

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Факультет енергетики і комп'ютерних технологій

«На правах рукопису»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електротехніки
і електромеханіки імені професора
В.В. Овчарова

к.т.н., доц. _____ Сергій КВІТКА
« 14 » _____ лютого 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти

**на тему: «Обґрунтування доцільності створення зарядних станцій
для електромобілів на основі комплексного використання
відновлених джерел енергії»**

21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти М2 курсу, 22МБ ЕЕ групи
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

Освітня програма: Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

_____ К.П. Туняков
(підпис)

Керівник, к.т.н., доцент

_____ С.В. Галько
(підпис)

Консультант, к.т.н., доцент

_____ М.В. Зоря
(підпис)

Консультант, к.т.н., доцент

_____ С.Р. Плотніченко
(підпис)

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____ С.О. Квітка
(підпис)

Рецензент

(підпис)

Запоріжжя, 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Факультет енергетики і комп'ютерних технологій
Кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова
Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри електротехніки
і електромеханіки імені професора
В.В. Овчарова
к.т.н., доц. _____ Сергій КВІТКА
« 1 » _____ жовтня _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу

Тунякову Кирилу Петровичу

1. Тема роботи: Обґрунтування доцільності створення зарядних станцій для електромобілів на основі комплексного використання відновлених джерел енергії

керівник роботи: Галько С.В., к.т.н., доцент.

затверджена наказом ректора університету від 23 вересня 2024 року № 441-С.

2. Строк подання здобувачем роботи: 12 лютого 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: статистичні дані щодо теми роботи, технічне завдання на кваліфікаційну роботу, матеріали виробничих та переддипломних практик, нормативні документи, науково-технічна література, електронні ресурси та ін.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. Аналіз сучасного стану розвитку зарядних станцій для електромобілів.

2. Моделювання роботи вітроелектричної енергоустановки для автономних зарядних станцій електромобілів.

3. Моделювання роботи фотоелектричної установки для заряду батарей електромобілів.

4. Розробка і дослідження системи швидкої зарядки електромобілів на основі комплексного використання фотоелектричних та вітроелектричних установок.

5. Охорона праці при використанні автономних зарядних станцій електромобілів.

6. Техніко-економічні розрахунки ефективності системи швидкої зарядки електромобілів на основі ВДЕ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових кресельників)

1. Види, типи роз'ємів та режими зарядки електромобілів. Плакат навчально-технічний.
2. Енергетичні ресурси для забезпечення роботи зарядної станції. Методика визначення. Розрахунки.
3. Параметри вітрового потоку. Таблиця.
4. Фотоелектричні зарядні станції для електромобілів. Схеми скомбіновані структурні.
5. Фотоелектричний перетворювач. Вольт-амперні характеристики і еквівалентна схема заміщення. Плакат навчально-технічний.
6. Залежності сонячної радіації. Результати експерименту. Розрахунки.
7. Автономна зарядна станція для електромобілів на основі ВЕС і СЕС. Результати математичного моделювання. Розрахунки.
8. Автономна зарядна станція для електромобілів на основі ВЕС і СЕС. Графічні залежності. Розрахунки.
9. Система швидкої зарядки електромобілів на основі комплексного використання ВДЕ. Схема скомбінована структурна.

6. Консультанти розділів (підрозділ) роботи

Розділ (підрозділ)	П.І.Б, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Зоря М.В. к.т.н., доцент	6.11.2024 р.	6.11.2024 р
6	Плотніченко С.Р., к.е.н., доцент	6.11.2024 р.	6.11.2024 р

7. Дата видачі завдання: 02 жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналіз сучасного стану розвитку зарядних станцій для електромобілів.	23.10.2024 р.	виконав
2. Моделювання роботи вітроелектричної енергоустановки для автономних зарядних станцій електромобілів.	06.11.2024 р.	виконав
3. Моделювання роботи фотоелектричної установки для заряду батарей електромобілів.	04.12.2024 р.	виконав
4. Розробка і дослідження системи швидкої зарядки електромобілів на основі комплексного використання фотоелектричних та вітроелектричних установок.	15.01.2025 р.	виконав
5. Охорона праці при використанні автономних зарядних станцій електромобілів.	29.01.2025 р.	виконав
6. Техніко-економічні розрахунки ефективності системи швидкої зарядки електромобілів на основі ВДЕ.	11.02.2025 р.	виконав
7. Підпис керівником роботи.	12.02.2025 р.	
8. Підпис завідувачем кафедри.	14.02.2025 р.	

Здобувач _____ К.П. Туняков
(підпис)

Керівник роботи, к.т.н., доцент _____ С.В. Галько
(підпис)

№ рядка	Формат	Позначення			Найменування	Кільк. арк.	№ примір.	Примітка
1	A4	21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ			Обґрунтування доцільності			
2					створення зарядних станцій			
3					для електромобілів на			
4					основі комплексного			
5					використання відновлених			
6					джерел енергії.			
7					Пояснювальна записка.	93	–	
8	A1	21ЕЕД.11260571.02.25.110000УП			Види, типи роз'ємів та			
9					режими зарядки			
10					електромобілів. Плакат			
11					навчально-технічний.	1	–	
12	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.210000РР			Енергетичні ресурси для			
13					забезпечення роботи			
14					зарядної станції. Методика			
15					визначення. Розрахунки.	1	–	
16	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.220000ТБ			Параметри вітрового			
17					потoku. Таблиця	1	–	
18	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.310000С1			Фотоелектричні зарядні			
19					станції для електромобілів.			
20					Схеми скомбіновані	1	–	
21					структурні.			
22	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.320000УП			Фотоелектричний			
23					перетворювач. Вольт-амперні			
					21ЕЕД.11260571.02.25.000000ТП			
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Туняков		12.02.25	Відомість технічного проєкту	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Галько		13.02.25			1	2
						ТДАТУ, 2025		
Н.контр.		Квітка		14.02.25				
Затв.		Квітка		15.02.25				

№ рядка	Формат	Позначення			Найменування	Кільк. арк.	№ примір.	Примітка
1					характеристики і еквівалент-	1	–	
2					на схема заміщення. Плакат			
3					навчально-технічний.	1	–	
4	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.330000РР			Залежності сонячної радіації.			
5					Результати експерименту.			
6					Розрахунки.	1	–	
7	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.410000РР			Автономна зарядна станція			
8					для електромобілів на основі			
9					ВЕС і СЕС. Результати			
10					математичного моделювання.			
11					Розрахунки.	1	–	
12	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.420000РР			Автономна зарядна станція			
13					для електромобілів на основі			
14					ВЕС і СЕС. Графічні			
15					залежності. Розрахунки.	1	–	
16	A2	21ЕЕД.11260571.02.25.430000С1			Система швидкої зарядки			
17					електромобілів на основі			
18					комплексного використання			
19					ВДЕ. Схема скомбінована			
20					структурна.	1	–	
21								
22								
23								
24								
25								
26								
					21ЕЕД. 11260571.02.25.000000ТП			Арк.
								2
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				

РЕФЕРАТ

Туняков К.П. Обґрунтування доцільності створення зарядних станцій для електромобілів на основі комплексного використання відновлених джерел енергії: кваліфікаційна робота. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025, 93 с

Обсяг кваліфікаційної роботи – 93 аркушів, кількість рисунків – 38, кількість таблиць – 5.

В роботі проведено аналіз світових тенденцій розвитку інфраструктури зарядних станцій для електромобілів, їх технічні характеристики та класифікація. Доведена актуальність застосування вітрової і сонячної енергії для енергозабезпечення зарядних станцій для електромобілів та обґрунтовано доцільність створення їх на основі комплексного використання цих видів енергій.

Розглянуто характеристики вітрової і сонячної енергій та їх вплив на ефективність роботи зарядних установок. Виконано моделювання роботи вітроенергетичної і фотоелектричної установки для заряду акумуляторних батарей електромобілів та розрахунок енергетичних ресурсів, необхідних для забезпечення роботи таких зарядних станцій. Оцінено необхідні обсяги накопичення енергії для забезпечення безперебійної роботи системи зарядки.

Виконано опис процесу заряду акумуляторних батарей на автономних зарядних станціях електромобілів при використанні енергії вітру та сонячного випромінювання. Розроблена і досліджена система швидкої зарядки електромобілів на основі комплексного використання вітрових і сонячних установок.

На основні принципів забезпечення охорони праці на автономних зарядних станціях електромобілів запропоновані інноваційні технології, що підвищують рівень охорони праці на таких станціях. Прийняті і запропоновані рішення в роботі підтверджені техніко-економічними розрахунками.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ, ІНВЕРТОР, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, ВІТРО ЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Tunyakov K.P. Substantiation of the feasibility of creating charging stations for electric vehicles based on the integrated use of renewable energy sources: qualification work. Zaporozhzhia: TDATU, 2025, 93 pages.

Scope of qualification work – 93 pages, with 38 figures and 5 tables.

The paper analyzes global trends in the development of the infrastructure of charging stations for electric vehicles, their technical characteristics and classification. The relevance of the use of wind and solar energies for the power supply of charging stations for electric vehicles has been proved and the expediency of creating them on the basis of the integrated use of these types of energies has been substantiated.

The characteristics of wind and solar energies and their impact on the efficiency of charging installations are considered. Simulation of the operation of wind energy and photovoltaic installations for charging batteries of electric vehicles and calculation of energy resources necessary to ensure the operation of such charging stations have been carried out. The necessary volumes of energy storage to ensure the smooth operation of the charging system are estimated.

A description of the process of charging batteries at autonomous charging stations of electric vehicles using wind energy and solar radiation is performed. A fast charging system for electric vehicles based on the integrated use of wind and solar installations has been developed and studied.

Based on the basic principles of ensuring labor protection at autonomous charging stations of electric vehicles, innovative technologies have been proposed that increase the level of labor protection at such stations. The decisions made and proposed in the work are confirmed by technical and economic calculations.

Keywords: ELECTRIC CAR, CHARGING STATION, INVERTER, PHOTOVOLTAIC STATION, WINDPOWER PLANT.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК.....	11
ВСТУП.....	13
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	16
1.1 Огляд світових тенденцій у розвитку інфраструктури зарядних станцій для електромобілів.....	16
1.2 Технічні характеристики та класифікація зарядних станцій.....	20
1.2.1 Типи зарядних станцій за струмом.....	20
1.2.2 Режими заряджання електромобілів.....	23
1.2.3 Типи роз'ємів у режимах заряду.....	25
1.3 Гібридна система зарядки електромобілів із застосуванням ВДЕ....	26
1.3.1 Типи гібридних енергетичних систем.....	27
1.3.2 Методологія визначення розмірів гібридної зарядної станції для електромобілів.....	29
1.4 Висновки до розділу 1.....	31
2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	32
2.1 Актуальність застосування вітрової енергії для енергозабезпечення зарядних станцій.....	32
2.2 Характеристики вітрової енергії та її вплив на ефективність роботи установок.....	34
2.3 Розрахунок енергетичних ресурсів, необхідних для забезпечення роботи зарядної станції.....	36
2.4 Висновки до розділу 2.....	39
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАРЯДУ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	40

3.1 Огляд методів моделювання СЕС для забезпечення енергією зарядних станцій ЕМ.....	40
3.2 Теоретичні основи функціонування ФЕС.....	44
3.3 Взаємозв'язок між виробництвом сонячної енергії та енергетичними потребами для зарядки АКБ ЕМ.....	47
3.4 Математичний опис роботи ФЕУ.....	50
3.5 Висновки до розділу 3.....	53
4 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК.....	54
4.1 Вибір та інтеграція ФЕУ і ВЕУ в систему швидкої зарядки.....	54
4.2.Принципи взаємодії ФЕС та ВЕС в рамках ОЕС.....	58
4.3 Оцінка необхідних обсягів накопичення енергії для забезпечення безперебійної роботи системи.....	60
4.4 Опис процесу заряду АКБ на АЗСЕМ при використанні енергії вітру та сонячного випромінювання.....	62
4.5 Забезпечення енергією АЗСЕМ на базі комплексного використання ФЕУ і ВЕУ з врахуванням кліматичних умов місцевості.....	64
4.6 Розробка структурної схеми заряджання ЕМ від ВДЕ.....	68
4.7 Висновки до розділу 4.....	73
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АВТОНОМНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	74
5.1 Основні принципи забезпечення охорони праці на зарядних станціях електромобілів.....	74
5.2 Інноваційні технології для підвищення рівня охорони праці.....	76
5.3 Реалізація засобів індивідуального захисту для технічного персоналу, при обслуговуванні та ремонті АЗСЕМ.....	78

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ ВДЕ.....	80
6.1 Визначення експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та ремонт акумуляторних систем.....	80
6.2 Доцільність продуктивності системи швидкої зарядки в порівнянні з альтернативними технологіями енергозабезпечення для ЕТЗ.....	82
6.3 Прогнозування розвитку технологій ВДЕ для зарядних станцій.....	85
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

Скорочення

ЕТЗ - електричний транспортний засіб;
АКБ – акумуляторна батарея;
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ОЕС - об'єднана енергетична система;
EVs – електромобіль;
АС – змінний струм;
DC – постійний струм;
CCS (Combined Charging System) – зарядні станції, що поєднують змінний і постійний струми;
ККД - коефіцієнт корисної дії;
ВЕУ – вітроенергетична установка;
ФЕУ – фотоелектрична установка;
PV – сонячна енергія;
BES – енергія вітру;
ФЕС – фотоелектрична система (станція);
ВЕС – вітроелектрична система (станція);
ЕМ – електромобіль;
АЗСЕМ - автономна зарядна станція електромобілів;
ФЕМ – фотоелектричний модуль;
ВАХ - вольт-амперні характеристик;
ФЕ – фотоелемент;
СНЕ – система накопичення енергії;
СЕС – сонячна енергетична система;
ФЕП – фотоелектричні панелі.

Умовні позначки

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$E_{однТЗ}$ - енергія для зарядки одного ЕТЗ, кВт·год;

P - потужність зарядної станції, кВт;

t - час зарядки, год;

$I_{\phi C}$ – фотострум, А;

I_D – зворотній струм насичення діода, А;

$R_{ш}$ – шунтуючий опір, Ом;

$R_{по}$ – послідовний опір, Ом;

q – заряд електрона, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

k – стала Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T – робоча температура ФЕ, К;

$I_{КЗ}$ – струм короткого замикання ФЕ, А;

K_I – температурний коефіцієнт струму короткого замикання;

$T_{СТ}$ – стандартна (еталонна) температура ФЕ;

η_e – коефіцієнт ефективності, залежний від температури модуля та повітря;

S – площа фотопанелей (м²);

$\rho(t)$ – сонячна радіація (Вт/м²);

$\omega^{\phi EY}$ – коефіцієнт забезпечення енергопотреби АЗСЕМ за рахунок ФЕУ

ω^{BEY} – коефіцієнт забезпечення енергопотреби АЗСЕМ за рахунок БЕУ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Використання енергії ВДЕ сьогодні є одним із пріоритетних напрямів розвитку світової енергетики. Основною перевагою ВДЕ є їх невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічного стану і не призводить до зміни енергетичного балансу на планеті [1]. Більшість проєктів відновлюваної електрогенерації, що реалізуються в Україні, передбачають приєднання до централізованої мережі для передачі електроенергії споживачам. Через різноплановий вплив ВДЕ на роботу електричних мереж та недостатню регульовальну потужність ОЕС України збільшується кількість випадків обмеження потужності введених в експлуатацію вітроелектричних та фотоелектричних станцій. Наявність великого енергопотенціалу України, який, за оцінками Інституту відновлюваної енергетики НАН України, становить 2173 млрд кВт·год на рік для вітру, та 99 млрд кВт·год на рік для сонячного випромінювання [1], змушує шукати нові шляхи залучення відновлюваної енергетики до загального енергобалансу країни.

Важливим з точки зору розвитку світової енергетики є ринок ЕМ. Зокрема, у 2019 році загальносвітовий показник продажу склав 2,1 млн одиниць [2]. Провідними країнами в цьому напрямку виступили Китай та Японія. В Європі майже вдвічі збільшився ринок екологічного транспорту. Однак розширення ринку ЕМ стримується слабким розвитком інфраструктури станцій прискореного заряду. З огляду на темпи збільшення кількості ЕМ постає питання створення мережі АЗСЕМ. Робота таких зарядних станцій від централізованих мереж в нічний час сприятливо впливатиме на графік навантаження енергосистеми, однак в пікові періоди (з 8:00 до 11:00 та з 17:00 до 21:00) збільшить гостропікове споживання, що негативно вплине на роботу мережі в цілому [3].

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в обґрунтуванні доцільності і розробка структури зарядних станцій для ЕМ на основі комплексного використання ВДЕ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дослідження, що проведені у роботі є складовою наукових досліджень, що проводить кафедра електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова за науковою підпрограмою 5 “Ресурсо-енергозберігаючі експлуатаційні режими роботи електротехнічних комплексів” (№ держреєстрації 0121U109980).

Мета дослідження: обґрунтування техніко-економічних параметрів автономних зарядних станцій для швидкого заряду електромобілів з використанням енергії сонця та вітру.

Задачі досліджень. Для досягнення поставленої мети досліджень, потрібно було вирішити наступні задачі досліджень:

- виконати ретельний огляд світових тенденцій у розвитку інфраструктури зарядних станцій для електромобілів;
- визначити актуальність і переваги використання вітрової і сонячної енергії для енергозабезпечення зарядних станцій для ЕТЗ (екологічні переваги, сумісність з ЕТЗ, енергетична автономність та стійкість, економічні переваги, синергія з іншими ВДЕ);
- розробити математичні моделі для визначення енергоспоживання на зарядку одного і декількох ЕТЗ; загальної енергії, необхідної для функціонування станції; оцінки енергетичних ресурсів для добового та місячного споживання електроенергії станцією;
- синтезувати математичну модель та перевірити її адекватність, що дозволить проводити аналіз взаємовпливу двох джерел енергії та випадкового характеру споживача на роботу АЗСЕМ в цілому;
- розробити структурну схему швидкої зарядки ЕТЗ від ВДЕ і обрати її компоненти (інвертор, зарядна станція, станція швидкого заряду тощо);
- підтвердити запропоновані технічні рішення в роботі техніко-економічними розрахунками.

Об'єкт дослідження – процеси перетворення енергії сонця і вітру та використання її на АЗСЕМ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предмет дослідження - параметри системи АЗСЕМ на основі ВДЕ.

Методи дослідження. Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в роботі, базуються на результатах теоретичних досліджень, теоретичних і практичних положеннях про перетворення ВДЕ в електричну енергію та її акумулювання в акумуляторах, положеннях системного аналізу, статистичного аналізу в середовищі Microsoft Office Excel, математичних методів моделювання енергетичних процесів в програмному середовищі Matlab.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Набуло подальшого розвитку обґрунтування техніко-економічних параметрів системи АЗСЕМ з використанням енергії сонячного випромінювання та вітру на території України, що дає можливість проектування та побудови таких станцій.

2. Отримано загальний вигляд математичної моделі роботи АЗСЕМ на основі комплексного використання енергії сонця та вітру, що дозволяє проводити аналіз взаємовпливу двох джерел енергії та випадкового характеру споживача на роботу АЗСЕМ в цілому.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновано схемне рішення реалізації системи АЗСЕМ, в яких як первинний генератор електричної енергії використані фотоелектричні та вітроелектричні енергоустановки.

2. Отримані результати можуть бути використовуються в освітньому процесі Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного при викладанні дисципліни “Поновлювальні джерела енергії та енергозбереження” та інші.

3. Результати досліджень та розрахунків можуть бути використані при виконанні науково-дослідних робіт за підпрограмою 5 “Ресурсо-енергозберігаючі експлуатаційні режими роботи електротехнічних комплексів” (№ держреєстрації 0121U109980).

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

1.1 Огляд світових тенденцій у розвитку інфраструктури зарядних станцій для електромобілів

З поширенням ЕТЗ та суттєвим зростанням попиту на електричні автомобілі, інфраструктура зарядних станцій стає ключовим елементом для забезпечення сталого розвитку електричної мобільності [4].

Зарядні станції для електричних транспортних засобів зазнають значних трансформацій під впливом новітніх технологічних досягнень, збільшення кількості користувачів, а також зростаючих вимог до швидкості зарядки, ефективності та доступності цієї інфраструктури. Враховуючи ці чинники, можна виділити кілька основних глобальних тенденцій, що визначають розвиток зарядних станцій для електричних транспортних засобів [5], а саме:

- Інтенсивне розширення мережі зарядних станцій. Однією з ключових тенденцій є суттєве розширення глобальної мережі зарядних станцій для електричних транспортних засобів. Згідно з міжнародними прогнозами, в найближчі роки очікується значне зростання кількості зарядних точок, оскільки численні країни впроваджують національні стратегії щодо розвитку «зелених» інфраструктур і стимулюють перехід на електричний транспорт через фінансові стимули, зокрема субсидії та податкові пільги.

Особливо активне збільшення кількості зарядних станцій спостерігається в Європі, США та Китаї, де уряди та приватний сектор здійснюють значні інвестиції в цю інфраструктуру. Програми підтримки розвитку включають розгортання зарядних станцій на стратегічних локаціях, таких як автозаправні станції, торгові центри, парковки та інші публічні простори.

- Удосконалення технологій швидкої зарядки. Зростання попиту на швидку зарядку сприяє розвитку технологій зарядки, зокрема систем постійного струму

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(DC Fast Charging), що забезпечують ефективну та оперативну зарядку електричних транспортних засобів. Сучасні технології дозволяють заряджати акумулятори до 80% за 20-30 хвилин, що робить їх дедалі більш доступними та поширеними на ринку.

Особливу увагу приділяють впровадженню стандартів зарядки, таких як CCS (Combined Charging System) і CHAdeMO, а також розвитку універсальних роз'ємів, які забезпечують можливість одночасної зарядки електромобілів різних марок і моделей. Зокрема, спостерігається тенденція до зниження часу зарядки завдяки збільшенню потужності зарядних станцій до 350 кВт і більше, що дозволяє здійснювати значно швидшу зарядку сучасних акумуляторів.

- Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії. Розширення мережі зарядних станцій стимулює активне впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни. Інтеграція зарядних станцій з такими технологіями та системами зберігання енергії дозволяє створювати автономні або напівавтономні зарядні пункти, які знижують навантаження на загальну енергетичну інфраструктуру та сприяють зменшенню викидів парникових газів.

На деяких зарядних станціях вже встановлені сонячні панелі, що дозволяє генерувати частину необхідної електричної енергії для зарядки транспортних засобів. Окрім цього, активно розвиваються проекти щодо використання акумуляторних систем для зберігання електричної енергії та її подальшого використання при зарядці автомобілів, що суттєво підвищує ефективність експлуатації зарядних станцій.

На сьогоднішній день, електромобілі поділяють на такі види (рис.1.1) [6]:

- Гібридний автомобіль (HEV – Hybrid Electric Vehicle) працює з паралельним використанням електромотору, який живиться від акумуляторних батарей та бензинового двигуна, що отримує паливо з бензобаку. При цьому, акумулятори не можуть заряджатись від зовнішніх джерел та мають дуже малий запас ходу на електротязі.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- «Plug-in» гібриди (PHEV – Plug-in Electric Vehicle) або приєднувальні гібриди поділяється на наступні типи:

- паралельні (parallel hybrid). Поєднують роботу електричного та бензинового двигуна та допускають можливість підзарядки батарей від мережі, що дозволяє долати значні відстані за допомогою електротяги;

- послідовно-паралельні (power-split hybrids). Приєднувальні гібриди, які можуть працювати або як послідовні, або як паралельні з електромотором у якості основного приводу;

- послідовні (REEV - Range Extended Electric Vehicle). Приєднувальні гібриди з «генератором у багажнику», в яких двигун приводить у дію генератор, що виробляє енергію для АКБ, що живлять електродвигун. АКБ автомобілів такого типу можна заряджати від мережі.

- Електромобілі (BEV – Battery Electric Vehicle) їздять за допомогою електродвигуна, який живиться від енергії акумуляторних батарей, які заряджаються від зовнішніх джерел енергії.

- Електромобілі на паливних елементах (FCEV – Fuel Cells Electric Vehicle) - перетворюють водень в електричну енергію, завдяки якій автомобіль рухається.

