad (2.2)$$

де,  $S_{\text{парк. авт}} = 15 \text{ м}^2$ - середня площа паркувального місця одного автомобіля.

					ЕП.МР.18.06.02.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому, кількість електричних автомобілів на одній стоянці становитиме, а також кількість точок підключення:

$$N_{\text{ЕА.парк}} = 11 \text{ (шт)} \quad (2.3)$$

Тепер розрахуємо потужність зарядної станції. Так як електричні автомобілі можуть брати участь в когенерації електричної енергії в енергомережу, то розрахунок буде проводитись для максимально допустимо потужності, з якою електрична батарея зможе віддавати енергію, без прискорення своєї деградації. Для більшості електричних автомобілів ця потужність відповідає потужності режиму MODE 2, а саме – 7-7.5 кВт.

$$P_{\text{ЗС.V2G}} = N_{\text{ЕА.парк}} \cdot P_{\text{генерації}} \cdot K_{\text{уч}} \quad (2.4)$$

$$P_{\text{ЗС.V2G}} = 11 \cdot 7 \cdot 1 = 77 \text{ (кВт)} \quad (2.5)$$

де  $P_{\text{генерації}}$  – потужність генерації електричної енергії з батареї до мережі,  $K_{\text{уч}}$  – прийнятий коефіцієнт одночасної участі електричних автомобілів в процесі генерації електричної енергії в до мережі, може змінюватись від 0 до 1, де 1 – максимальна участь усіх підключених електричних автомобілів в процесі генерації потужності.

Зарядні пристрої, які повинні бути встановлені на зарядних станція, можуть мати 2 конфігурації – однонаправлені або двонаправлені. Перші підходять лише для заряджання електричного автомобіля та не мають змоги транспортувати електричну енергію до мережі. А двонаправлені зарядні пристрої мають цю можливість.

На сьогоднішній день в Україні досить велике поширення мають зарядні пристрої від автосалону «Autoenterprise», який має свої представництва в усіх

					ЕП.МР.18.06.02.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

великих містах містах України досить розповсюджену мережу електричних станцій. Пропоновані зарядні пристрої мають наступні характеристики (Таблиця 2.4):

Таблиця 2.4. Технічні характеристики зарядних пристроїв «Autoenterprise»

№	Назва	Опис
1	Діапазон потужності, кВт	1-10 (1 фаза), 1-30 кВт (3 фази)
2	Стандарти підключення	Type 1 (J1772), Type 2 (Mennekes)
3	Кількість точок підключення, шт	1 (Mennekes), 2, 3 (J1772)
4	Діапазон напруг, В	100-400
5	Застосування	Комерційне, домашнє, публічне

Розробкою зарядних пристроїв в можливість передачі електричної енергії в енергомережу працюють багато провідних компаній, такі, як автовиробник Nissan сумісно енергетичною компанією Enel.

## 2.2. Оптимальне розміщення зарядних станцій

Ринок електричних автомобілів стрімко розвивається. Такого ж самого темпу розвитку потребує й інфраструктура електричних автомобілів, а саме розвиток мережі зарядних станцій. На сьогодні, кількість зарядних станцій не в змозі повністю забезпечити можливість підключення усі електричні транспортні засоби. Тому переважна більшість власників електричних автомобілів використовує для заряджання індивідуальні зарядні пристрої у себе вдома. У випадку необхідності використання автомобіля для довгих поїздок, може виникнути необхідність зарядити електричну батарею до її завершення, що може бути неможливо зробити через відсутність можливості підключення до

									Арк.
									44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕП.МР.18.06.02.ПЗ				

електричної мережі на існуючих зарядних станціях. Для цього необхідно створювати нові зарядні станції в такій кількості, яка дозволить впоратись зі зростаючим числом електричних транспортних засобів та попитом на підключення до електричної мережі.

Зі зростанням кількості електричних автомобілів також зростає їх роль як активного учасника ринку електричної енергії, оскільки при заряджанні батареї велика кількість електричних автомобілів буде споживати значну потужність з мережі. Але, як правило, процес заряджання відбувається в нічний час з потужністю відповідно до режиму MODE 2, коли навантаження на мережу зменшується до рівня базового, тому проблем з перевантаження трансформаторних підстанцій не буде.

Окрім споживання електричної енергії, сучасні електричні автомобілі здатні також віддавати електричну енергію до мережі, але, звичайно, за допомогою допоміжних пристроїв, таких як регулятор потужності, фільтри високих гармонік та ін. Цей фактор варто брати до уваги при проектуванні зарядних станцій, а саме у виборі топології зарядних пристроїв, яка має бути двонаправленою, для забезпечення можливості двостороннього потоку електричної енергії.

Важливим фактором розвитку інфраструктури електричних автомобілів є не тільки забезпечення зарядних станцій необхідним обладнанням, а й будівництво в необхідній кількості самих зарядних станцій та з достатньою кількістю зарядних пристроїв, розміщення зарядних станцій в найбільш підходящих місцях, де попит на підключення буде оптимальним.

На оптимальне розміщення зарядних станцій впливають наступні фактори:

- Потужність трансформаторної підстанції, до якої буде здійснено підключення зарядної станції на стороні 0.4 кВ та рівень резервної потужності;
- Концентрація електричних транспортних засобів в місці можливого розташування електричної зарядної станції;

										Арк.
										45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕП.МР.18.06.02.ПЗ

- Рівень споживання електричної енергії в години пікового навантаження на енергомережу;

На сьогодні в м. Дніпро нараховується близько 40 зарядних станцій, які в переважній більшості нараховують 1 зарядний пристрій з 1-ю або 2-ма точками підключення. Серед них 4 зарядні станції – швидкі за стандартом CHAdeMo, а інші – станції повільної зарядки за стандартами J1772 та Mennekes. Карта існуючих зарядних станцій зображена на рисунку 2.12.

Існуючі зарядні станції, окрім станції швидкої зарядки за стандартом CHAdeMo, не потребують для здійснення підключення до мережі виділення додаткової електричної потужності, оскільки одночасно можуть бути підключені лише від 1 до 3 електричних автомобілів. Але при створенні великих зарядних станцій зі значно більшою кількістю точок підключення, ця потреба з’являється.

