

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	О. КОЛЛАРОВ
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«___» _____	2022 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Проектування зарядної фотоелектростанції для потреб
електротранспорту

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛК-18
(шифр групи)

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
підготовки _____
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Андрій ПАПЕТА

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник ст.вик., П. БЕЛИЦЬКИЙ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Нормоконтроль:

О. ЛЮБИМЕНКО

(підпис)

Засвідчую, що у цій випускній
кваліфікаційній роботі немає
запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

(дата)

(дата)

ЛУЦЬК – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Андрію ПАПЕТІ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Проектування зарядної фотоелектростанції для потреб
електротранспорту

керівник роботи _____ Павло БЕЛИЦЬКИЙ

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 04 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Місце розташування – Одеська обл.

Мінімальна потужність $R_{\min}=22$ кВт, максимальна $R_{\max}=60$ кВт, максимальна
кількість електротранспорту на зарядці – 6 електромобілів;

Графіки навантаження зарядної станції.

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

1. Перспективи розвитку зарядної інфраструктури для електротранспорту.

2. Математичне моделювання зарядної ФЕС.

3. Розрахунок зарядної ФЕС.

4. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	П. БЕЛИЦЬКИЙ, ст.викл. каф.		
Розділ 4	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	03.05.22 – 12.05.22	
2.	Розділ 2	13.05.22 – 23.05.22	
3.	Розділ 3	24.05.22 – 30.05.22	
4.	Розділ 4	31.05.22 – 04.06.22	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Андрій ПАПЕТА
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Павло БЕЛИЦЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Папета Андрій Віталійович. Проектування зарядної фотоелектростанції для потреб електротранспорту / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів основної частини, висновку, списку використаних джерел та додатку.

У першому розділі проаналізована зарядна інфраструктура для електротранспорту в Україні, наведена загальна класифікація зарядних станцій, приділено увагу структурі зарядних фотоелектричних станцій.

У другому розділі виконане математичне моделювання зарядної фотоелектричної станції та виконано складання різних моделей для процесу проектування.

У третьому розділі проведений розрахунок та вибір обладнання зарядної фотоелектричної станції для електромобілів.

У четвертому розділі розглянуті питання охорони праці.

Ключові слова: зарядна станція, фотоелектрична станція (ФЕС), електромобіль, інвертор, акумуляторна батарея (АКБ).

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	7
1.1 Розвиток технології зарядних станцій в Україні	7
1.2 Класифікація зарядних станцій	8
1.3 Зарядні станції на базі відновлювальних джерел енергії	14
1.4 Рівні зарядних станцій для електромобілів	17
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАРЯДНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ	23
2.1 Структурно-функціональна модель зарядної ФЕС	23
2.2 Ресурсна модель приходу сонячного випромінювання	24
2.3 Технічна модель сонячної фотоелектричної установки	27
2.4 Загальна математична модель зарядної ФЕС	28
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗАРЯДНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ	33
3.1 Графіки електричного навантаження зарядної ФЕС	33
3.2 Розрахунок та вибір фотоелектричних панелей	37
3.3 Вибір оптимального кута встановлення фотопанелей	39
3.4 Вибір інвертора	44
3.5 Вибір акумуляторних батарей	47
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	51

ВСТУП

Сьогодення поширення електромобілів йде досить швидкими темпами. Так у 2018 році було продано вже приблизно понад два мільйони електромобілів, а у подальшому на 2025 рік прогнозується продаж 10 мільйонів електромобілів. За попередньою інформацією очікується, що до 2040 року практично 57% усіх продажів легкових автомобілів та понад 30% світового парку легкових автомобілів будуть електричними [1].

Світовий попит на енергію для електромобілів також може зрости з 20 мільярдів кВт·год 2020 року до 280 мільярдів кВт·год 2030 року [1]. Основною проблемою розповсюдженню електромобілів є обмеження запасу ходу, тому створення саме інфраструктури зарядних станцій для покриття потреби у зарядці електромобілів стане важливим завданням не у найближчому майбутньому, а вже зараз. Таким чином, ефективний спосіб не відставати від кількості електромобілів, що росте, так це використовувати різні відомі методи зарядки з різним функціоналом, щоб можливо було компенсувати недоліки кожного з них.

Паралельно в даний час у світі спостерігається дуже активний розвиток поновлюваних джерел енергії. Їхня частка у загальній кількості виробленої електричної енергії вже досягла 26%. Однак застосування даних технологій при енергозабезпеченні об'єктів містах має деякі недоліки, одним з яких є відсутність стабільності в кількості енергії, що виробляється. Для вирішення цієї проблеми в даний час використовуються акумуляторні батареї. При цьому дана тенденція повинна також супроводжуватися розвитком відповідної зарядної інфраструктури.

РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

1.1 Розвиток технології зарядних станцій в Україні

Переорієнтація на електромобілі є глобальним світовим трендом. Україна - один зі світових лідерів за приростом парку електромобілів. Головна причина цього це податкові пільги на імпорт електромобілів. Прогнозовано, що й надалі парк електромобілів в нашій країні продовжить зростати шаленими темпами. З цієї причини все гостріше відчувається нестача зарядних станцій. Розвиток інфраструктури зарядних станцій є першочерговою задачею, але він вимагає вкладення великих інвестицій, тому кількість зарядних станцій зростає значно повільніше, ніж число електрокарів. Але варто зазначити, що країна має доволі непоганий темп розвитку кількості станцій для зарядки електромобілів, а саме за 5 років кількість зарядок збільшилась у 60 раз. На рис.1.1 наведена мапа поширення зарядних станцій для електромобілів із сайту plugshare.com [2].

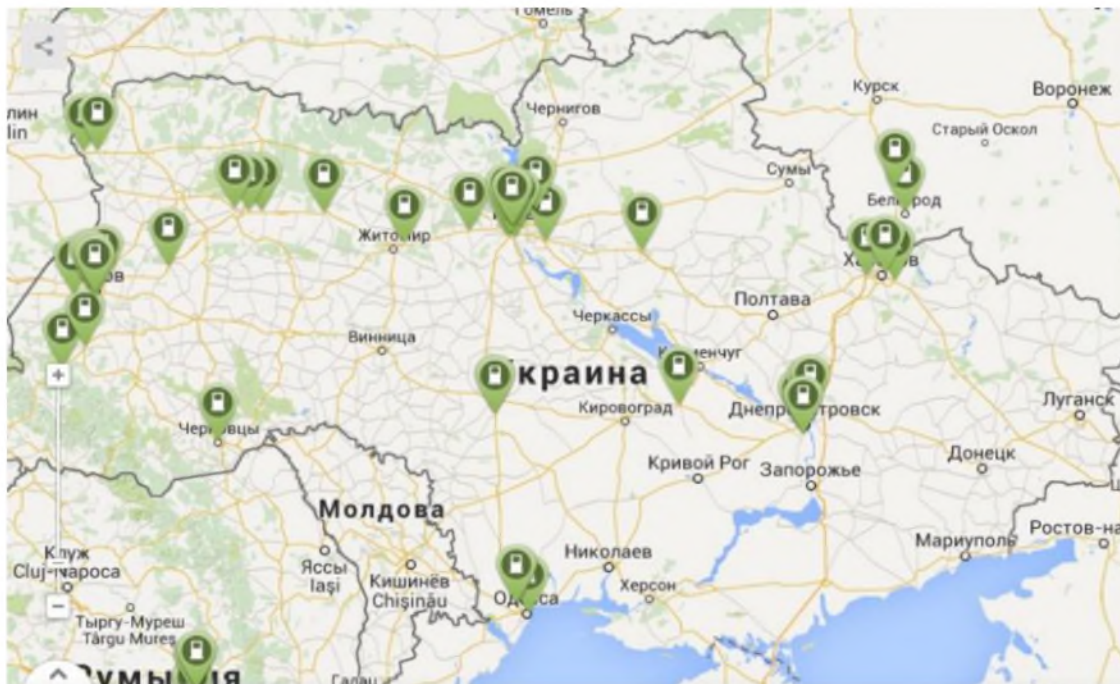


Рисунок 1.1 – Мапа поширення зарядних станцій для електромобілів

За даними сервісу PlugShare, на середину 2019 року в Україні налічувалося станцій табл.1.1: 172 побутові (207 точок доступу); 1 773 публічні зарядні станції (3 685 пунктів); 109 з обмеженим доступом (177 пунктів).

Таблиця 1.1 – Наявність зарядних станцій в Україні за типами

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Загальна кількість станцій
1. Побутові							
К-ть станцій	1	10	34	56	58	13	172
К-ть пунктів	1	10	36	66	76	18	207
2. Публічні							
К-ть станцій	33	40	251	477	803	169	1773
К-ть пунктів	36	70	512	937	1785	345	3685
3. З обмеженим доступом							
К-ть станцій	1	9	15	35	44	5	109
К-ть пунктів	1	16	31	52	68	9	177
Загальна кількість станцій	35	59	300	568	905	1878	2054
Загальна кількість пунктів	38	96	579	1055	1929	372	4069

Таким чином, збільшення інфраструктури зарядних станцій є важливішим питанням на сьогодні.

1.2 Класифікація зарядних станцій

Для суцільної експлуатації електротранспорту, до якого відносяться саме електромобілі та гібридні автомобілі, край необхідна розвинена зарядна інфраструктура, яка повинна мати ряд елементів, основними з яких є станції з обслуговування електричних транспортних засобів. На сьогодні день маємо

саме два типи таких станцій, принципи їх роботи кардинально відрізняються один від одного. Тобто всі станції можливо поділити на зарядні станції та станції заміни акумуляторних батарей. Принцип роботи різний, а мета досягнення одна – забезпечення електротранспорту електричним ресурсом для переміщення на довгі відстані.

Зарядна станція – це електротехнічний пристрій, оснащений необхідними для підключення електромобілів роз'ємами і коннекторами, що дозволяє проводити зарядку електромобілів у різних режимах [1]. Приклади зарядних станцій наведено рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Зарядні станції виробництва стовпового типу

За швидкістю зарядки такі станції поділяються на два типи, а саме [1]:

- станції стандартного заряджання. Заряджання здійснюється змінним струмом. Час заряджання становить від 4 до 14 годин залежно від режиму заряджання та ємності акумуляторної батареї електричного транспортного засобу [1]. Даний тип зарядних станцій дозволяє підключити не більше двох електромобілів і найчастіше використовується на парковках, біля торгово-розважальних та офісних центрів, фітнес-клубів та інших громадських місцях, де люди проводять багато часу;

- станції швидкої (експрес) зарядки забезпечують менш тривалу зарядку електромобіля (близько 15-40 хв), ніж станції стандартної зарядки [1]. Зарядка електромобілів від даного типу станцій здійснюється постійним струмом силою до 125 А при напрузі до 550 і потужності до 50 кВт [1]. Зарядні станції стандарту CHAdeMo дозволяють заряджати до 4 електромобілів одночасно [1].

Класифікація за використанням різних технологій для заряджання електромобілів, включаючи стаціонарні, мобільні зарядні станції та бездротова зарядка наведена на рис.1.3.



Рисунок 1.3 – Класифікація способів заряджання електромобілів

Як відомо, всі електромобілі живляться виключно від енергії, що накопичується в акумуляторній системі автомобіля. У електроавтомобілів відсутнє резервне джерело живлення і відповідно коли акумулятор розряджається, то його необхідно підзарядити перед повторною роботою. Підзарядка електромобілів виконується за допомогою підключення до зарядного пристрою електромобілів. Практично це система, яка тісно взаємодіє з транспортним засобом та завжди контролює електричну активність для забезпечення необхідного рівня безпечної зарядки. Електроніка зарядного пристрою в автомобілі перетворює змінний струм, що подається на акумулятори електромобіля, на постійний струм за допомогою випрямляча. Для забезпечення

руху електромобіля в його складі встановлений двигун, який працює на змінному струмі, його перетворення виконується за допомогою інвертора. Описана схема зарядного електрообладнання з усіма зв'язками наведена на рис. 1.4.

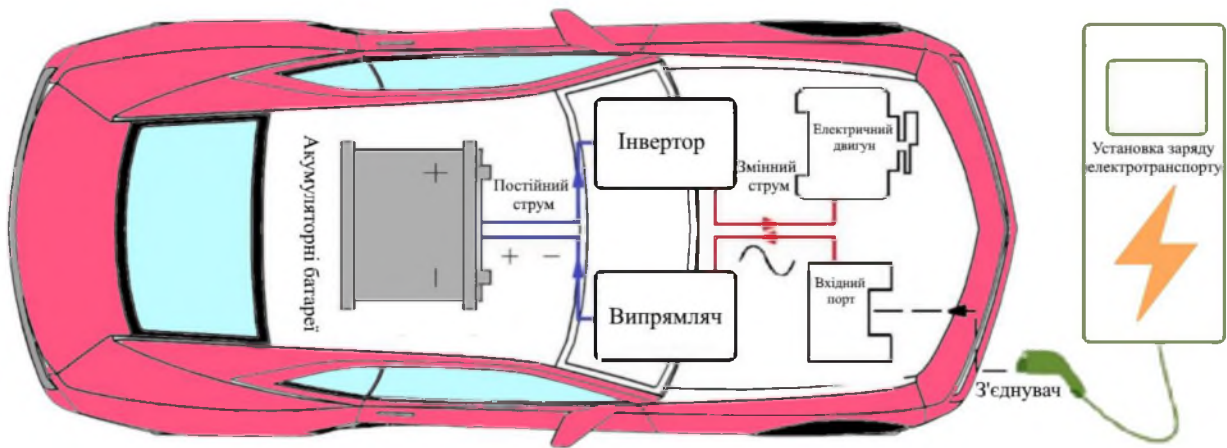


Рисунок 1.4 – Схема зарядного обладнання електромобіля

Зі швидкими темпами розвитку електротранспорту європейські та американські виробники електротехнічного обладнання відповідно розпочали виробництво пристроїв, які необхідні для заряджання електротранспорту. Тому необхідна була система для уніфікації та створення стандартизованих роз'ємів та режимів заряджання акумуляторних батарей електромобілів. Таким чином, було прийнято рішення, щоб розробити ряд стандартів, які характеризують режим та спосіб заряджання електромобіля.