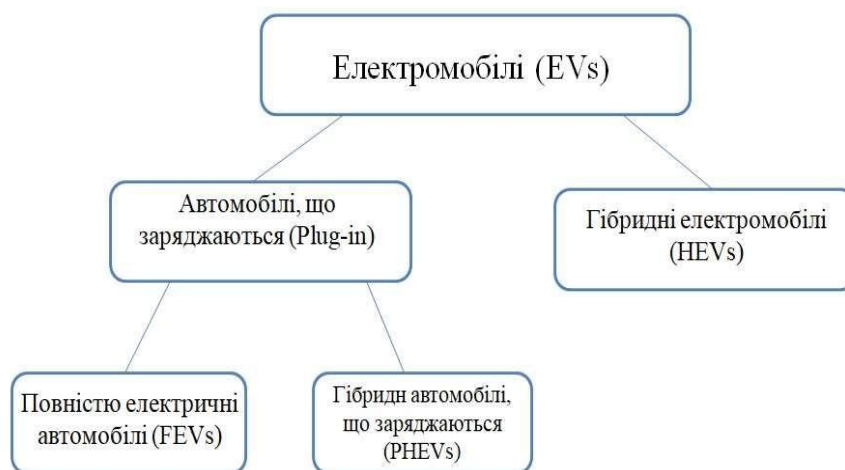


Рисунок 1.1 – Види електромобілів

Переваги електромобілів наступні [7]:

- електродвигун має невелику вагу;

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- довговічність і простота в обслуговуванні;
- екологічність;
- високий ККД;
- підзарядка при зниженні швидкості (рекуперативне гальмування);
- двигун фактично не виробляє звук;
- економічність у використанні;
- обслуговування та огляду вимагає виключно ходова частина;
- у електрокарі немає паливної системи, масла, свічок і безлічі інших

деталей, які присутні в класичних автомобілях і ускладнюють експлуатацію.

В той же час, електромобілі мають деякі суттєві недоліки [7]:

- дорожче автомобілів з ДВЗ;
- менша дальність ходу, ніж у автомобілів з ДВЗ;
- потребують розвинену інфраструктуру зарядних станцій швидкого заряду;
- довгий час зарядки;
- можлива відсутність запчастин через відсутність офіційних

представників популярних моделей на українському ринку.

Темпи продажів електромобілів в усьому світі зростають з кожним роком, і навіть, незважаючи на кризу (рис. 1.2) [1].

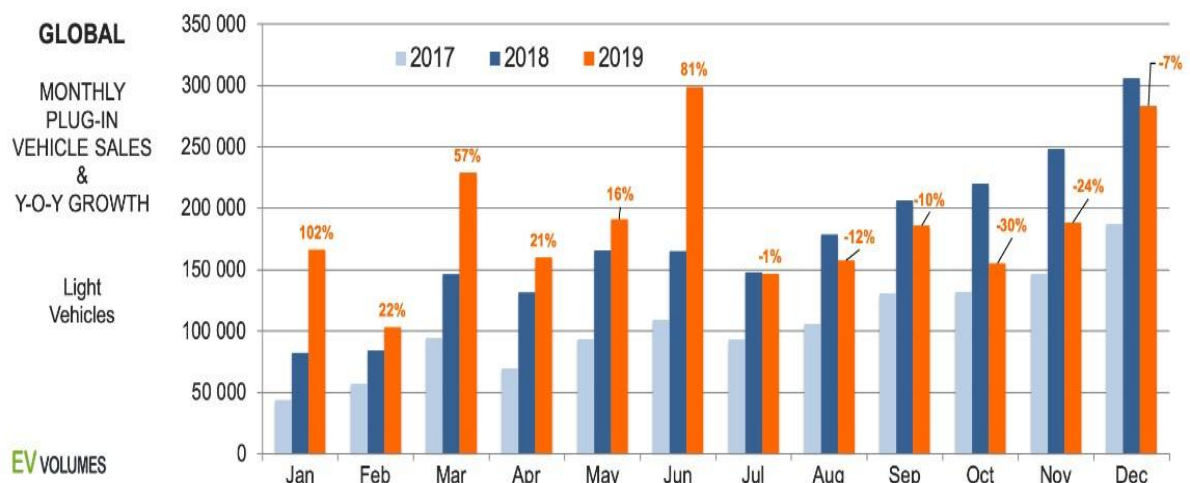


Рисунок 1.2 - Продажі електромобілів у світі щомісяця за 2017-2019 роки
за даними <https://ev-volumes.com> [1]

У глобальному масштабі активно ведеться робота над розробкою уніфікованих стандартів для зарядних станцій з метою спрощення їхнього використання та зниження технічних перешкод для споживачів. На даний момент існують кілька основних стандартів зарядки, таких як Type 2, CCS та CHAdeMO. Однак важливою тенденцією є процес гармонізації та спрощення цих стандартів, що сприяє створенню універсальної зарядної інфраструктури, здатної забезпечити сумісність із усіма типами електричних транспортних засобів.

Розвиток інфраструктури зарядних станцій є вирішальним фактором для поширення електричного транспорту. Ключовими аспектами є зростання інвестицій, удосконалення технологій швидкої зарядки, інтеграція з відновлюваними джерелами енергії та покращення зручності користування через мобільні додатки та смарт-рішення. Ці фактори створюють умови для сталого розвитку електричної мобільності [8].

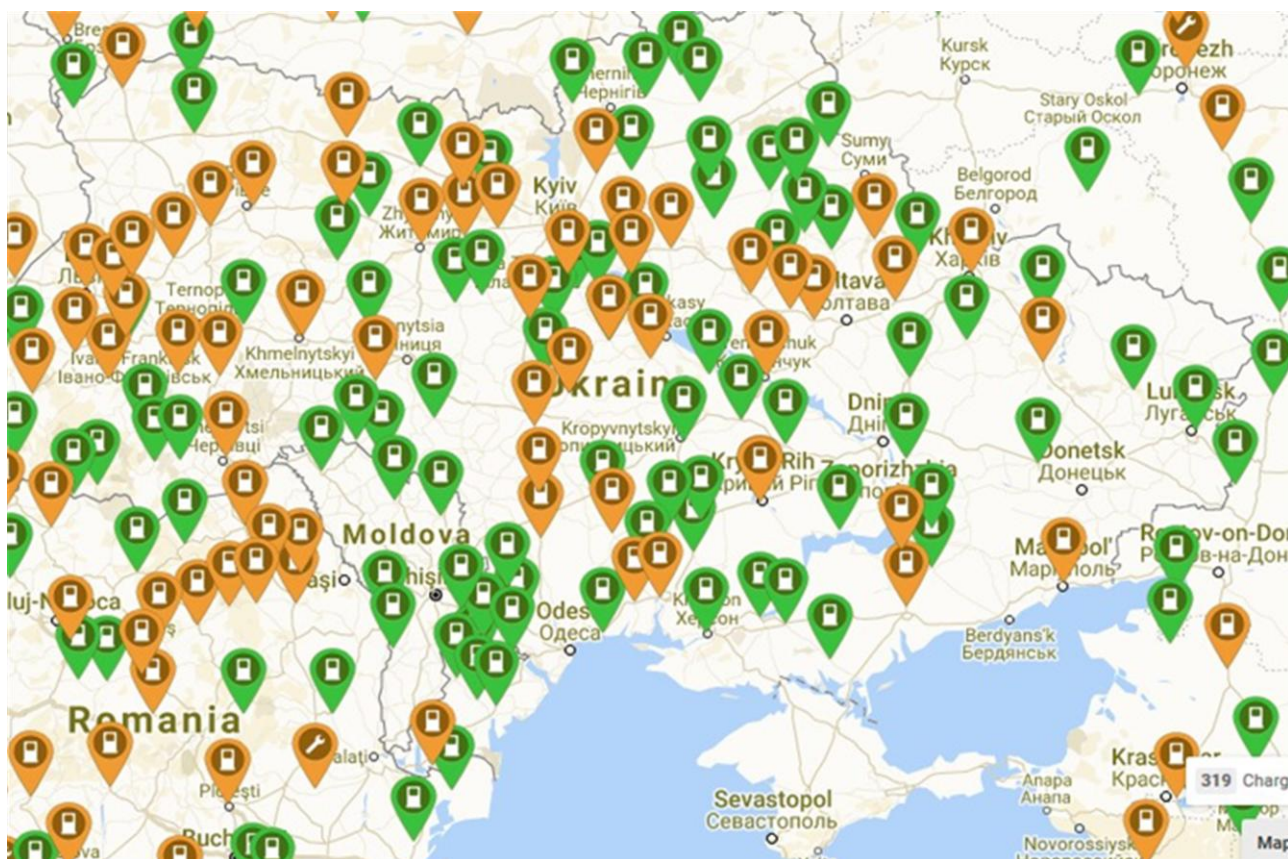
1.2 Технічні характеристики та класифікація зарядних станцій

Зарядні станції — це спеціалізовані установки, що забезпечують підключення електричних транспортних засобів до джерела електричної енергії для поповнення їхніх акумуляторів. Вони виконують функцію посередника між енергетичною мережею та електричними автомобілями, надаючи необхідну напругу та струм для ефективної зарядки батарей. Враховуючи зростаючу кількість електромобілів, потрібно збільшувати кількість зарядних пунктів та зарядних станцій, для підтримки зросту попиту на автомобілі, що живляться за рахунок електрики. Карта зарядних пунктів та станцій України за даними ресурсу plugshare.com на 01.01.2024 р. приведена на рисунку 1.3 [9].

1.2.1 Типи зарядних станцій за струмом

Зарядні станції для електричних транспортних засобів класифікуються за кількома критеріями, зокрема, за потужністю, типом струму, місцем установки та

наявністю додаткових функціональних можливостей. Вибір конкретної зарядної станції визначається технічними вимогами користувача, типом використовуваного електричного транспортного засобу та специфічними умовами експлуатації інфраструктури.



помаранчеві логотипи – зарядний пункт зарядки високої швидкості.

Рисунок 1.3 – Карта зарядних пунктів та станцій України за даними ресурсу plugshare.com.

На сьогоднішній день існують такі типи зарядних станцій за струмом [10]:

- зарядні станції змінного струму (АС). Принцип роботи: Зарядні станції, що використовують АС, є найбільш поширеними для побутового використання та зарядки на низьких потужностях. Потужність таких станцій зазвичай коливається в межах від 1,5 до 22 кВт, що забезпечує повільніший процес зарядки порівняно з високопотужними станціями. Час зарядки може змінюватися від кількох годин до 10...12 годин для повного заряджання акумулятора, залежно від потужності станції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ

Арк.

21

та ємності батареї. Типи роз'ємів, що використовуються для приєднання електромобіля: type 1 (J1772) — стандарт для Північної Америки; type 2 (Mennekes) — стандарт для Європи.

- зарядні станції постійного струму (DC). Принцип роботи: Зарядні станції, що використовують DC, дозволяють значно прискорити процес зарядки акумуляторів електричних автомобілів. Потужність таких станцій варіюється від 50 до 350 кВт і може бути вищою, що дозволяє швидко заряджати великі акумулятори. Процес зарядки до 80% займає від 20 до 30 хвилин, в залежності від потужності станції та ємності акумулятора.

- зарядні станції CCS (Combined Charging System) — поєднує змінний і постійний струм, є найпоширенішим стандартом у Європі та США;

- зарядні станції CHAdeMO — популярний стандарт, що використовується переважно японськими виробниками, такими як Nissan та Mitsubishi.

- Tesla Supercharger — спеціалізований стандарт для автомобілів Tesla.

В основі зарядки електромобіля лежить зв'язка з 4 основних компонентів, що беруть участь у зарядці електромобіля (рис. 1.4) [11]:

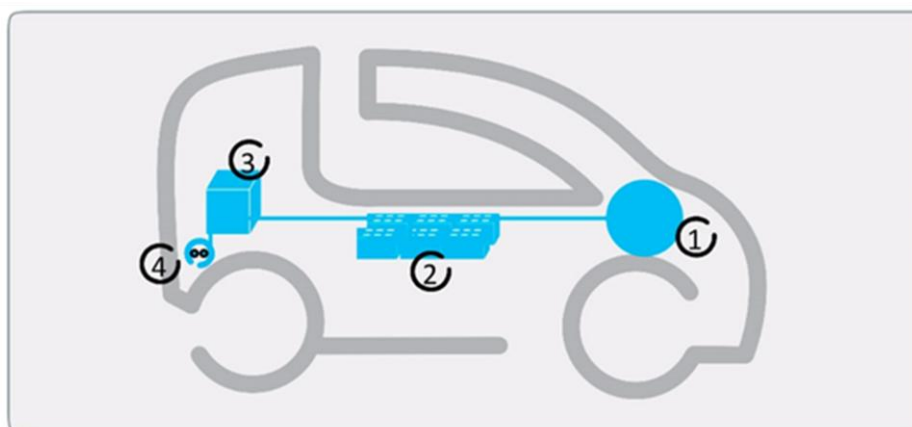


Рисунок 1.4 – Компоненти, що беруть участь у зарядці електромобіля

1. Електродвигун – транспортний засіб, що має один і більше електродвигунів.

2. Акумулятори – вони постачають електродвигун енергією для їх роботи.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

3. Зарядний пристрій – зарядний пристрій в автомобілі, який інвертує змінний струм, що надходить від зовнішньої зарядної станції в постійний струм, який подається для заряджання акумуляторів.

4. Роз'єм для зарядки – виробник комплектує транспортний засіб одним або двома роз'ємами для зарядки від станції змінного струму (AC) та постійного струму (DC).

1.2.2 Режими заряджання електромобілів

Електромобіль можна заряджати чотирма видами подачі енергії, розглянемо які відмінності між цими режимами зарядки (рис. 1.5) [12].

> Режим заряджання визначає рівень захисту



Рисунок 1.5 – Режими заряджання електромобілів

Найпростіший і водночас найнебезпечніший є режим №1 (рис.1.6). У деяких країнах заборонено на законодавчому рівні до використання. Він передбачає пряме підключення кабелю до неспеціалізованої розетки 220В без пристрою контролю заряду електромобіля. При такій зарядці є ризик перегріву кабелю, нестабільної подачі струму у разі перепадів напруги, короткого замикання мережі. Зважаючи на

те, що живлення йде від звичайної розетки, контакти якої розраховані на пропускний струм 16А (3,5 кВт), то у разі заряду електромобіля з ємністю акумулятора 30 – 35 кВт·год зарядка триватиме близько 10...12 годин, що не зовсім зручно.



Рисунок 1.6 – Режими №1 заряджання електромобілів

Режим №2 передбачає підключення так само з неспеціалізованої розетки (220В, 3,5 кВт) кабелю для подачі живлення, але вже з використанням пристрою контролю живлення (рис.1.7). На інвертор електромобіля такий тип підключення прийнятний, але все ж таки не забезпечує максимального захисту джерела живлення (розетки).

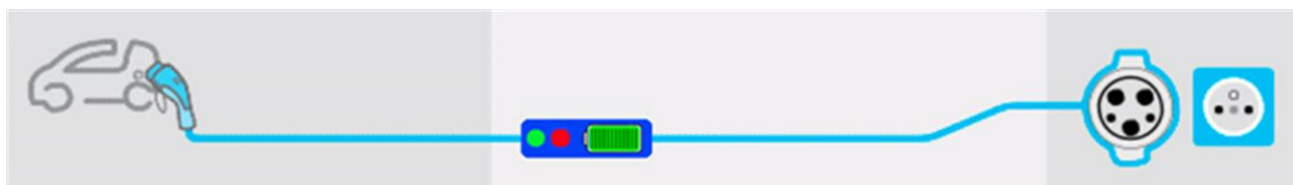


Рисунок 1.7 – Режими №2 заряджання електромобілів

Режим №3 є оптимальним для зарядки електромобіля, оскільки передбачає використання повноцінної зарядної станції зі спеціалізованим гніздом для підключення кабелю або з вбудованим кабелем, прикріпленим до зарядної станції, з вбудованим контролем заряду (рис. 1.8). Така станція бере живлення не з розетки, а з окремої лінії живлення, завдяки чому струм заряду електромобіля значно вищий за режими заряду 1 і 2 описаних вище.

Таке рішення є стаціонарним, станція монтується на стіну або на колону, звідки здійснюється подача енергії на транспортний засіб. Вихідний струм станції може становити від 7,2 до 43 кВт залежно від підключення, від 1-фазної мережі чи 3-фазної мережі. Таким струмом електромобіль може повністю зарядитися від 30

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хвилин до 4 годин залежно від ємності акумулятора та пропускної спроможності інвертора в авто.



Рисунок 1.8 – Режими №3 заряджання електромобілів

Режим №4 застосовується у зарядних станціях, що заряджають постійним струмом (DC), передбачає стаціонарне використання зі спеціалізованим приєднаним кабелем із вбудованим контролем заряду. У такому режимі станція подає постійний струм заряду на пряму в акумулятор електромобіля, минаючи інвертор, завдяки чому час повної зарядки скорочується до 30 хвилин струмом 50 кВт.



Рисунок 1.9 – Режими №4 заряджання електромобілів

1.2.3 Типи роз'ємів у режимах заряду

Залежно від режиму заряду електромобіля, визначаються типи роз'ємів (рис. 1.10), що підключаються до зарядної станції – електромобіль. У цій зв'язці режим №1 відсутній.

Режим №2. У цьому режимі підключення здійснюється таким чином: як джерело живлення виступає звичайна силова розетка (домашня); як споживач (електромобіль/електроскутер) підключаються роз'єми двох видів тип 1 і тип 2.

Режим №3. У даному режимі підключення здійснюється наступним чином: у якості джерела живлення виступає зарядна станція з розеткою тип 2, або приєднаним кабелем з роз'ємом тип 1 або 2. У якості споживача (електромобіль) підключаються роз'єми двох видів тип 1 і тип 2.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Режим №4. У цьому режимі підключення здійснюється таким чином: у якості джерела живлення виступає зарядна станція з приєднаним кабелем типів: тип 2, CHAdeMO, Combo.

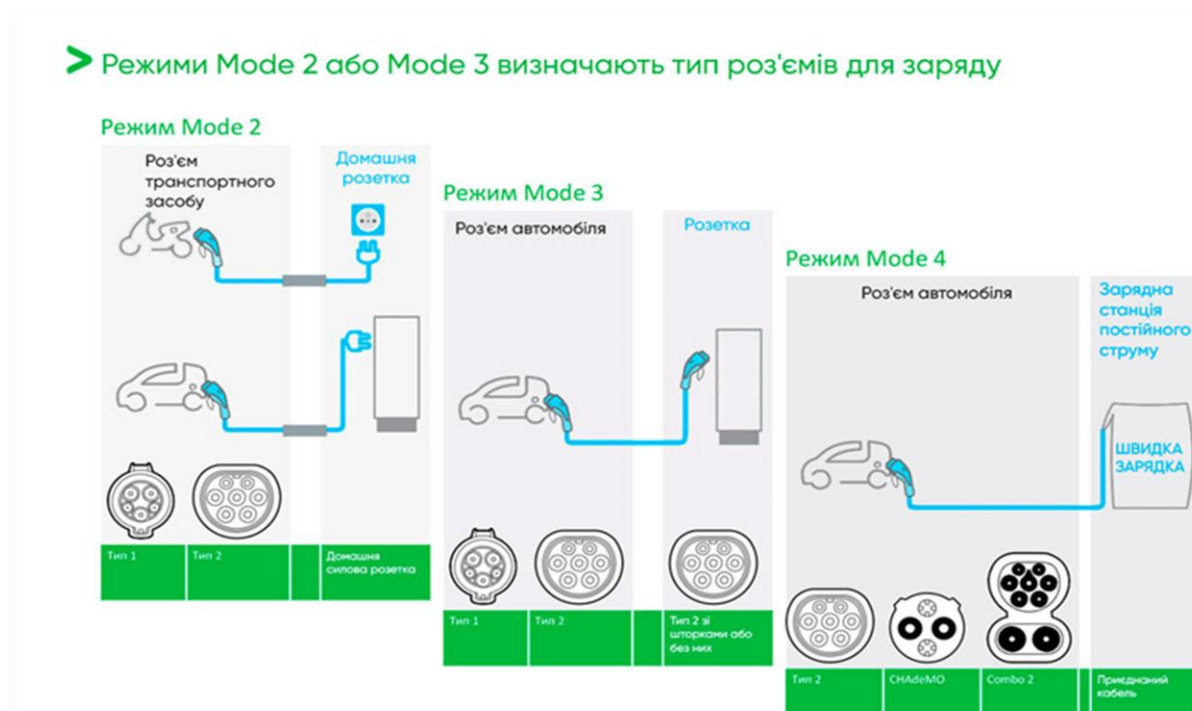


Рисунок 1.10 – Типи роз'ємів у режимах заряду

Зарядні станції для електричних транспортних засобів класифікуються за кількома критеріями, зокрема, за потужністю, типом струму, місцем установки та наявністю додаткових функціональних можливостей. Вибір конкретної зарядної станції визначається технічними вимогами користувача, типом використовуваного електричного транспортного засобу та специфічними умовами експлуатації інфраструктури.

1.3 Гібридна система зарядки електромобілів із застосуванням ВДЕ

Гібридна електростанція на основі ВДЕ – це комбінована система електропостачання, в якій крім сонячних панелей або вітряних турбін електроенергія може постачатися з інших джерел: центральних мереж, бензинових чи дизельних генераторних установок тощо [13,14].

Переваги гібридної системи:

- Екологічність. Застосування ВДЕ допомагає знижувати викиди CO₂ та інші забруднювачі, що сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та кліматичні зміни.
- Енергонезалежність. Власники таких систем мають можливість зменшити залежність від централізованих енергетичних мереж, що є важливим у віддалених або ізольованих районах, а також у періоди енергетичних криз чи перебоїв з постачанням.
- Економічність. Хоча початкові витрати на впровадження гібридної системи можуть бути високими, завдяки використанню ВДЕ з часом можна значно знизити витрати на електрику та паливо для резервних генераторів, що робить систему економічно вигідною в довгостроковій перспективі.
- Зручність. Гібридні зарядні станції можуть функціонувати як в автономному режимі, так і підключатися до енергомереж, що забезпечує безперебійне постачання енергії навіть при неполадках у зовнішній енергосистемі.

1.3.1 Типи гібридних енергетичних систем

Існує багато типів гібридних енергетичних систем, таких як:

Гібридні системи з використанням сонячної енергії та енергетичної мережі: ці системи інтегрують сонячні панелі для генерації електричної енергії з можливістю підключення до загальної енергетичної мережі. Вдень, за наявності сонячної енергії, сонячні панелі забезпечують зарядку акумуляторів електричних транспортних засобів, а коли сонячної енергії недостатньо або вночі, система автоматично переходить на використання енергетичної мережі для доповнення живлення. Така комбінація дозволяє знижувати витрати на електроенергію та мінімізувати екологічний вплив завдяки використанню ВДЕ.

Гібридні системи з вітровими турбінами та резервним живленням: цей тип системи поєднує вітрові турбіни для генерації електричної енергії з резервними джерелами живлення, такими як дизельні або газові генератори. Вітрові турбіни виробляють електрику за наявності вітру, а у разі його відсутності система

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматично переключається на генератори або енергетичну мережу. Це забезпечує безперервне енергопостачання навіть за несприятливих погодних умов.

Гібридні системи з сонячними панелями та акумуляторами: у таких системах сонячні панелі генерують енергію, що зберігається в акумуляторах для подальшого використання при зарядці електромобілів. Коли виробленої сонячної енергії недостатньо, система може підключатися до енергетичної мережі або використовувати додаткові резервні джерела живлення. Цей підхід дозволяє зберігати надлишкову енергію для використання під час відсутності сонячного світла або в періоди пікових навантажень.

Гібридні системи з використанням традиційних джерел енергії та відновлювальних ресурсів: ці системи поєднують традиційні енергетичні джерела, такі як газові або дизельні генератори, з ВДЕ, такими як сонячні панелі або вітрові турбіни. Вони можуть використовуватися в місцях, де відсутній доступ до централізованої енергомережі, або в ізольованих регіонах, де поєднання кількох джерел енергії забезпечує стабільне та економічно ефективне постачання енергії для зарядки.

Гібридні станції з ВДЕ та інтеграцією в мережу зберігання енергії: в таких системах ВДЕ (сонячні панелі, вітрові турбіни тощо) комбінуються з системами зберігання енергії, такими як акумулятори або енергосховища. Це дозволяє не тільки генерувати енергію для зарядки, а й зберігати її для подальшого використання або продажу в енергомережу, створюючи додаткові економічні переваги для власників станцій.