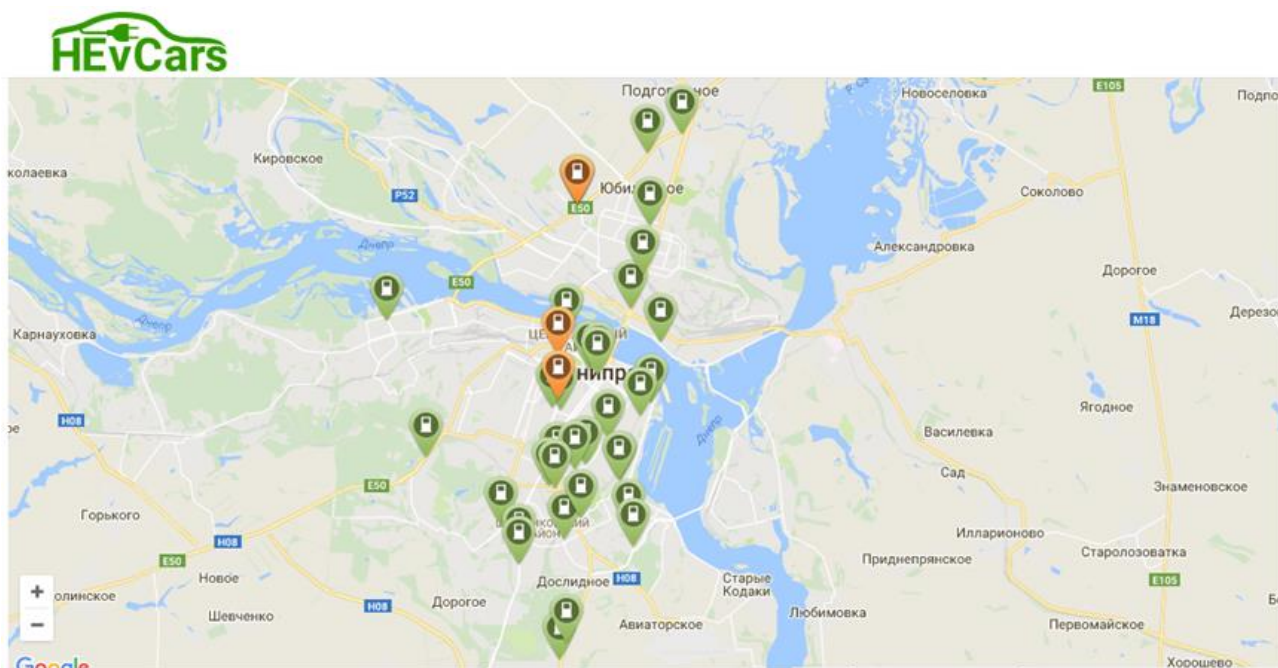


Рисунок 2.12 – Існуючі зарядні станції в місті Дніпро

Електрична система міста Дніпра є частиною Дніпровської енергосистеми. На території міста знаходиться більше 1000 трансформаторних підстанцій, які мають різну установлену потужність, різний рівень резерву приєднаної потужності. За офіційними даними Приватного акціонерного товариства «Підприємство з експлуатації електричних мереж «Центральна енергетична

										Арк.
										46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕП.МР.18.06.02.ПЗ

компанія», лише, приблизно, 45% трансформаторних підстанцій міста Дніпро мають не нульовий рівень резерву потужності, який змінюється від 16 кВт до 700 кВт. Загальний рівень резерву складає 19.3 МВт. Це дозволить підключити до електричної мережі 250 зарядні станції з установленою потужністю 77 кВт. Кількість зарядних пристроїв становить 77 з потужністю заряду 3.3 кВт, при заряджанні батареї, та 7 кВт, при генерації потужності з врахуванням  $K_{уч}$ , на одну точку підключення (див. пункт 2.1.3).

Підключення зарядної станції повинно здійснюватися до низьковольтної сторони 0.4 кВ трансформаторної підстанції. Сама зарядна станція повинна бути обладнана індивідуальним та загальним двонаправленим дво- або трьохзонним лічильником електричної енергії, пристроєм контролю заряду/розряду, двонаправленим загальним або індивідуальним, на кожну точку підключення, інвертором.

Спрощена схема підключення зарядної станції до трансформаторної підстанції зображена на рисунку 2.13, де 1 – спільний двонаправлений лічильник електричної енергії; 2 – спільний (а) або індивідуальний інвертор; 3 - спільний (а) або індивідуальний пристрій контролю заряду/розряду; 4 – двонаправлений індивідуальний лічильник електричної енергії.

При підключенні зарядної станції до трансформаторної підстанції потрібно враховувати не тільки її резерв потужності, а й віддаленість зарядної станції від ТП, рівень попиту на споживання електричної енергії в періоди напівпікового та пікового навантаження на енергомережу. Тобто, зарядна станція повинна знаходитись як найближче до підстанції та до споживача, для уникнення великих втрат потужності на лініях електропередачі під час заряджання та генерації потужності відповідно.

Очевидно, що існуючий резерв потужності мережі трансформаторних підстанцій не може забезпечити повноцінний розвиток інфраструктури зарядних станцій, тому є необхідність модернізації існуючої системи, прокладка нових ліній електропередачі для зменшення завантаженості ліній та уникнення випадку зустрічного потоку значних потужностей.