Створення таких стандартів було покладено на Міжнародну електротехнічну комісію (International Electrotechnical Commission, IEC). Результатом роботи комісії стала розробка переліку міжнародних стандартів, що практично систематизують та регулюють усі способи підключення зарядних пристроїв до електромобіля (види конекторів), а також дають опис допустимих режимів зарядки електромобілів [1]. Таким чином, з'явився стандарт IEC 61851-1, згідно з яким можливі наступні варіанти підзарядки [2]:

- Mode 1 – повільне заряджання змінним струмом від побутової мережі. Клас стандартних побутових розеток варіюється в різних районах світу. У більшості європейських країн стандартні розетки часто розраховані на напругу 230 В силу струму 16 А і видають потужність до 3,7 кВт. Заряджання при такому режимі може зайняти від 8 до 14 год [2];

- Mode 2 – повільне заряджання змінним струмом від побутової мережі з використанням системи захисту від ураження електричним струмом, розташованої всередині кабелю [2];

- Mode 3 – повільна або швидка зарядка змінним струмом з використанням спеціального роз'єму, в якому реалізовано систему захисту та контролю за ходом зарядки електромобіля. В цьому випадку зарядка проводиться змінним струмом до 32 А при напрузі до 380 і потужності до 22 кВт. Час заряджання може становити від 4 до 5 год [2];

- Mode 4, він же стандарт CHAdeMo – швидке заряджання постійним струмом силою до 125 А при напрузі до 550 В та потужності до 50 кВт з використанням зовнішнього джерела живлення. Час заряджання – 15-40 хв. [2].

Станція заміни акумуляторних батарей на відміну від зарядної станції є досить невеликою будовою, яка оснащена засобами заміни, заряджання та зберігання акумуляторів електротранспорту. На таких станціях виконується заміна акумуляторних батарей електромобілів на повністю заряджені батареї. Приклад існуючих станцій наведено на рисунку 1.5.

На сьогоднішній день такими розробками займаються лише кілька компаній, з яких найвідомішою станцією заміни АКБ є компанія Better Place (США). Також конкурентами США є Китайська компанія CATL.

Хвилинна заміна акумулятора в автоматичному режимі набагато зручніша і швидше тривалого простою під час звичайної зарядки тягового акумулятора, що дає можливість гарячої заміни батарей, завдяки чому процес заміни займає близько п'яти хвилин. А щоб не виникало дефіциту змінних батарей розроблена технологія їх перезарядки, яка займає близько 30-60 хв. Саме при такій великій швидкості заряджання батареї можуть перегрітися та зіпсуватися, тому їх

примусово охолоджують. Сам процес заміни акумуляторних блоків проілюстровано рисунку 1.6.



Рисунок 1.5 – Станції заміни акумуляторних батарей

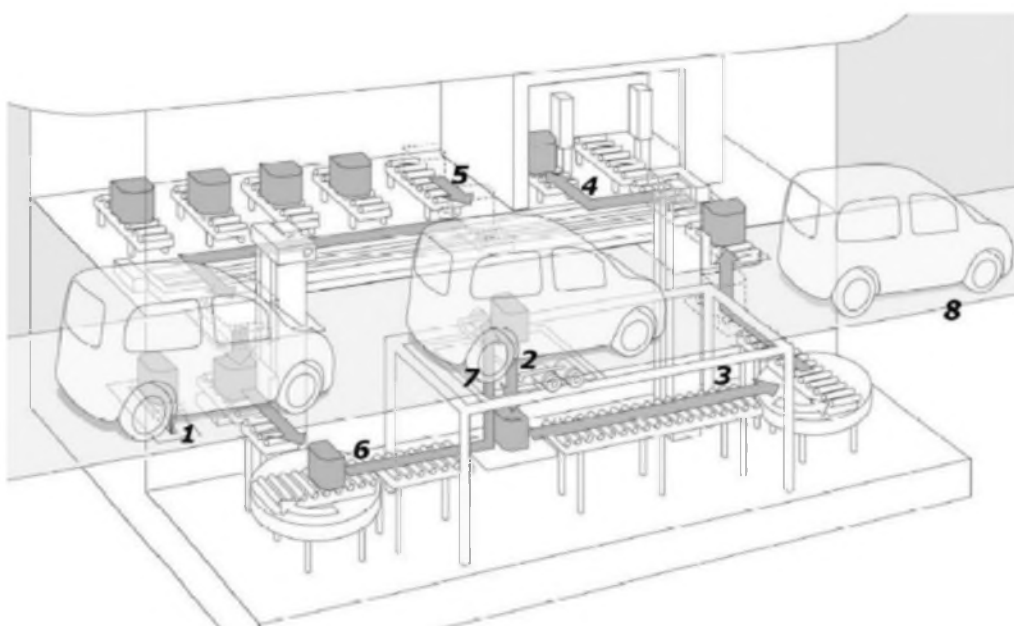


Рисунок 1.6 – Процес заміни акумуляторних блоків на станції заміни

На рис.1.6 прийняті наступні позначення: 1 – швидке очищення та сушіння дна автомобіля; 2 – виїмка розрядженого акумулятора; 3 – транспортування розрядженого акумулятора; 4 – зона підзарядки акумуляторів; 5 – сховище заряджених акумуляторів; 6 – транспортування заряджених акумуляторів; 7 – встановлення зарядженого акумулятора; 8 – від'їзд автомобіля

Таким чином, якщо проводити аналіз за часом обслуговування електромобіля, то можна зробити висновок, що станції заміни АКБ є зручнішими для власників електричних транспортних засобів, ніж зарядні станції. Однак у таких станцій все ж таки є один недолік, вони орієнтовані бувають на конкретні моделі електромобілів.

1.3 Зарядні станції на базі відновлювальних джерел енергії

Використання електромобілів та гібридних автомобілів є перспективною та довгостроковою тенденцією, яка дозволяє знизити викиди вихлопних газів та рівень шумового забруднення у містах. Але, зниження рівня викидів автомобілями при цьому частково компенсуватиметься зростанням викидів теплових електростанцій, які практично забезпечують переважно зростання електричного навантаження для цього нового типу споживачів. Задля зниження цього ефекту від використання електротранспорту і щоб не викликати непрямого зростання забруднення атмосфери зарядку електромобілів доцільніше здійснювати з використанням електроенергії від відновлювальних джерел, а саме сонячних, вітро-, гідро або атомних електростанцій. Можливість використання відновлюваних джерел енергії для енергопостачання таких зарядних станцій дозволяє отримати екологічно чисту та дешеву енергію.

На сьогоднішній день розроблено вже немало кількості станцій, які працюють від відновлюваних джерел енергії і всі вони відносяться до зарядних станцій. Залежно від використовуваного ресурсу такі станції поділяються переважно на два основні типи, а саме на сонячні і вітряні зарядні станції. Так як сонячний потенціал набагато більший вітрового, той відповідно, що найширше

поширення останнім часом набули саме зарядні станції, які працюють від енергії сонця. Стосовно ж станцій з заміни акумуляторних батарей, що працюють від ВДЕ, практично поки що реалізовано не було, але ця ідея має сенс

Сонячні зарядні станції за конструкцією найчастіше нагадують звичайні навіси для автомобілів, які можуть бути розташовані над або неподалік зарядних пристроїв. На цих навісах або дахах сусідніх будівель монтуються фотоелектричні панелі, які і джерелом вироблення енергії для підзарядки електромобілів. Встановлена потужність таких сонячних зарядних станцій коливається у досить широких межах – від 500 Вт до 100 кВт і більше. Але у таких станцій є недолік, бо енергія сонця не постійна в часі, тому багато з цих станцій мають підключення до електричної мережі, або повинні бути обладнані акумуляторними батареями для перерозподілу енергії в часі.

Зарядних станцій такого типу побудовано у світі вже досить багато, а найбільша їх кількість розташована саме в США та Німеччині – лише близько кількох сотень штук. Також є в Японії, Італії, Великій Британії, Китаї та Йорданії. Кілька прикладів таких станцій представлені на рисунках 1.7 і 1.8.



Рисунок 1.7 – Сонячні зарядні станція (Німеччина)



Рисунок 1.8 – Сонячна зарядна станція компаній Mitsubishi Electric (США)

У роботі пропонується розробка сонячної електростанції на шість машин, яка наведена на рис. 1.9, яка буде розташована на півдні у Одеській області.



Рисунок 1.9 – Проектуєма сонячна зарядна станція

Повністю автономна зарядна станція для електромобілів для одноразового заряджання до 6 автомобілів. Потужність зарядних пристроїв 22кВт та 60кВт для швидкої зарядки. Параметри електричної частини зарядної станції – потужність 60кВт, ємність літій-іонних акумуляторів 60кВт-год (DoD – 90%). Принцип роботи наступний - сонячні модулі протягом дня заряджають акумулятори, а заряджання електромобілів відбувається вже від акумуляторів, що практично забезпечує більшу потужність і високу швидкість заряду транспортного засобу незалежно від потужності сонячного випромінювання у кожен момент часу.

1.4 Рівні зарядних станцій для електромобілів

Параметри зарядних станцій змінюються в залежності від рівня та часу заряджання АКБ електромобіля. Зарядні станції поділяють на 3 рівні.

Зарядки 1 рівня (Level 1) наділені змінним струмом до 16 А, через що вважаються найповільнішими [2]. 16 А-ві зарядки мають напругу 120 В і можуть дати максимум 1,92 кВт потужності. Якщо для заряджання електромобіля використовувати таку зарядку, це займе не менше 12 годин [2]. Її можна використовувати, не маючи при собі спеціальної зарядної системи, - для початку роботи достатньо вставити її в розетку.

Дані зарядні станції придатні для використання тільки в домашніх умовах через тривалий процес зарядки.

Зарядний пристрій 2 рівня (Level 2) виробляє 7 кВт потужності, працюючи від струму 30 А і з напругою 240 Вольт [2].

Для зарядних систем 1 і 2 рівня, які працюють за наявності змінного струму, в машині встановлюють пристрій, що випрямляє потік електрики та безпосередньо здійснює заряджання акумулятора [2].

У автомобілі, у яких батарея розрахована для підзарядки 6-7 кВт і для повного заряду потрібно приблизно 22-24 кВт · год, то заряджання триватиме 4 години.

Зарядження 3 рівня (Level 3) займає щонайменше час до повного заряду акумулятора, маючи велику потужність [2]. Вона наділена електричною напругою 300-600 В і силою струму 100 А. Її потужність дорівнює 50 кВт. Вони можуть зарядити електромобільну АКБ до 80% за півгодини [2]. Після цього потужність подачі заряду зменшується або припиняється, щоб не зіпсувати АКБ.

Основною проблемою при побудові зарядних є невизначеність у стандартах, тобто кожен виробник використовує власні батареї, параметри зарядження та електричні роз'єми.

Суспільство автомобільних інженерів у 2009 році розробило стандарт п'ятиштиркового роз'єму J1772, призначений для зарядки від мережі змінного струму [4]. Це найбільш універсальний роз'єм, що є практично в будь-якому електромобілі. З метою подальшої уніфікації наприкінці 2012 року було представлено оновлений роз'єм стандарту J1772 [4]. Його конструкція вже передбачає можливість зарядження акумуляторів електромобіля як змінним, так постійним або обома видами електричного струму одночасно. Новий роз'єм є старим, п'ятиштирковим, доповненим штепселем для підключення постійного струму [4]. Таким чином, електромобілі минулих років випусків змогли підключатися до нових зарядних терміналів без додаткового переобладнання. Оновлений стандарт J1772 також визначає рівні напруги, що подаються на роз'єм, і вимагає установки додаткових засобів безпеки, які дозволять підключати і відключати роз'єм, на контактах якого може бути висока напруга, за будь-яких погодних умов [4].



Рисунок 1.10 – Роз'єм J1772

У січні 2013 року Європейська комісія оприлюднила план розвитку екологічно чистих видів палива, де було встановлено і загальноєвропейський тип роз'єму для зарядних станцій і електромобілів. Ним став розроблений німецькою компанією Mennekes роз'єм Type 2 (згідно з міжнародним стандартом IEC 62196-2) [2]. Роз'єм цього типу найбільш широко використовується в Європі. Він дозволяє комутувати силові ланцюги потужністю до 43,5 кВт та силою струму до 63 А. Використовується як в однофазних так і у трифазних мережах.

Міжнародний стандарт IEC 62196-2 визначає типи електричних роз'ємів та режими заряджання електромобілів [2]:

Type 1 – це пряме пасивне підключення до електромережі змінного струму. З'єднання не потребує додаткових керуючих пристроїв [2]. Простими словами - це домашня зарядка від стандартної розетки з простим подовжувачем, без будь-яких заходів безпеки [2].

Type 2 - пряме підключення транспортного засобу до мережі живлення змінним струмом, тобто заряджання в домашніх умовах від звичайної розетки, але використовуючи спеціальний кабель [2]. Зазвичай він іде у комплекті з новим електромобілем. Цей кабель забезпечує заземлення, захист від різкого перепаду напруги та температурний захист. На сьогоднішній день кабелі Type 2 гарантують середній рівень безпеки та є мінімальною нормою для зарядки авто [2].

Type 3 - це активне підключення електромобіля до провідної зарядної станції змінного струму із заземленням та приладами управління, а також кабелем з додатковими струмопровідними жилами [2]. Зарядна станція режиму Type 3, як у громадських місцях, так і вдома, дає можливість отримувати більш високий рівень енергії, ніж у режимі Type 2 [2].