Важливо, щоб гібридні системи відновлюваної енергії були економічно ефективними та досягали високої надійності для задоволення вимог щодо навантаження. Отже, розробка гібридної енергетичної системи на основі ВДЕ повинна виконувати різні обмеження. Ці обмеження можна розділити на дві категорії: перша категорія є технічною та охоплює доступність джерел енергії, компоненти генерації, стан заряду акумуляторних систем і розташування електричного навантаження. Друга категорія є економічною, включаючи надійність, гнучкість, ефективність і вартість.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб досягти безперебійного заряджання та мінімізувати витрати на заряджання, пропонується стратегія заряджання, яка визначає пріоритет використання джерел енергії. Виходячи з цього, сонячна енергія (PV) та енергія вітру (BES) використовуються як пріоритет. Та тільки після цього використовується набір дизель-генераторів (DG), коли всі джерела енергії недоступні. Ця стратегія базується на вартості електроенергії за кВт/год. В такій гібридній зарядній станції використовується гібридний контролер, який в змозі впоратися не тільки з рівною напругою, а й з «плаваючою» при цьому не змінює стабільності виконання операцій.

1.3.2 Методологія визначення розмірів гібридної зарядної станції для електромобілів

Методологія визначення розмірів гібридної зарядної станції для електромобілів включає наступну процедуру:

- аспекти конструкції зарядної станції;
- вибір місця установки;
- опис сонячного опромінення місця установки;
- опис компонентів системи.

Розрахунок виробництва енергії обраною системою (визначення максимальної кількості сонячних панелей для оптимізації виробництва електроенергії всієї системи, підбір потужності дизель-генератора тощо).

Оптимізація гібридної енергетичної системи (оптимізація зарядної станції та розрахунок загальної вартості) [13].

Після визначення необхідних припущень, слід визначити місце встановлення зарядної станції. Вирішальні моменти, які необхідно взяти до уваги для місця установки, можна навести як:

- станція має бути легкодоступною;
- станція повинна бути віддаленою або за межами міста з метою максимального використання сонячної енергії;

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- станція повинна дивитися на південь, щоб забезпечити максимальну сонячну енергію;
- потенціал сонячної енергії на ділянці повинен бути досяжним.

Важливим параметром є кількість ЕМ, які заряджаються на АЗСЕМ за один раз. Оскільки зарядна ємність і тип розетки відрізняються від одного транспортного засобу до іншого, це необхідно описати для кожного ЕМ. Наприклад, Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Tesla Model S найпопулярніші електромобілі 2022 року згідно даних Інституту досліджень авторинку (рис. 1.11). Серед цих трьох моделей Tesla Model S має найвищу ємність акумулятора – 100 кВт·год в максимальній комплектації. Але оскільки Nissan Leaf має значний відрив від Tesla, то за основну модель ЕМ в Україні буде взято саме її. Ємність акумулятора Nissan Leaf складає 40 кВт·год починаючи з 2017 року. Таким чином, перше припущення полягає в тому, що один Nissan Leaf буде повністю заряджатися за 1 годину на зарядній станції. Це означає, що зарядна станція повинна виробляти не менше 40 кВт·год енергії на годину.

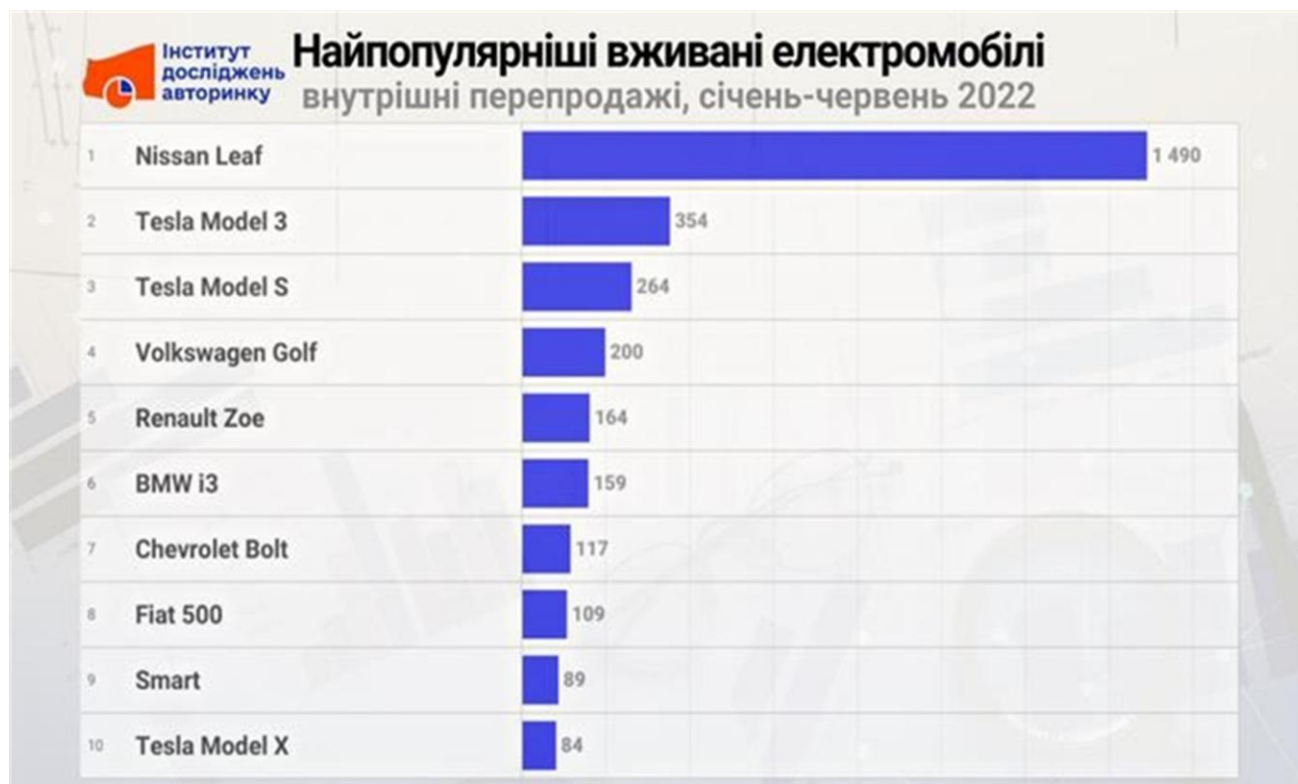


Рисунок 1.11 - Найпопулярніші вживані електромобілі за період січень-червень 2022 року (згідно внутрішнім перепродажам)

Відповідно до ретельного огляду літератури, робота в галузі зарядних станцій на основі ВДЕ в першу чергу зосереджена на оптимізації різних аспектів заряджання, таких як розмір ВДЕ, розмір накопичувача, режим руху транспортного засобу, час заряджання, заряджання вартість, планування зарядки тощо.

1.4 Висновки до розділу 1

На основі ретельного огляду світових тенденцій у розвитку інфраструктури зарядних станцій для електромобілів можна зробити наступні висновки:

- подальший розвиток зарядної інфраструктури є критично важливим чинником для забезпечення ефективного переходу до електричної мобільності, який сприяє скороченню викидів парникових газів та підтримує впровадження сталих енергетичних технологій, що є необхідними для розвитку екологічно чистої та енергоефективної транспортної системи;

- для використання переваг електромобілів у справжньому сенсі, необхідно розробити максимально екологічну систему заряджання, в якій енергія частково або повністю виробляється ВДЕ, таких як сонячні фотоелектричні панелі, вітер або гідроенергія;

- з метою досягнення безперебійного заряджання та мінімізації витрат на заряджання електромобіля, пропонується стратегія заряджання, яка визначає пріоритет використання джерел енергії;

- розробка зарядних станцій на основі ВДЕ в першу чергу направлена на оптимізації різних аспектів заряджання, таких як розмір ВДЕ, розмір накопичувача, режим руху транспортного засобу, час заряджання, вартість заряджання, планування зарядки тощо.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

2.1 Актуальність застосування вітрової енергії для енергозабезпечення зарядних станцій

Актуальність використання вітрової енергії для енергозабезпечення зарядних станцій обумовлена сучасними глобальними викликами, серед яких — зростаюча потреба у застосуванні екологічно чистих джерел енергії та розвиток інфраструктури для електричних транспортних засобів. Це питання набуває особливої важливості в рамках концепції сталого розвитку, зокрема у контексті забезпечення енергетичної стійкості та реалізації стратегій декарбонізації транспорту, що є важливими складовими загальної політики зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та адаптації енергетичних систем до викликів зміни клімату [15].

Екологічні переваги. Вітрова енергія є одним із найефективніших і найбільш екологічно чистих джерел енергії, оскільки її експлуатація не супроводжується викидами вуглекислого газу або інших забруднювальних компонентів у атмосферу. Використання вітрових електричних станцій для забезпечення енергоспоживання зарядних станцій дозволяє зменшити залежність від викопних енергоресурсів, що сприяє зниженню вуглецевого сліду та покращенню екологічної ситуації в глобальному масштабі.

Сумісність з електричним транспортом. З огляду на зростаючий попит на ЕТЗ, потреба у відповідній інфраструктурі для їх зарядки також невідпинно зростає. Вітрова енергія може бути ефективно інтегрована в енергозабезпечення зарядних станцій, забезпечуючи їх стабільну та безперервну роботу завдяки використанню ВДЕ. Це дозволяє не тільки знизити витрати на енергоспоживання через більш дешеву вітрову енергію, але й підвищити екологічність процесу заряджання, зменшуючи його вплив на навколишнє середовище.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Енергетична автономність та стійкість. Вітрові енергетичні установки здатні забезпечити зарядні станції електричною енергією в географічно віддалених або важкодоступних регіонах, де підключення до централізованої енергомережі є економічно неефективним або технічно складним. Це особливо актуально для розвитку зарядної інфраструктури в сільських місцевостях або на міжміських автотрасах, що дозволяє забезпечити енергетичну незалежність та стійкість таких об'єктів.

Економічні переваги. Інвестиції в будівництво вітрових електростанцій для забезпечення енергопостачання зарядних станцій можуть забезпечити значну економічну вигоду в довгостроковій перспективі. Вітрові установки вимагають лише початкових капіталовкладень, після чого використання безкоштовної вітрової енергії дозволяє суттєво знизити витрати на електричну енергію в процесі експлуатації зарядних станцій. Така модель стає особливо вигідною в умовах зростання вартості енергії, отриманої з традиційних джерел, що значно підвищує економічну ефективність таких інвестицій.

Синергія з іншими ВДЕ. Вітрова енергія може бути ефективно інтегрована з іншими відновлювальними джерелами, такими як сонячна енергія, що забезпечує стабільність енергопостачання протягом доби. Внаслідок різної динаміки цих джерел (наприклад, вітрова енергія може бути доступна в нічний час або в періоди низької сонячної активності, тоді як сонячна енергія генерується вдень) їх взаємодоповнюючий характер дозволяє гарантувати безперервне і надійне постачання енергії для зарядних станцій.

Отже, інтеграція вітрової енергії в енергетичну інфраструктуру зарядних станцій є перспективною стратегією, що забезпечує значні екологічні, економічні та соціальні переваги. Це є важливим кроком у напрямку сталого розвитку енергетичних і транспортних систем, відповідаючи на сучасні виклики щодо зменшення викидів CO₂ та переходу до використання чистих і відновлювальних джерел енергії.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Характеристики вітрової енергії та її вплив на ефективність роботи установок

Вітроенергетика – одна з найбільш швидко зростаючих технологій відновлюваної енергії. Її використання зростає у всьому світі, частково через зниження витрат.

Глобальна встановлена потужність виробництва вітру на суші та на березі моря зросла майже в 75 разів за останні два десятиліття, піднявшись з 7,5 гігават (ГВт) у 1997 році до 564 ГВт до 2018 року, згідно з останніми даними IRENA. Виробництво вітрової електроенергії вдвічі збільшилося між 2009 та 2013 роками, а в 2016 році вітроенергія становила 16% електроенергії, виробленої ВДЕ [16].

Таблиця 1.1 – Динаміка основних параметрів ВЕУ

Параметр/Рік	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2007
Номінальна потужність, кВт	30	80	250	600	1500	5000	7000
Діаметр ротора, м	15	20	30	46	70	115	164
Висота мачини, м	30	40	50	78	100	120	135
Річне виробництво електроенергії, ГВт·год	0,35	0,95	0,40	1,25	3,5	17,0	24,1

Характеристики вітрової енергії та її вплив на ефективність роботи ВЕУ [17]:

Швидкість вітру. Для ефективної генерації електричної енергії вітрові турбіни потребують досягнення певної мінімальної швидкості вітру. Для більшості комерційних вітрових установок оптимальний діапазон швидкості вітру становить 12...14 м/с. При цьому, на швидкостях менших за 3...4 м/с генерація енергії значно зменшується, а при надмірно високих швидкостях, понад 25 м/с, турбіни зазвичай автоматично зупиняються з метою уникнення механічних пошкоджень.

Напрямок і стабільність вітру. Вітрові турбіни найбільш ефективно працюють при постійних вітрових потоках одного напрямку. У районах з високою

варіативністю напрямку вітру ефективність генерації енергії може значно знижуватись. Для досягнення максимальної продуктивності турбіни необхідно орієнтуватися на стабільний напрямок вітру, що вимагає наявності систем управління як нахилом лопатей, так і напрямком обертання турбіни.

Густина повітря. Ефективність роботи вітрових установок залежить від густини повітря, яка зменшується з підвищенням температури та зниженням атмосферного тиску. Густина повітря безпосередньо впливає на кількість енергії, яку можна витягти з вітрового потоку: чим більша густина, тим більше енергії можна отримати. Зі збільшенням висоти над рівнем моря густина повітря зменшується, що може призводити до зниження ефективності енергогенерації.

Висота установки. Встановлення вітрових турбін на більших висотах дозволяє збільшити ефективність їх роботи, оскільки на таких рівнях вітрові потоки, як правило, стабільніші та мають більшу швидкість. Це зумовлено тим, що на рівні землі вітер часто уповільнюється через тертя з поверхнею.

Відносна вологість повітря. Висока вологість повітря може також впливати на ефективність вітрових турбін, оскільки з підвищенням вологості зменшується щільність повітря, що, в свою чергу, знижує кількість енергії, яку можна видобути з вітру. Проте цей фактор має менш значущий вплив на ефективність роботи турбін порівняно з іншими фізичними параметрами, такими як швидкість вітру або густина повітря.

Ефективність роботи вітрових турбін безпосередньо залежить від попередньо зазначених характеристик. Зокрема, якщо швидкість вітрового потоку не досягає мінімального порогу для запуску турбіни, генерація електричної енергії буде обмеженою або взагалі відсутньою. З іншого боку, при перевищенні максимального безпечного порогу швидкості вітру може відбутися автоматичне вимкнення турбіни з метою запобігання її пошкодженню.

Одним із основних показників ефективності вітрових установок є ККД, який відображає співвідношення між фактично отриманою енергією та максимально можливою енергією, що може бути витягнута з вітрового потоку. В середньому,

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ККД сучасних вітрових турбін складає 40...50% за оптимальних умов, але цей показник може варіюватися в залежності від географічного розташування, швидкості вітру, конструктивних характеристик турбіни та інших змінних факторів.

Для підвищення ефективності роботи вітрових установок використовуються різні технологічні підходи, серед яких [18]:

- Інтелектуальні системи управління. Сучасні вітрові турбіни оснащуються автоматизованими системами, які забезпечують коригування положення лопатей і напрямку їх обертання залежно від швидкості та напрямку вітру, що дозволяє підвищити загальну ефективність роботи.

- Використання багатопотокових турбін. У районах з низькими або змінними швидкостями вітру застосовуються багатопотокові турбіни, які здатні більш ефективно використовувати енергію навіть при менших швидкостях вітру.

- Інтеграція з іншими ВДЕ. Для забезпечення стабільного енергопостачання вітрові турбіни часто комбінуються з іншими відновлювальними джерелами, такими як сонячні панелі, що дозволяє зменшити залежність від варіативності вітрової активності, використовуючи енергію сонця для компенсації періодів низької вітрової активності.

Таким чином, ефективність роботи вітрових установок є результатом складної взаємодії фізичних і технічних факторів. Для досягнення оптимальних результатів важливо враховувати ці умови на всіх етапах проєктування та експлуатації вітрових електростанцій.

2.3 Розрахунок енергетичних ресурсів, необхідних для забезпечення роботи зарядної станції

Для точної оцінки енергетичних ресурсів, необхідних для забезпечення безперебійної роботи зарядної станції для ЕМ, слід врахувати кілька ключових параметрів. Серед них — середнє енергоспоживання на зарядку одного транспортного засобу, кількість одночасно підключених автомобілів та середній

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час зарядки. Загальний обсяг споживаної енергії буде залежати від цих змінних факторів, а також від енергетичних характеристик конкретної зарядної станції [19].

1. Оцінка енергоспоживання на зарядку одного ЕМ. Для здійснення розрахунку енергетичних ресурсів необхідно визначити обсяг енергії, що споживається при зарядці одного ЕМ, який визначається за формулою:

$$E_{EM} = P \cdot t. \quad (2.1)$$

Наприклад, якщо зарядна станція має потужність 22 кВт, а час зарядки для повного поповнення батареї автомобіля становить 6 годин, то енергія, необхідна для зарядки одного автомобіля, буде:

$$E_{EM} = 22 \cdot 6 = 132 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

2. Оцінка кількості одночасно підключених ЕТЗ. Залежно від інтенсивності потоку клієнтів та кількості зарядних точок на станції, необхідно здійснити розрахунок кількості транспортних засобів, які можуть бути підключені одночасно. Наприклад, якщо на станції є 5 зарядних точок, і на кожній з них одночасно заряджаються 2 автомобілі, то загальна кількість підключених транспортних засобів становитиме:

$$N_{EM} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ автомобілів.}$$

3. Оцінка загальної енергії, необхідної для функціонування станції. На наступному етапі здійснюється розрахунок загального обсягу енергії, яка потрібна для зарядки всіх одночасно підключених транспортних засобів. Для цього необхідно помножити енергоспоживання на зарядку одного автомобіля на кількість транспортних засобів, підключених до станції одночасно:

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{ЕМ}} \cdot N. \quad (2.2)$$

Наприклад, для 10 автомобілів, де кожен споживає 132 кВт·год:

$$E_{\text{заг}} = 132 \cdot 10 = 1320 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

4. Оцінка енергетичних ресурсів для добового та місячного споживання.
Для визначення загального обсягу енергії, що буде спожита зарядною станцією протягом доби або місяця, необхідно помножити добове чи місячне енергоспоживання на відповідну кількість днів або місяців:

- добове споживання:

$$E_{\text{доб}} = E_{\text{заг}} \cdot T_{\text{доб. роб.}}, \quad (2.3)$$

де $T_{\text{доб. роб.}}$ - кількість годин роботи станції на добу (наприклад, 24 год.), год.

Для нашого прикладу:

$$E_{\text{доб}} = 1320 \cdot 24 = 31680 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- місячне споживання:

$$E_{\text{міс}} = E_{\text{доб}} \cdot T_{\text{міс. роб.}}, \quad (2.4)$$

де $T_{\text{міс. роб.}}$ - кількість днів у місяці (наприклад, 30 днів).

Для нашого прикладу:

$$E_{\text{міс}} = 31680 \cdot 30 = 950400 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Урахування енергетичних ресурсів для покриття пікових навантажень. Для забезпечення стабільної роботи зарядної станції під час пікових навантажень необхідно передбачити можливість збільшення споживаної потужності. Це може вимагати залучення додаткових енергетичних ресурсів або наявності резервних джерел енергії, таких як АКБ або підключення до додаткових енергетичних мереж.

Розрахунок енергетичних ресурсів для зарядної станції є критично важливим етапом у процесі її планування та експлуатації. Оцінка споживаної енергії на зарядку одного ЕТЗ, кількості одночасно підключених ЕМ та врахування пікових навантажень дозволяють здійснити більш точну оцінку потреб у енергетичних ресурсах. Такий підхід дає змогу ефективно оптимізувати розподіл енергії, забезпечуючи стабільне та безперебійне постачання енергії для зарядки ЕТЗ[20].

2.4 Висновки до розділу 2

- визначена актуальність і переваги використання вітрової енергії для енергозабезпечення зарядних станцій для ЕТЗ (екологічні переваги, сумісність з ЕТЗ, енергетична автономність та стійкість, економічні переваги, синергія з іншими ВДЕ);

- виконаний аналіз характеристик вітрової енергії та її вплив на ефективність роботи ВЕУ, а саме: вплив швидкості вітру, напрямок і стабільність вітру, густини повітря, висоти вітроустановки та відносної вологості повітря;

- отримані математичні моделі для визначення енергоспоживання на зарядку одного і декількох ЕТЗ; загальної енергії, необхідної для функціонування станції; оцінки енергетичних ресурсів для добового та місячного споживання електроенергії станцією.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАРЯДУ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

3.1 Огляд методів моделювання СЕС для забезпечення енергією зарядних станцій ЕМ

Моделювання СЕС для АЗСЕМ є однією з основних та критично важливих складових процесу проектування та оптимізації інфраструктури, спрямованої на забезпечення ефективного та стійкого енергопостачання. Даний процес дає змогу здійснити глибокий аналіз і оцінку ефективності інтеграції сонячної енергії в систему живлення, що включає визначення оптимальних параметрів технічних компонентів, таких як розміри ФЕП, ємність АКБ, а також характеристики інверторів та інших енергетичних пристроїв [21,22].

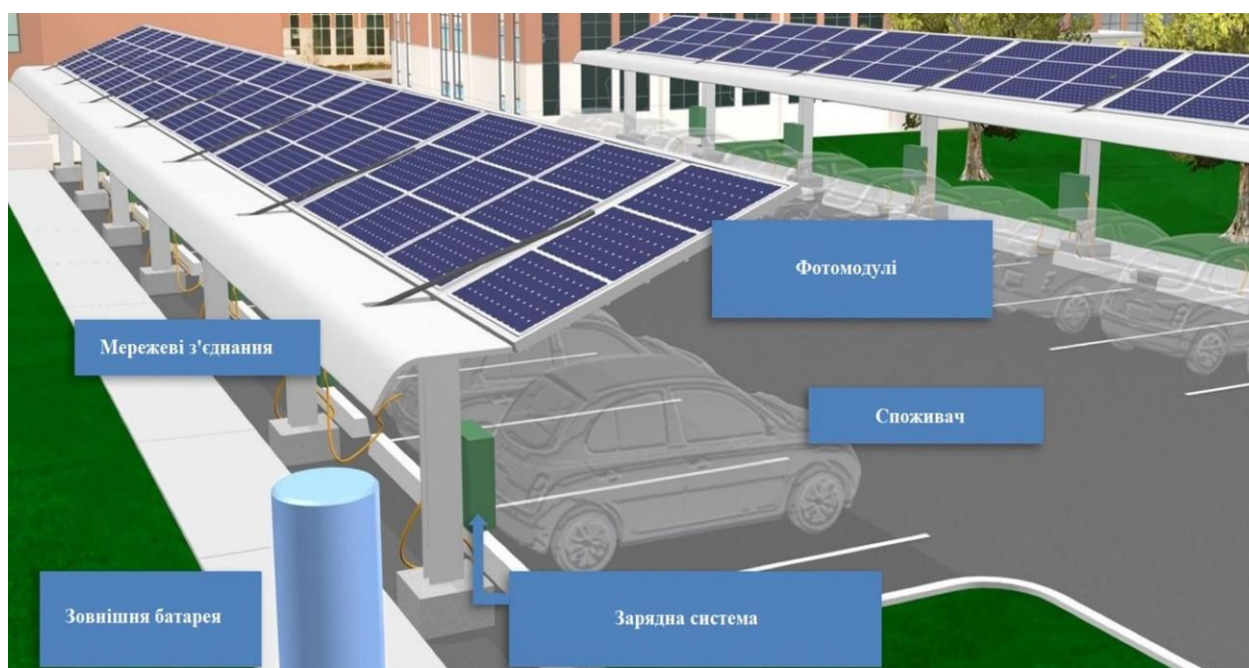


Рисунок 3.1 - Приклад типової АЗСЕМ на основі СЕС

Технічне моделювання таких систем сприяє визначенню найбільш ефективних шляхів балансування між виробництвом енергії, її накопиченням та споживанням, а також дозволяє оптимізувати експлуатаційні параметри для

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягнення максимальної енергоефективності та економічної вигоди в довгостроковій перспективі.