					<b>ЕД.МР.18.06.02.ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

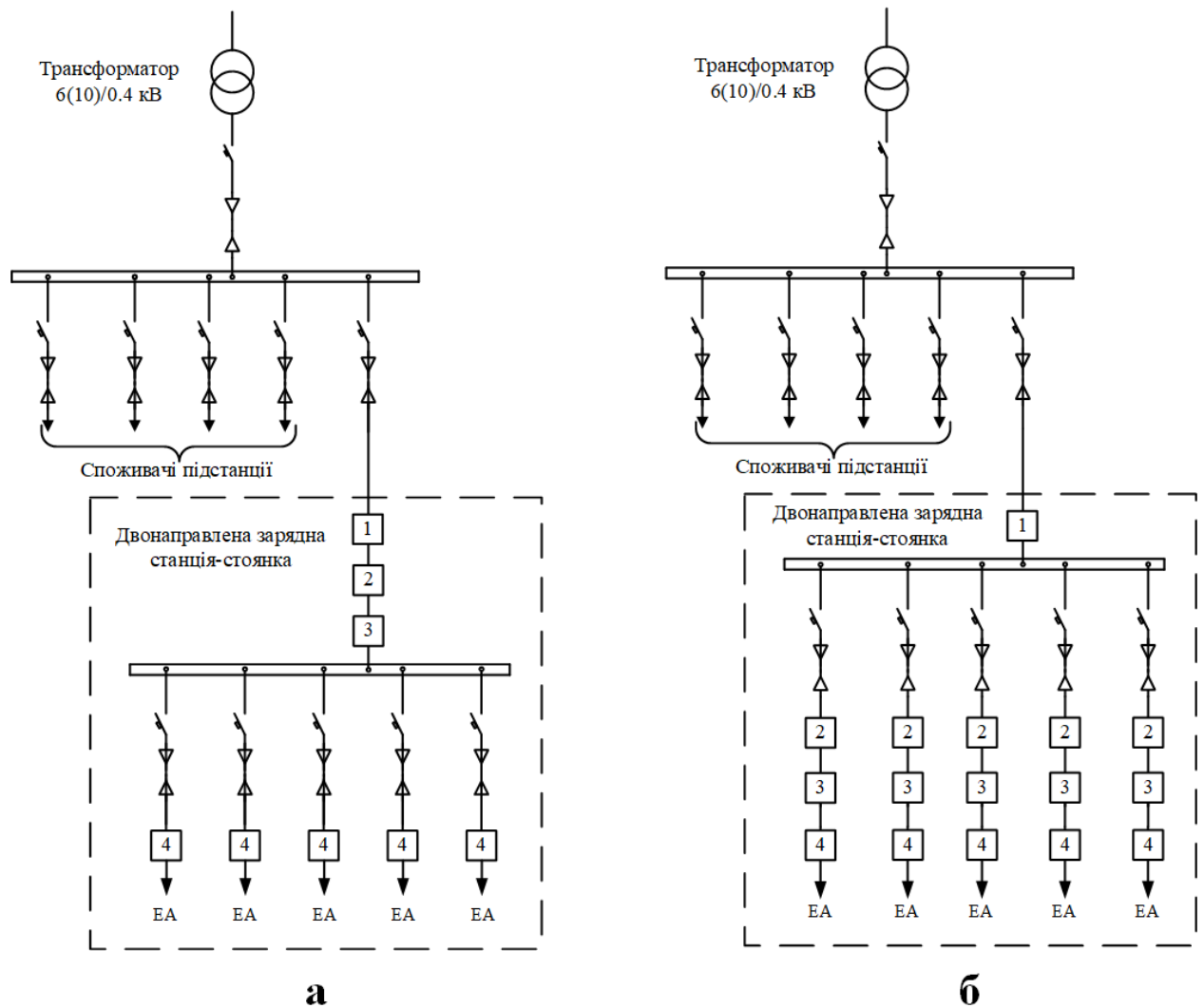


Рисунок 2.13 – Спрощена схема приєднання громадської зарядної станції до трансформаторної підстанції

Ще одним фактором, який впливає на вибір місцезнаходження зарядної станції, є рівень потоку транспортних засобів та місць їхнього паркування протягом дня. Такими місцями зазвичай є стоянки або паркінги, які знаходяться на території торгово-розважальних комплексів, офісних центрів, університетах та інших навчальних закладах, лікарні, адміністративні будинки.



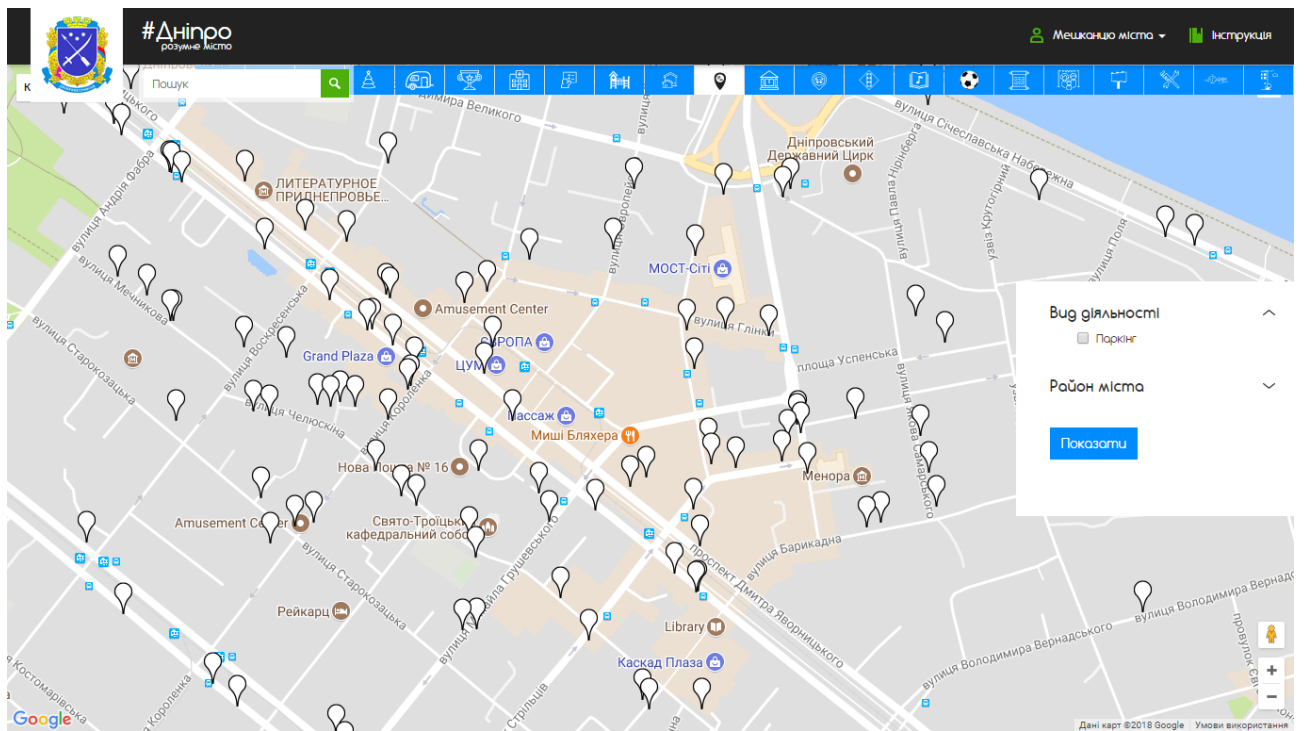


Рисунок 2.14 – Існуючі стоянки та паркінги в центральній частині міста Дніпро

Зарядна станція може знаходитись на одній або декількох таких стоянках, на спеціально відведеному та оснащеному необхідним обладнанням місці, та позначеному спеціальними розпізнавальними знаками, щоб водій точно знав, що це місце призначене саме для електричного транспорту. Карта стоянок та паркінгів зображена на рисунку 2.14.