Type 4 - підключення електротранспорту до провідної станції постійного струму [2]. Обладнання для обслуговування електромобілів є проміжною ланкою між джерелом живлення та зарядним портом транспортного засобу і, як правило, встановлюється на стіні або спеціальній підставці [2]. Його роль полягає в тому,

щоб подати постійний струм в автомобіль безпечно та швидко. У зарядних станціях постійного струму зарядний пристрій є частиною станції, а не частиною автомобіля [2].

Він передбачає обов'язкову наявність механізму, що відключає силовий ланцюг за несанкціонованого початку руху електромобіля з підключеним кабелем [2]. Стандарт підтримується Міжнародною електротехнічною комісією. Однак ІЕС 62196-2 повністю не встановлює фізичних розмірів електричних роз'ємів. Стандартом також визначено три типи електричних роз'ємів та чотири види режиму заряду акумуляторів електромобіля.



Рисунок 1.11 – Роз'єм Mennekes Type 2

Для швидкого заряду акумулятора використовується CHAdeMO – стандарт, що заряджається постійним струмом через спеціальний роз'єм. Асоціація «CHAdeMO» була заснована у 2010 році Токійською енергетичною компанією («TEPCO»), автоконцернами «Nissan», «Mitsubishi» та «Subaru», пізніше до них приєдналася і «Toyota». Потужність заряджання становить від 50 кВт до 100 кВт, що дозволяє заряджати батарею до 80% ємності за півгодини. Зарядні станції CHAdeMO є в наступних країнах - в Японії, Європі та США. Але останнім часом рішення американців та європейців проводять політику затвердження власних стандартів, які явно спрямовані на витіснення стандарту CHAdeMO з світового ринку.



Рисунок 1.12 – Роз'єм CHAdeMO

У 2012 року вісім найбільших європейських та американських виробників (Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche, Volkswagen) об'єдналися та сповістили про те, що для всіх вироблених ними електромобілів використовуватиметься єдиний стандарт Combined Charging System. Роз'єм цього стандарту є універсальним та дозволяє здійснювати заряджання в будь-якому з чотирьох передбачених міжнародним стандартом IEC 62196-2 режимах: повільна зарядка від побутової розетки; повільна зарядка від побутової розетки через кабель із вбудованим пристроєм захисту; повільна або швидка зарядка через спеціальний роз'єм з функцією контролю заряду та захисту; швидке заряджання від зовнішнього зарядного пристрою. Таким чином, обладнаний роз'єм Combined Charging System електромобіль можна підключати до будь-яких мереж і зарядних станцій [2].



Рисунок 1.13 – Роз'єм Combined Charging System

Таким чином, на сьогоднішній день при проектуванні зарядної станції з використанням ВДЕ, а саме фотоелектричної станції необхідно передбачити саме зарядні пристрої з роз'ємом Combined Charging System.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАРЯДНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Розробка проєктів завжди відбувається у кілька етапів, та одним з головних є розробка математичних моделей, за рахунок яких можливе дослідження режимів роботи об'єкта проєктування.

Наведемо розробку ряду математичних моделей, а саме [5]:

- віртуальну модель – структурно-функціональну модель зарядної станції, куди входять всі можливі елементи і навіть перелік завдань, які мають бути вирішені для задоволення головної мети проєкта;
- ресурсну модель, яка є динамічною моделлю надходження енергоресурсів;
- технічну модель - конкретні технічні рішення, які дозволяють реалізувати функцію, визначену в структурно-функціональній моделі;
- повну модель проєкту.

2.1 Структурно-функціональна модель зарядної ФЕС

Структурно-функціональна модель зарядної станції на базі фотоелектричної станції наведена на рис.2.1. Вона отримана як результат аналізу структур та принципової дії вже існуючих зарядних станцій на базі відновлювальних джерел енергії та систем акумулювання енергії.

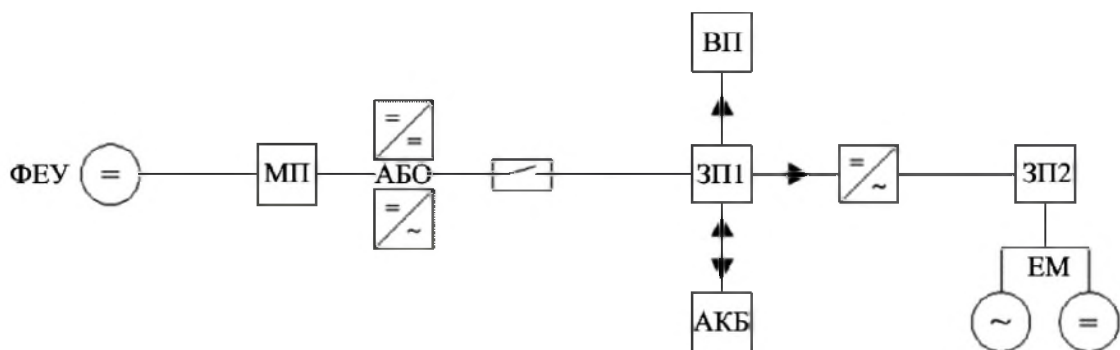


Рисунок 2.1 – Структурно-функціональна схема зарядної ФЕС

На рисунку 2.1 прийняті наступні позначення: ФЕУ – фотоелектрична установка, МП – пристрій відбору максимальної потужності, АКБ – акумуляторна батарея, ВП – власні потреби станції, ЗП – зарядний пристрій, ЕМ – електромобіль.

У структурно-функціональній схемі основним джерелом енергії є фотоелектрична установка. Але використання таких сонячних установок має недолік, у них відсутнє забезпечення гарантованого енергопостачання у похмурі дні та нічні часи, тому для усунення цієї проблеми у схемі передбачені акумулятори енергії, у якості яких виступають типові акумуляторні батареї для зарядних станцій. Самі станції підзарядки на схемі не позначені, а показані лише їх основні елементи, тобто: зарядні пристрої, за рахунок яких виконується підзарядка акумуляторів електромобілей.

Відмінністю та особливістю схеми, яка наведена на рис. 2.1, є те, що вона враховує всі необхідні елементи, у яких основний параметр потужності може змінюватися від 0 до заданого значення. Таким чином, у схемі з генеруючих установок присутня тільки ФЕУ і відповідно її потужність відмінна від нуля. Що ж до іншого обладнання, то його потужність дорівнюватиме нулю, що дозволяє на похідних схемах його не показувати.

2.2 Ресурсна модель приходу сонячного випромінювання

Ресурсна модель приходу сонячного випромінювання складається за даними отриманими з спостережень метеорологічних станцій, метеорологічних база даних, складених карт інсоляції територій та спеціального програмного забезпечення, що розраховує оптимальний кут встановлення фотопанелей в залежності від географічного розташування та рівня інсоляції улюбий визначений час роботи фотоелектричної установки. У роботі вихідні дані отримані з карт середньої сонячної інсоляції в залежності від географічного розташування у Одеській області. Карта наведена на рис. 2.2, її аналіз вказує на великий потенціал сонячної енергетики у завданому регіоні. Для оцінки рівня

інсоляції використані супутникові дані NASA. Для кожного міста України інсоляція різна і залежить від регіону та пори року. На карті зазначено кількість сонячної енергії, яка сумарно падає за рік на горизонтальну поверхню площею 1 кв.м. Поверхня має нахил у бік екватора під кутом, який дорівнює географічній широті місця виміру. Цифра в кожній області на карті має на увазі вимірювання інсоляції у відповідному обласному центрі [6].



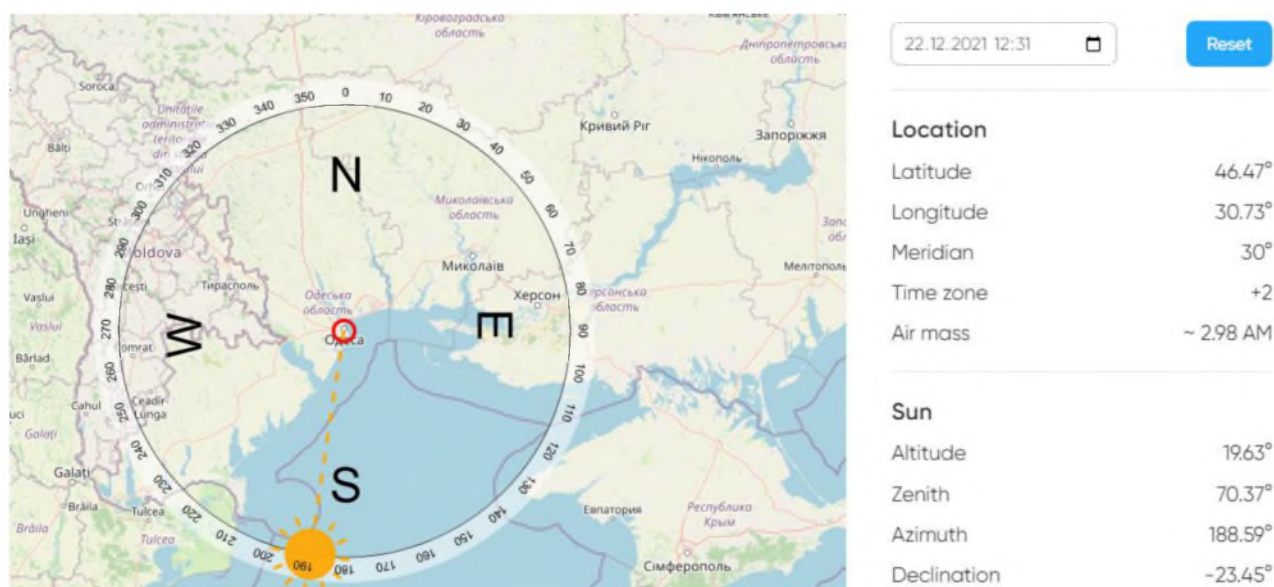
Рисунок 2.2 – Карта сонячної інсоляції України

Дані по місяцях для Одеського регіону наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Сонячна інсоляція для Одеського регіону за місяцями

Місяць	Січ	Лют	Бер	Квіт	Трав	Черв	Лип	Серп	Вер	Жовт	Лист	Груд	рік
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55

Більш точні дані можливо отримати для кожного дня року та години дня з використанням спеціального програмного забезпечення, як приклад на рис. 2.3 та 2.4 для режимних суток зимових та літніх відповідно.



Optimal angles for solar panels

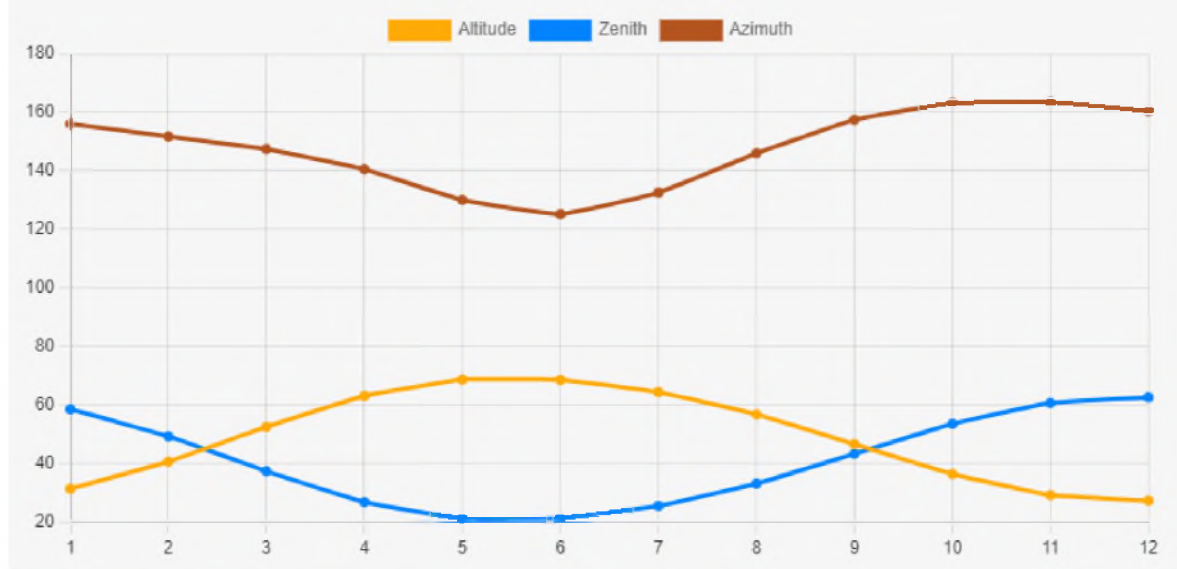
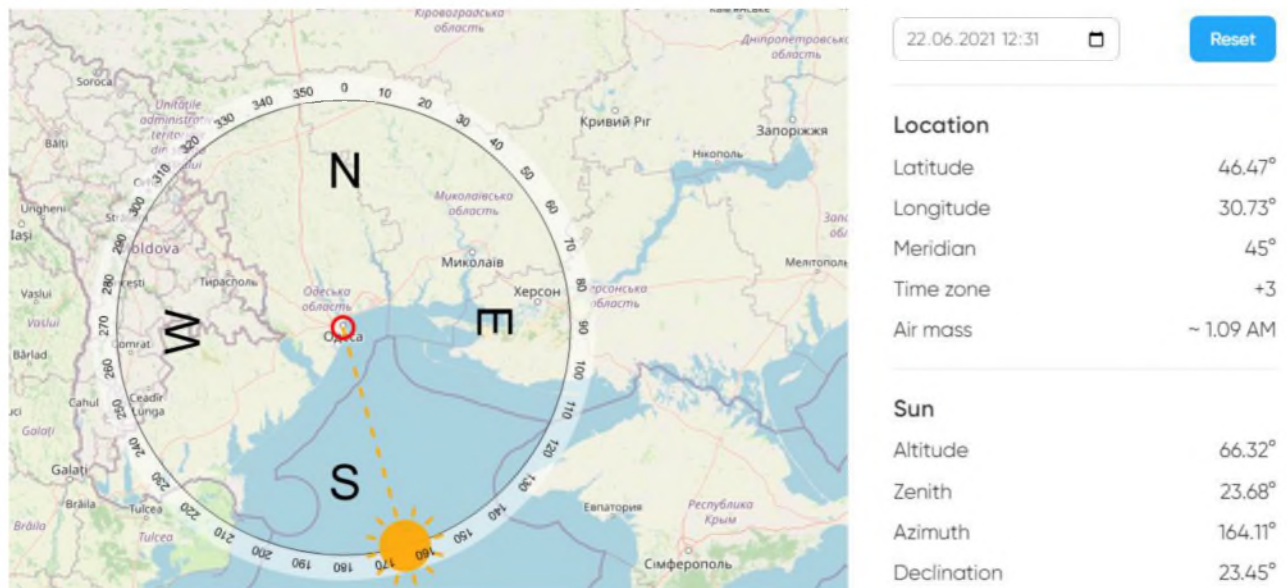


Рисунок 2.3 – Оптимальний кут нахилу панелей у зимовий день

За даними наведеними на рис.2.3 та 2.4 потоки сумарного та дифузного сонячного випромінювання перераховувалися для приймального майданчика, розташованого під оптимальним кутом.