- Моделювання виробництва енергії СЕС. У рамках цього етапу визначається кількість енергії, яку можуть виробляти ФЕП в різних умовах. Моделювання зазвичай базується на метеорологічних даних, таких як інсоляція (світлова потужність сонячного випромінювання на одиницю площі), температурні режими та сезонні варіації.

- Інтеграція акумуляторних систем із СЕС. Акумуляторні системи виконують критично важливу функцію в забезпеченні стабільності енергопостачання, особливо в періоди, коли сонячна інсоляція низька або відсутня, таких як нічний час. Моделювання СЕС, що включають АКБ, дає змогу оцінити їх завантаження, процеси заряджання та розряджання, а також передбачити відновлення енергетичних резервів. Такий підхід дозволяє оптимізувати ці цикли з урахуванням найбільш ефективних часових періодів для заряджання і розряджання АКБ.

- Економічна оцінка проєкту. Моделювання СЕС для АЗСЕМ також передбачає проведення фінансового аналізу, що дає змогу оцінити економічну вигідність та ефективність впровадження таких технологій. Це включає в себе оцінку вартості встановлення основних компонентів системи, таких як фотогальванічні панелі, АКБ, інвертори та інше обладнання, а також витрат на їхню експлуатацію і обслуговування. Оцінка економічної ефективності таких проєктів здійснюється за допомогою ключових фінансових показників, таких як чиста теперішня вартість (NPV), внутрішня норма доходності (IRR) та період повернення інвестицій (payback period), що дозволяє точно визначити рентабельність проєкту.

- Сценарії та прогнози. Для більш точного прогнозування майбутніх обсягів виробництва і споживання енергії використовуються різноманітні сценарії, що враховують можливі зміни в попиті на електричні транспортні засоби, коливання цін на енергоносії, а також можливі зміни в законодавчій базі, що регулює використання ВДЕ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для збільшення використання ЕМ [23] у віддалених місцях та мінімізувати його навантаження на мережу в міських районах, станція зарядки поза мережею (рис. 3.2) відіграє значну роль. Серед усіх ВДЕ, ФЕМ є найкращим чистим джерелом енергії завдяки достатку та простому монтажу. Однак, енергія ФЕМ коливається через зміну опромінення, і вона не може генерувати постійну енергію.

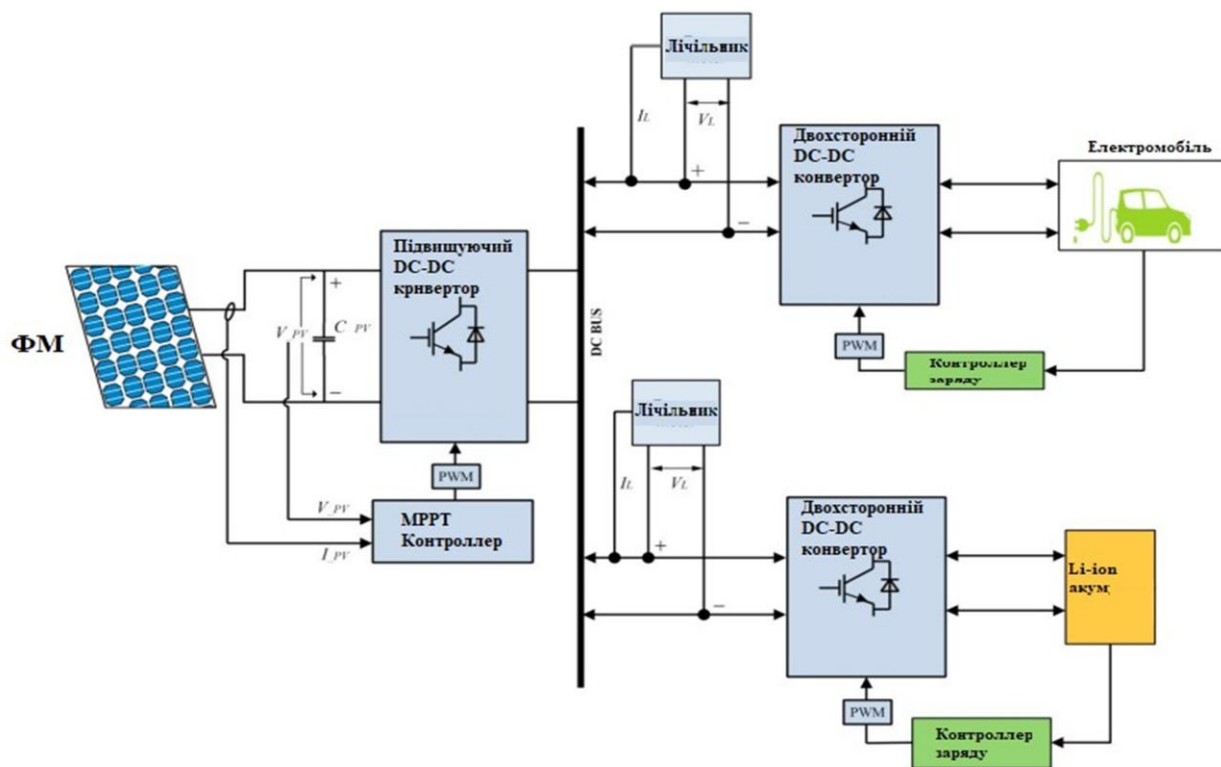


Рисунок 3.2 - Приклад блок - схеми фотоелектричної зарядної станції з незалежним живленням

Тому, необхідний пристрій для зберігання енергії, щоб задовольнити потребу в енергії та покращити його стійкість станції зарядки. Тим самим була запропонована система, що складається з системи накопичення енергії разом із джерелом ФЕМ та зарядним пристроєм ЕМ. Запропонована система включає ФЕМ-масив з перетворювачем підсилення, два двонаправлені перетворювачі та АКБ. Двонаправлені перетворювачі використовувались для зарядки / вивантаження електромережі та АКБ. Енергія, що отримана від ФЕМ недостатня для задоволення попиту під час відсутності або зменшення сонячного світла, таким чином

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

аккумуляційна система може задовольнити необхідний попит. З іншого боку, коли генерація перевищує попит, аккумуляційна система використовує надлишкову чисту енергію, щоб зробити запропоновану систему стабільною. Це дозволяє отримати надійну станцію зарядки яка буде не залежна від мережі. Такий варіант більш підходить для станцій розташованих на околицях та за межами міст.

Розумна зарядка [24] постійного струму заснована на прямій зарядці постійним струмом, в якій ЕМ може бути заряджений як від ФЕМ так і від мережі (рис. 3.3). Система на основі шини постійного струму має низку переваг порівняно з системою змінного струму, зокрема завдяки меншим етапам перетворення енергії, що призводить до зменшення втрат та зниження витрат на обладнання. Представлена АЗСЕМ, яка може працювати на постійному струмі, забезпечує ефективну та швидку підзарядку ЕМ. Також, зарядна станція, що використовує енергію джерела ФЕМ, дозволяє здійснювати економічну зарядку.

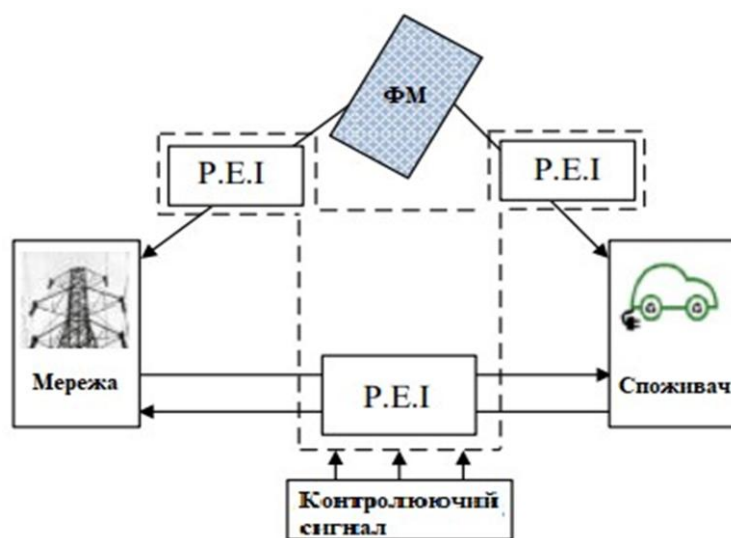


Рисунок 3.3 - Принципова схема фотоелектричної зарядної станції з підключенням до мережі

Зарядна станція передбачає залучення водія ЕМ до ринку електроенергії шляхом продажу надлишкової енергії, що зберігається в АКБ, до мережі. Ідея використання ЕМ як джерела живлення може суттєво сприяти забезпеченню середнього рівня потужності станції та стимулювати попит завдяки економічно

вигідній ціні на електроенергію. Це вважається перспективною концепцією для вирішення проблеми переривчастості та коливань енергії від ВДЕ. Структурна блок-схема такої системи наведена на рисунку 3.4.

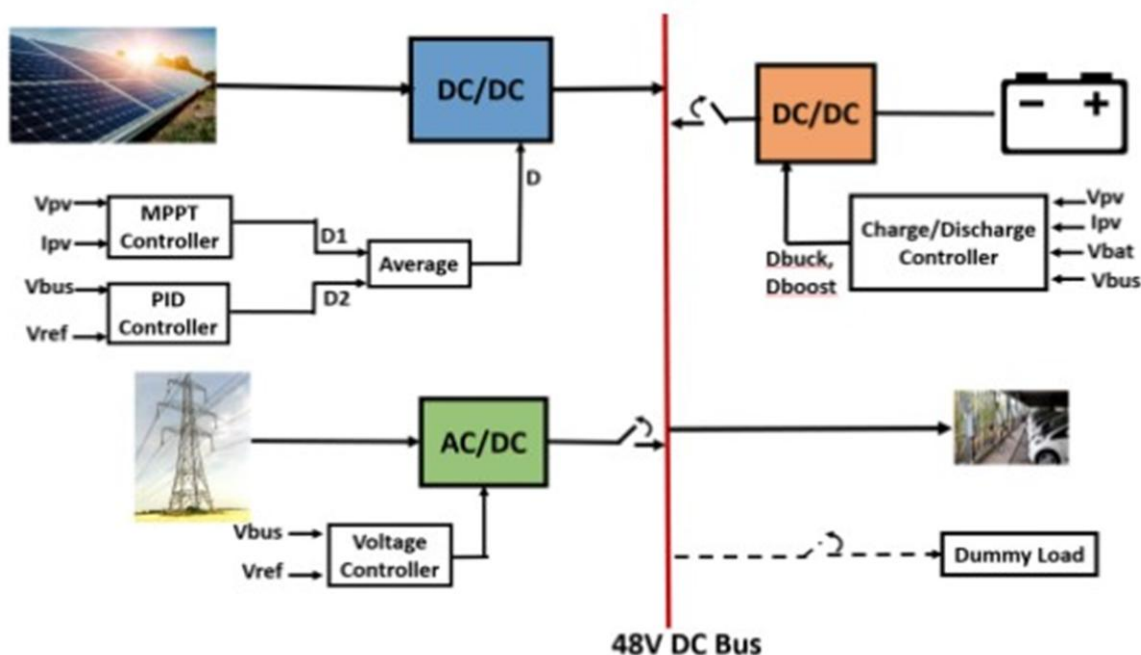


Рисунок 3.4 - Приклад блок-схеми фотоелектричної зарядної станції підключеної до мережі

Практична стратегія управління станцією зарядки ЕМ включає фотоелектричний масив, електромережу та емулятор літієво-акумуляторних батарей. Однак жоден з цих елементів не гарантує ефективного управління навантаженням зарядних пристроїв у багаторежимних умовах. Представлена зарядна станція спроектована для роботи в трьох різних режимах, зокрема для режиму «автомобіль-мережа», що передбачає плавний перехід від зарядки до розрядки ЕМ при виведенні енергії в мережу.

3.2 Теоретичні основи функціонування ФЕС

ФЕП, або сонячні панелі, перетворюють сонячну енергію на електричну. Кількість виробленої електроенергії безпосередньо залежить від інтенсивності

сонячного світла, що потрапляє на панелі. Тому важливо забезпечити відсутність затінення та забруднення на їх поверхні, оскільки навіть невелике затінення може істотно знизити ефективність їх роботи [25].

Потрібно сказати, що ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик напівпровідникових елементів, оптичних властивостей перетворювача, серед яких найважливішим є фотопровідність. Коротко принцип роботи ФЕП можна пояснити на прикладі перетворювачів з р-п-переходом, найбільш поширених у сонячній енергетиці. Нагадаємо, що р-п-перехід, або електронно-дірковий перехід - це область напівпровідника, в якій має місце просторова зміна типу провідності від електронної n до діркової p. Під час опромінення модуля сонячним світлом біля кордону n- і p-шарів в результаті «перетікання» зарядів утворюються об'єднані зони з некомпенсованим об'ємним позитивним зарядом в n-шарі і об'ємним негативним зарядом у p-шарі. Таким чином, на цьому переході виникає бар'єр (різниця потенціалів). Саме завдяки цій особливості р-п-переходу пояснюється факт виникнення фото-електрорухомої сили при опроміненні перетворювача сонячним світлом.

Основою роботи ФЕП є фотоелектричний ефект, при якому сонячне випромінювання, що потрапляє на напівпровідникові матеріали (зазвичай кремній), вивільняє електрони з атомів цих матеріалів. Коли фотон сонячного світла має достатню енергію для подолання енергетичного бар'єру матеріалу, він передає свою енергію електрону, що призводить до його вивільнення, викликаючи таким чином утворення електричного струму.

В Україні на початок 2021 року було встановлено 873 МВт ФЕС, при цьому 779 МВт або 11 % цієї потужності склалися з приватних домашніх ФЕС потужністю до 30 кВт. Це відповідає 20-му місцю в загальносвітовому рейтингу країн за обсягом фотоенергетики. Динаміка зростання світової кумулятивної потужності ФЕС приведена на рисунку 3.5 [26].

До систем сонячної енергії належать ФЕМ, інвертори, установчі стелажі та АКБ. У виробництві ФЕМ використовуються різні технології та хімічні елементи,

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що обумовлює різну ефективність перетворення сонячної енергії в електрику [27]. ФЕМ першого покоління були виготовлені з монокристалічного та полікристалічного кремнію, другого покоління – із тонкоплівкових фотоелементів (CdTe та CIGS). ФЕМ третього покоління мають на меті поєднати високу ефективність, більший життєвий цикл і більш тонкі напівпровідникові шари [28].

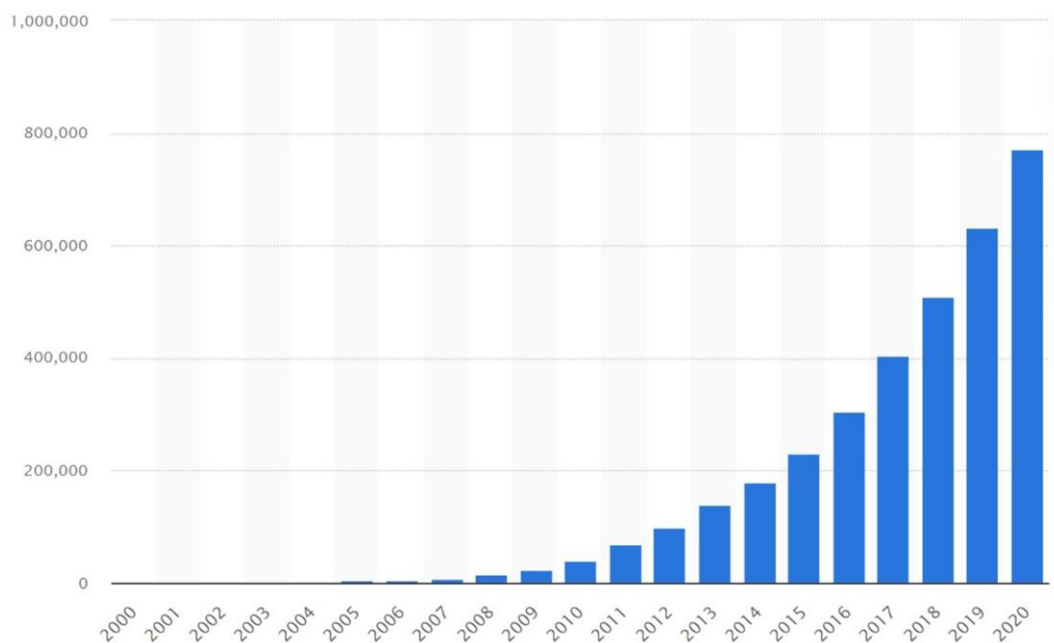


Рисунок 3.5 - Динаміка зростання світової кумулятивної потужності ФЕС (ГВт)

- Перетворення енергії. Коли електрони рухаються через зовнішнє коло, переходячи від одного контакту до іншого, вони генерують електричний струм, який можна використовувати для живлення різних пристроїв або подавати в електричну мережу.

- Інвертор. Для того щоб використовувати електричну енергію, вироблену ФЕП, необхідно перетворити DC, який генерується сонячними панелями, на AC, що використовують у більшості побутових електроприладів. Цей процес здійснюється через інвертор, який є важливою складовою частиною ФЕС.

- Взаємодія з зовнішнім середовищем. ФЕС досягають найбільшої ефективності за умов оптимального сонячного випромінювання. Однак їхня

продуктивність може змінюватися в залежності від географічного розташування, пори року, часу доби та кліматичних умов. Крім того, ефективність панелей значною мірою залежить від умов їх встановлення, таких як кути нахилу, орієнтація на сонце, а також наявність затінення чи забруднення їх поверхні.

3.3 Взаємозв'язок між виробництвом сонячної енергії та енергетичними потребами для зарядки АКБ ЕМ

Сонячні гібридні енергетичні системи – це гібридні енергетичні системи, які поєднують сонячну енергію від ФЕС з іншим джерелом, що генерує енергію.

Принципово СЕС можуть бути двох типів: термодинамічні та фотоелектричні. Термодинамічні СЕС засновані на нагріванні теплоносія сонячним випромінюванням за допомогою спеціальних оптичних систем з подальшим перетворенням теплової енергії в механічну і далі в електричну [29, 30].

ФЕС, крім власне фотоперетворювача - ФЕП, містить АКБ із зарядним пристроєм, інвертор для перетворення постійної напруги в змінну стандартної частоти і інші допоміжні елементи (рис. 3.6).

Сонячні панелі:

1. Генерують електроенергію відповідно до інтенсивності сонячного освітлення.

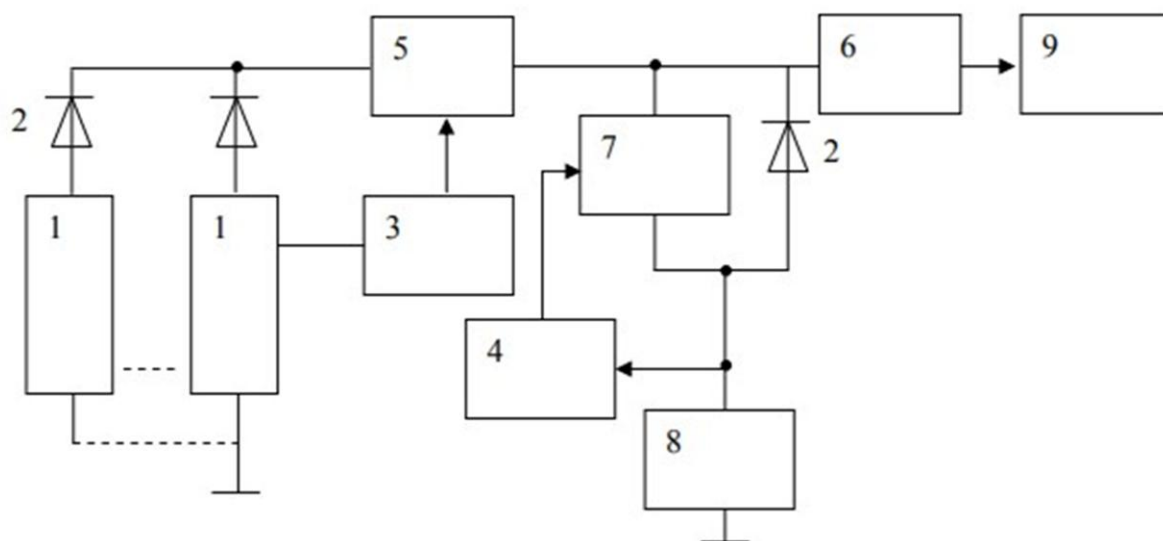
2. Діод в ланцюзі АКБ захищає її від надмірного заряду, а діоди в ланцюзі сонячних панелей не дозволяють АКБ розряджатися на панель при відсутності освітлення

3. Комутуючий пристрій забезпечує режим генерування максимуму потужності для поточних кліматичних умов та підключення виходу панелей до інвертора і так далі.

Гібридна СЕС являє собою базову схему мережевої СЕС з додаванням банку АКБ, контролера заряду і заміною мережевого інвертора на гібридний. Відмінною

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

особливістю є можливість запасати частину виробленої в сонячний період електроенергії в АКБ. Схема підключення приведена на рисунку 3.7.



1 - ФЕП; 2 - діоди; 3 - контролер пікової потужності; 4 - контролер зарядного струму; 5 - ключ; 6 - автономний інвертор; 7 - зарядний пристрій; 8 - АКБ; 9 – навантаження.

Рисунок 3.6 – Структурна схема ФЕС



Рисунок 3.7 - Схема підключення гібридної СЕС

Завдяки наявності банку АКБ вони менш залежні від джерела центрального електропостачання. Такі СЕС застосовують переважно як частина системи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ

Арк.

48

безперебійного живлення там, де центральне електропостачання недостатньо або нестабільно. Відмінною особливістю є можливість запасати частину виробленої в сонячний період електроенергії в АКБ, з подальшим її використанням, за відсутності зовнішньої електромережі.

До недоліків слід віднести високу ціну системи, за рахунок банку АКБ і потужного інвертора, які повинні бути тим більше, чим більше потрібно часу безперебійної роботи.

Взаємозв'язок між виробництвом сонячної енергії та енергетичними вимогами для зарядки АКБ ЕМ є важливим компонентом інтеграції ВДЕ в інфраструктуру електричного транспорту. Для забезпечення ефективного функціонування таких систем необхідно враховувати низку чинників, які впливають як на рівень виробництва сонячної енергії, так і на енергетичні потреби зарядних станцій для ЕМ. Перш за все, рівень виробництва сонячної енергії залежить від таких змінних, як рівень інсоляції, географічне розташування, сезонні коливання та погодні умови, які можуть варіюватися як протягом доби, так і в різні пори року. Ці змінні впливають на обсяг енергії, який сонячна система здатна генерувати в конкретний період часу. З огляду на це, для забезпечення стабільної роботи зарядних станцій важливо здійснювати регулярний моніторинг рівня інсоляції в конкретному регіоні та проводити прогнози енергетичного виробництва, враховуючи ці чинники. З іншого боку, енергетичні вимоги для зарядки АКБ ЕМ прямо залежать від їх кількості, які обслуговує зарядна станція, а також від характеристик АКБ цих транспортних засобів, зокрема їх типу та ємності.

Таким чином, для успішної інтеграції сонячної енергетики в інфраструктуру зарядних станцій необхідно розробити моделі, які враховують коливання попиту на енергію, сезонні зміни у виробництві сонячної енергії, а також включають акумуляторні системи для зберігання надлишкової енергії в періоди високого виробництва, з подальшим використанням у часи низької генерації. Такий підхід дозволяє оптимізувати використання ВДЕ та забезпечити стабільне, та ефективне енергопостачання для зарядки електричних транспортних засобів.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Математичний опис роботи ФЕУ

Інтенсивність сонячного випромінювання, що визначає енергію, яка потрапляє на одиницю площі поверхні за одиницю часу, є випадковою величиною і залежить від астрономічних і метеорологічних факторів – висоти Сонця над обрієм, тривалості дня, хмарності, вологості та прозорості атмосфери.

Потужність ФЕП обмежена певною величиною, яка дорівнює номінальній (установленій) потужності $P_{ФЕП}$ незалежно від величини інтенсивності сонячного випромінювання.