Для прикладу, знайдемо оптимальне місце розташування зарядної станції з можливістю генерації електричної енергії з акумуляторних батарей електричних автомобілів в мережу. Для цього задаємо наступними параметрами:

- Кількість електричних автомобілів, які прийматимуть участь в процесі генерації електричної енергії – 30. Місце знаходження кожного з них різне. Кожен з них має різну ємність електричної енергії, яку він зможе генерувати.
- Кількість об'єктів споживання – 4. Знаходяться в різних місцях та мають різну потребу в додатковій енергії, а саме – відсоток від того об'єму енергії, яку зможуть віддати автомобілі.

										Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Для визначення координат місця розташування використовуються наступні формули:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^m x_{EA,i} Q_{EA,i} + \sum_{i=1}^n x_{C,i} Q_{C,i}}{\sum_{i=1}^m Q_{EA,i} + \sum_{i=1}^n Q_{C,i}} \quad (2.8)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^m y_{EA,i} Q_{EA,i} + \sum_{i=1}^n y_{C,i} Q_{C,i}}{\sum_{i=1}^m Q_{EA,i} + \sum_{i=1}^n Q_{C,i}} \quad (2.9)$$

де,  $x$  та  $y$  – координати шуканої зарядної станції;  $x_{EA,i}, y_{EA,i}$  – координати електричного автомобіля;  $x_{C,i}, y_{C,i}$  – координати споживача;  $Q_{C,i}$  – об'єм потенціальної споживаної енергії, кВт·год;  $Q_{EA,i}$  – об'єм електричної енергії а батареї електричного автомобіля, кВт·год. Дані для розрахунків представлені в таблиці 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5. Дані споживачів для розрахунків

Споживачі	№	X	Y	Об'єм потенційно споживаної енергії, кВт*год
	1	13.5	16.5	143.7
	2	11	6	86.2
	3	24	16	344.8
	4	14	26	28.7

Таблиця 2.6. Дані електричних автомобілів для розрахунків

№	Координати		Об'єм потенціально відданої енергії, кВт*год
	X	Y	
1	22	16	9.80
2	27	19	9.24
3	14	26	1.00
4	29	23	7.82
5	20	17	6.35
6	28	19	25.10
7	30	24	36.22
8	30	29	36.57
9	10	21	14.73
10	12	16	35.82
11	23	14	36.65
12	17	9	1.30
13	23	25	39.00
14	28	25	5.60
15	10	15	10.50
16	30	7	9.60
17	10	15	21.00
18	14	5	29.20
19	22	7	35.74
20	8	5	2.83
21	21	21	19.20
22	29	27	7.95
23	19	8	13.68
24	6	21	36.20
25	16	3	6.00
26	16	27	11.00
27	22	10	37.10
28	11	17	24.60
29	25	19	33.60
30	19	13	11.30

Електричний автомобіль

Результатом розрахунків є координати зарядної станції, які становлять

$$x = 19.6 \quad (2.10)$$

$$y = 16.2 \quad (2.11)$$

На рисунку 2.15 зображені місця розташування електричних автомобілів, споживачів та знайденої зарядної станції.

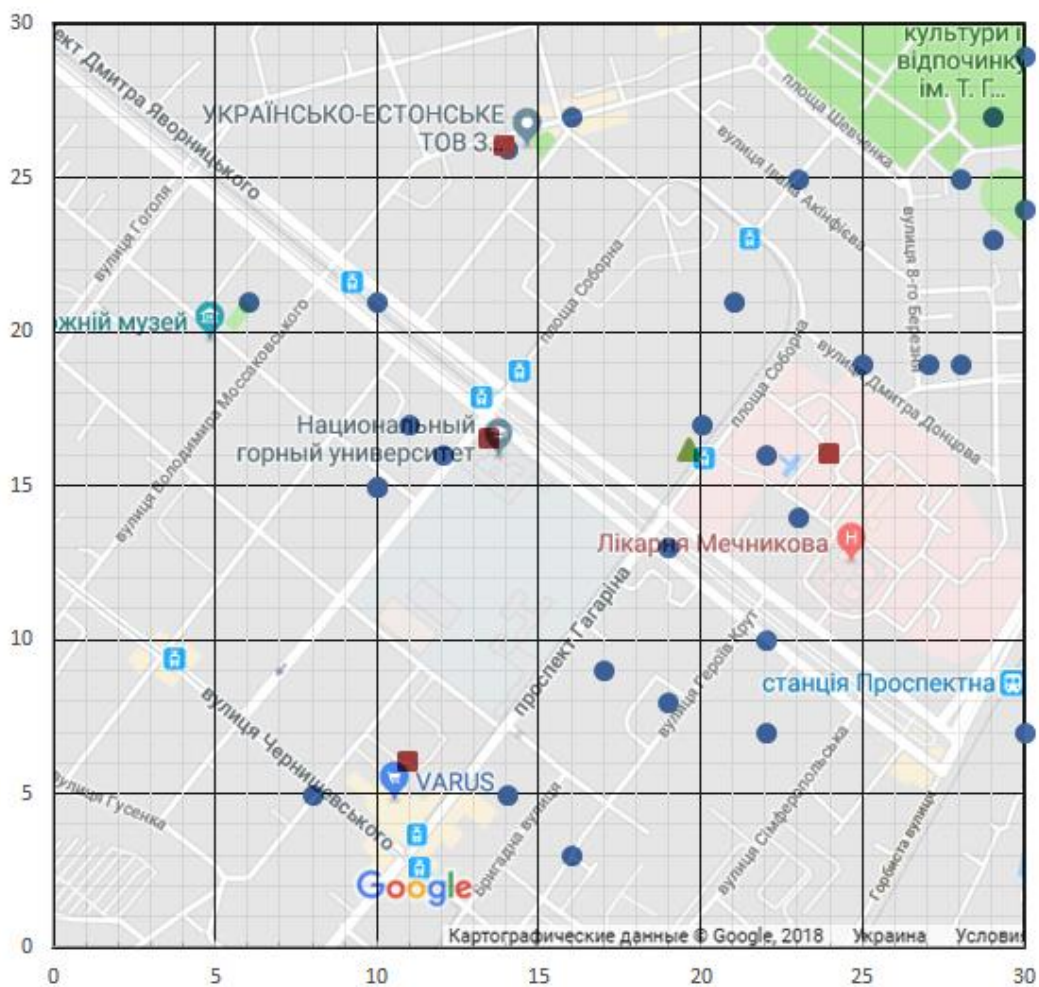


Рисунок 2.15 – Розташування електричних автомобілів ●, споживачів ■ та шуканої зарядної станції ▲

Об'єктами споживання є 4 об'єкти, 2 з яких зі значно більшою потребою в електричній енергії, ніж інші, тому зарядна станція розташована між ними, ближче до найбільшого споживача.