Optimal angles for solar panels

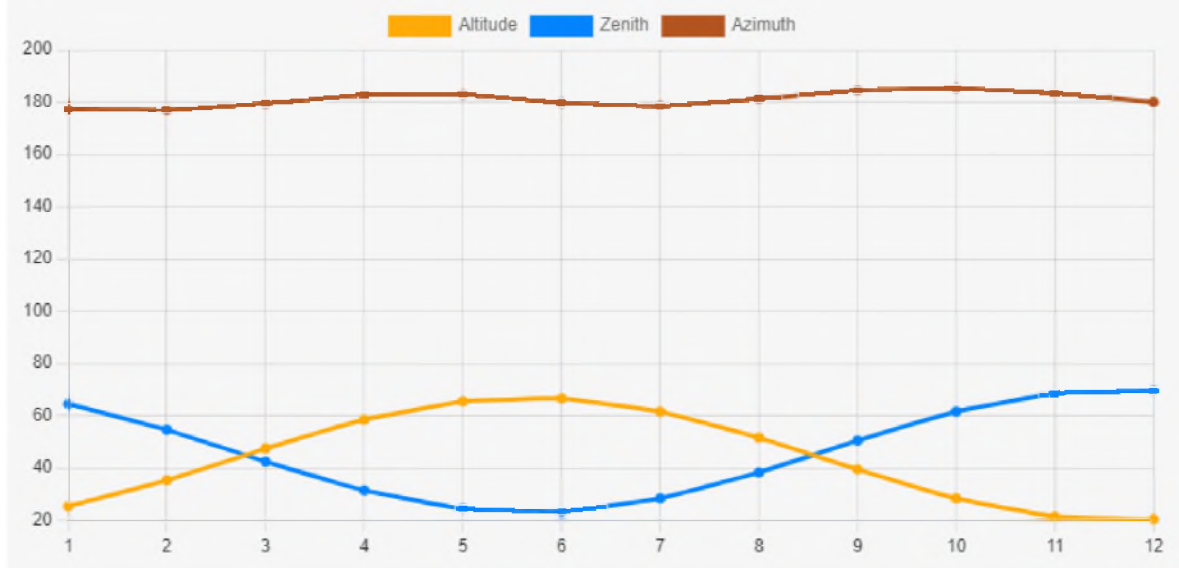


Рисунок 2.4 – Оптимальний кут нахилу панелей у літній день

2.3 Технічна модель сонячної фотоелектричної установки

Розрахунок вироблення сонячної фотоелектричної установки для кожної години року в роботі здійснюється за допомогою наступної формули [4]:

$$E_{C\Phi EY}(i) = E_{\Sigma}^{\beta\gamma}(i) \cdot F_{CM} \cdot m \cdot \tau \cdot \eta_{CM} \cdot K_{3am} \cdot K_t \cdot \eta_{AN},$$

де i – година року;

$E_{\Sigma}^{\beta\gamma}(i)$ - сумарний прихід сонячного випромінювання на приймальний майданчик, розташований під оптимальним кутом нахилу до горизонту β , з азимуту γ , Вт·год/м². Кути установки постійні протягом року;

F_{CM} - площа сонячного модуля, м²;

m – кількість сонячних модулів, шт.;

τ – коефіцієнт світлопропускання захисного покриття сонячного модуля, о.е.;

η_{CM} – номінальний ККД сонячного модуля, о.е. За умови використання контролера відбору максимальної потужності ККД сонячного модуля постійний і дорівнює його номінальному значенню;

$K_{зан}$ - коефіцієнт заповнення сонячними елементами всієї площі сонячного модуля, о.е.;

$\eta_{\Delta N}$ – визначає втрати потужності при послідовному з'єднанні сонячних модулів. В роботі приймається рівним 0,97 о. е.;

K_t - коефіцієнт, що враховує вплив температури сонячного модуля на його ККД, о.е. Визначається за наступною формулою для заданої температури [4]:

$$K_t = 1 - \alpha(T - T_0),$$

де α – градієнт зміни ККД сонячного модуля від температури, о.е. Для кремнієвих сонячних елементів можна приймати рівним $\alpha = \eta_{CM} / 20^\circ$ [4].

2.4 Загальна математична модель зарядної ФЕС

Зарядна фотоелектрична станція з однією системою АКБ у якості резервного енергопостачання представлена на рис. 2.5.

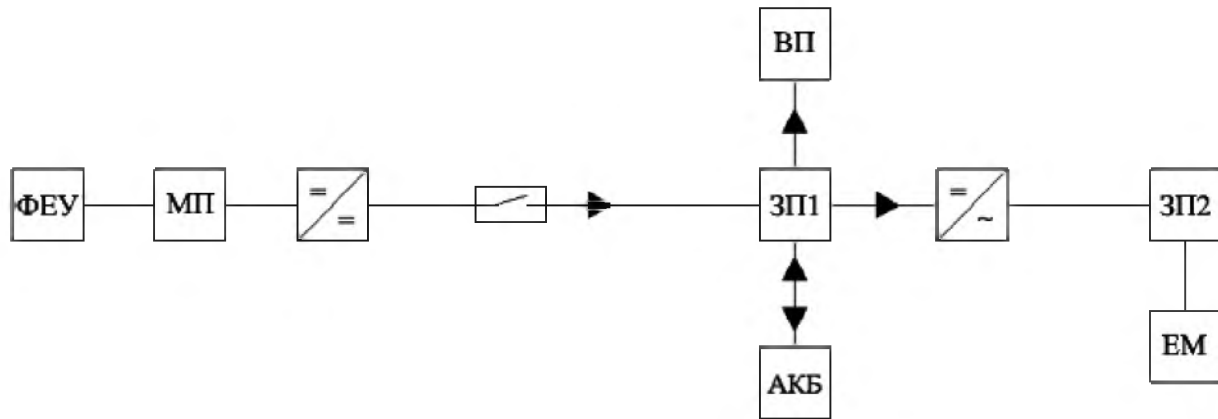


Рисунок 2.5 – Структурно-функціональна схема зарядної ФЕС з однією системою АКБ

На рис.2.5 прийняті наступні позначення: ФЕУ – фотоелектрична установка, МП – пристрій відбору максимальної потужності, АКБ – акумуляторна батарея, ВП – власні потреби станції, ЗП – зарядний пристрій, ЕМ – електромобіль.

До схеми зарядної ФЕС входять типові акумуляторні батареї, які використовуються саме для перерозподілу енергії ФЕУ в часі. Система \ повністю автономною.

Залежно від скільки акумуляторних батарей є, можливі 2 варіанти режиму роботи ФЕС:

1. Кількість АКБ на станції дорівнює 0. Тоді маємо автономну станцію, що працюватиме лише у денний час ко ФЕУ виробляє достатньо енергії, тоді маємо наступні співвідношення:

$$N_{\text{мережі}}(t) = N_{\text{ФЕУ}}(t) \cdot \eta_{\text{Перетв.}} \cdot \eta_{\text{Інв.}},$$

де $N_{\text{ФЕУ}}(t)$ – потужність, що виробляється ФЕУ, кВт;

$\eta_{\text{перетв.}}$ – ККД перетворювача, о.е.

Якщо енергія, що виробляється ФЕУ, сильно перевищує потреби зарядки електромобілів, тоді може здійснюватися відключення частини фотопанелей при їх послідовному підключенні. Надмірна потужність, що залишилася після відключення генеруючого обладнання, спрямовується на баластне навантаження:

$$N_{Надл.}^{Повн.}(t) = N_{ФЕУ}(t) \cdot \eta_{Перетв.};$$

$$N_{Надл.}^{Факт.}(t) = N_{ФЕУ}^{Факт.}(t) \cdot \eta_{Перетв.},$$

де $N_{Надл.}^{Повн.}(t)$ - надлишкова потужність, яка має місце при ФЕУ на повну потужність, кВт;

$N_{Надл.}^{Факт.}(t)$ - надмірна потужність, що залишилася після відключення деякої кількості послідовно підключених фотопанелей, кВт;

$N_{ФЕУ}^{Факт.}(t)$ - фактична потужність, що виробляється ФЕУ, після її часткового відключення, кВт.

2. Кількість АКБ на станції перевищує 0. Тоді повна модель складається залежно від співвідношення потужностей споживання та вироблення енергії, а також від потужності, яку може видати при розряді $N_{АКБ}^{Розр. max}$ або споживати при заряді $N_{АКБ}^{Зар. max}$ група акумуляторних батарей.

У цьому випадку баланс потужності на зарядній ФЕС також цілком залежить від вироблення нею електроенергії. Якщо акумуляторні батареї станції перебувають у стадії розряду, то вони також беруть участь у енергопостачанні навантаження. У зв'язку з цим розглянемо два випадки:

- енергії АКБ достатньо для поповнення нестачі енергії. В цьому випадку потужність, що споживається з мережі, дорівнює 0;

$$N_{Мережі}(t) = 0.$$

- енергії АКБ або недостатньо для поповнення нестачі енергії, або максимальна потужність, яку може видати група акумуляторів при розряді, менше необхідної потужності. Таким чином, нестача енергії поповнюється за рахунок енергії від ФЕУ:

$$N_{Мережі}(t) = (N_{ФЕУ}(t) \cdot \eta_{Перетв.} + N_{АКБ}^{Розр.}(t)) \cdot \eta_{Інв.}$$

або

$$N_{Мережі}(t) = (N_{ФЕУ}(t) \cdot \eta_{Перетв.} + N_{АКБ}^{Розр. \max}(t)) \cdot \eta_{Інв.}$$

Якщо ж АКБ знаходяться в стадії заряду, тоді баланс потужності матиме вигляд:

$$N_{Мережі}(t) = (N_{ФЕУ}(t) \cdot \eta_{Перетв.} - N_{АКБ}^{Розр.}(t)) \cdot \eta_{Інв.}$$

Зарядна ФЕС із двома системами АКБ наведена на рис.2.6.

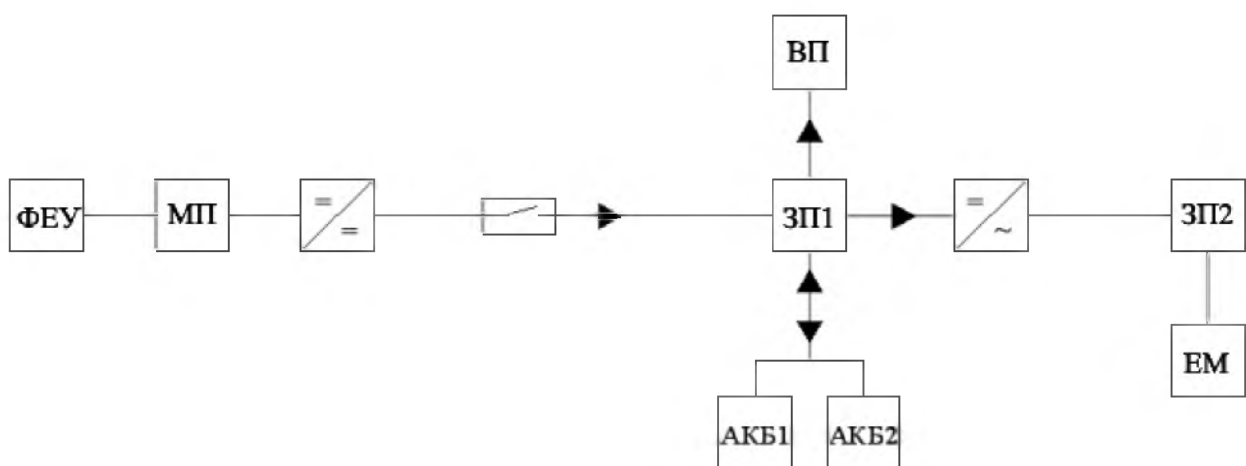


Рисунок 2.6 – Структурно-функціональна схема ГЕК з двома системами АКБ

На рис 2.6 прийняті наступні позначення: ФЕУ – фотоелектрична установка, МП – пристрій для відбору максимальної потужності, АКБ – акумуляторна батарея, ВП – власні потреби станції, ЗП – зарядний пристрій, ЕМ – електромобіль.

Поділ загальної кількості акумуляторних батарей зарядної станції на дві системи АКБ дозволяє повніше використовувати енергію фотоелектростанції, а також знизити кількість вимушених відключень фотопанелей та зменшити потужність, що видається на баластне навантаження.