Графічний приклад типової кривої потужності ФЕП наведено на рисунку 3.8. З одного боку, аналіз сімейства ВАХ показує прямо пропорційну залежність струму ФЕП від інтенсивності сонячної радіації (G , Вт/м²). З іншого боку, наведені ВАХ відображають нелінійність залежностей $I_{ФЕП} = f(U)$, які змінюються залежно від інтенсивності випромінювання і температури. Це, з рештою, визначатиме і нелінійну залежність $P_{ФЕП} = f(U)$, оскільки потужність ФЕП $P_{ФЕП}$ як джерела електричної енергії в найпростішому випадку виглядає як добуток: $P_{ФЕП} = U_{ФЕП} I_{ФЕП}$.

Аналіз літературних джерел [31,32], де вивчалось питання моделювання роботи ФЕП, показав, що найбільш поширеною та простою в реалізації вважається одноступінчаста схема заміщення ФЕ (рис. 3.9). Еквівалентна схема моделі ФЕ складається з джерела фотоструму ($I_{ФС}$), діода (D), резистора ($R_{ш}$), встановленого паралельно до джерела струму, і резистора ($R_{по}$), що описує внутрішній опір комірки, а залежність $I_{ФЕП} = f(U)$ описується таким рівнянням:

$$I_{ФЕП} = I_{ФС} - I_D \left(\exp \left[\frac{q(U + IR_{по})}{k \cdot T \cdot A} \right] - 1 \right) - \frac{(U + IR_{по})}{R_{ш}}, \quad (3.1)$$

де A – фактор ідеальності ФЕ, що залежить від технології виготовлення

U – напруга на виході ФЕ, В.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

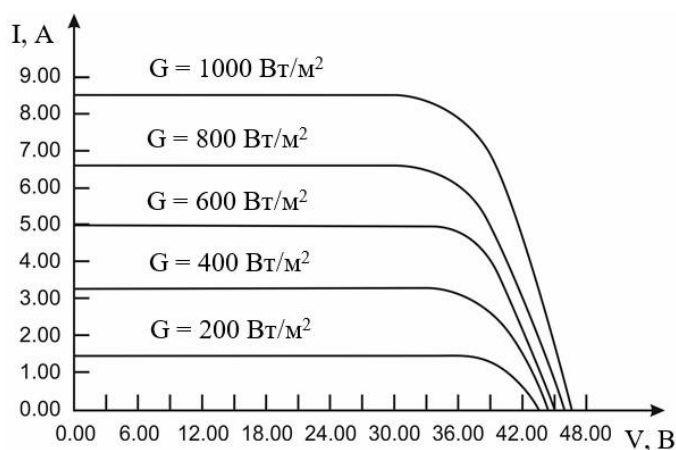


Рисунок 3.8 – Вольт-амперні
характеристики ФЕП

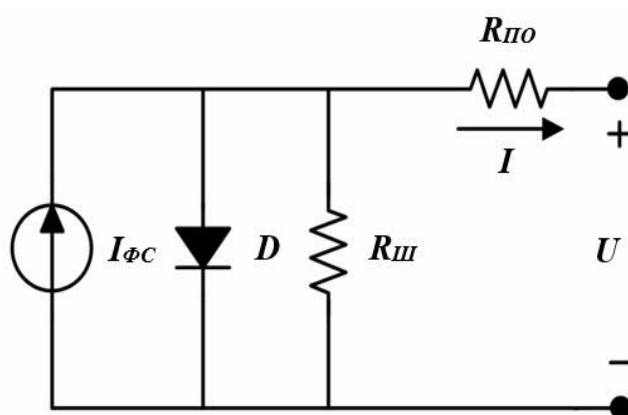


Рисунок 3.9 – Еквівалентна схема
заміщення ФЕ

$$I_{\Phi C} = G(I_{K3} + K_I(T - T_{CT})). \quad (3.2)$$

Слід зазначити, що добова інтенсивність сонячної радіації відрізняється від теоретичної косинусоїди внаслідок деякого розширення за рахунок радіації ранкової та вечірньої зорі та практичної стабільності її максимальних значень від 10 до 13 год.

Максимальні значення сонячної радіації близько 1000 Вт/м² з варіацією всього в 7 % мають місце з 70 до 250 днів, тобто протягом половини року, зовні цього інтервалу радіація зростає в першій половині року від 500 до 1000 Вт/м², а в другій половині спадає до 400 Вт/м² (рис. 3.10, 3.11). Таким чином, в залежності від дня року можна виділити пряму радіацію і вважати її наближено косинусоїдальною, що накладається на сталу складову розсіяної радіації з максимальною інтенсивністю від 400 до 500 Вт/м². Якщо ж брати до уваги і похмурі дні, то справа значно ускладнюється. Максимальна сонячна радіація 6 січня за день складає всього 42 Вт·год/м², тоді як, наприклад, 23 травня – 1005 Вт·год/м², тобто залежно від пори року і метеорологічних умов рівень сонячної радіації може змінюватися в 25 разів, що разом з відсутністю сонячної радіації вночі незалежно від того, що усереднення за інтервалами часу протягом року дає досить стабільні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ

Арк.

51

значення середньої сонячної радіації, свідчить про необхідність обов'язкового акумулювання сонячної енергії для забезпечення неперервної роботи зарядної станції.

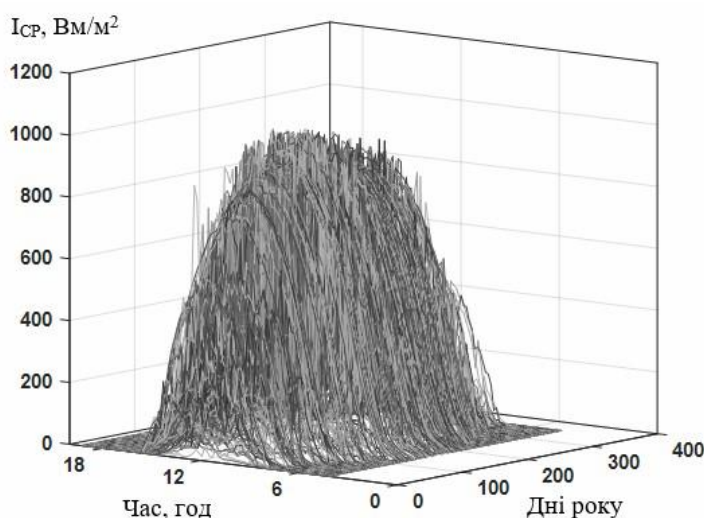


Рисунок 3.10 – Залежність середньої сонячної радіації від дня року та часу доби

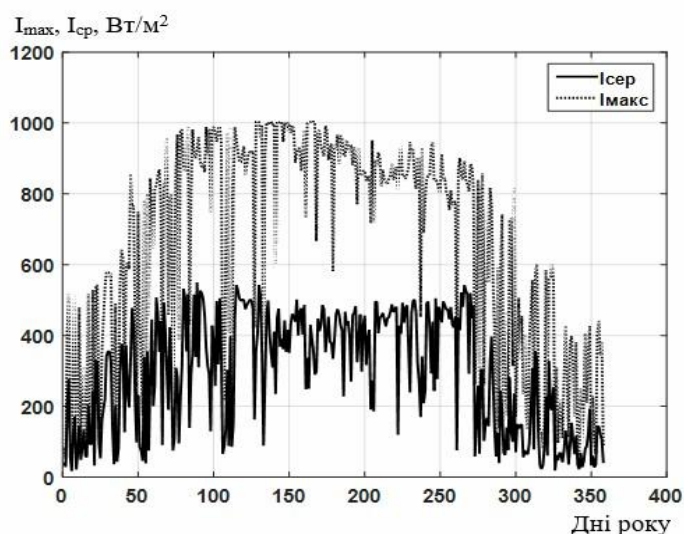


Рисунок 3.11 – Надходження середньої та максимальної сонячної радіації за період року на експериментальних даних для м.

Мукачево Закарпатська область
а можливо і використати інші джерела енергії.

Крім того, помісячне розглядання інтенсивності сонячної радіації показує, що за максимальної інтенсивності сонячної радіації 400...600 Вт/м² періоди, коли максимальна сонячна радіація не перевищує 200 Вт/м², у листопаді, грудні та січні можуть сягати п'яти днів. У ці дні сумарне вироблення і накопичена енергії в акумуляторах мають бути достатніми для зарядження автомобіля з урахуванням короткого світлового дня. У той же час максимальна інтенсивність сонячної радіації в травні й в літні місяці досить стабільно перебуває на рівні 900...1000 Вт/м², так що за вибраної необхідної для роботи АЗСЕМ енергоемності буферного акумулятора вироблення ФЕБ може перевищувати потреби.

Тому, виникає необхідність оптимізувати сумарну ємність АКБ,

3.5 Висновки до розділу 3

- виконано аналіз блок-схем фотоелектричних зарядної станції з незалежним живленням і з підключенням до електромережі та встановлено переваги і недоліки цих схем;
- розглянуто теоретичні основи функціонування ФЕС і встановлено, що основними елементами її функціонування є: ФЕП, інвертори, установчі стелажі та АКБ;
- експериментальні данні інтенсивності сонячної радіації показують, що у листопаді, грудні та січні максимальна інтенсивність сонячної радіації 400...600 Вт/м² становить лише п'ять днів, у всі інші дні цих місяців вона не перевищує 200 Вт/м². У ці дні сумарне вироблення і накопичена енергії в АКБ мають бути достатніми для зарядження ЕМ з урахуванням короткого світлового дня. У той же час максимальна інтенсивність сонячної радіації в травні і в літні місяці досить стабільно перебуває на рівні 900...1000 Вт/м², так що генерування електроенергії СЕС може перевищувати потреби.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

4.1 Вибір та інтеграція ФЕУ і ВЕУ в систему швидкої зарядки

Робота ВЕС та СЕС, на відміну від інших ВДЕ, характеризується ймовірнісним характером генерації електричної енергії. Впродовж доби можливі часті зміни величини генерованої потужності в значному діапазоні. Це висуває певні вимоги до електроенергетичної системи при інтеграції та сумісній роботі ВЕС та ФЕС з іншими електростанціями. З огляду на це далі розглядаються ВЕС та СЕС без урахування інших ВДЕ, оскільки останні за своїми властивостями близькі до традиційних електростанцій і не мають такого впливу на поточну роботу електроенергетичної системи. За результатами досліджень, проведених Міжнародним агентством з відновлюваних джерел енергії (IRENA) у січні 2017 року, Україна володіє найбільшим серед країн Південно-Східної Європи технічним потенціалом впровадження ВДЕ. За оцінками експертів загальний річний потенціал ВДЕ складає більше 1 млн ГВт·год (без урахування великих гідроелектростанцій), при цьому понад 90% припадає на вітрову та сонячну енергетику. Тут йдеться про природний потенціал; його реалізація обумовлена рядом чинників технічного та економічного характеру.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м² поверхні – від 1070 кВт·год/м² у північній частині України, й до 1400 кВт·год/м² і вище – в АР Крим. Технічний потенціал встановленої потужності сонячних електростанцій складає 71 ГВт. Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоелектричного обладнання практично в усіх областях [1]. Джерелами інформації щодо можливих режимів роботи об'єктів ВДЕ є статистичні дані щодо погодних умов, які безпосередньо впливають на потужність ВЕС та СЕС. Однак

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дані офіційних метеослужб (державних гідрометеостанцій) стосуються надто великих часових інтервалів – три години між вимірами. До того ж виміри швидкості вітру виконують на висоті близько 10 м, що не відповідає потребам сучасної вітроенергетики. Кращим джерелом даних є стаціонарні метеопости діючих ВЕС, що працюють в автоматичному режимі з накопиченням даних за багаторічний період [33]. Ці дані зазвичай оформлено у вигляді часових рядів, що передбачає фіксовані часові інтервали осереднення та послідовне розташування в хронологічному порядку. Записи поточної швидкості вітру і відповідної потужності отримані з певним часовим інтервалом: так, для ВЕС поточна потужність зазвичай фіксується з 10-хвилинним інтервалом (як середнє по інтервалу). Крім оцінки стохастичного розподілу характеристик власне вітру, для вітроенергетики важливим є енергетичний потенціал вітрових потоків. Традиційним для оцінки енергетичного потенціалу вітру є використання кубічної залежності потужності від швидкості вітру.

В таблиці 4.1 наведено значення середнмісячної швидкості вітру v_c та її середньоквадратичного відхилення σ (висота вимірів 94 м), а також відповідні параметри розподілу Вейбула β і γ .

В таблиці 4.2 наведено аналогічні значення для висоти вимірів 66 м. Як впливає з отриманих даних, розрахункова потужність умовної ВЕУ за розподілом Вейбула дещо менша від отриманої з фактичних значень швидкості вітру, причому на висоті 94 м середня похибка приблизно дорівнює 4%, а на висоті 66 м – 2%. Помітно також, що параметр форми на меншій висоті дещо більший, що викликано порівняно стабільнішим вітром, проте ця різниця незначна і може вважатися статистично незначимою. Отже, залежність розподілу швидкості вітру від висоти, принаймні на висотах від 60 до 100 м, можна вважати стаціонарною в сенсі ймовірності.

Важливо відзначити також, що стрибки потужності ВЕС мають тенденцію до зниження перед сходом сонця і до зростання – після сходу і заходу сонця. Впродовж інших годин розподіл носить випадковий характер. Наявна циклічність

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пояснюється певною залежністю приземних вітрів від добових коливань температури повітря на поверхні землі, котрі відповідають добовому циклу сонячного випромінення. Це явище притаманне для більшості країн Центральної Європи [17]. Для ВЕС характерна висока частота стрибків незначної величини, сконцентрованих навколо нульового значення. Максимальні значення 1-годинних стрибків не перевищують значення 18,4% встановленої потужності ВЕС.

Таблиця 4.1 - Параметри вітрового потоку на висоті 94 м

Місяць	v_c , м/с	σ , м/с	γ	β , м/с	P_c (Вейб.)	P_c факт.
січень	7,43	3,46	1,94	8,40	0,39	0,41
квітень	7,98	3,59	2,34	9,00	0,43	0,44
липень	6,23	2,62	2,51	7,01	0,27	0,28
жовтень	9,32	4,14	2,37	10,52	0,53	0,58

Таблиця 4.2 - Параметри вітрового потоку на висоті 66 м

Місяць	v_c , м/с	σ , м/с	γ	β , м/с	P_c (Вейб.)	P_c факт.
січень	6,82	2,97	2,42	7,70	0,33	0,34
квітень	7,46	3,31	2,38	8,42	0,39	0,39
липень	5,95	2,38	2,65	6,69	0,24	0,24
жовтень	8,48	3,81	2,35	9,57	0,47	0,48

Потужність СЕС, або її окремої складової ФЕМ, залежить від стану атмосфери, тобто доступного обсягу сонячної радіації, а також температури повітря і самого модуля. Наприклад, стандартний модуль STP300S площею 1,63 м² має номінальну (пікову) потужність 300 Вт при інсоляції 1000 Вт/м² і температурі модуля 25 °С; при цьому ККД перетворення енергії – на рівні 18,4%. При інсоляції 800 Вт/м² і ККД на рівні 16,9% пікова потужність становить 220 Вт за нормальних погодних умов. Показником сонячної енергії можна вважати величину $p_s = P(\rho)/P_n$, де $P(\rho)$ – поточна потужність ФЕМ в залежності від ρ – рівня сонячної радіації; P_n – номінальна

потужність ФЕМ. Значення $p_s = 1$ відповідатиме теоретично максимальній потужності модуля, а $p_s = 0$ – повній темноті. Нормалізована потужність відображає стан прозорості повітря (рівня хмарності) відносно середнього для даного місяця і часу доби [34].

Для моделювання сонячної радіації визначальними є максимальна та середня інсоляції впродовж доби як функції часу. Відповідні функції p_s для характерних місяців зображено на рисунку 4.1 [35].

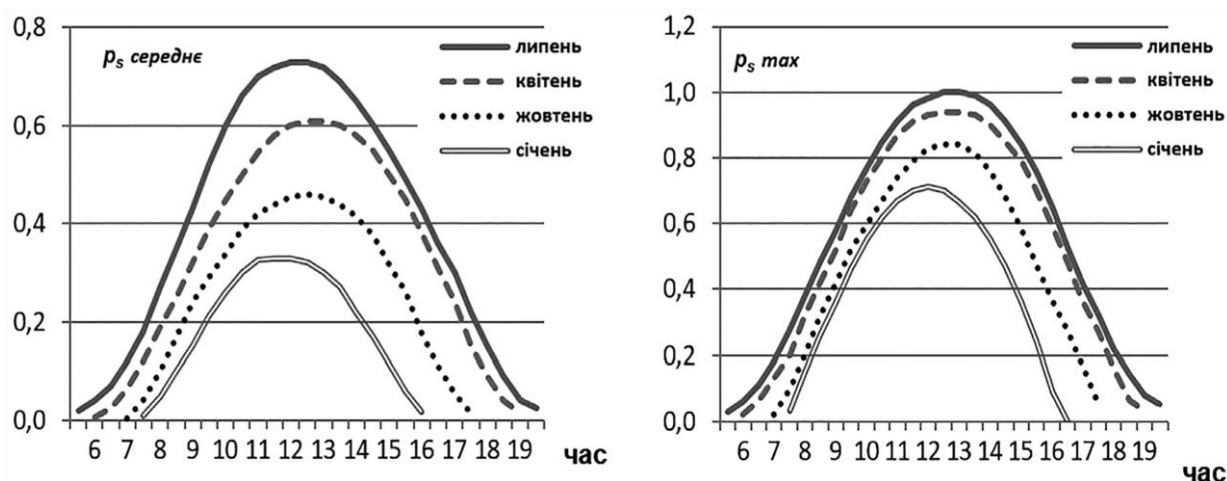


Рисунок 4.1 – Залежності середньої і максимальної сонячної інсоляції впродовж доби

Параметри, що описують випадкову поведінку рівня інсоляції, було розраховано для розмірної величини – потужності сонячної радіації на одиницю площі. Для умов, за яких потужність фотоелектричного пристрою лінійно пов'язана з інтенсивністю радіації, безрозмірні показники варіативності сонячної радіації можуть бути застосовані й для опису потужності фотомодуля. Традиційна модель потужності ФЕМ описується формулою [35]:

$$P_{PV} = \eta_e \cdot S \cdot \rho(t). \quad (4.1)$$

Отже, електрична потужність буде пропорційною рівню сонячної радіації й залежатиме від загальної площі та ККД ФЕМ відповідно до (4.1). Тоді як випадковою величиною може виступати не рівень інсоляції (Вт/м^2), а відносна потужність p_s (в.о.).

Інтеграція ФЕУ та ВЕУ у систему швидкої зарядки ЕТЗ є важливим кроком до забезпечення сталого, економічного та екологічно чистого енергопостачання. Використання ВДЕ, таких як сонце і вітер, сприяє зниженню викидів парникових газів, зменшенню залежності від викопних ресурсів і зниженню експлуатаційних витрат на електричну енергію для зарядних станцій. Ефективна інтеграція таких установок вимагає продуманого підходу до планування, зокрема врахування природного потенціалу регіону, використання акумуляторних систем для накопичення енергії та можливості підключення до централізованої енергетичної мережі для забезпечення стабільності постачання.

4.2 Принципи взаємодії ФЕС та ВЕС в рамках ОЕС

Принципи взаємодії ФЕС та ВЕС в ОЕС ґрунтуються на використанні комбінованої роботи різних ВДЕ для забезпечення більш надійного та ефективного енергопостачання. Головною метою інтеграції цих технологій є зменшення впливу коливань потужності окремих джерел, які залежать від погодних умов, що дозволяє підвищити стабільність енергопостачання.

1. Синергетичний ефект та компенсаторні можливості. ФЕС та ВЕС взаємодіють у межах ОЕС, створюючи синергетичний ефект, що дозволяє підвищити стабільність і ефективність енергопостачання. ФЕС генерують електричну енергію переважно за рахунок сонячного випромінювання, яке є змінним як протягом дня, так і в межах різних сезонів. Піки генерації припадають на денний час, коли інтенсивність сонячного випромінювання є найвищою. Натомість ВЕС здатні генерувати енергію за рахунок енергії вітру, яка, хоча й є менш передбачуваною, може досягати високих значень під час сильних вітрів. Оскільки ці джерела енергії мають різні часові профілі генерації, їх поєднання дозволяє компенсувати нестабільність кожного окремого джерела. Наприклад, коли вночі сонячні панелі не можуть генерувати енергію, вітрові турбіни можуть продовжувати працювати при наявності вітру. Таким чином, інтеграція цих

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологій дозволяє стабілізувати енергопостачання, підвищуючи надійність та ефективність системи в цілому [36].

2. Інтеграція в енергетичну мережу та балансування навантаження. Поєднання ФЕС та ВЕС сприяє більш ефективному балансуванню навантаження в енергетичній мережі. Завдяки різним режимам генерації, зокрема, сонячної активності в денний час та вітрової активності в нічний час або в періоди сильних вітрів, комбінована система може зменшити коливання в енергопостачанні, які характерні для окремих джерел енергії. Враховуючи, що наявність енергетичних систем, здатних забезпечувати стабільне постачання електроенергії, є критично важливим аспектом для життєдіяльності міських та промислових об'єктів, інтеграція таких ВДЕ з існуючими енергетичними мережами забезпечує зниження ризику перебоїв у постачанні електрики.

3. Оптимізація виробництва та зберігання енергії. Одним з ключових аспектів інтеграції ФЕУ та ВЕУ є використання додаткових технологій зберігання енергії, зокрема акумуляторних систем, які дозволяють накопичувати надлишкову енергію, що генерується під час пікових періодів виробництва. Наприклад, коли вітрові турбіни та сонячні панелі генерують енергію в періоди високої інтенсивності, вона може бути збережена для використання в моменти, коли генерація зменшується. Зберігання енергії в АКБ дозволяє забезпечити безперебійне енергопостачання навіть при коливаннях у виробництві, що значно підвищує ефективність енергетичної системи.

4. Економічні та екологічні переваги. Інтеграція ФЕС та ВЕС дозволяє суттєво знизити витрати на виробництво електричної енергії порівняно з традиційними джерелами, такими як вугілля, природний газ чи атомна енергетика. Це зниження вартості відбувається завдяки зменшенню витрат на паливо та зниженню експлуатаційних витрат, пов'язаних з видобутком і транспортуванням енергоресурсів. Крім того, використання ВДЕ призводить до значного зменшення викидів парникових газів, що сприяє збереженню екологічної рівноваги та боротьбі з глобальним потеплінням. В умовах зростаючої глобальної потреби в енергетичній безпеці, така інтеграція допомагає знизити залежність від імпорту енергоресурсів, що підвищує

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автономність енергетичних систем і сприяє розвитку сталих енергетичних практик на локальному рівні.

Таким чином, принципи взаємодії ФЕС та ВЕС в рамках ОЕС сприяють стабільному, економічно вигідному та екологічно чистому забезпеченню електричної енергії.

4.3 Оцінка необхідних обсягів накопичення енергії для забезпечення безперебійної роботи системи

Оцінка необхідних обсягів накопичення енергії для забезпечення безперебійної роботи системи є важливим етапом у проектуванні енергетичних інфраструктур, зокрема для систем швидкої зарядки, що використовують ВДЕ, такі як ФЕУ та ВЕУ [37]. Оскільки ці джерела мають змінний характер виробництва енергії, необхідно забезпечити достатню кількість енергії для покриття пікових навантажень та періодів низької генерації. СНЕ - це технологія, яка дозволяє зберігати енергію і вивільняти її на вимогу користувача. СНЕ використовуються для підвищення надійності та ефективності електромереж шляхом згладжування коливань попиту та пропозиції енергії. Вони також можуть допомогти інтегрувати ВДЕ, такі як вітрова та сонячна енергія, в електромережу, зберігаючи надлишок енергії, виробленої в періоди низького попиту, і вивільняючи її, коли попит є високим.

У масштабі енергосистем і систем розподілу електроенергії акумулювання може розглядатися як дієвий засіб в плані відстрочки інвестицій в їхній розвиток, реконструкцію або модернізацію. В електричних мережах системи акумулювання енергії можуть бути задіяні для регулювання напруги, управління потоками реактивної потужності, забезпечення надійності електропостачання, розвантаження окремих елементів, які потребують посилення або реконструкції, зокрема, за рахунок зниження пікових навантажень. Загальноприйнято виділяти чотири групи

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологій акумулювання енергії (за винятком теплової), які знаходять або можуть у перспективі знайти застосування в електроенергетиці (рис. 4.2).