Представлені результати пошуку оптимального місця розташування зарядної станції відносно існуючих споживачів та електричних автомобілів представлено для окремо взятої частини міста Дніпро. Для того, щоб провести пошук оптимальних місць розташування зарядних станцій по всій території міста, необхідно дотримуватись наступного алгоритму:

- Розділення всієї території міста на окремі області, які будуть охоплювати, приблизно, однакову площу;
- Визначення можливих споживачів електричної енергії у вибраній області, яка буде згенерована електричними автомобілями;
- Визначення кількості електричних автомобілів у окремо взятій області;
- Пошук координат оптимального місця розташування зарядної станції у кожній області;
- Беручи до уваги те, що даний спосіб не враховує географічних особливостей області, обрати найбільш придатне місце для будівництва зарядної станції, яке буде поряд зі знайденим, та розташувати максимально близько до найближчої трансформаторної підстанції

					<i>ЕП.МР.18.06.02.ПЗ</i>	Арк.
						53
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

### **3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ**

## ВСТУП

Використання електричних автомобілей як регуляторів навантаження є досить новим напрямом розвитку розподіленої енергетики, до якого долучаються дедалі більше провідних технологічних компаній. Американська компанія Tesla Motors виробляє свою систему для зберігання електричної енергії Power Wall [17], компанія Google встановлює на свої автомобілях Smart бортові V2G пристрої [18]. Автомобільний гігант Nissan сумісно з енергетичною компанією Enel починаю будівництво 200 двонаправлених зарядних станцій у Великій Британії [19].

При розгляді можливості використання електричних автомобілів як одного зі способу покриття пікових навантажень на енергомержу в умовах енергосистеми України варто враховувати наступні фактори:

- Вартість електричної енергії у Україні значно менша, ніж в країнах Європи;
- Кількість електричних автомобілів в Україні недостатня, для того, щоб значно вплинути на енергосистему.

В даному розділі буде розрахований можливий економічний ефект від використання технології Vehicle-to-Grid (V2G) для власника електричного транспортного засобу при існуючих тарифах на електричну енергію. Якщо ефект буде негативним, то буде визначений тариф, за якого власники будуть зацікавлені в такому способі регулювання електричної потужності. Також буде виявлений вплив на екологію, який є наслідком зменшення витрат палива на роботу електричних станцій в маневровому режимі.

					<i>ЕП.МР.18.06.03.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ермак І.В.</i>			<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Тимошенко Л.В.</i>					55	71
<i>Реценз.</i>						<i>НГУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>				<i>141м-16-4</i>		
<i>Затверд.</i>								

### 3.1. Економічний ефект для власника електричного автомобіля при участі в когенерації енергії до електричної мережі

Для будь-якого власника електричного транспортного засобу, який заряджає акумуляторну батарею свого електромобіля, в основному вночі, буде доцільно користуватися багатозонним лічильником для того, щоб здійснювати розрахунок за електричну енергію за багатозонним диференційованим тарифом.

Генеруючи електричну енергію до мережі в добові години пікового навантаження, водій також може користуватися не тільки особистим зарядним пристроєм, а й зарядним пристроєм на публічній зарядній станції.

В випадку користування особистим зарядним пристроєм, тарифікація вартості електричної енергії буде вестись за тарифами для фізичної особи, а при користуванні зарядним пристроєм на зарядній станції – за тарифами для юридичної особи. В Україні діють різні тарифи для фізичної та юридичної особи при споживанні електричної енергії:

- для населення при 2-х зонному диференційованому тарифі:

- денний – 1.68 грн/кВт·год;
- нічний – 0.84 грн/кВт·год;

- для населення при 3-х зонному диференційованому тарифі:

- нічний – 0.84 грн/кВт·год;
- напівпіковий – 1.68 грн/кВт·год;
- піковий – 2.52 грн/кВт·год;

Зарядна станція, на якій буде можливість підключитись до мережі, відноситься до 2 го класу споживачів електричної енергії. Для них діють наступні тарифи:

- при 2-х зонному диференційованому тарифі:

- денний – 2.66 грн/кВт·год;
- нічний – 0.69 грн/кВт·год;

- при 3-х зонному диференційованому тарифі:

- нічний – 0.49 грн/кВт·год;

					ЕП.МР.18.06.03.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- напівпіковий – 2.01 грн/кВт·год;
- піковий – 3.56 грн/кВт·год;

Також на доцільність участі електричного автомобіля в процесі генерації електричної енергії впливає вартість заміни електричної батареї, оскільки збільшується кількість процесів заряду/розряду, і як наслідок – ресурс електричної батареї зменшується набагато швидше.

В розрахунках будуть прийняті наступні параметри:

- кількість циклів заряду/розряду в умовах V2G – 1 раз на день.
- кількість циклів заряду розряду при участі v2g – 247 за один рік (кількість робочих днів за один календарний рік);
- період заряду батареї – ніч, період генерації електричної енергії – пікові години навантаження на енергомережу;
- З врахуванням зменшення вартості акумуляторної батареї на момент, заміни в 2022 році, її ціна становитиме 100 \$/кВт·год або 2800 грн/кВт·год (рис. 3.1)
- падіння ємності електричної батареї становитиме 10%/рік;
- об'єм генерованої енергії складатиме 50 або 75 відсотків від повної ємності, враховуючи витрати електричної енергії для поїздок в залежності від потреб водія.
- ємність акумулятора – 40 кВт·год. Починаючи за 2018 року виробники електричних автомобілів в переважній більшості будуть встановлювати електричні батареї ємністю 40 кВт·год, замість 24 кВт·год.