Тоді можна констатувати, що алгоритм розрахунку режиму роботи комплексу, що розглядається, аналогічний попередньому алгоритму розрахунку режимів роботи ФЕС з однією системою АКБ, винятком є лише те, що періодично можливі випадки, коли обидві системи АКБ будуть у стадії заряду або розряду [4]:

1. Обидві системи АКБ перебувають у стадії заряду. У такому випадку спочатку здійснюється підзарядка тієї системи АКБ, рівень заряду якої є найбільшим, тоді після повного заряду першої системи здійснюється підзарядка другої системи, але тільки в тому випадку, якщо енергії ФЕС для цього достатньо. Коли обидві системи повністю заряджені, але все ще залишається деякий надлишок енергії, тоді відбувається відключення зайвих генеруючих фотопанелей;

2. Обидві системи АКБ у стадії розряду. Спочатку розряджається система з найменшим рівнем заряду. Якщо цієї енергії недостатньо для виконання балансу потужності, тоді підключається друга система. Після розряду обох груп акумуляторів для балансу потужності використовується енергія ФЕУ.

В решту часу системи акумуляторних батарей зарядної ФЕС працюють у «протифазі».

Згідно з розробленими моделями наступним етапом проєктування є розрахунок зарядної фотоелектричної станції з завданням рівнем потужності.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗАРЯДНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Графіки електричного навантаження зарядної ФЕС

При проектуванні зарядної фотоелектростанції вихідними даними є мінімальна та максимальна потужності. Що необхідні для одночасного зарядження шести електромобілів.

Також важливими даними є графіки навантаження, які дають детальну інформацію стосовно навантаження в залежності від часу доби та сезону року.

Згідно них розглянемо роботу трьох типів зарядних станцій, а саме:

1. нічну зарядну станцію, її розміщення передбачається на громадських або приватних автостоянках неподалік житлових будинків та різних нічних закладів. Пік попиту на підзарядку від таких зарядних станцій має максимум у вечірньо-нічний час;

2. денну зарядну станцію, її розміщення більш доцільно на громадських автостоянках неподалік від різних муніципальних установ, торгових центрів, зон відпочинку, аеропортів, вокзалів і т.д. Пік попиту на підзарядку на таких станціях досягає свого максимуму у денний час;

3. комерційну зарядну станцію, яка імовірно доцільніше буде встановлювати на звичайних автозаправних станцій (АЗС) або розміщувати на приватних автостоянках поблизу офісних центрів. Максимум попиту на зарядку електромобіля в цьому випадку також припадає на денний час.

На рисунках 3.1, 3.2 та 3.3 наведені графіки навантаження усіх трьох типів наведених вище.

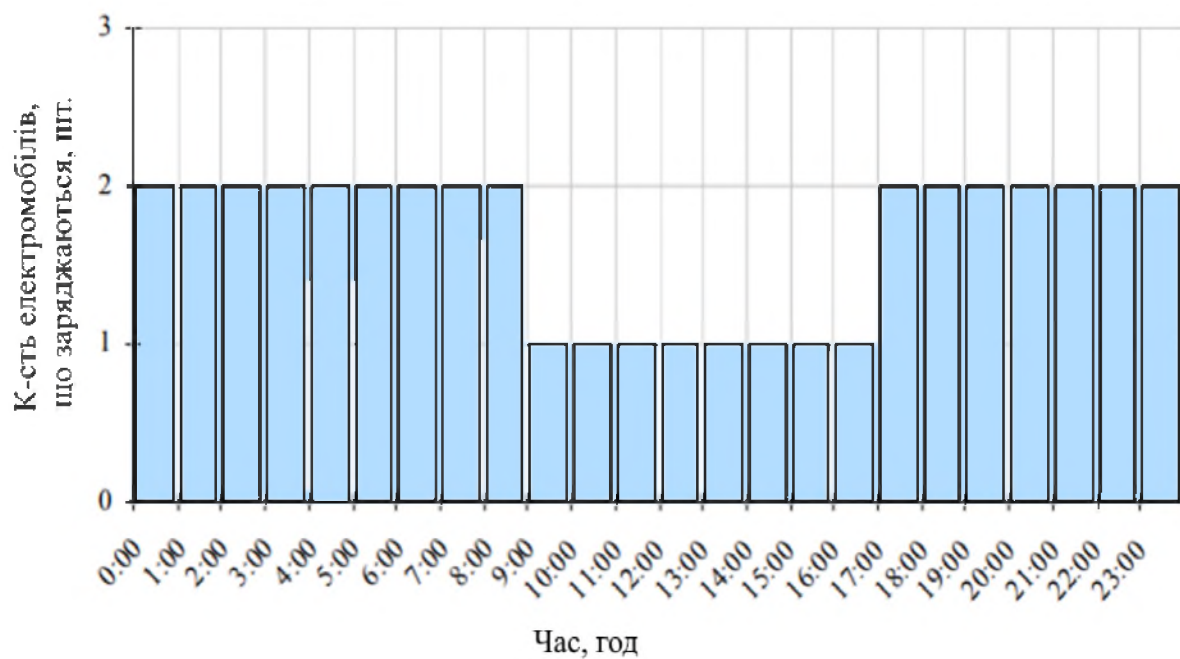


Рисунок 3.1 – Нічна зарядна станція (для робочого дня)

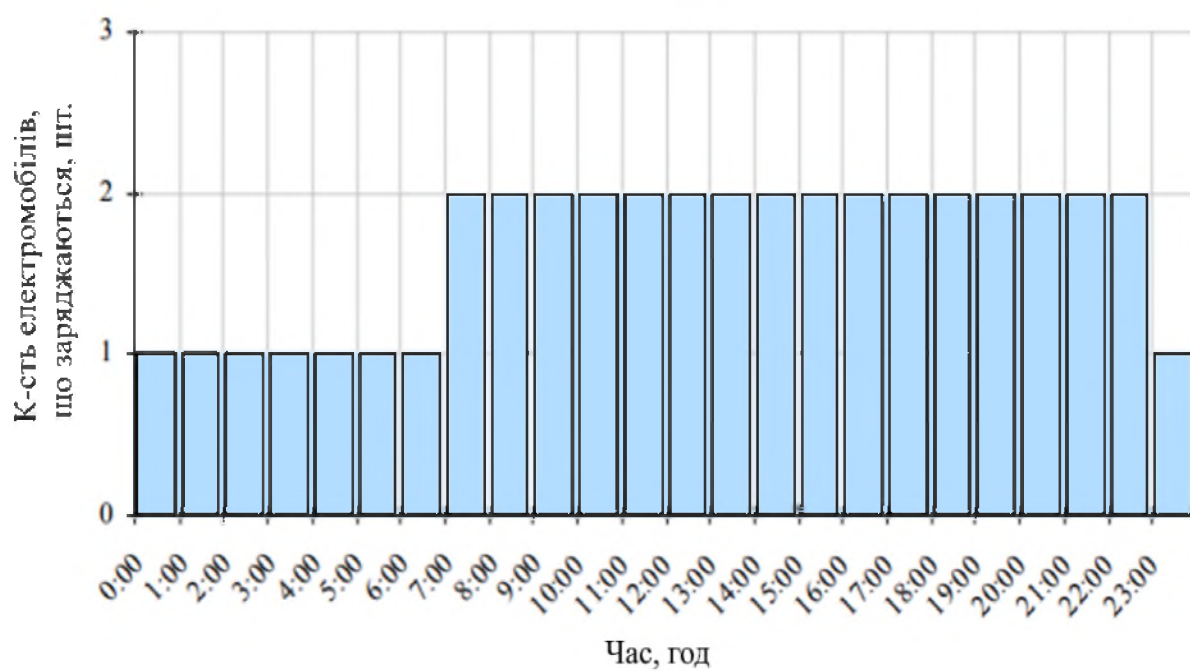


Рисунок 3.2 – Комерційна зарядна станція (для робочого дня)

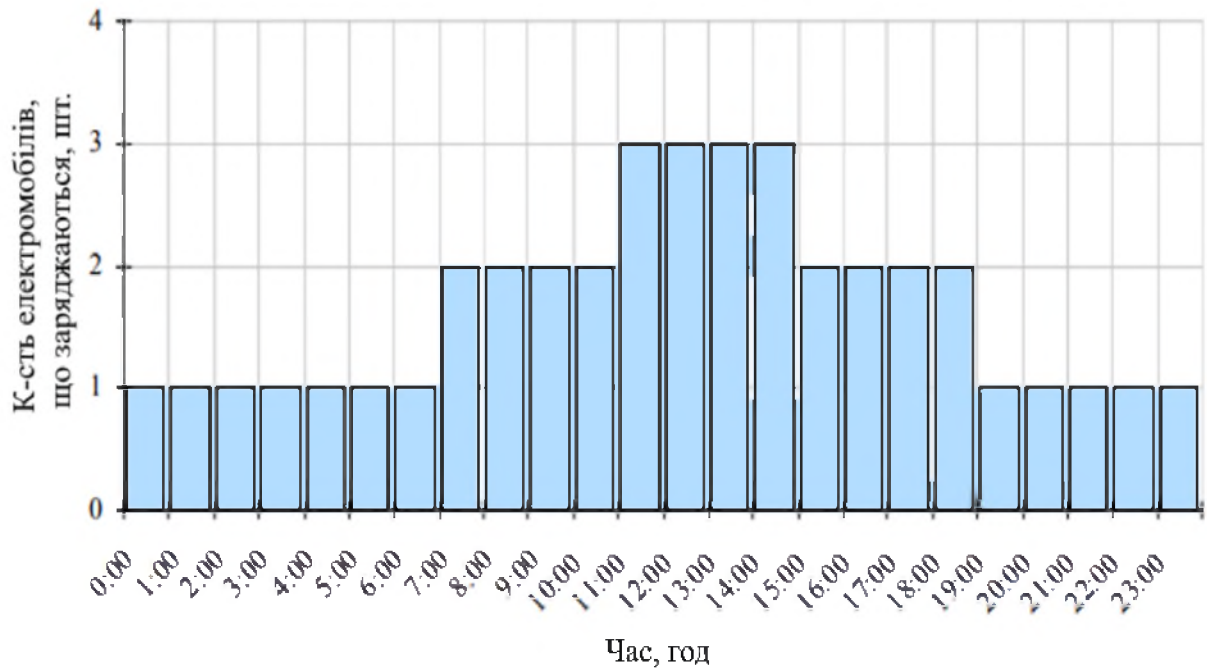


Рисунок 3.3 – Денна зарядна станція (для робочого дня)

Для чіткого усвідомлення того щоб з графіків залежності кількості електромобілів, що заряджаються, від часу доби отримати відповідно графіки навантаження станцій приймемо декілька припущень. Перше припущення приймемо у тому, що вищенаведені зарядні станції повинні розташовуватися лише у межі населених пунктах, бо підзарядка електричного транспортного засобу на зарядних станціях може займати досить тривалий час. У другому припущенні приймається, що зі складу зарядних станцій потрібно виключити супутні послуги автомайстерні, автомийки, магазини, кафе тощо. Таким чином, енергопостачання супутніх сервісів та АЗС виключено з завдання. Єдиною ж будовою, що відноситься до зарядних станцій, є приміщення, в якому розміщуються акумуляторні батареї станцій. При чому приміщення, в якому будуть розміщені АКБ, взимку потрібно опалювати, а влітку охолоджувати у зв'язку з чим робиться припущення, що для їхнього розміщення буде достатньо приміщення площею 22 м². Також для опалення та кондиціонування цього приміщення на основі споживаної потужності обладнання приймаємо, що протягом зими на опалення витрачається приблизно 3 кВт потужності, протягом літа на кондиціонування – близько 2 кВт.

Таким чином, на рис.3.4, 3.5 та 3.6 наведені графіки навантаження зарядних станцій з урахування власних потреб на зарядку АКБ у зимовий період

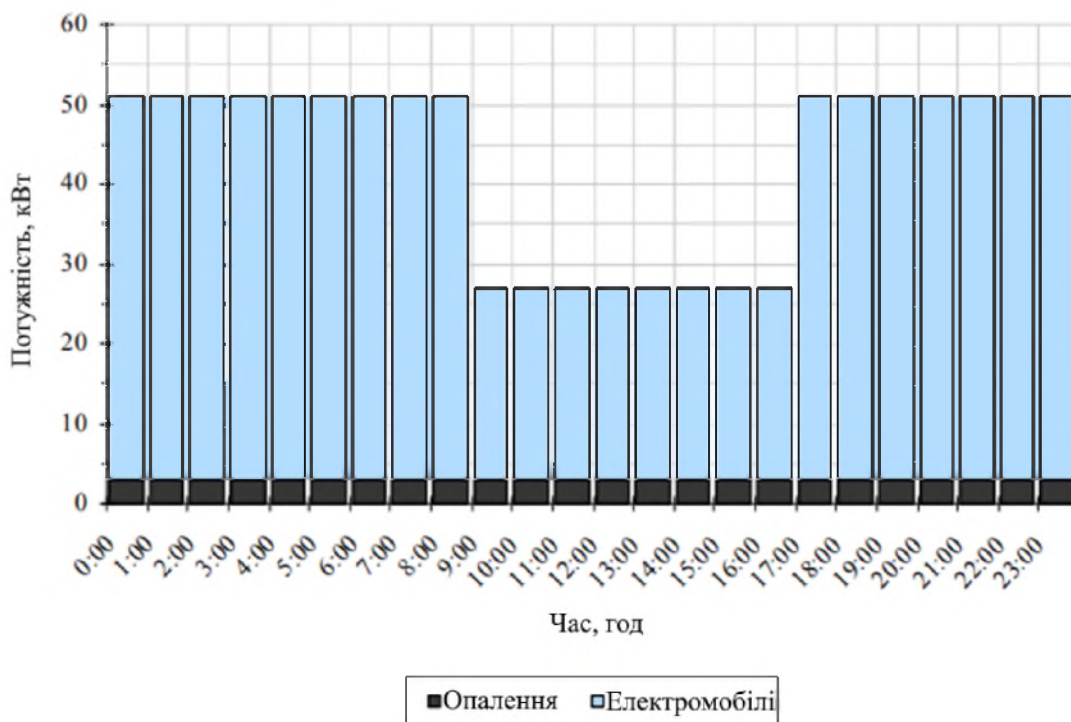


Рисунок 3.4 – Нічна зарядна станція(для робочого дня)