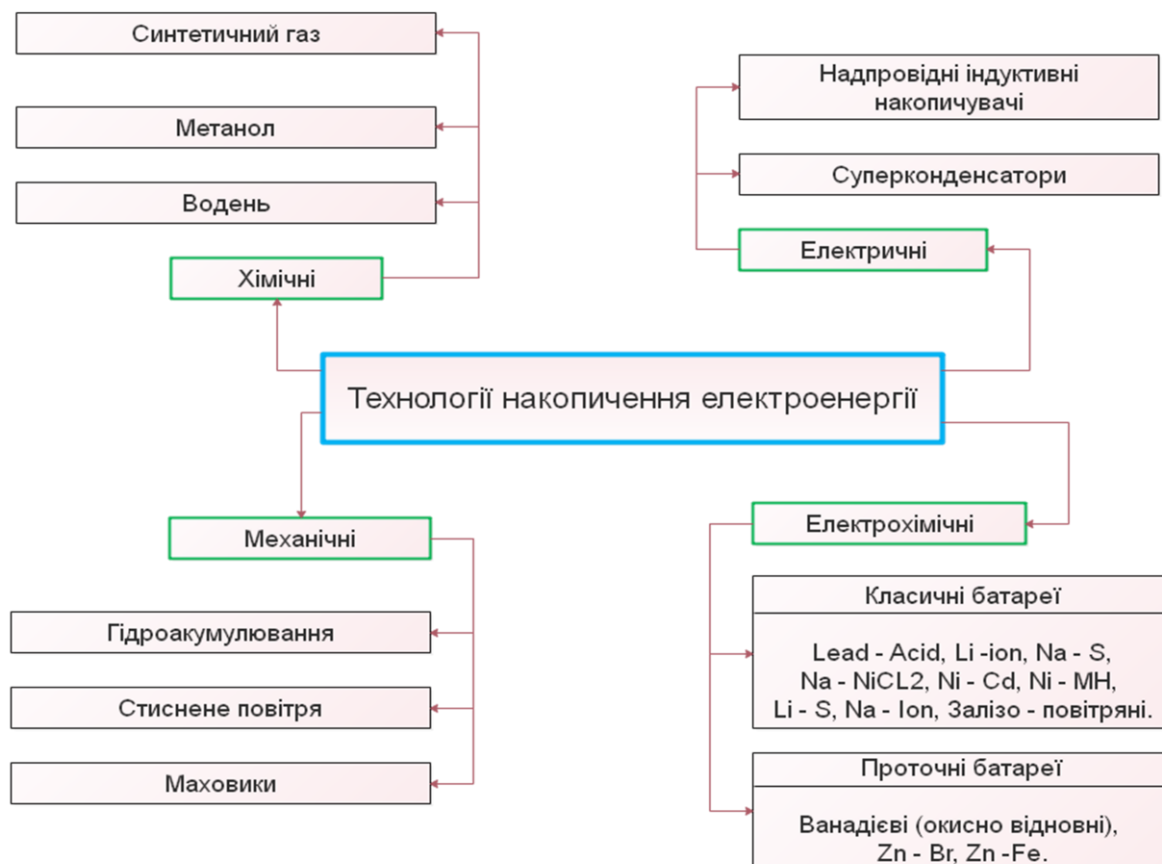


Рисунок 4.2 - Основні групи технологій акумулювання енергії, орієнтованих на електроенергетичний сектор

Оцінка необхідних обсягів накопичення енергії для системи базується на кількох важливих факторах.

1. Виробництво енергії від ВДЕ. Продуктивність ФЕУ і ВЕУ змінюється залежно від різних умов, таких як час доби, сезон та погода. Наприклад, сонячні установки генерують найбільше енергії в середині дня, коли сонячна радіація на висоті, а вітрові установки досягають пікової продуктивності за сильного вітру. Для того, щоб правильно спроектувати систему накопичення енергії, потрібно визначити, скільки енергії виробляється у різний час доби та при різних погодних умовах.

2. Пікові навантаження на систему зарядки. Пікове навантаження виникає, коли кілька користувачів одночасно заряджають свої транспортні засоби або коли в

певні години спостерігається високий попит на енергію. У такі моменти важливо, щоб система зберігання енергії могла задовольнити ці потреби, навіть якщо виробництво енергії не покриває попит.

3. Системи зберігання енергії. Щоб компенсувати нерівномірне виробництво енергії від ВДЕ, використовують різні технології накопичення енергії, такі як АКБ, суперконденсатори та інші. Вони зберігають надлишкову енергію, отриману під час високої генерації, і можуть передавати її в години, коли виробництво енергії зменшується. Важливим є вибір ефективних акумуляторних технологій, які мають велику ємність і швидкий час зарядки, що дозволяє забезпечити необхідну потужність для швидкої зарядки.

4. Інтеграція з національною енергосистемою. Підключення до централізованої енергомережі дозволяє отримувати додаткову енергію, якщо обсяги накопичення енергії не вистачають для покриття потреб. Це забезпечує стабільність роботи системи зарядки та можливість використовувати енергію з інших джерел в разі потреби.

Точна оцінка обсягів накопичення енергії є дуже важливою для того, щоб система швидкої зарядки працювала безперебійно і стабільно. Це дає змогу не лише ефективно працювати в години високого попиту, але й мінімізувати навантаження на енергетичну мережу, знижуючи залежність від традиційних джерел енергії. Впровадження таких технологій дозволяє зробити систему зарядки більш енергоефективною та надійною навіть у разі змінності виробництва енергії від ВДЕ.

4.4 Опис процесу заряду АКБ на АЗСЕМ при використанні енергії вітру та сонячного випромінювання

Комплексне використання ВДЕ з буферним акумулюванням дає можливість покращити ефективність забезпечення споживачів енергією та підвищити її якість, підвищити коефіцієнт корисного використання енергоустановок на основі ВДЕ та значно знизити флуктуацію робочих параметрів енергетичних систем на основі ВДЕ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економічні моделі зарядження АКБ від ВЕУ та від ФЕУ на АЗСЕМ описуються відомими рівняннями [38].

Робота АЗСЕМ на основі ФЕБ, так само, як і на основі ВЕУ має певні проблеми. Зокрема, в зимові періоди часу АЗСЕМ на основі ФЕБ не дає гарантованого заряду ЕМ через малий прихід сонячної енергії. Якщо потужність джерела енергії для АЗСЕМ розраховувати по зимовим показникам інтенсивності сонячного випромінювання, то у весняну, літню та осінню пори року постає питання неефективного використання генеруючого устаткування для заданого типу споживача [40].

Подібна ситуація спостерігається і при роботі АЗСЕМ на основі ВЕУ. Якщо потужність джерела енергії для АЗСЕМ розраховувати по літнім показникам швидкості вітру, то осінню, зимою та весною при збільшенні виробітку поставатиме питання неефективного використання генеруючих потужностей для заданого типу споживача [39].

Зважаючи на сказане вище, постає необхідність розроблення математичної моделі роботи АЗСЕМ на основі комплексного використання ФЕБ та ВЕУ з подальшим буферним акумулюванням енергії.

Робота такої зарядної станції буде ефективною при виконанні умови:

$$W_{AB}^{BY\Phi} = \omega^{\Phi EY} \cdot K_2^{\Phi EY} \cdot W_{\Phi EB} + \omega^{BEY} \cdot K_2^{BEY} \cdot W_{BEY} = K_3^{AB} (W_{BI}^{AZCEM} + W_{AB}^{EM}). \quad (4.2)$$

Враховуючи моделі роботи елементів системи загальний вид моделі роботи АЗСЕМ на основі комплексного використання енергії сонця та вітру виглядатиме наступним чином:

$$K_{AB}^{EM} \sum \frac{1}{\eta_{3AB} C_0} \int_{C_0}^{C_{AB}^{EM}} \psi(c) dc =$$

$$= \begin{cases} \omega^{BEY} \cdot K_2^{BEY} \cdot \tau_{BEY} \cdot \int_0^{\infty} P_{BEY}(\nu) \cdot \varphi(\nu) d\nu; \\ \omega^{\Phi EY} \cdot K_2^{\Phi EY} \cdot \tau_{\Phi EY} \cdot U_{\Phi EY} \left(\left(I_{scs} \cdot \frac{G_a}{G_{as}} + \alpha_{scT} (T - T_s) \right) - I_s \left(e^{\frac{q \cdot U_{\Phi EY}}{A \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \right). \end{cases} \quad (4.3)$$

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропонована модель дозволяє проводити аналіз взаємовпливу двох джерел енергії та випадкового характеру споживача на роботу АЗСЕМ в цілому. Для аналізу адекватності запропонованої моделі необхідно провести аналіз її роботи в програмному середовищі Matlab та порівняти результати моделювання з практичними даними систем даного типу.

4.5 Забезпечення енергією АЗСЕМ на базі комплексного використання ФЕУ і ВЕУ з врахуванням кліматичних умов місцевості

Використання енергії одного тільки виду ВДЕ чи то вітру, чи то сонця приводить до значного подорожчання АЗСЕМ за рахунок необхідності мати значну ємність буферного АБ, враховуючи, що швидкість вітру може бути меншою 4 м/с на протязі значного часу в літній період, а сонячна енергія взагалі не поступає в темну пору доби, яка в грудні може тривати до 16 годин [33].

Розрахунок коефіцієнтів логістичної кривої, що описує типову криву відносної потужності ВЕУ (рис. 4.3) дає такі значення: $a = 1$; $b = 60,43$ і $c = 0,9$. Розрахована крива потужності ВЕУ з використанням цих коефіцієнтів (рис. 4.4) свідчить про певну стабілізацію потужності вітроколеса, яка далі при передачі в електрогенератор фіксується на рівні номінальної.

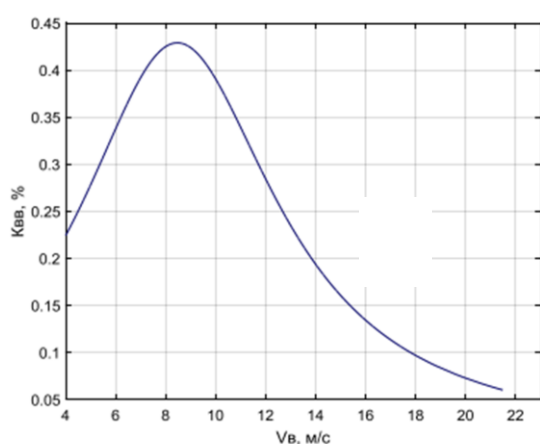


Рисунок 4.3 - Залежність ККД вітроколеса від швидкості вітру

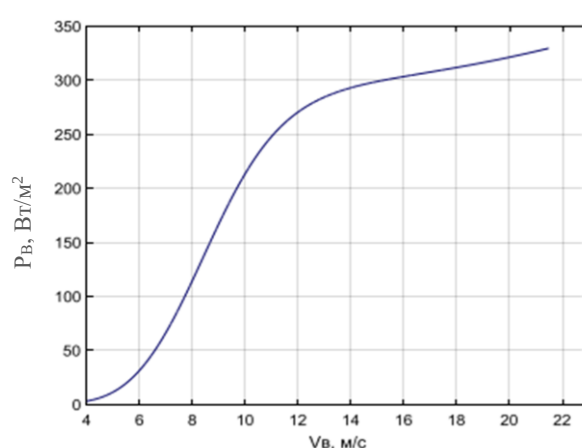


Рисунок 4.4 - Залежність питомої потужності вітроколеса від швидкості вітру

Температура ФЕМ досить сильно впливає на його потужність (рис. 4.5.) Якщо орієнтуватися на температуру навколишнього середовища, то можна прийти до неправильного висновку про слабкий вплив температури на функціонування ФЕМ (рис. 4.6), особливо при температурах, вищих -5°C , але врахування нагрівання ФЕМ сонячною радіацією приводить до суттєвої зміни залежності потужності сонячної радіації від температури ФЕМ, яка в свою чергу визначається саме сонячною радіацією [42]. Залежність на рисунку 4.5, якщо розглядати її на протязі року, є розмитою по питомій потужності. Ця різниця в температурних залежностях викликана тим, що інтенсивність сонячної радіації може мати однакові значення при різних температурах навколишнього середовища і різні - при однаковій температурі (рис. 4.6). В межах розрахункового інтервалу температур ФЕМ від -24°C до 70°C , які на протязі року мають місце у м. Мукачеві, усереднене значення ККД ФЕМ зменшується на 25%, тобто від 23,2% до 17,4% (рис. 4.7).

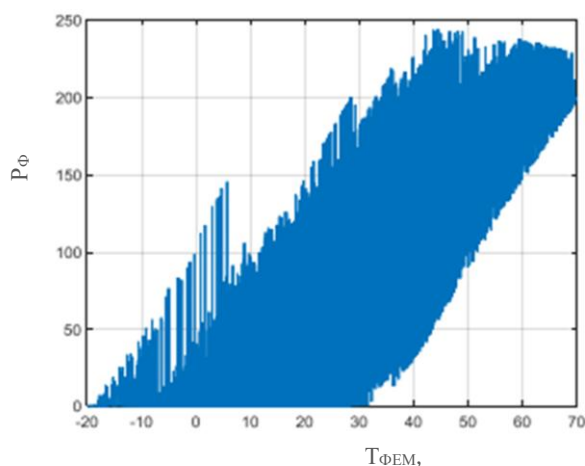


Рисунок 4.5 - Залежність питомої потужності ФЕМ від його температури

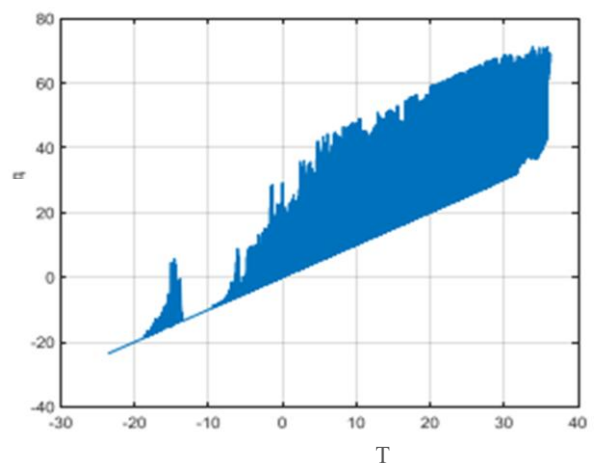


Рисунок 4.6 - Залежність температури ФЕМ від температури навколишнього середовища

Звертає на себе увагу значно менше як по амплітуді, так і по частоті змін коливання питомої потужності ФЕМ в однаковому діапазоні температур навколишнього середовища і ФЕМ (рис. 4.8 і 4.9).

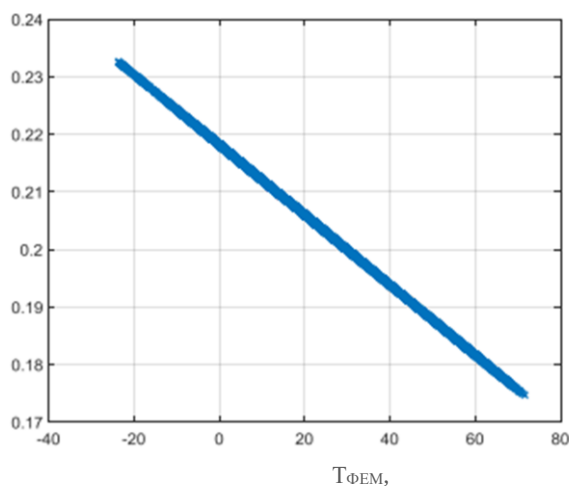


Рисунок 4.7 - Вплив температури ФЕМ на його ККД

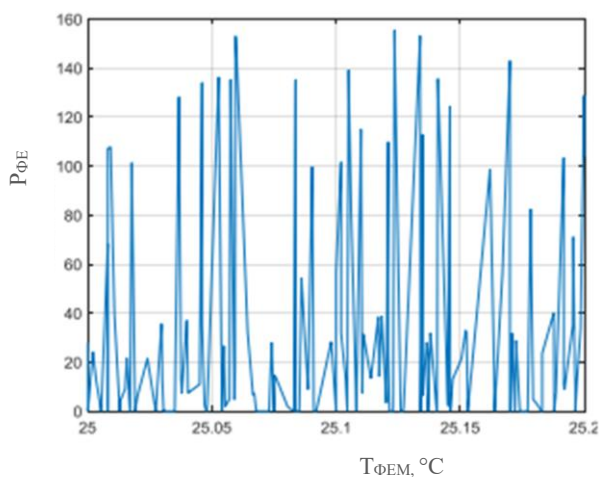


Рисунок 4.8 - Вплив температури ФЕМ на його питому потужність

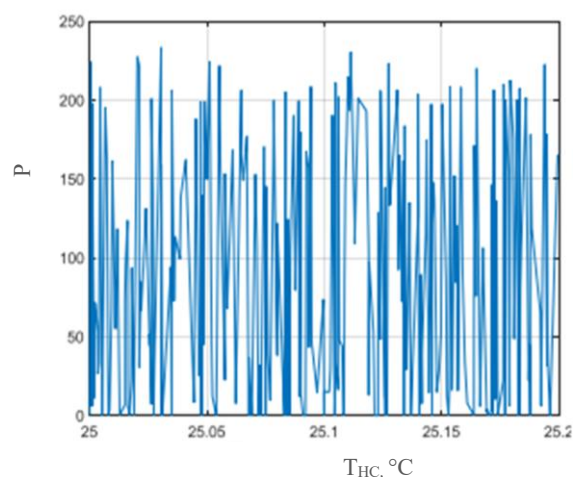


Рисунок 4.9 - Вплив температури навколишнього середовища на питому потужність ФЕМ

Якщо розглядати річне надходження енергії вітру і сонця (рис. 4.10), то можна бачити, що сумісне їх використання супроводжується вирівнюванням добового надходження енергії за рахунок рознесення річних максимумів надходження енергії вітру і сонця, але добові коливання залишаються досить значними. При комплексному використанні енергії сонця і вітру дійсно можна значно вирівняти загальне надходження енергії, як показано на рис. 4.10, де наведена енергія, що виробляється комплексним ВДЕ при однаковій площі по 0,5 м² ФЕП і вітроколеса.

Підрахунок кількості днів, коли відновлювані джерела не виробляють необхідної для заряджання одного електромобіля енергії, показує, що для її мінімізації також необхідно розподілити енергію сонця і вітру як 1 до 1.

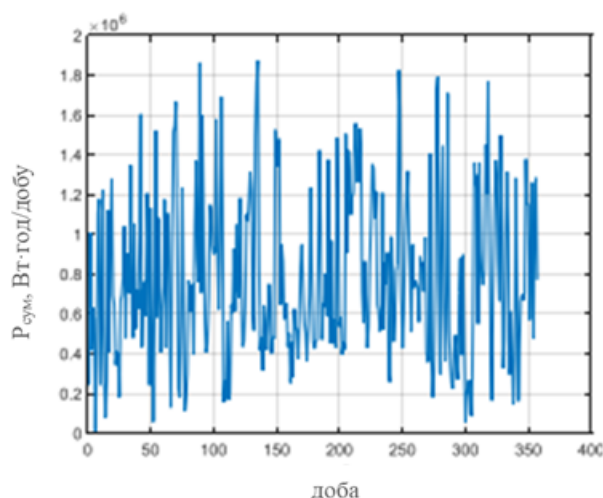


Рисунок 4.10 - Надходження енергії від комплексного джерела на протязі року

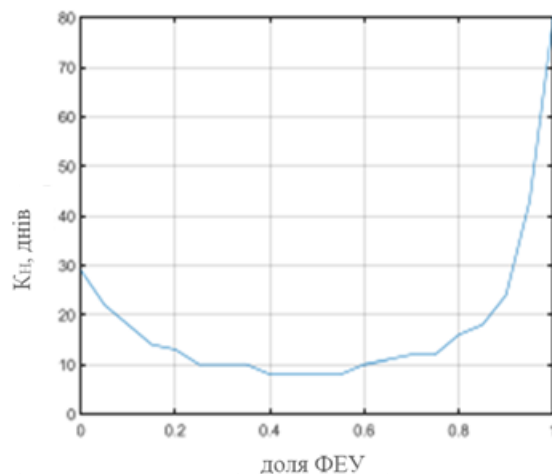


Рисунок 4.11 - Кількість днів, коли не вистачає енергії від ФЕУ в загальну енергію

При цьому для заряду одного ЕМ необхідна площа ФЕП 250 м² [43] і діаметр вітроколеса близько 17...18 м. Подобовий залишок енергії після гарантованого заряду одного ЕМ (рис. 4.12) по величині порівняний з енергією, що надходить за день, і може бути успішно використаний для виробництва водню.

Статистична обробка даних показує, що мінімум розсіювання сумарної енергії має місце при долі енергії сонячного випромінювання 0,85 (рис. 4.13). Але при такому співвідношенні енергій сонця і вітру в 2 рази зростає кількість днів, в які сумарна енергія буде недостатньою для заряду ЕМ.

Якщо прийняти до уваги використання електрохімічних АКБ і підібрати енергію сонця і вітру так, щоб на заряджання ЕМ використовувалася і накопичена в АКБ енергія, то мінімальне функціонування АЗСЕМ із зарядом одного ЕМ в день можна забезпечити при співвідношенні енергії сонця і вітру 1:9, маючи ВЕУ з діаметром вітроколеса 10...12 м і ФЕП площею 10 м². При необхідності заряджати більшу кількість ЕМ необхідно площу ФЕП збільшувати пропорційно, а діаметр вітроколеса, як корінь квадратний з числа ЕМ.

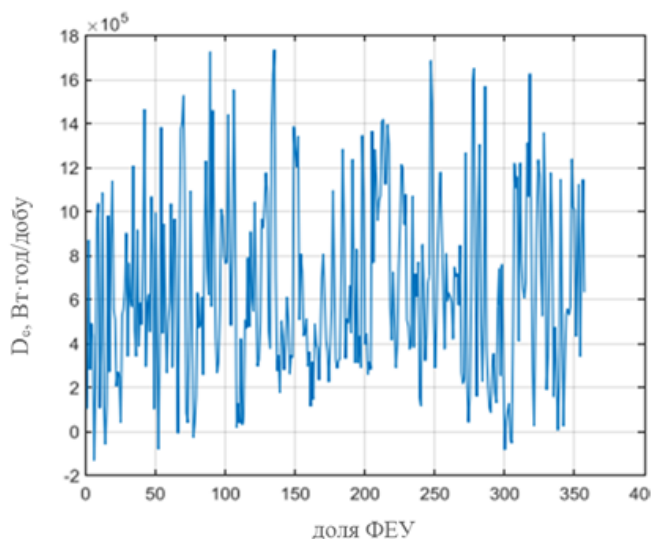


Рисунок 4.12 – Подобовий залишок енергії після гарантованого заряду одного ЕМ

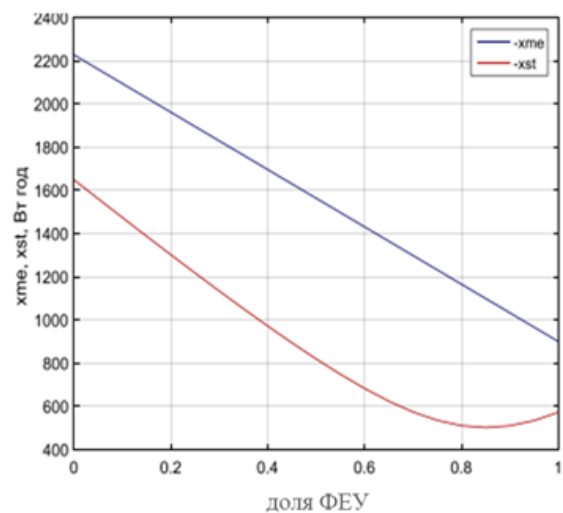


Рисунок 4.13 - Середнє арифметичне і середнє квадратичне значення для річної енергії на 1 м²

4.6 Розробка структурної схеми заряджання ЕМ від ВДЕ

Пропонована схема зарядної станції для швидкої зарядки АКБ ЕМ приведена на рисунку 4.14.