Беручи до уваги те, що в Україні на сьогодні не існують законодавчої бази для інтеграції електричних автомобілів як регуляторів потужності, то при розрахунку робились допущення, що ця технологія буде тарифікуватися аналогічно гідро-акумуляуючим електростанціям.

### 3.1.1. Розрахунок капітальних витрат

					ЕП.МР.18.06.03.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Капітальні витрати ( $K_{пр}$ ) при використанні електричного автомобіля як генератора потужності включають в себе витрати на заміну акумуляторної батареї, як внаслідок підвищеного навантаження на неї швидше втрачає свій ресурс. Ці витрати складаються з:

- вартості акумуляторної батареї  $C_{акб}$ ;
- вартості на доставку  $V_{дост}$ ;
- вартості на роботу із заміни батареї  $V_{роб}$ .

Формула для розрахунку капітальних витрат:

$$K_{пр} = C_{акб} + V_{тран} + V_{роб} \quad (3.1)$$

Вартість електричної батареї становить:

$$C_{акб} = W_{акб} \cdot C_{кВт\cdot год} = 40 \cdot 2800 = 112 \text{ (тис.грн)} \quad (3.2)$$

де,  $W_{акб} = 40 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  – ємність акумуляторної батареї,

$C_{кВт\cdot год} = 2800 \text{ грн}$  – вартість 1 кВт · год ємності батареї.

Вартість роботи із заміни акумулятора станом на 1.01.2018 становить 2000 грн. Вартість доставки акумуляторної батареї вагою 200 кг, розмірами 2.5X2 м становитиме 1420 грн. Отже, вартість капітальних витрат становитиме:

$$K_{пр} = 112000 + 1420 + 2000 = 115420 \text{ (грн)} \quad (3.3)$$

### 3.1.2. Розрахунок експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати при використанні електричного автомобіля як генератора потужності складаються з амортизаційних відрахувань. Корисний термін експлуатації акумуляторної батареї складає 4 роки, оскільки за цей термін значно падає ємність батареї та її подальше використання не є можливим.

					<i>ЕП.МР.18.06.03.ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норма амортизації  $H_A$  становить, при ліквідаційній вартості  $L$  – 20%:

$$H_a = \frac{1-L}{T_a} \cdot 100\% = \frac{1-0.2}{5} \cdot 100\% = 16\% \quad (3.4)$$

Амортизаційні відрахування  $AB$  становитимуть:

$$AB = \frac{H_a \cdot C_{акб}}{100} = \frac{16 \cdot 115420}{100} = 18467 \text{ (грн)} \quad (3.5)$$

### 3.1.3. Розрахунок економії

Повна економія буде складатись із різниці економії, за рахунок оплати спожитої та згенерованої енергії за різними тарифами, та капітальних витрат на заміну акумуляторної батареї.

Річна економія становить:

$$E_{річна} = \sum (W_{ген} \cdot C_{ген} - W_{спож} \cdot C_{спож}) \quad (3.6)$$

Повна річна економія становить:

$$E_{річна}^{повна} = E_{річна} - AB \quad (3.7)$$

Як видно з результатів розрахунків, представлених в таблиці 3.1, по нині діючим тарифам на електроенергію жоден із варіантів тарифікації електричної енергії не є фінансово вигідним для власника електричного автомобіля, оскільки вартість заміни батареї значно перевищує сумарний дохід від генерації електричної енергії.

Для того, щоб фінансово зацікавити власника електричного автомобіля, діючий тариф потрібно збільшувати або віднести такий спосіб генерації енергії

					<i>ЕП.МР.18.06.03.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

до окремої категорії споживачів, для якої буде діяти окремий тариф. Розрахуємо розмір тарифу, при якому власник електричного автомобіля буде зацікавлений в участі в регулюванні електричного навантаження. Він буде становити:

$$C_{\text{баз}} = \frac{K_{\text{пр}} - C_{\text{ут}}}{W_{\text{в.терм.}}} \quad (3.8)$$

$$C_{\text{баз}} = \frac{115420 - 22400}{(19760..29640)} = 4.70..3.17 \text{ (грн/кВт·год)} \quad (3.9)$$

де,  $C_{\text{л}} = 22400$  грн – сума, яка буде відшкодована при утилізації батареї,  $W_{\text{за весь термін}} = 19760..29640$  кВт · год – об’єм електричної енергії, який буде згенерований в мережу за весь термін експлуатації батареї при генерації 50% та 75 % від ємності батареї відповідно. При функціонуванні такого тарифу, електричний автомобіль буде працювати з нульовою ефективністю, тому тариф має бути більшим. З врахуванням прогнозованого щорічного збільшення тарифу на електричну енергію на 10%, то на момент заміни батареї в 2022 році (рис. 3.1) він буде в 1.5 рази більшим, ніж існуючий, то тарифи будуть наступними:

При 2-х зонному диференційованому тарифі:

- для населення – 2.52 грн/кВт·год,
- для зарядної станції – 3,99 грн/кВт·год;

При 3-х зонному диференційованому тарифі в пікові періоди навантаження:

- для населення – 3,78 грн/кВт·год,
- для зарядної станції – 5,34 грн/кВт·год;

Враховуючи це, та порівнюючи з розрахованим бажаним для власника електричного автомобіля, можна зробити висновок, що в 2022 році такий спосіб регулювання потужності буде цікавим для власника.

### 3.2. Економічний ефект від зменшення негативного впливу на екологію

Враховуючи те, що при участі електричних автомобілів в процесі покриття пікових навантажень на енергомережу зменшить витрати вугілля на роботу

					ЕП.МР.18.06.03.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електростанцій в маневровому режимі, разом зменшиться рівень шкідливих викидів в атмосферу.

Основними продуктами спалювання палива є вуглекислий газ  $CO_2$ , оксид азоту  $NO_2$  діоксид сірки  $SO_2$ . При генерації 1 кВт потужності при роботі в маневровому режимі рівень додаткових викидів кожного з елементів становить:

- вуглекислий газ  $CO_2$  – 0.3 г/кВт;
- оксид азоту  $NO_2$  – 0.14 г/кВт;
- діоксид сірки  $SO_2$  – 180 г/кВт.