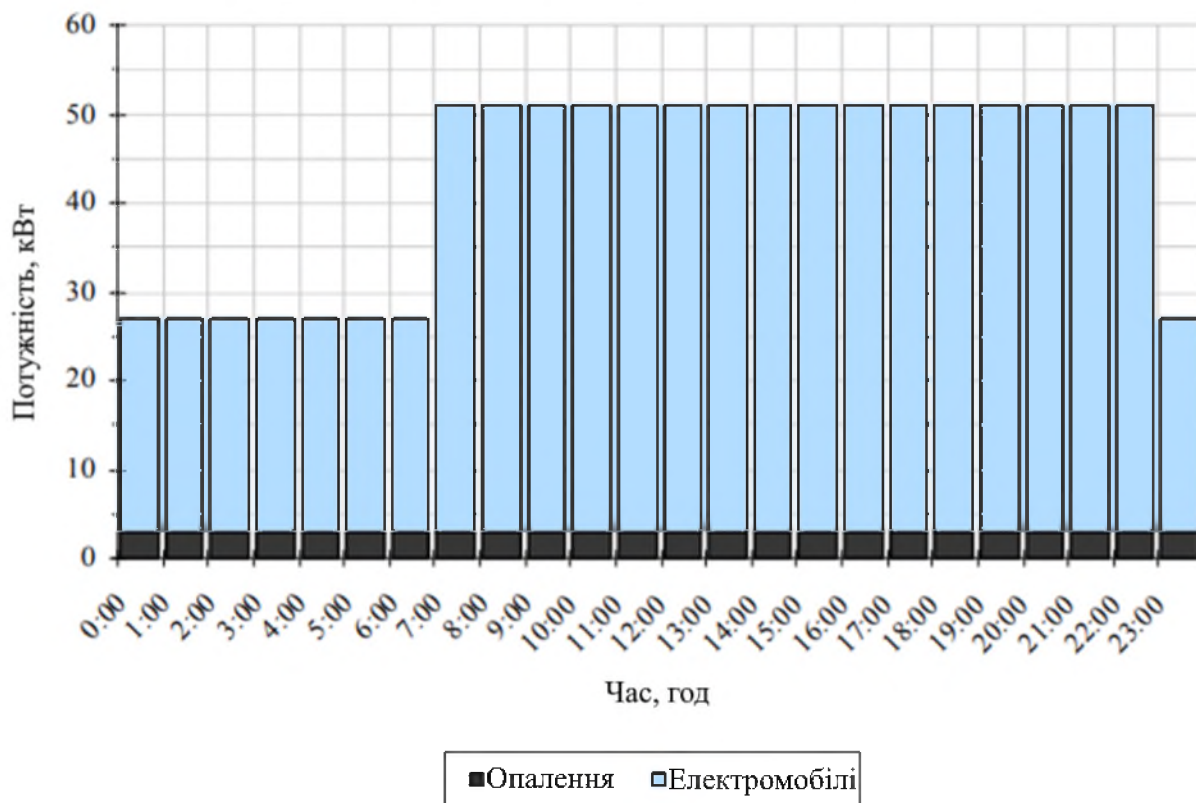


Рисунок 3.5 – Комерційна зарядна станція (для робочого дня).

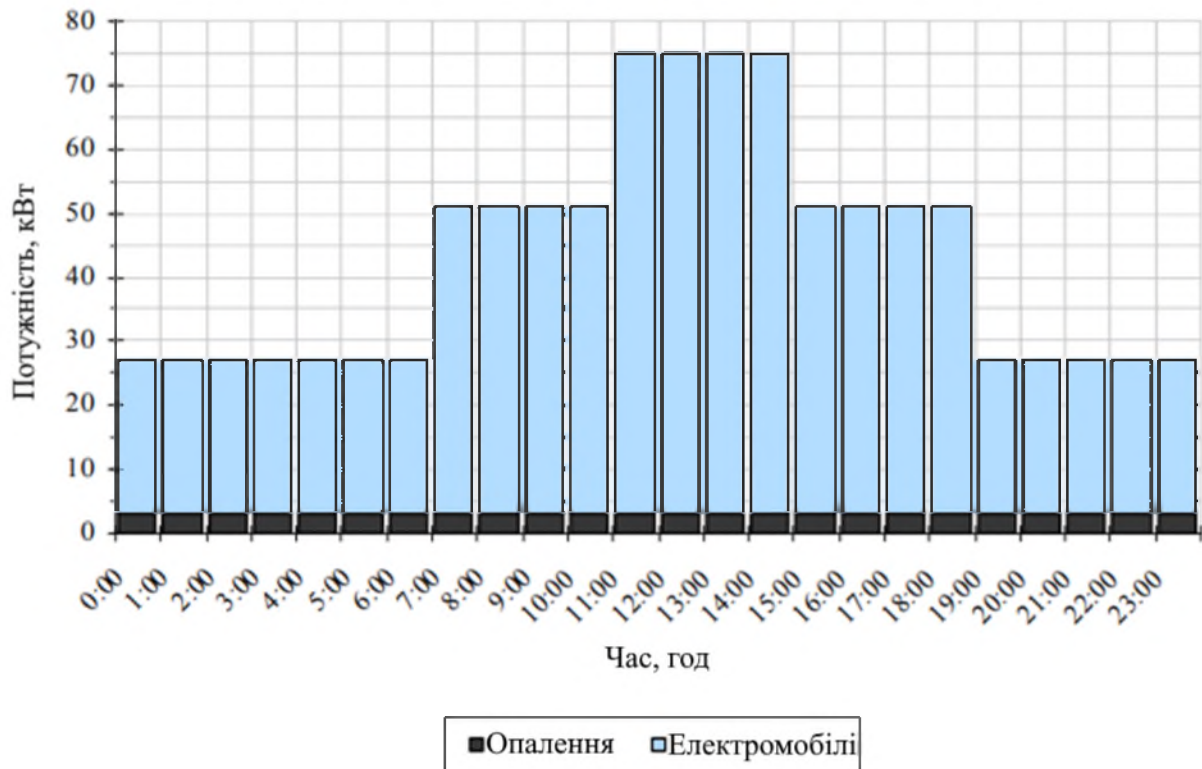


Рисунок 3.6 – Денна зарядна станція. (для робочого дня)

Для літа немає сенсу складати, бо літнє навантаження менше за зимове, а вироблення електричної енергії влітку сонячною станцією більше ніж взимку.

3.2 Розрахунок та вибір фотоелектричних панелей

Приймаємо до встановлення сонячні батареї NEOSUN™ MaxPower SN-360P-72 360Вт з монокристалічного кремнію.

Характеристики обраної панелі представлені у табл. 3.1

Відповідно до методики необхідна ємність з урахуванням втрат на заряд розряд акумуляторної батареї:

$$q_{з-р} = q_{доб} \cdot \zeta = 1733,2 \cdot 1,2 = 2079,84 \text{ А} \cdot \text{год},$$

де ζ - поправочний коефіцієнт на заряд - розряд АКБ, $\zeta = 1,2$.

Значення струму, який має генерувати сонячні батареї:

$$I_{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{2079,84}{2,1} = 1000 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

i -число пікових сонце-годин для заданої місцевості,

$i = 2,1$.

Таблиця 3.1 – Характеристики сонячної панелі

Характеристика	Значення
Потужність, Вт	360
Струм КЗ, А	19,36
Напруга х.х., В	37,65
Номінальна напруга, В	24
Робочий струм, А	15,75
Довжина, мм	1956
Ширина, мм	992

Визначимо число модулів, з'єднаних паралельно, розділити значення струму, що виробляється батареями, на максимальний струм I_{mpp} одного модуля і округлити отримане до найближчого цілого:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{I^{CB}}{I_{mpp}} = \frac{1000}{18,33} = 55 \text{ штук}$$

де I_{mpp} - максимальний струм (струм кз), А.

Число модулів, з'єднаних послідовно:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{інв}}{U_{ном}^{CB}} = \frac{72}{24} = 3$$

де U_{inv} - напруга на інверторі, В

Загальна кількість потрібних фотоелектричних модулів:

$$N^{CB} = N_{пар}^{CB} \cdot N_{посл}^{CB} = 55 \cdot 3 = 165 \text{ штук.}$$

Площа сонячних батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB} = 165 \cdot 1,95 = 322 \text{ м}^2$$

де S_1^{CB} – площа однієї сонячної батареї.

3.3 Вибір оптимального кута встановлення фотопанелей

Фотоелектричні панелі зарядної станції планується встановити безпосередньо на даху навісу над електрозарядними пристроями, тому виникає потреба уточнення кута установки сонячних модулів. Для визначення щоденної опроміненості похилого майданчика необхідно середньомісячне надходження сонячного випромінювання у кВт·год/місяць на майданчик, що має той самий кут нахилу, що й сонячні панелі, поділити на кількість днів місяця [7].

Зарядна станція для підзарядки електромобілів згідно розроблених моделей планується бути енергоавтономною та повністю працювати від сонячних батарей.

Розрахунок проведемо для червня місяця, оскільки це середина року і у цьому місяці найбільша сонячна активність. Схиляння Сонця у середній день місяця, град:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + 165}{365}\right) = 24,30^\circ$$

де n – порядковий номер дня, відрахований від 1 січня (номер середнього розрахункового дня кожного місяця року).

Для решти місяців розрахунок проводиться аналогічно та занесений до таблиці 3.2 та наведені на рис. 3.7.

Таблиця 3.2 – Кут нахилу

Місяць	δ_c , град
Січень	-22,77
Лютий	-14,69
Березень	-2,32
Квітень	8,65
Травень	18,81
Червень	24,30
Липень	21,54
Серпень	13,58
Вересень	2,45
Жовтень	-8,72
Листопад	-20,35
Грудень	-23,48



Рисунок 3.7 – Розрахунок кута схилання

Для кращого забезпечення необхідних умов з поглинання сонячної енергії фотопанелями, їх поглинаюча поверхня повинна бути орієнтована на південь з кутом нахилу β_{opt} , який визначається:

$$\beta_{opt} = \varphi_p - \delta_c,$$

де φ_p – широта місцевості, де розглядається проектування ФЕС.

Таблиця 3.3 – Оптимальний кут установки фотопанелей

Місяць	δ_{opt} , град
Січень	25,35
Лютий	31,98
Березень	44,6
Квітень	56,4
Травень	64,38
Червень	72,51
Липень	68,24
Серпень	61,03
Вересень	50,28
Жовтень	38,45
Листопад	29,12
Грудень	24,44

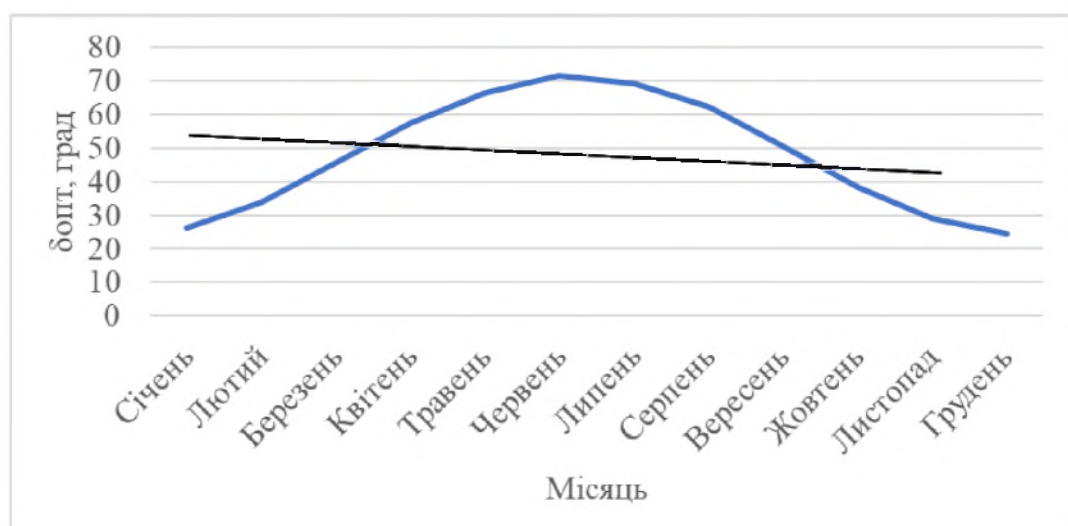


Рисунок 3.8 – Оптимальний кут встановлення фотопанелей

Згідно з розрахунками на рис. 3.8, що також підтверджується отриманими даними на рис.2.3, маємо оптимальний кут нахилу сонячних батарей для повного автономного постачання електростанції 46,43 градусів.

Розрахунок виконується для зимового місяця, так як саме взимку маємо найгірші умови.

Годинний кут заходу Сонця для похилої поверхні з південною орієнтацією[7]:

$$\omega_{zn} = \arccos[-tg(\varphi - \beta) \cdot tg\delta] = \arccos(-tg(46,47 - 90) \cdot tg(21,50)) = 92,61^\circ,$$

де φ - широта місцевості, град;

β – кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;

$\beta = 46,47^\circ$ градуси, оскільки він найоптимальніший для Одеського регіону, виходячи з рис. 2.3 та рис.3.8.

Часовий кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні [7]:

$$\omega_s = \arccos[-tg\varphi \cdot tg\delta] = \arccos(-tg(48) \cdot tg(21,50)) = 116,8^\circ.$$

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню [7]:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_{zn} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{zn} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta} =$$

$$\frac{\cos(48 - 46,47) \cdot \cos(22,1) \cdot \sin(91,68) + \frac{\pi}{180} \cdot 91,62 \cdot \sin(48 - 46,47) \cdot \sin(22,1)}{\cos(48) \cdot \cos(22,1) \cdot \sin(116,8) + \frac{\pi}{180} \cdot 116,8 \cdot \sin(48) \cdot \sin(22,1)} = 0,868.$$

де β - кут нахилу сонячної батареї до горизонту, град.