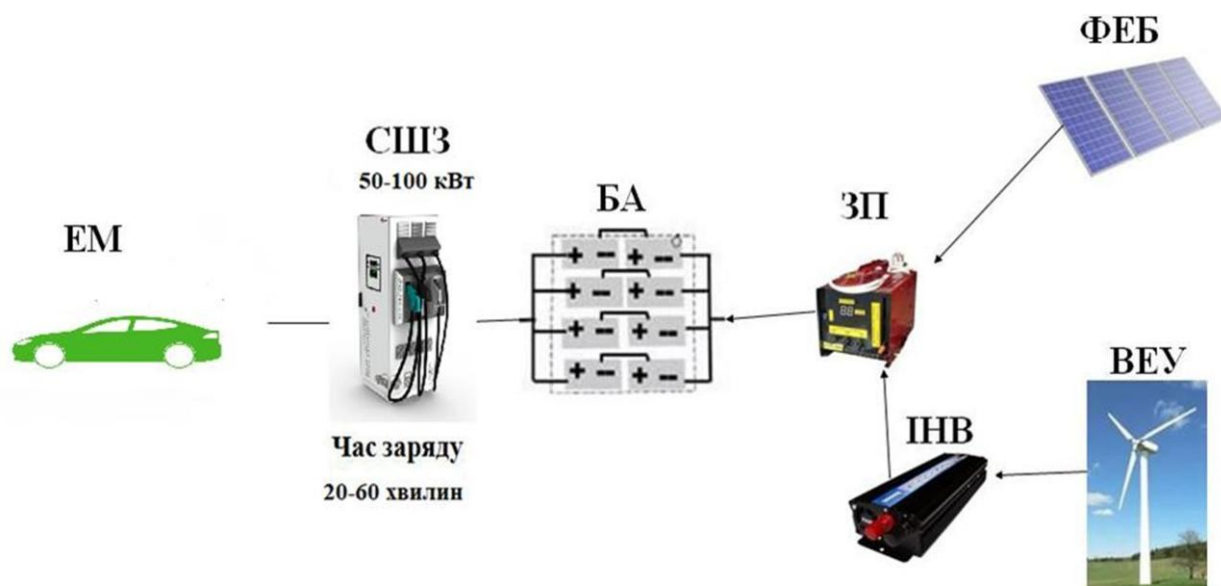


Рисунок 4.14. Схема зарядки АКБ ЕМ постійним струмом від буферного накопичувача та ВДЕ

На рисунку 4.14 позначено: ВЕУ - вітроелектрична установка, ФЕБ - фотоелектрична батарея, ІНВ – інвертор, БА - буферний акумулятор, ЗП зарядний пристрій, СШЗ - станція заряджання, ЕМ-електромобіль.

Зарядка від буферної накопичувальної батареї відбувається наступним чином. В буферному режимі батарея постійно заряджається встановленими зарядними напругою і струмом. У такому режимі вона може пропрацювати весь термін, заявлений виробником, а то й більше. Тому для буферного режиму підходять акумулятори з невеликим запасом циклічності заряд-розряд і тут доцільно використати акумулятори, зняті з ЕМ через вичерпаний ресурс роботи як тягових. Ці БА значно дешевше ніж нові, особливо високо циклічні.

Розглянемо швидкий заряд постійним струмом (рис. 4.14). При заряді через накопичувач треба визначити енергоємність, яка забезпечить повний заряд АКБ ЕМ.

Енергоємність накопичувача визначається:

$$Q_H = \frac{Q_A}{\eta_1 \eta_2 \eta_3}, \quad (4.4)$$

де Q_H , Q_A ємності електромобіля і накопичувача, кВт.год;

η_1, η_2, η_3 - ККД накопичувача при розряді, зарядного пристрою і АКБ ЕМ при зарядці.

При зарядці ємність накопичувача визначають:

$$Q_H = \frac{P_2 t}{\eta_4 \eta_5} \quad (4.5)$$

де η_4, η_5 - ККД зарядного пристрою і накопичувача при заряді.

Для ВДЕ потужність

$$P_2 = \frac{Q_H t_4 t_5}{t} = \frac{Q_A \eta_5}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 t}, \quad (4.6)$$

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а час заряджання буфера:

$$t = \frac{Q_A \eta_4 \eta_5}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 P_2}. \quad (4.7)$$

На графіку (рис. 4.15) зображені криві швидкого заряджання постійним струмом АКБ ЕМ з енергоемністю 30, 60, 90 кВт·год за напруги 400...500 В. При зменшенні часу заряду, струм джерела та зарядний струм батареї набувають значних величин.

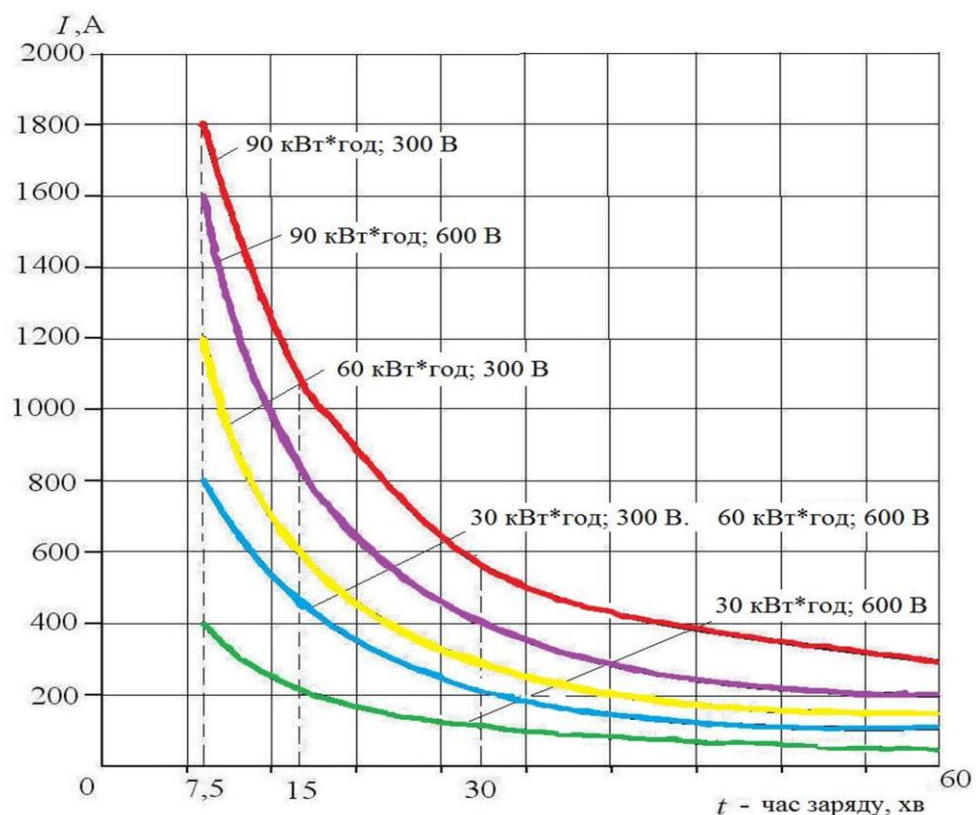


Рисунок. 4.15. Швидкість зарядки АКБ ЕМ постійним струмом при швидкісній зарядці

Слід відмітити, що аналіз заряду батарей ЕМ показує, що у більшості випадків застосування АЗСЕМ є доцільним, а за деяких умов, можливе створення розгалуженої інфраструктури з таких зарядних станцій. Отримані співвідношення для визначення потужностей первинних джерел енергії для заряду АКБ ЕМ дозволяють відносно точно визначити основні параметри. Здебільшого зарядні

станції для електротранспорту функціонують від енергомереж змінного струму. Але при достатній інфраструктурі електромереж, вже зараз є проблеми при установці зарядних станцій, їхнього підключення і забезпечення потужністю для заряду більш одного ЕМ. Так само і для автономних станцій, для заряду одного ЕМ потреба, щоби потужність фотоелектричних чи вітроелектричних джерел була не меншою потужності зарядного пристрою. При одночасному заряджанні кількох електромобілів - не менше $n \cdot P_{EM}$.

Для повного заряду АКБ ЕМ, перш за все треба визначити енергоємність заряду через накопичувач, який забезпечить повний заряд батареї ЕМ:

Mode 1 - класичний заряд змінним струмом ($I = 16$ А, $P = 3,5$ кВт);

Mode 2 – прискорений заряд змінним струмом ($I = 32$ А, $P = 7$ кВт);

Mode 3 – швидкий заряд змінним струмом ($I = 63$ А, напруга $U = 690$ В, $P = 43$ кВт, хоч часто 22 кВт);

Mode 4 – швидкий заряд постійним струмом ($I = 400$ А, напруга $U = 600$ В (максимальна потужність 240 кВт).

Отже потужність ФЕУ та ВЕУ вибирають з умови, що потужність джерел більша потужності споживача. Заряд одного ЕМ від ВЕУ та ФЕУ можливий за всіма чотирма методами, але збільшення потужності зарядної станції збільшує надлишкову енергію і не гарантує заряд через характер генеруючого устаткування. Заряд одного ЕМ від ФЕУ і ВЕУ можливий за всіма чотирма методами, завдяки буферним АКБ.

На рисунку 4.16 приведена розроблена структурна схема системи швидкої зарядки, яка складається з ФЕУ (сонячних панелей), ВЕУ, буферної АКБ, синхронного генератора 5G, випрямляча трифазної напруги АС в постійний струм DC, перетворювача, що підвищує DC/DC, контролера заряду буферної АКБ, перетворювача підвищеного підсилення (MPPI контроль), інвертора постійної напруги в змінний (АС/DC) та LC-фільтра, для видалення вищих гармонік. Через цей фільтр під'єднується мережа змінного струму, куди віддається надлишок електричної енергії, що виробляє система, і через перетворювач змінного струму в постійний підключається ЕМ, що заряджається.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

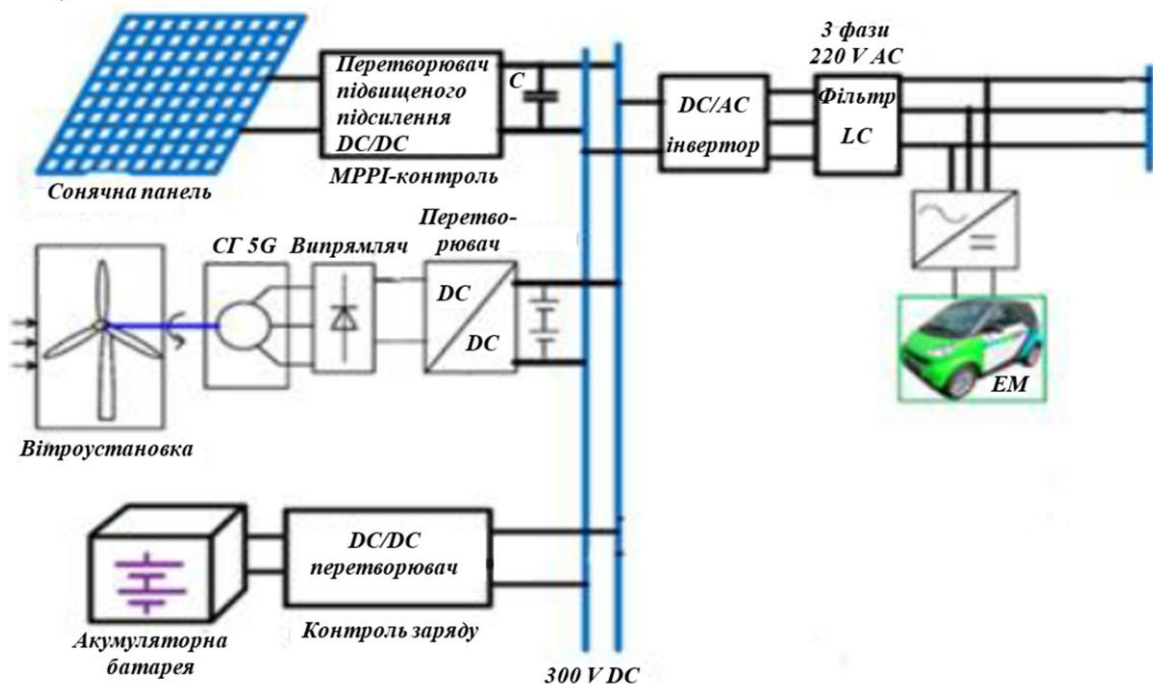


Рисунок 4.16. Система швидкої зарядки ЕМ. Схема структурна.

Технічні характеристики інвертора і зарядної станції, що пропонується використовувати в системі наведені в таблицях 4.3 і 4.4.

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики інвертора Growatt-MAX- TL3 LV.

№	Параметр	Величина
1	Тип	Growatt MAX80 TL3 LV
2	Номінальна потужність змінного струму, Вт	80000
3	Вихідна напруга, В	3 ~ NPE 400/230,
4	Кількість входів або трекерів	6
5	Кількість фаз	3
6	Максимальна потужність Вт	100000
7	Максимальний струм батарей , А	125
8	Напруга MPPT, В	685-850
9	Споживання в режимі очікування, Вт	<1
10	Робочий діапазон на напруги на фазу АС	200-1000
11	Вага ,кг	8
12	Максимальне вхідна напруга постійного струму, В	1100

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики зарядної станції ФОРА «ЄЗС-DC»

№	Назва параметру	Величина
1	Тип	ФОРА «ЄЗС-DC»
2	Напруга споживання з мережі, В	3/400
3	Струм споживання за максимуму потужності, А	170
4	Максимальна потужність споживання від мережі, кВА	115
5	Максимальна вихідна потужність, кВт	100
6	Максимальний зарядний струм, А	200
7	Коефіцієнт корисної дії, в.о.	0,93
8	Діапазон вихідної напруги, В	50-500
9	Число одночасного обслуговування споживачів	1
10	Вага, кг	300

4.7 Висновки до розділу 4

- обґрунтовано, що інтеграція ФЕУ та ВЕУ у систему швидкої зарядки ЕМ сприяє зниженню викидів парникових газів, зменшенню залежності від викопних ресурсів і зниженню експлуатаційних витрат на електричну енергію для АЗСЕМ;

- точна оцінка обсягів накопичення енергії на АЗСЕМ є важливою для безперебійної і стабільної роботи систем швидкої зарядки ЕМ, що дає змогу не лише ефективно працювати в години високого попиту, але й мінімізувати навантаження на енергетичну мережу, знижуючи залежність від традиційних джерел енергії;

- запропонована математична модель дозволяє проводити аналіз взаємовпливу двох джерел енергії та випадкового характеру споживача на роботу АЗСЕМ в цілому;

- на основі аналізу отриманих експлуатаційних характеристик мінімальне функціонування АЗСЕМ із зарядом одного ЕМ в день можна забезпечити при співвідношенні енергії сонця і вітру 1:9, маючи ВЕУ з діаметром вітроколеса 10...12 м і ФЕП площею 10 м². При зарядці більшої кількості ЕМ необхідно площу ФЕП збільшувати пропорційно, а діаметр вітроколеса, як корінь квадратний з числа ЕМ, що заряджаються за добу;

- розроблена структурна схема швидкої зарядки ЕМ від ВДЕ і обрані її компоненти (інвертор, станція швидкого заряду тощо).

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АВТОНОМНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

5.1 Основні принципи забезпечення охорони праці на зарядних станціях електромобілів

ЕМ є новою технологією, в якій використовуються електричні компоненти на борту автомобіля. Різні пов'язані з цим ризики повинні бути суворо ідентифіковані.

Говорячи про безпеку використання ЕМ, необхідно враховувати кілька аспектів [44]:

- безпека електричної системи;
- безпека робочої частини;
- безпека операцій із заряджання акумуляторів;
- технічне обслуговування, експлуатація та рівень навчання.

Захист людей від прямого контакту з активними електричними частинами тягової системи має бути забезпечений відповідною ізоляцією та недоступним розташуванням зазначених частин.

Проблеми захисту від непрямого дотику часто пов'язані зі структурними проблемами. Контакт між ланцюгом тяги та конструкцією може призвести до небезпечних ситуацій, таких як: короткі замикання; електрошок; незапланована та/або неконтрольована поведінка ЕМ.

1. Безпека АКБ. АКБ є найважливішим компонентом ЕМ. Це джерело кількох небезпечних явищ, таких як електричні, механічні та хімічні небезпеки, не кажучи вже про небезпеку вибуху.

2. Небезпека ураження електричним струмом:

- захист від ураження електричним струмом;
- корпуси АКБ повинні бути посилені за необхідності;
- захист від короткого замикання.

Тягові батареї мають значно більші струми короткого замикання, тому повинні бути встановлені запобіжні пристрої, такі як запобіжники, особливо в

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричному центрі батареї. Розташування батареї має бути спроектовано таким чином, щоб унеможливити будь-який ризик некерованого контакту.

3. Хімічна небезпека.

- Літій-іонний АКБ. Конструкція Li-ion та інших літєвих АКБ, як і конструкція всіх первинних батарей з літєвим анодом, відрізняється абсолютною герметичністю. Вимога абсолютної герметичності визначається як неприпустимістю витікання рідкого електроліту (негативно діючого на прилади) і недопустимість потрапляння в АКБ кисню і вологи з навколишнього середовища.

- Свинцеві АКБ. Для цього типу АКБ основна небезпека походить від електроліту (сірчана кислота), тому при обслуговуванні необхідно вживати додаткових запобіжних заходів.

- Нікель-кадмієві АКБ. У цьому типі АКБ електроліт є розчином гідроксиду калію. При обслуговуванні необхідно дотримуватися тих самих запобіжних заходів, що і зі свинцевими батареями.

- Натрієво-сірчані АКБ. Цей тип АКБ повністю герметичний, реагенти (натрій та сірка) знаходяться у термобезпечному контейнері. Ця батарея зазвичай містить кілька осередків меншого розміру, що обмежує кількість небезпечного матеріалу, що виділяється, у разі аварії.

- Натрієво-нікелеві хлоридні батареї. Ці типи АКБ аналогічні натрієво-сірчанам, за винятком того, що хлорид нікелю є сіль і, отже, менш реактивний, ніж сірка.

Для ЕМ необхідно враховувати три рівні технічного обслуговування:

- технічне обслуговування першого рівня: користувачем. Приклади: очищення автомобіля;

- технічне обслуговування другого рівня: в майстерні, кваліфікованим персоналом. Приклади: планове механічне обслуговування, заміна контролерів;

- технічне обслуговування третього рівня: у майстерні виробника. Приклади: капітальний ремонт електрообладнання, який має виконуватися лише кваліфікованим персоналом.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Техніка безпеки при зарядці ЕМ [45]:

1. При зарядці ЕМ потрібно виконати рекомендації виробника.
2. Використовувати тільки спеціальний зарядний кабель, розрахований на велике навантаження.
3. Не можна використовувати багатоштекерний адаптер або подовжувач.
4. Треба слідкувати за станом обладнання і не використовувати пошкоджену розетку або кабель.
5. Якщо заводський перехідник вийшов із ладу, то звернути увагу, щоб у його заміни був захисний модуль. Цей елемент відслідковує напругу і температуру, запобігає коротке замикання або перегрів.
6. Треба переконатися, що електропроводка здатна витримати великі навантаження. Під час зарядки мережа буде працювати на максимум і важливо, щоб даний процес не визвав перебоїв з електрикою.
7. Необхідно встановити пристрій захисного відключення із зарядним пристроєм. Він вимикає живлення в випадку знаходження несправності і допомагає запобігти пожежі.
8. Необхідно переконатися, що зарядка вашого ЕМ безпечна в вологих умовах.

5.2 Інноваційні технології для підвищення рівня охорони праці

Інноваційні технології, що можуть підвищити рівень охорони праці при використанні АЗСЕМ, включають такі напрямки:

1. Інтелектуальні системи моніторингу та діагностики:
 - Інтернет речей (IoT) та сенсорні технології: встановлення датчиків для постійного контролю стану зарядних станцій, виявлення аномалій у роботі, зміни температури, рівня струму або напруги. Дані передаються в реальному часі до централізованої системи для аналізу та прогнозування можливих небезпек.
 - Штучний інтелект (ШІ) для прогнозування поломок: використання алгоритмів ШІ для вивчення даних і виявлення потенційних несправностей, що дозволяє проводити профілактичне обслуговування та запобігати серйозним аваріям.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Роботизовані системи для обслуговування та ремонту:

- Дистанційне обслуговування та діагностика: використання дронів або роботів для огляду та ремонту зарядних станцій на відстані, що зменшує ризики для персоналу при виконанні небезпечних робіт.

- Автономні ремонтні роботи: впровадження роботів, які можуть самостійно виконувати прості ремонтні операції, такі як заміна пошкоджених кабелів або частин, тим самим знижуючи ймовірність ураження електричним струмом.

3. Системи автоматичного вимкнення та захисту:

- Адаптивні системи безпеки: використання інтелектуальних систем, які автоматично вимикають зарядну станцію у випадку виявлення несправностей, таких як коротке замикання, перегрів або потрапляння сторонніх предметів.

- Автоматичне блокування доступу: впровадження біометричних або електронних технологій для обмеження доступу до станцій, щоб уникнути їх використання в небезпечних ситуаціях.

4. Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) для навчання:

- Навчання за допомогою VR/AR: використання VR та AR для проведення тренінгів з безпеки для персоналу, що дозволяє створити симуляції аварійних ситуацій без реальних загроз.

- Інтерактивні інструкції: впровадження AR-технологій для надання інструкцій з технічного обслуговування або ремонту в реальному часі через спеціалізовані пристрої, наприклад, окуляри або смартфони.

5. Технології безпеки на основі блокчейн:

- Прозорість та безпека даних: використання блокчейн для реєстрації всіх операцій, пов'язаних з зарядкою ЕМ, що забезпечує прозорість та надійність даних у випадку перевірок або спірних ситуацій.

- Безпечний доступ до станцій: впровадження блокчейн для захищеного доступу до зарядних станцій, що дозволяє забезпечити безпечну ідентифікацію персоналу та користувачів.

6. Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням:

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Оптимізація енергоспоживання та автоматичне вимкнення: використання технологій ШІ для управління процесом зарядки, адаптуючи його до потреб користувачів та зменшуючи енергоспоживання в періоди пікового навантаження.

- Використання ВДЕ: Інтеграція сонячних панелей або інших альтернативних джерел енергії для живлення зарядних станцій, що дозволяє знижувати негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечує стаке енергопостачання.

7. Системи управління ризиками та прогнозування аварій:

- Прогнозування та управління ризиками: впровадження систем, які на основі аналізу даних можуть передбачати потенційні аварії та аварійні ситуації, використовуючи алгоритми машинного навчання для зниження ймовірності їх виникнення.

- Автоматичні протоколи безпеки: використання спеціалізованих програм для автоматичного виявлення небезпечних ситуацій та їх усунення до того, як вони стануть критичними.

8. Віртуальні помічники та чат-боти для підтримки користувачів:

- Інтерактивні системи підтримки користувачів: впровадження чат-ботів та віртуальних помічників для надання користувачам інформації щодо безпечного використання АЗСЕМ, інструкцій з експлуатації та дій у разі аварійних ситуацій.

5.3 Реалізація засобів індивідуального захисту для технічного персоналу, при обслуговуванні та ремонті АЗСЕМ

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) для технічного персоналу, які займаються обслуговуванням та ремонтом АЗСЕМ, мають вирішальне значення для зниження ризиків ураження електричним струмом, травм і інших небезпечних ситуацій. Ось основні ЗІЗ, що можуть бути використані [44]:

1. Захисне взуття: взуття з електричною ізоляцією, яке захищає від можливого ураження електричним струмом при роботі з обладнанням, що знаходиться під напругою; взуття, яке має міцну підошву, що оберігає від механічних пошкоджень і падіння важких предметів.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Захисні рукавички: рукавички з діелектричними властивостями, що знижують ризик ураження електричним струмом при контакті з електричними пристроями. Вони повинні відповідати стандартам безпеки для певних рівнів напруги; антихімічні рукавички для захисту від хімічних речовин, які можуть потрапити на шкіру при обслуговуванні зарядних станцій.

3. Захисні окуляри та маски: окуляри, які оберігають очі від іскор, бризок або пилу, що можуть утворюватися під час роботи з обладнанням; респіратори або протигазові маски для захисту від токсичних газів або диму, що можуть з'явитися під час аварійних ситуацій або перегріву обладнання.