Відповідно до Статі 243 Податкового кодексу України, ставки на викиди в атмосферу шкідливих викидів становить:

- вуглекислий газ  $CO_2$  – 92.37 грн/т;
- оксид азоту  $NO_2$  – 2451 грн/т;
- діоксид сірки  $SO_2$  – 2451 грн/т

Результати розрахунків об'єму викидів ( в тонах) в атмосферу представлені в таблиці 3.2 (при генерації 50%) та 3.3 (при генерації 75%)

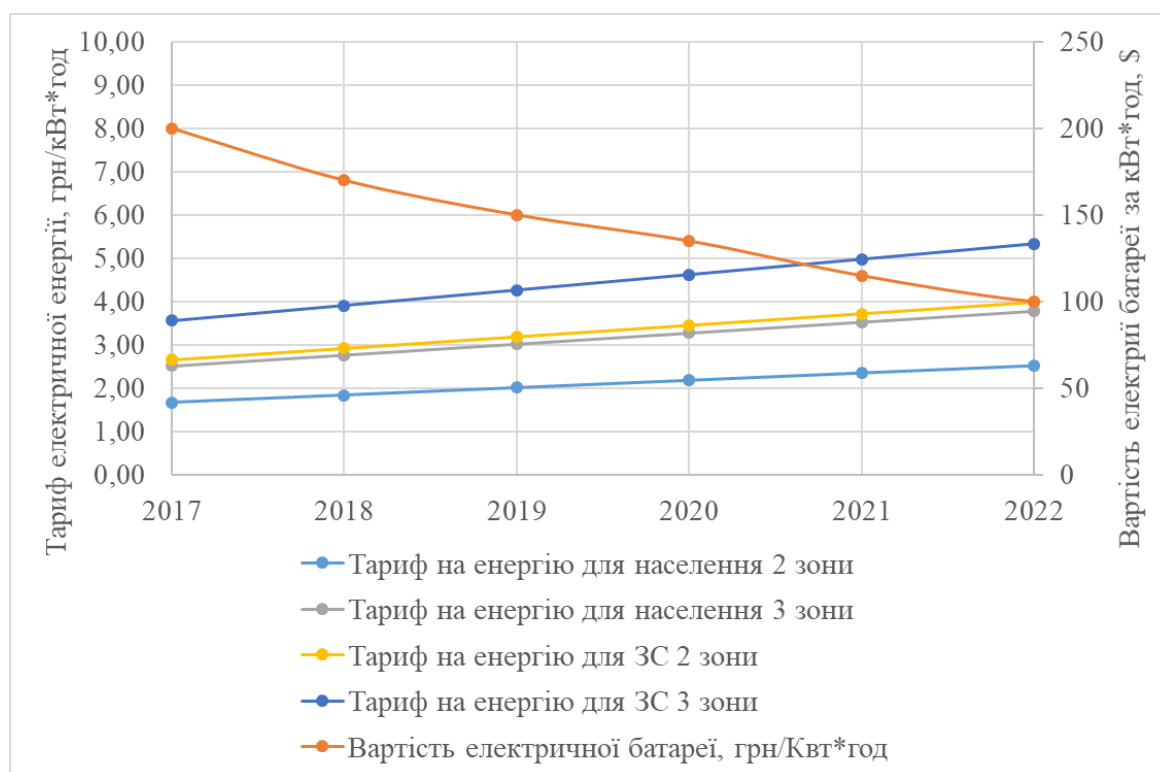


Рисунок 3.1 – Діаграма зміни тарифу на електричну енергію та вартості електричної батареї

Таблиця 3.1. Результати розрахунків

Споживач	Тарифікація	Об'єм згенерованої енергії за 1 день, кВт*год	Об'єм споживаної енергії за 1 день, кВт*год	Вартість згенерованої енергії за 1 день, грн	Вартість споживаної енергії за 1 день, грн	Економія за 1 день, грн	Економія за рік, грн	Повна річна економія, грн	Економія весь термін експлуатації, грн	
Фізична особа	2 зони	20,0	40,0	33,6	33,6	0,0	0,0	-18467,2	-73868,8	
		30,0	40,0	50,4	31,2	19,2	4742,4	-1372,8	-57270,4	
	3 зони	20,0	40,0	53,4	25,0	28,4	7014,2	-11543,0	-43319,1	
		30,0	40,0	75,6	25,0	50,6	12508,1	-5959,1	-30030,5	
	Юридична особа	2 зони	20,0	40,0	53,4	27,7	25,7	6345,5	-12121,7	-51569,5
			30,0	40,0	80,0	27,7	52,4	12935,2	-5532,0	-28595,7
Юридична особа	3 зони	20,0	40,0	71,1	19,8	51,4	12691,2	-5776,0	-29449,6	
		30,0	40,0	106,7	19,8	87,0	21477,4	3010,2	1302,1	

Таблиця 3.2

## Об'єми шкідливих викидів в атмосферу

Рік	Генерована потужність електромобілями МВт	Об'єм викидів SO <sub>2</sub> , Т	Об'єм викидів NO <sub>2</sub> , Т	Об'єм викидів CO <sub>2</sub> , Т	Оплата за викиди, грн
2017	5,0	0,0015	0,0007	0,9	88,5
2018	12,0	0,0036	0,00168	2,16	212,5
2019	22,0	0,0066	0,00308	3,96	389,5
2020	35,2	0,01056	0,004928	6,336	623,2
2021	46,0	0,0138	0,00644	8,28	814,4
2022	76,0	0,0228	0,01064	13,68	1345,6
2023	104,0	0,0312	0,01456	18,72	1841,3
2024	136,8	0,04104	0,019152	24,624	2422,0
2025	180,0	0,054	0,0252	32,4	3186,9
2026	226,0	0,0678	0,03164	40,68	4001,3

Таблиця 3.3

## Об'єми шкідливих викидів в атмосферу

Рік	Генерована потужність електромобілями, МВт	Об'єм викидів SO <sub>2</sub> , Т	Об'єм викидів NO <sub>2</sub> , Т	Об'єм викидів CO <sub>2</sub> , Т	Оплата за викиди, грн
2017	7,5	0,00225	0,00105	1,35	132,8
2018	18,0	0,0054	0,00252	3,24	318,7
2019	33,0	0,0099	0,00462	5,94	584,3
2020	52,8	0,01584	0,007392	9,504	934,8
2021	69,0	0,0207	0,00966	12,42	1221,6
2022	114,0	0,0342	0,01596	20,52	2018,4

Арк.