Коефіцієнт перерахунку з горизонтальної площини на похилу з південною орієнтацією дорівнює сумі трьох складових, що відповідають прямому, розсіяному та відбитому сонячному випромінюванню [7]:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} =$$

$$\left(1 - \frac{0,6}{0,96}\right) \cdot 0,868 + \frac{0,6}{0,96} \cdot \frac{1 + 0,719}{2} + 0,2 \cdot \frac{1 - 0,719}{2} = 1,23.$$

де E_p – середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню (таблиця 2.1);

E_p/E – середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання;

R_n – середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню;

β – кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;

$\beta=46,47^\circ$ градуси, оскільки він найоптимальніший розглянутої місцевості згідно з рис.2.3.

Розрахунок кута приймається згідно з оптимальним кутом використання та отримання сонячних променів, бо маємо панелі стаціонарні, які не повертаються за сонцем, так як у них відсутня система регулювання нахилу.

Тому кут приймаємо $46,47^\circ$.

ρ – коефіцієнт відображення (альbedo) поверхні Землі та оточуючих тіл, що зазвичай приймається рівним 0,7 для зими та 0,2 для літа, приймаємо для зимового часу, щоб уточнити кількість енергії, що припадає на Землю [7].

Якщо сонячні панелі встановлюються під деяким кутом β до горизонту, то середньомісячна денна кількість прямої сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню, може бути знайдена за формулою [7]:

$$E_{серп} = R \cdot E = 1,23 \cdot 0,96 = 1,1808 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

де $E_{серп}$ – середньомісячна денна сумарна кількість прямої сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню, кВт·год/м²/день.

Таким чином, можливо зробити висновок, що під кутом 46,47 градусів, фотопанелі будуть працювати в номінальному режимі, відповідно і ККД установки буде знижуватися через температуру, що в свою чергу показує необхідність проведення подальших досліджень [7].

3.4 Вибір інвертора

До важливих етапів проєктування зарядної ФЕС також відноситься вибір інвертора, від його параметрів залежить якість електричної енергії, яку отримують електромобілі.

Необхідно визначимо наступні основні параметри інвертора при виборі:

- рекомендована вхідна напруга:

1. 12 В при потужності до 600 Вт,
2. 24 В при потужності від 600 до 1500 Вт,
3. 48 В за потужності понад 1500 Вт.

Обираємо до встановлення інвертор на напругу 48 В.

Таблиця 3.4 – Навантаження змінного струму електромобілей

№	Навантаження змінного струму	Потужність у кВт
1	Зарядна станція для електромобілей	22

Число ампер-годин на тиждень, потрібне для покриття навантаження змінного струму, визначається за формулою:

$$q_{доб} = \frac{P \cdot t}{U} = \frac{22000 \cdot 20}{48} = 9166,7 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

де t – кількість годин, у яких йде заряд електротранспорту, год.

- номінальна та пікова вихідна потужність.

Практично номінальна вихідна потужність інвертора повинна дорівнювати сумі потужностей всіх навантажень. Однак, насправді частіше роблять вибір по навантаженню з максимальною потужністю.

- захист.

Якісний інвертор повинен мати максимальну кількість захистів:

1. від високої та низької напруги акумуляторної батареї,
2. від короткого замикання (КЗ) після виходу,
3. від перевантаження по виходу,
4. від перегріву.

Наявність захистів запобігатиме виходу з ладу в екстрених ситуаціях.

- ККД.

Коефіцієнт корисної дії сонячного інвертора в кінцевому рахунку визначає скільки енергії буде витрачено марно (просто на те, щоб він працював). Сучасні моделі мають ККД 90-95%. При ККД нижче 90% більше 10% енергії буде марно витрачено, що не допустимо для сонячної електростанції.

Приймаємо гібридний інвертор для сонячних акумуляторів NEOSUN ESS-100кВт, технічні характеристики інвертора зведені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики інвертора

Модель інвертора	NEOSUN ESS-100
Номінальна потужність	100 кВт
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
Вихідна напруга	230В±5 %
Вихідна частота	50Гц
Ефективність	90%
Захист від навантаження	5с при $\geq 150\%$ навантаження, 10с при $110\% - 150\%$ навантаження
Макс. потужність	2 номінальні потужності протягом 5с
Напруга постійного струму	48В

Напруга холодного пуску	46,0В
-------------------------	-------

Характеристики заряду представлені у табл. 3.6

Таблиця 3.6 - Дані та характеристика заряду від інвертора

Струм, споживаний інвертором		20/30А (при $U = 230В$)
Напруга основного заряду	Рідкий ел-т	58,4
	AGM / Gel	56,4
Напруга підтримуючого заряду		54 В
Графік заряду		Напруга осередку 2,43 В (2,35 В) 2,25 В Струм заряду, % 100% 50% Час Напруга Струм Т0 Т1 $T1 = T0 \cdot 10$ (мін. 10 хв; макс. 8 год.) Основний (стабілізований струм) Підсилюючий (стабілізована напруга) Підтримуючий
Струм заряду (ШИМ)		50 А
Напруга АКБ		48В
Діапазон робочої напруги		60-72В
Макс. напруга хол.ходу		90 В
Споживання в режимі очікування		2 Вт
Допуск напруги		+/-0,3%

3.5 Вибір акумуляторних батарей

Задля забезпечення автономності та надійності роботи зарядної станції, згідно розробленої схеми було прийнято необхідну наявність АКБ.

Визначимо сумарну ємність акумуляторів, яка враховує кількість днів без сонця $N_{\text{бс}}$:

$$q_N = q_{\text{доб}} \cdot N_{\text{бс}} = 9166,7 \cdot 2 = 18334 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Для визначення оптимальної кількості АКБ необхідно врахувати, що чим більша глибина розряду, тим швидше батареї вийдуть з ладу [7]. Рекомендується враховувати значення глибини розряду 20-50%. Відповідно коефіцієнт використання γ складе від 0,2 до 0,5.

Заряд акумулятора з урахуванням глибини розряду [7]:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{9166,7}{0,5} = 18334 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

З огляду на місце зберігання АКБ в тех. приміщенні і те, що температура цього приміщення складе не менше 21С, приймаємо коефіцієнт α , який враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні [7].

Загальна ємність акумуляторних батарей:

$$q_{\text{заг}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 18334 \cdot 1,14 = 20900 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Відповідно до отриманої ємності, обираємо тип та кількість акумуляторних батарей. Доцільним буде обрати гелеві акумулятори.

Гелевий акумулятор NEOSUN™ NS48112-S.

Номінальні характеристики акумуляторних батарей представлені у (табл. 2.12).

Таблиця 3.7 – Номінальні характеристики акумуляторних батарей

Характеристика	Значення
Напруга, В	24
Потужність, кВт	5,7
паралельне поєднання, шт	16
Строк служби	до 12 років
Циклічний ресурс (при 100% розряді)	6000 циклів

Для визначення паралельно з'єднаних батарей необхідно розділити загальну необхідну ємність батарей $q_{заг}$ на номінальну ємність вибраної акумуляторної батареї, а отримане значення округлити до найближчого цілого. Це буде кількість батарей, з'єднаних паралельно [7]:

$$N_{пар}^{АКБ} = \frac{q_{заг}}{q_{ном}} = \frac{20900}{1900} = 11 \text{ штук.}$$

Габарити однієї батареї складе 0,08 м² згідно з виробником [7]. Займана площа АКБ становитиме:

$$S_{пл} = S_{бат} \cdot n \cdot k = 0,08 \cdot 68 \cdot 1,2 = 6,52 \text{ м}^2$$

де, k – враховує 20% запасу місця під кабелі та інші предмети підключення АКБ.

Таким чином, у розділі була розрахована зарядна ФЕС, та обрані її основні елементи.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень та розрахунків у кваліфікаційній роботі отримані наступні результати:

1. Аналіз сучасної зарядної інфраструктури в Україні показав, що галузь стрімко зростає і потребує саме впровадження автономних зарядних станцій з використанням сонячного потенціалу.

2. Проведено математичне моделювання зарядної ФЕС, з побудовою моделей, які дозволяють проаналізувати доцільність її проєктування. Визначено оптимальний кут нахилу сонячних батарей, що забезпечать автономне енергопостачання автозарядних станцій.

3. Виконаний розрахунок та вибір обладнання для автономної сонячної електростанції, визначено тип та потужність інвертора, акумуляторів, а також обрано сонячні панелі з потужністю 360Вт, визначено надлишок/недолік електричної енергії. В результаті проведеної роботи було побудовано профіль надходження енергії на горизонтальну площину, виконано перерахунок на похилу поверхню.

4. Освітлені питання охорони праці при експлуатації зарядної ФЕС для електромобілей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбунова А.Д., Анисимов И.А. Научное обоснование расположения зарядных станций для электромобилей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник материалов XIV международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. С. 158-162.
2. БУДСТАНДАРТ Online. [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://online.budstandart.com/ru/online-servis/features.html>
3. Ковальов І.О. Альтернативні джерела енергії України: навч. посіб./ І.О.Ковальов, О.В. Ратушний. - Суми: Вид-во СумДУ, 2015. – 201 с.
4. Анисимов И.А. Закономерности эксплуатации городской зарядной инфраструктуры электромобилей для оценки ее энергообеспечения от различных источников энергии/ И.А. Анисимов, А.Д. Горбунова // Вестник Евразийской науки. – 2020. – №5(12).– С. 1 – 12.
5. M.M.A. Mahfouz and Mohamed A.H. El-Sayed Modeling and Reactive Power Control of Wind and Fuel Cell Technologies in Distribution Networks International Conference on Renewable Energies and Power Quality: [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://www.icrepq.com/icrepq'12/285-mahfouz.pdf>
6. Artenergy.: [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://www.artenergy.com.ua/novosti/karta-solnechnoi-insoliatsii-ukrainy>
7. Розрахунок системи автономного енергопостачання з використанням фотоелектричних перетворювачів/А.Н. Гребенюк // Матеріали / М-во освіти і науки України ; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2015.

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці при експлуатації сонячних зарядних станцій

При експлуатації зарядних станцій найбільш небезпечним фактором є ураження електричним струмом.

Програми для заряджання електромобілів збільшують ризик ураження електричним струмом з кількох причин:

- Вилки: ризик обриву дроту захисного заземлення (РЕ);
- Кабель: ризик механічного пошкодження ізоляції кабелю (роздавлювання при перекочуванні автомобільних шин, операції, що повторюються...);
- Електромобіль: ризик доступу до активних частин зарядного пристрою (клас 1) в автомобілі внаслідок руйнування базового захисту (аварії, технічне обслуговування автомобіля тощо);
- Волога або солоня вода вологе середовище (сніг на вході електромобіля, дощ...).

Щоб взяти до уваги ці підвищені ризики, ІЕС 60364-7-722 стверджує, що:

- Додатковий захист за допомогою пристрою захисного відключення (ПЗВ) 30 мА обов'язковий;
- Електричний поділ для живлення одного елемента споживаючого струм обладнання приймається як захисна міра з роздільним трансформатором, відповідним ІЕС 61558-2-4, і напруга в розділеному ланцюгу не повинна перевищувати 500 В. Це зазвичай використовується рішення для режиму 4.

Як зазначено в ІЕС 60364-7-722.311, «Слід враховувати, що при нормальному використанні кожна окрема точка підключення використовується при її номінальному струмі або при налаштованому максимальному струмі заряджання зарядної станції. Засоби налаштування максимального зарядного

струму повинні виконуватись лише за допомогою ключа або інструменту та повинні бути доступні лише досвідченим чи проінструктованим особам».

Розрахунок схеми, що живить одну точку підключення (режими 1 і 2) або одну зарядну станцію для електромобілів (режими 3 і 4), повинен проводитися відповідно до максимального зарядного струму (або меншого значення, за умови, що налаштування цього значення недоступне для некваліфікованих спеціалістів).

Таблиця А1 - Приклади загальних номінальних струмів для режимів 1, 2 та 3

Характеристики	Режим заряджання				
	Режим 1 і 2	Режим 3			
Устаткування для підбору схем	Стандартна розетка	3,7 кВт один етап	7 кВт один етап	11кВт три етапи	22кВт три етапи
Максимальний струм, який необхідно враховувати при 230/400 В змінного струму	16А Р + N	16А Р + N	32А Р + N	16А Р + N	32А Р + N

Захист від ураження електричним струмом за рахунок автоматичного відключення живлення.

Кожна точка підключення змінного струму повинна бути індивідуально захищена пристроєм захисного відключення (ПЗВ) з номінальним залишковим робочим струмом, що не перевищує 30 мА.

ПЗВ повинні відключати всі струмопровідні провідники.

На рисунках А1 наведені схеми захисту від ураження електричним струмом.