4. Захисні каски, які захищають голову від ударів або падіння предметів, а також забезпечують додатковий захист від електричних розрядів, що можуть виникати при контакті з енергетичним обладнанням.

5. Одяг для захисту від електричного струму: спеціалізовані комбінезони та куртки з матеріалів, що мають високу ізоляцію, для зменшення ризику ураження електричним струмом; одяг, що відповідає вимогам електробезпеки, щоб мінімізувати ймовірність травм від електричних розрядів або коротких замикань.

6. Захист від механічних пошкоджень: рукавички для захисту рук від порізів і травм, що можуть виникнути під час роботи з інструментами та обладнанням; наколінники та налокітники для запобігання травм при роботі в складних позах.

7. Захист слуху (беруші або навушники) для захисту від шуму, особливо при використанні потужних інструментів під час ремонту зарядних станцій.

8. Запобіжні засоби при роботі з хімічними речовинами (захисні фартухи або екрани) для захисту від хімічних сполук, таких як мастила та охолоджуючі рідини, які можуть бути використані при обслуговуванні станцій.

Застосування цих ЗІЗ допомагає забезпечити безпеку працівників, мінімізуючи можливі ризики та небезпеки при обслуговуванні та ремонті АЗСЕМ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ ВДЕ

6.1 Визначення експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та ремонт акумуляторних систем

Оцінка експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та ремонт акумуляторних систем важлива для забезпечення їх ефективної роботи та довговічності. Ці витрати залежать від типу АКБ, умов використання та інтенсивності експлуатації. Нижче наведено основні фактори, які потрібно врахувати при оцінці витрат:

1. Вартість регулярного технічного обслуговування.

Регулярне обслуговування включає в себе перевірки стану АКБ, оновлення програмного забезпечення, заміну елементів, що зношуються, та калібрування системи управління батареєю (BMS). Це дозволяє вчасно виявляти потенційні проблеми та уникати серйозних поломок.

Річні витрати на перевірку та обслуговування акумуляторної системи включають:

- перевірка та моніторинг стану АКБ (від 1000 до 3000 грн/рік);
- оновлення програмного забезпечення (від 500 до 1000 грн/рік).

Річні витрати на перевірку та обслуговування акумуляторної системи на рік дорівнюють від 1500 до 4000 грн/рік.

2. Заміна зношених елементів АКБ.

АКБ з часом втрачають свою ємність, тому окремі елементи батареї можуть потребувати заміни вже після кількох років експлуатації.

- Витрати на заміну одного акумуляторного елемента (від 3000 до 5000 грн за одиницю).
- Заміна системних блоків (BMS, інвертори, зарядні пристрої) (від 10000-30000 грн залежно від конкретної моделі).

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на заміну елементів за 5 років складуть від 9000 до 30000 грн.

3. Ремонт поломок.

Збої в акумуляторних системах можуть виникати через короткі замикання, перевантаження або механічні пошкодження. Витрати на ремонт можуть включати заміну пошкоджених проводів, з'єднань, датчиків або інших елементів.

- Витрати на ремонт проводки та з'єднань (від 1000 до 3000 грн).
- Замінні компоненти (датчики, електроніка) (від 2000 до 5000 грн).

Загальні витрати на ремонт складуть від 3000 до 8000 грн.

4. Заміна АКБ після закінчення терміну служби.

Кожен АКБ має обмежений термін служби, який зазвичай складає 8...10 років. Після цього може знадобитись заміна всієї акумуляторної системи або основних її компонентів.

- Вартість заміни АКБ складає від 50000 до 150000 грн залежно від типу та ємності АКБ.

Витрати на заміну АКБ через 8...10 років дорівнюють від 50000 до 150000 грн.

5. Енергетичні витрати.

Акумуляторні системи потребують енергії для зарядки. Витрати на енергію можуть суттєво впливати на загальні експлуатаційні витрати, особливо при частому використанні системи.

- Щомісячні витрати на зарядку (для середнього ЕМ або стаціонарної системи) становлять від 100 до 300 грн/місяць.

- Щорічні витрати на енергоспоживання дорівнюють від 1200 до 3600 грн.

Енергетичні витрат за 5 років будуть складати від 6000 до 18000 грн.

Підсумкова оцінка витрат на технічне обслуговування за 5 років:

1. Регулярне обслуговування та перевірки (5 років) - 10000 грн.
2. Заміна компонентів - 24000 грн.
3. Ремонт пошкоджених частин - 3000 грн.
4. Заміна АКБ (після 5 років) - 50000 грн (мінімум).
5. Енергетичні витрати (5 років) - 6000 грн.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатаційні витрати на технічне обслуговування та ремонт акумуляторних систем для системи швидкої зарядки ЕМ за 5 років дорівнюють:

$$B_e = 10000 \text{ грн} + 24000 \text{ грн} + 3000 \text{ грн} + 50000 \text{ грн} + 6000 \text{ грн} = 93000 \text{ грн.}$$

Приблизні експлуатаційні витрати на технічне обслуговування акумуляторної системи за 5 років становлять 93000 грн. Ця сума може варіюватися залежно від конкретних умов експлуатації та специфікацій акумуляторної системи.

6.2 Доцільність продуктивності системи швидкої зарядки в порівнянні з альтернативними технологіями енергозабезпечення для ЕТЗ

Доцільність продуктивності системи швидкої зарядки в порівнянні з альтернативними технологіями енергозабезпечення для ЕТЗ можна оцінювати за кількома ключовими аспектами.

1. Час зарядки та зручність для користувача.

- *Швидка зарядка*: головна перевага системи швидкої зарядки — це значне скорочення часу, необхідного для поповнення енергії в АКБ. Залежно від потужності АЗСЕМ та ємності АКБ, час зарядки може варіюватися від 15 хв. до години. Для багатьох користувачів це критичний фактор, особливо для тих, хто потребує швидкої підзарядки під час довгих подорожей або в умовах обмеженого часу.

- *Повільна зарядка*: зазвичай цей процес займає від 6 до 12 год., що робить його менш зручним для користувачів, котрі не можуть залишити свій ЕМ на таку тривалу кількість часу. Однак повільна зарядка є більш енергетично ефективною і підходить для нічної зарядки вдома або в ситуаціях, коли машина не використовується протягом тривалого часу.

- *Замінні батареї*: у технології заміни батарей водій може замінити розряджену батарею на повністю заряджену на спеціалізованих станціях, що може

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

зайняти 5...10 хв. Це дозволяє обійти проблему тривалого часу зарядки. Однак така система потребує значних інвестицій у створення відповідної інфраструктури.

2. Енергоефективність та витрати енергії.

- *Швидка зарядка*: одним із недоліків швидкої зарядки є її вища енергетична витратність. Через швидкість процесу значно більше енергії втрачається у вигляді тепла, що знижує загальну ефективність. Крім того, для досягнення швидкості зарядки в кілька сотень кВт потрібні потужніші трансформатори та інші елементи інфраструктури, що додає витрат.

- *Повільна зарядка*: оскільки процес зарядки відбувається поступово, втрати енергії є меншими, що робить повільну зарядку більш енергоефективною.

- *Бездротова (індуктивна) зарядка*: бездротові технології зарядки (наприклад, індуктивна зарядка) можуть мати значні втрати енергії через неефективність передачі енергії на відстані. Однак вони мають великий потенціал у випадках, коли ЕМ може заряджатися без необхідності підключення до кабелів (наприклад, на спеціальних парковках або під час руху).

3. Вартість інфраструктури та економічний аспект.

- *Інфраструктура швидкої зарядки*: для швидкої зарядки потрібна більш складна та дорога інфраструктура, включаючи потужні трансформатори, високопродуктивні зарядні станції і спеціалізовані кабелі. вартість такої інфраструктури може бути значною, особливо для створення мережі на національному рівні.

- *Інфраструктура повільної зарядки*: більш економічна у встановленні, але зазвичай займає більше часу для забезпечення попиту. Однак через менші витрати на встановлення може бути більш доцільною для окремих домогосподарств і невеликих громад.

- *Альтернативні технології (заміна батарей)*: створення мережі станцій для заміни батарей потребує значних інвестицій як у фізичну інфраструктуру (станції, автоматизовані системи для обміну батарей), так і в підтримку логістики для обігу батарей.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Екологічні фактори.

- *Викиди CO₂ та екологічний слід*: усі технології зарядки ЕТЗ мають вплив на навколишнє середовище, головним чином через витрати енергії, зокрема виробництво електричної енергії. Якщо джерела електричної енергії не є відновлювальними, то і швидка, і повільна зарядка можуть мати значний вуглецевий слід.

- *Повторне використання батарей та переробка*: замінні батареї можуть створювати додаткові виклики для переробки та управління відходами, оскільки акумулятори містять токсичні речовини, які потребують спеціальної обробки.

5. Технічні та операційні проблеми

- *Проблеми з сумісністю*: не всі ЕТЗ підтримують всі види зарядних стандартів (наприклад, CHAdeMO, CCS). Це може призвести до проблем із доступом до станцій швидкої зарядки або необхідністю мати кілька кабелів для різних типів автомобілів.

- *Надійність та доступність станцій*: у разі високої популярності технології швидкої зарядки можуть виникнути проблеми з перевантаженням станцій, що збільшує час очікування. В альтернативних методах, таких як заміна батарей або індуктивна зарядка, можуть бути інші операційні проблеми, зокрема потреба в підтримці великої кількості батарей.

6. Перспективи розвитку та інновації.

- *Швидка зарядка*: технології швидкої зарядки постійно удосконалюються, зокрема, розвиток нового покоління АКБ з більшою ємністю і швидким процесом зарядки. В майбутньому це може значно знизити час зарядки та енергетичні втрати.

- *Альтернативні технології*: виробництво бездротових зарядних станцій, нові методи зберігання енергії (наприклад, використання графенових або твердотільних АКБ) можуть створити додаткові можливості для енергозабезпечення без необхідності використання кабелів або зарядних станцій

Доцільність системи швидкої зарядки порівняно з іншими технологіями залежить від конкретних потреб, умов експлуатації та фінансових можливостей.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидка зарядка є оптимальним рішенням для міжміських трас, міських центрів і на шосе, де час є критичним фактором. Однак для домашнього використання або в умовах обмеженого доступу до інфраструктури більш вигідним може бути використання повільних зарядок або навіть інноваційних рішень, таких як бездротові системи або заміна батарей.

6.3 Прогнозування розвитку технологій ВДЕ для зарядних станцій

В Україні вимоги до прогнозу потужності ВЕС та СЕС сформульовано в Законі України «Про ринок електричної енергії України» (надалі цитується редакція від 2019 року). Стаття 70 означеного Закону стверджує, що «Усі учасники ринку, крім споживачів, які купують електроенергію за договором постачання електричної енергії споживачу, несуть відповідальність за свої небаланси електричної енергії». Така відповідальність покладається і на ВЕС та СЕС, яким встановлено «зелений тариф» або які набули право на підтримку. Такі виробники електричної енергії зобов'язані «щодобово подавати гарантованому покупцю погодинні графіки відпуску електричної енергії на наступну добу у порядку та формі, визначених двостороннім договором з гарантованим покупцем» (стаття 71). За відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії відшкодовується частка вартості врегулювання небалансу електричної енергії. Отже, точність прогнозу має безпосереднє економічне вираження. Однак фінансова відповідальність має ґрунтуватись на об'єктивних вимогах, тобто враховувати реальну можливість забезпечити прогноз потужності ВЕС чи СЕС із заданою точністю.

Вимоги до точності прогнозу сформульовано в прикінцевих та перехідних положеннях зазначеного Закону. Отже, порушенням графіка для виробників електричної енергії, що використовують енергію вітру, вважається «відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії такого суб'єкта господарювання від його погодинного графіка відпуску електричної енергії більш

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як на 20 відсотків» (п.11). Для виробників, що використовують енергію сонячного випромінювання, порушенням є відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії від його погодинного графіка більш як на 10 відсотків.

Розвиток технологій ВДЕ для зарядних станцій у майбутньому буде залежити від кількох ключових факторів:

- Інновації у матеріалах та технологіях виробництва.
- Політичні ініціативи та державне фінансування.
- Розвиток інфраструктури ЕТЗ.
- Розвиток розумних мереж (smart grids).

Основні перспективи розвитку технологій ВДЕ для зарядних станцій включають:

Зниження вартості виробництва енергії за рахунок зростання ефективності і зниження вартості обладнання.

Розширення мережі зарядних станцій на відновлювальних джерелах енергії, що знижує навантаження на національні енергомережі.

➤ Покращення екологічних характеристик та зменшення викидів парникових газів. Проте існують і виклики, які можуть стримувати цей процес.

➤ Недостатній рівень розвитку інфраструктури АЗСЕМ у деяких регіонах.

➤ Висока вартість інвестицій у новітні технології, такі як розумні мережі та системи зберігання енергії.

➤ Залежність від погодних умов для деяких ВДЕ (сонце, вітер), що може створювати нестабільність у постачанні енергії.

Прогнозування розвитку технологій ВДЕ для АЗСЕМ є важливою складовою стратегії сталого розвитку енергетичної інфраструктури. Застосування сонячних панелей, вітрових турбін та систем зберігання енергії дозволяє забезпечити більш екологічне і економічно вигідне рішення для зарядки електричних автомобілів. Однак для повного розкриття потенціалу цих технологій необхідно подолати певні технічні та фінансові бар'єри. У майбутньому прогрес у цих сферах може призвести до значного зростання використання ВДЕ в енергетичній інфраструктурі АЗСЕМ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних і аналітичних досліджень в кваліфікаційній роботі “Обґрунтування доцільності створення зарядних станцій для електромобілів на основі комплексного використання відновлених джерел енергії”, можна зробити наступні висновки:

1. Подальший розвиток зарядної інфраструктури є критично важливим чинником для забезпечення ефективного переходу до електричної мобільності, який сприяє скороченню викидів парникових газів та підтримує впровадження сталих енергетичних технологій, що є необхідними для розвитку екологічно чистої та енергоефективної транспортної системи.

2. Для використання переваг ЕМ у справжньому сенсі, необхідно розробити максимально екологічну систему заряджання, в якій енергія частково або повністю виробляється ВДЕ, таких як сонячні ФЕП і ВЕУ.

3. Розробка АЗСЕМ на основі ВДЕ в першу чергу направлена на оптимізації різних аспектів заряджання, таких як розмір ВДЕ, розмір накопичувача, режим руху транспортного засобу, час заряджання, вартість заряджання, планування зарядки тощо.

4. Виконаний аналіз характеристик вітрової енергії та її вплив на ефективність роботи ВЕУ, а саме: вплив швидкості вітру, напрямку і стабільність вітру, густини повітря, висоти вітроустановки та відносної вологості повітря.

5. Отримані математичні моделі для визначення енергоспоживання на зарядку одного і декількох ЕТЗ; загальної енергії, необхідної для функціонування станції; оцінки енергетичних ресурсів для добового та місячного споживання електроенергії станцією.

6. Розглянуто теоретичні основи функціонування ФЕС і встановлено, що основними елементами її функціонування є: ФЕП, інвертори, установчі стелажі та АКБ.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Експериментальні данні інтенсивності сонячної радіації показують, що у листопаді, грудні та січні максимальна інтенсивність сонячної радіації 400...600 Вт/м² становить лише п'ять днів, у всі інші дні цих місяців вона не перевищує 200 Вт/м². У ці дні сумарне вироблення і накопичена енергії в АКБ мають бути достатніми для зарядження ЕМ з урахуванням короткого світлового дня. У той же час максимальна інтенсивність сонячної радіації в травні і в літні місяці досить стабільно перебуває на рівні 900...1000 Вт/м², так що генерування електроенергії СЕС може перевищувати потреби.

8. Точна оцінка обсягів накопичення енергії на АЗСЕМ є важливою для безперебійної і стабільної роботи систем швидкої зарядки ЕМ, що дає змогу не лише ефективно працювати в години високого попиту, але й мінімізувати навантаження на енергетичну мережу, знижуючи залежність від традиційних джерел енергії.

9. Запропонована математична модель дозволяє проводити аналіз взаємовпливу двох джерел енергії та випадкового характеру споживача на роботу АЗСЕМ в цілому.

10. На основі аналізу отриманих експлуатаційних характеристик мінімальне функціонування АЗСЕМ із зарядкою одного ЕМ в день можна забезпечити при співвідношенні енергії сонця і вітру 1:9, маючи ВЕУ з діаметром вітроколеса 10...12 м і ФЕП площею 10 м². При необхідності заряджати більшу кількість ЕМ необхідно площу ФЕП збільшувати пропорційно, а діаметр вітроколеса, як корінь квадратний з числа ЕМ, що заряджаються за добу.

11. Розроблена структурна схема швидкої зарядки ЕМ від ВДЕ і обрані її компоненти (інвертор, зарядна станція, станція швидкого заряду тощо).

12. На основні принципів забезпечення охорони праці на АЗСЕМ запропоновані інноваційні технології, що підвищують рівень охорони праці на таких станціях.

13. Прийняті і запропоновані рішення в роботі підтверджені техніко-економічними розрахунками.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с. Вебсайт. URL: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf> (дата звернення: 10.11.2024).
2. Ковальчук С. Інтеграція електромобілів в енергетичні системи України: дослідження впливу на електромережі. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2020, т. 32. №1. С. 59-72.
3. Петришак П.В., Кравчук Р.С. Вплив електромобілів на глобальний ринок нафти. *Актуальні проблеми глобалізованого світу*: зб. тез доп. наук.-практ. конф. м. Івано-Франківськ, 19 жовтня 2023 року. Івано-Франківськ, 2023. С. 57-59.
4. Галько С.В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. DOI: <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.
5. Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел. *Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії*. К.: АТ «Укренергозбереження», 1999. №2. С. 30–38.
6. Федоренко А., Вижанов О. Белоха Г. Огляд систем зарядження електромобілів. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку*: зб. наук. праць VIII Міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. м. Київ, 15-17 листопада 2022 р. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. С. 92-95.
7. Павлов В. Б., Бudyко В.І. Зарядження електромобілів від відновлюваних джерел. *Технічна електродинаміка*. 2017. №6. С. 32–35. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2017.06.032> (дата звернення: 15.11.2024).

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Будько В.І. Комплексне використання ВДЕ в складі зарядних станцій акумуляторних батарей електромобілів. *Відновлювана енергетика XXI століття*. XV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2014. С. 112–114.

9. PlugShare - EV Charging Station Map - Find a place to charge: вебсайт. URL: <https://www.plugshare.com/> (дата звернення: 10.11.2024).

10. Кубіч В. І. Гібридні силові установки легкових автомобілів: Навчальний посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. 193. с.

11. Петришак П.В., Кравчук Р.С. Основні елементи будови електромобіля. *Актуальні проблеми глобалізованого світу*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 19 жовтня 2023 року. Івано-Франківськ, 2023. С. 23–24.

12. Бажинов О.В., Двадненко В.Я., Хакім М. Конверсія легкового автомобіля в гібридний. Харків: ХНАДУ, 2014. 200 с.

13. Федоренко А. Гібридна система заряджання електромобілів з використанням відновлюваних джерел енергії. Науково-технічна конференція магістрантів ім. В.М Винославського. К.: НН ІЕЕ, 2022. 124. с.

14. Мисків Т. Г., Данілова Ж. Д., Жовнич В. І. Аналіз гібридного приводу автомобіля Toyota Prius. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 2016. №838. С.194-201. с.

15. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392. с.

16. Галько С.В., Жарков В.Я., А.В. Жарков. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

17. Півняк Г. Основи вітроенергетики: Підручник. Дніпро: НГУ, 2015. 335 с.

18. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Трач І.В. Проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в слабкі електричні мережі. *Технічна електродинаміка*. 2012. №3. С. 25-26.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Будько В.І. Розроблення математичної моделі роботи автономної зарядної станції електромобілів від вітроелектричних установок. *Відновлювана енергетика*. 2017. №3. С. 6–13.

20. Павлов В.Б., Кудря С.О., Будько В.І., Кириленко В.М. Особливості роботи автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок та буферних акумуляторів енергії. *Технічна електродинаміка*. 2019. №4. С. 70–76.

21. Будько В.І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії. – Київ: ЮНІДО, 2015. 49. с.

22. Возняк О.Т., Янів М.Є. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська Політехніка»*. Теорія і практика будівництва. 2010. №664. С. 7-10.

23. Бартецький А.А., Бартецька І.А. Оптимізація роботи фотоелектричних станцій для забезпечення балансової стійкості енергосистеми. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018, т. 29. №5. Ч. 2. С. 114 – 118.

24. Драган О.А. Використання розумних енергетичних мереж у системах зарядки електромобілів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2021, т. 47. № . С. 130-141.

25. Колонтаєвський Ю.П., Тугай Д.В., Котелевець С.В. Фотоенергетика: Навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160. с.

26. Лежнюк П.Д., Бартецький А.А., Бартецька І.А. Оптимізація роботи фотоелектричних станцій для забезпечення балансової стійкості енергосистеми. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018, т. 29. №5. Ч.2. С. 114–118.

27. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: Навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403. с.

28. Курило І.В., Губа С.К. Основи технології напівпровідникових матеріалів: Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Львівська політехніка», 2012. 240. с.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29. Фреїк Д.М., Чобанюк В.М., Галушак М.О., Криницький О.С. Фотоелектричні перетворювачі сонячного випромінювання. Досягнення, сучасний стан і тенденції розвитку (огляд). *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012, т.13. №1. С. 7–20.

30. Будько В.І. Концепція зарядження акумуляторної батареї електромобіля від фотоелектричної станції. *Відновлювана енергетика*. 2014. №1. С. 14–21.

31. Островерхов М.Я., Пишов В.М. Моделювання електромеханічних систем в Simulink: Навчальний посібник. – К.: ВД Стилос, 2008. 532. с.

32. Гаєвська Г.М., Гаєвський О.Ю. Розробка ПО для оптимізації параметрів фотоелектричної станції І. Кут нахилу та азимутальна орієнтація сонячних панелей. *Відновлювана енергетика*. 2017. №2 (49). С. 41–49.

33. Проценко Г.Д. Метеорологія та кліматологія: Навчальний посібник. – К.: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2007. 265. с.

34. Гаєвський О.Ю., Врещ М.О., Мельник О.В. Аналіз ефекту затінення фотоелектричних модулів у послідовно-паралельному з'єднанні, *Відновлювана енергетика*. 2013. №1(32). С 28–30.

35. Столярчук П.Г., Яцук М.М., Микийчук М.С., Міхалева О.В. Розробка математичної моделі ефективності сонячних перетворювачів. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2014. №5/8 (71). С. 30-36.

36. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двадненко В.Я. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика. Харків: ХНАДУ, 2011. 76. с.

37. Михайленко І.П., Корнієнко Д.Л. Оптимізація систем швидкої зарядки електромобілів на основі динамічних моделей. *Технічні науки: сучасні підходи*. 2020, т. 22. №1. С. 97-106.

38. Галько С.В., Вершков О.О., Леженкін О.М. Експериментальне дослідження магнітної системи проточного вітроелектромеханічного нагрівача. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20, т. 3. С.88-98. DOI: <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-3-88-98>.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

39. Галько С.В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф. м. Луцьк, 10 квіт. 2020 року.* Луцьк: МЦНД, 2020. Т.1. С. 83-90. DOI: <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

40. Гаєвська Г.М. Алгоритм апроксимації вольт-амперної характеристики фотомодуля при частковому затіненні. *Відновлювана енергетика.* 2019. №3 (58). С. 21–29.

41. Гаєвський О.Ю., Іванчук В.Ю., Корнієнко І.О. Алгоритм і програмне забезпечення для Arduino-системи тестування фотоелектричних модулів. *Відновлювана енергетика.* 2021. №1. С. 42–49.

42. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica.* Barcelona, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia, 2020. Vol.2. pp. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

43. Halko S., Halko K., Suprun O., Qawaqzeh M., Miroshnyk O. Mathematical modelling of cogeneration photoelectric module parameters for hybrid solar charging power stations of electric vehicles. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek).* Kharkiv, Ukraine, 2022. pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916397>.

44. Гутареивч Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.

45. Олійник Я.Б., Шищенко О.П., Гавриленко Я.Б. Основи екології: Підручник. - К.: Знання, 2012. 558 с.

					21ЕМД.11260571.02.25.000000ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		