ЕП.МР.18.06.03.ПЗ

63

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

<b>2023</b>	156,0	0,0468	0,02184	28,08	2762,0
<b>2024</b>	205,2	0,06156	0,028728	36,936	3633,1
<b>2025</b>	270,0	0,081	0,0378	48,6	4780,4
<b>2026</b>	339,0	0,1017	0,04746	61,02	6002,0

Використання електричних автомобілів як регуляторів навантаження на енергомережу дозволить зменшити рівень шкідливих викидів в атмосферу. Це сприятливо буде впливати на екологічний стан навколишнього середовища. В той же час, це призведе до зменшення виплати податку за шкідливі викиди в атмосферу.

#### Висновок

При розрахунку економічного ефекту від впровадження технології когенерації енергії від електричних автомобілів в енергомережу, було зроблено висновок, що за існуючими тарифами, для власників електричних автомобілей відсутній позитивний економічний ефект, але в перспективі, з врахуванням збільшення тарифів на електричну енергію, цей спосіб регулювання для них буде цікавим, і, як наслідок, - можливим для енергосистеми.

Для реалізації запропонованого підходу до регулювання графіка навантажень необхідно вирішити ряд питань, особливо стосовно дозволу на законодавчому рівні приватним власникам електротранспорту брати участь в регулюванні навантаження та отримувати кошти за генерацію шляхом розробки бізнес-моделей і спеціальних тарифів, системи енергоменеджменту на рівні розподільчої мережі, заходів щодо управління якістю електричної енергії, тощо.

					ЕП.МР.18.06.03.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВИСНОВКИ

В дипломному проекті було розглянуто питання інтеграції електричних автомобілів в енергомережу не тільки як споживачів електричної енергії, а й як генератора, за допомогою якого можна регулювати рівень електричних навантажень.

Були розглянуті технічні рішення для реалізації зарядних пристроїв, за допомогою яких можливий двосторонній потік електричної енергії, визначена необхідна загальна потужність зарядних станцій та кількість точок підключення. Розглянуто фактори, які впливають на тривалість експлуатації акумуляторної батареї, на яку випадає основне навантаження, обрані найважливіші та сформульовані оптимальні умови експлуатації для максимального продовження життя батареї. Був запропонований алгоритм знаходження оптимального місця розташування зарядних станцій відносно розподілення електричних навантажень для одного окремо взятого району міста, та сформульовані рекомендації для знаходження оптимальних місць в інших районах міста.

Був проведений розрахунок можливої економічної ефективності використання електричних автомобілів для покриття пікових навантажень на енергосистему для власників автомобілів та зменшення шкідливих викидів в атмосферу. Був зроблений висновок, що в сучасних умовах для власників електричних автомобілів такий спосіб участі в енергоринку не є вигідним. Тому для цього необхідна розробка та впровадження механізмів економічного стимулювання власників електричних автомобілів.

Електричні автомобілі це відносно ще нова технологія і в Україні ще відсутня законодавча база для розвитку їх інфраструктури. Тому для інтеграції електричного автомобіля в енергосистему необхідна розробка такої законодавчої бази та обґрунтування технічних вимог для узгодження з параметрами енергії існуючої енергосистеми.

					<i>ЕП.МР.18.06.В.ПЗ</i>	Арк.
						65
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Perspectives of load management in energy system with help of electric cars / Yu.V. Khatskevych, I.M. Lutsenko, A.V. Rukhlov // Scientific Bulletin of the National Mining University. – 2017. – Vol. 5. – pp. 82 – 88
2. David P. Tuttle and Ross Baldick, «The Evolution of Plug-In Electric Vehicle-Grid Interactions».
3. Amarjit Datta\*, Brian K Ledbetter\*, and M. Ashiqur Rahman, «Optimal Deployment of Charging Stations for Electric Vehicles: A Formal Approach» - Department of Computer Science, Tennessee Technological University, USA
4. Alonso, M., Amaris, H., Germain, J.G. and Galan, J.M. (2014), “Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms”, Energies, Vol. 7, pp. 2449-2475
5. Global EV Outlook (2016), “Beyond one million electric cars”
6. Vítor Monteiro, Henrique Gonçalves, João C. Ferreira and João L. Afonso, «Batteries Charging Systems for Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles».
7. Marra, Francesco; Larsen, Esben; Træholt, Chresten, «Electric Vehicles Integration in the Electric Power System with Intermittent Energy Sources - The Charge/Discharge infrastructure»
8. Joachim Skov Johansen, «Fast-Charging Electric Vehicles using AC»
9. Thomas B. Gage, «Development and Evaluation of a Plug-in HEV with Vehicle-to-Grid Power Flow»
10. «В Украине из 2846 зарегистрированных электромобилей 82% б/у и 78% - Nissan Leaf» <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2017/05/4/624480/>
11. «Электрические и гибридные автомобили в Украине и мире» <https://hev cars.com.ua/>
12. «Добовий графік виробництва/споживання електроенергії» <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>
13. «Верховная Рада Украины рассматривает законопроект про стимуляцию спроса на электромобили и поддержку развития инфраструктуры для них»

					ЕП.МР.18.06.СП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

<https://hevcars.com.ua/vladelycev-ehlektromobiley-v-ukraine-mogut-osvobodity-ot-nalogov/>

14. «Зарядные устройства от компании «Autoenterprise» для коммерческого или домашнего использования» [https://www.autoenterprise.com.ua/wp-content/uploads/2018/01/autoenterprise\\_commercial-2017-ru\\_01new.pdf](https://www.autoenterprise.com.ua/wp-content/uploads/2018/01/autoenterprise_commercial-2017-ru_01new.pdf)
15. «Каталог электрических автомобилей» [https://e-move.com.ua/electrocars\\_catalog/](https://e-move.com.ua/electrocars_catalog/)
16. Луценко І.М., Циган П.С. Технічні та економічні аспекти використання електромобілів в електричних мережах України // Вісник КрНУ. – Кременчук: 2017. – Вип. 6/2017 (107).
17. Tesla Powerwall [https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Powerwall](https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla_Powerwall)
18. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Smart\\_\(автомобильная\\_марка\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Smart_(автомобильная_марка))
19. <https://newsroom.nissan-europe.com/eu/en-gb/media/pressreleases/149186/nissan-enel-and-nuvve-operate-worlds-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark1>

					<i>ЕП.МР.18.06.СП.ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РЕЦЕНЗІЇ ТА ВІДГУКИ