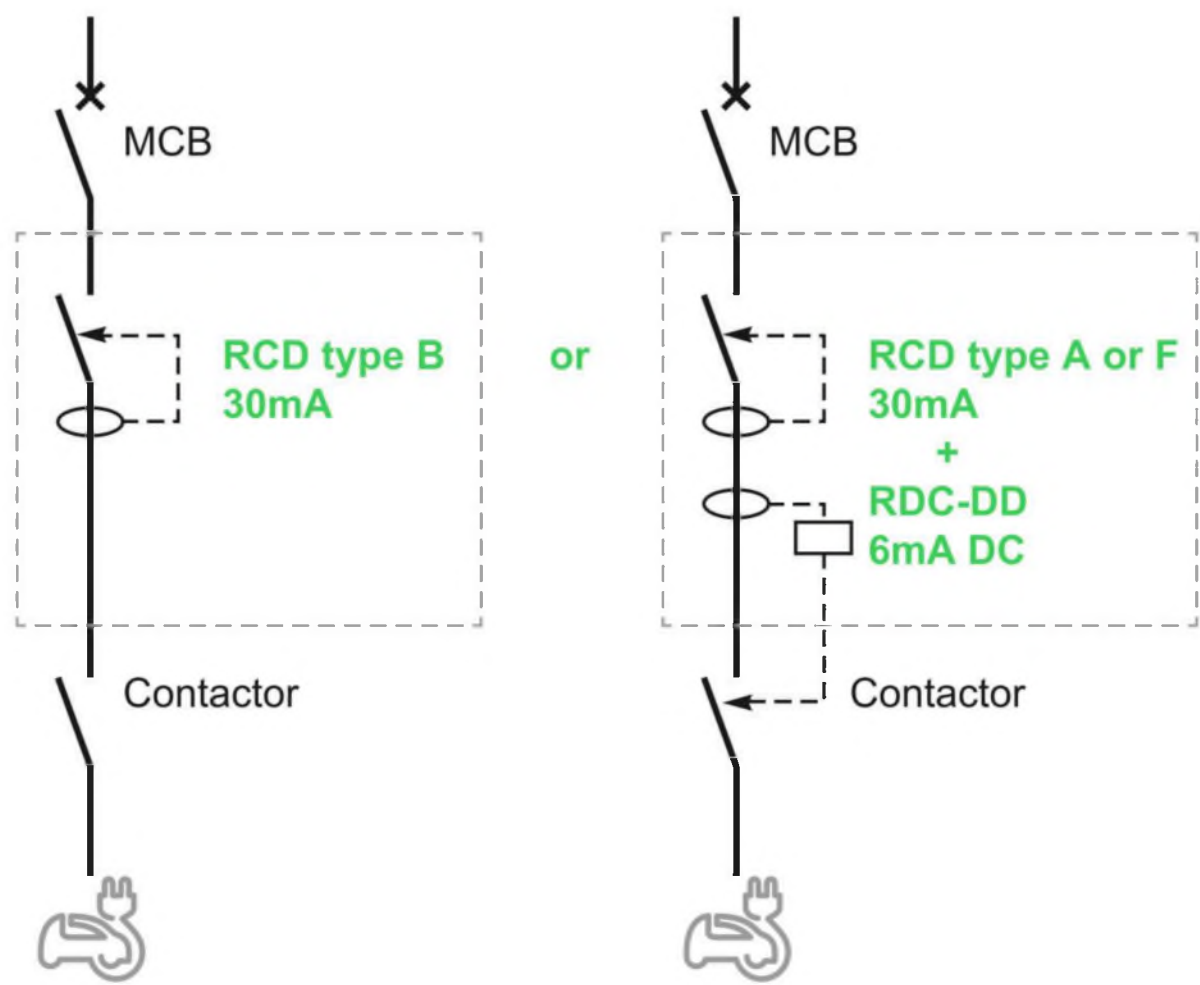


Рисунок А 1 – Два рішення для захисту від ураження електричним струмом (зарядні станції для електромобілів, режим 3)

Таблиця А2

Режим 1 та 2	Режим 3	Режим 4
ПЗВ 30мА тип А	ПЗВ 30мА типу В, або ПЗВ 30 мА типу А + 6 мА RDC-DD, або ПЗВ 30 мА типу F + 6 мА RDC-DD	Непридатний (без точки підключення змінного струму та електричного поділу)

ПЗВ або відповідне обладнання, що забезпечує відключення джерела живлення у разі несправності постійного струму, може бути встановлене всередині зарядної станції електромобіля, у розподільчому щиті перед ним або в обох місцях.

Визначені типи ПЗВ, як показано вище, потрібні, тому що перетворювач змінного струму в постійний, включений в електричні автомобілі та використовуваний для заряджання акумулятора, може генерувати струм витоку постійного струму.

Нижче наведено електричну схему для зарядки електромобілів у режимі 3, яка відповідає IEC 60364-7-722.

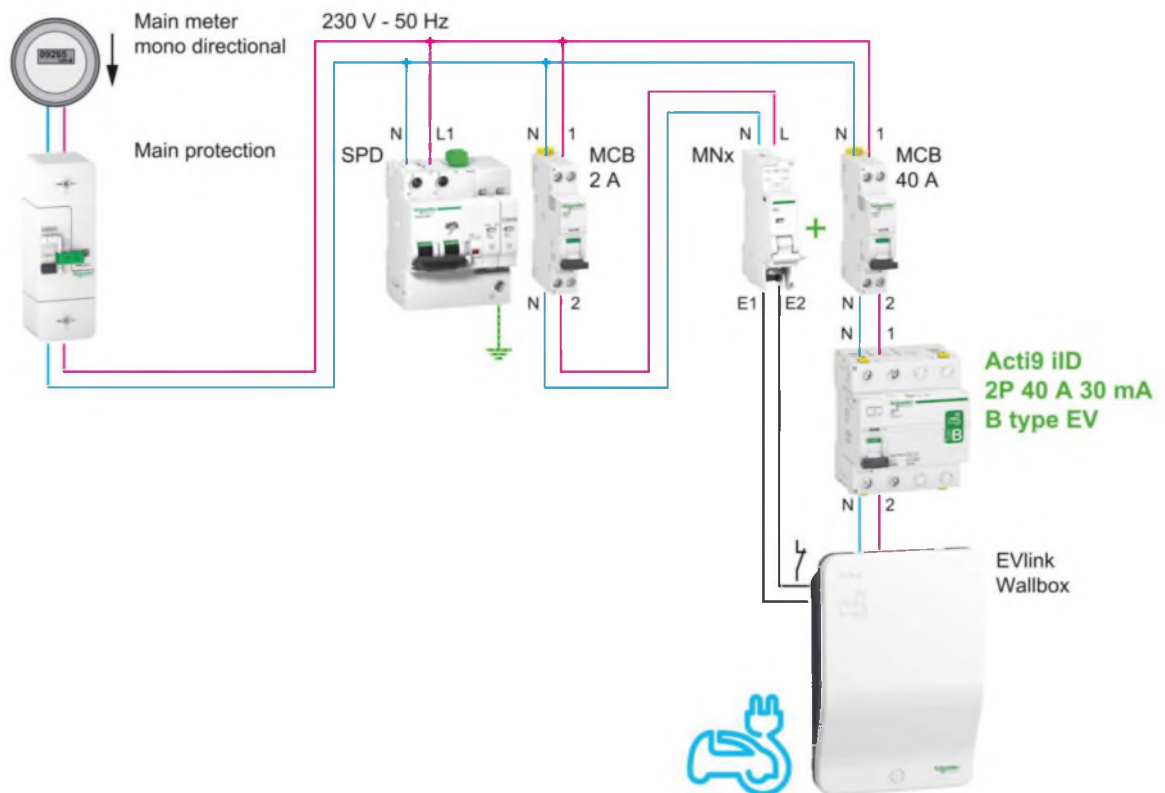


Рисунок А2 – Електрична схема для однієї зарядної станції в режимі 3

Розрахунок захисного заземлення

Як і будь-яка електроустановка, зарядні станції потребують якісного заземлення та захисту від зовнішніх загроз, наприклад, прямого удару блискавки.

Початкові дані:

- об'єкт - зарядна станція електромобілів;
- тип ґрунту прийнятий для розрахунків – суглинок ($100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$);
- розміри показані на рисунку А2.

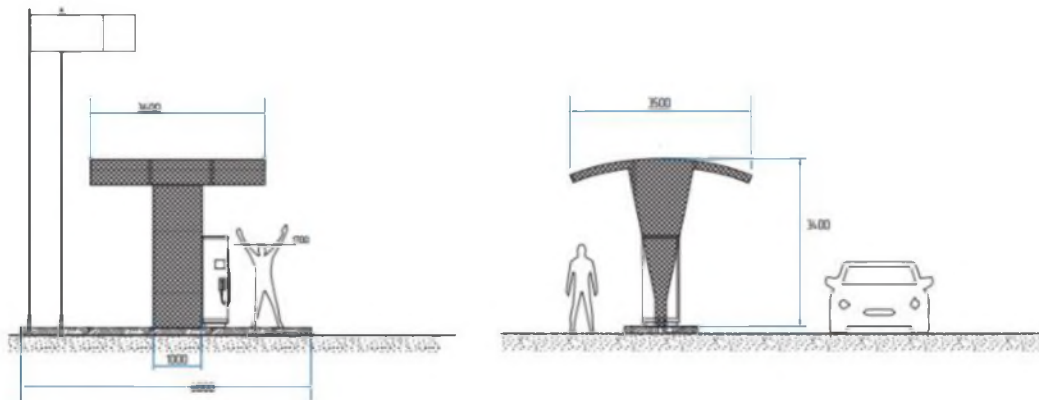


Рисунок А3 – Розміри об'єкта (в міліметрах)

Відповідно до ПУЕ загальний опір розтіканню заземлювачів (у тому числі природних) всіх повторних заземлень PEN-провідника кожної ПЛ у будь-який час року має бути не більше 10 Ом при лінійній напрузі 380 В джерела трифазного струму або 220 В джерела однофазного струму.

Монтаж заземлювального пристрою, що складається з 5 вертикальних електродів довжиною 3 м , об'єднаних горизонтальним електродом (змідена смуга перетином $30 \times 4 \text{ мм}$). Відстань між вертикальними електродами щонайменше 5 метрів , відстань від електрода до фундаменту зарядної станції щонайменше 1 м , заглиблення $0,5 - 0,7 \text{ метра}$.

Розрахунок опору заземлювального пристрою:

$$R_{\text{верт}} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,014} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 34,25 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{гор1}} = \frac{100}{2\pi \cdot 25} \cdot \ln \frac{2 \cdot 25^2}{0,03 \cdot 0,5} = 7,22 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{зп}} = \frac{1}{0,65 \cdot \left(\frac{5}{34,25} + \frac{1}{7,22} \right)} = 5,41 \text{ Ом};$$

Розрахунковий опір заземлювального пристрою становить 5,41 Ом, що менше допустимого опору 10 Ом.

Розрахунок блискавкозахисту

Захист будівель від розрядів блискавки здійснюється за допомогою блискавковідводів. Блискавковідвід являє собою пристрій, через який струм блискавки, минаючи об'єкт, що захищається, відводиться в землю. Воно складається з блискавки, що безпосередньо сприймає на себе розряд блискавки, струмовідводу і заземлювача.

Станція відноситься до «звичайних», з точки зору блискавкозахисту відповідно до СО та III категорії відповідно до РД. Необхідна надійність – не менше 0,9.

Комплекс заходів щодо забезпечення необхідних вимог до систем блискавкозахисту представлений такими рішеннями-установка одного стрижневого блискавкоприймача висотою 10 м на відстані 3 м від об'єкта (рисунки А3)

Підсумки розрахунку:

- щільність розрядів блискавки у землю – 4 удари/кв. км на рік;
- повне число ударів у систему – 0,013 (раз на 77 років);
- сумарна кількість проривів - 0,00019 (раз на 5263 роки);
- S Надійність системи – 0,985;

- можливість прориву у всі об'єкти системи – 0,015.

Підсумки розрахунку зони захисту відповідно до СО:

- Блискавкоприймач-щогла №1 (ZZ-201-010):

- $h = 10$ м;

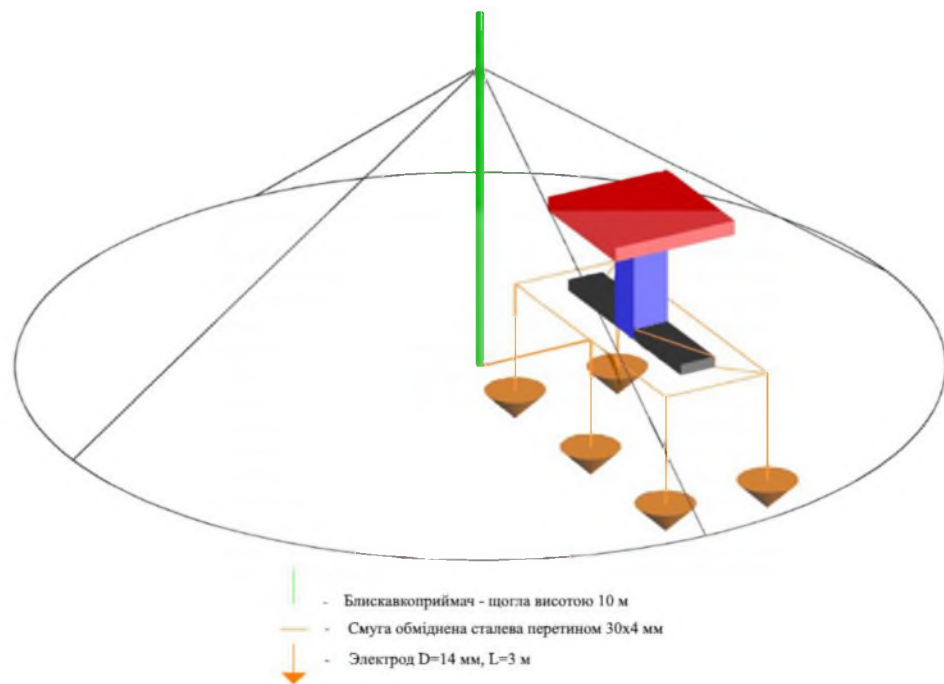
- висота конуса:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 8,5 \text{ м};$$

- радіус конуса:

$$r_0 = 1,2 \cdot r = 12 \text{ м};$$

Зона захисту від прямого удару блискавки показана рисунку А3.



Блискавкоприймач – щогла висотою 10 м – air terminal mast 10 m high;
 Смуга обміднена сталевая перетином 30х4 мм – copper-bonded steel tape with the cross-section of 30х4 mm; Електрод D=14 мм, L=3 м – Electrode D=14 мм, L=3 м

Рисунок А4 – Розміщення обладнання. Зона захисту

Перелік необхідних матеріалів наведено у таблиці А3.

Таблиця А3 – Перелік потреб матеріалів

№ п/п	Рис.	Артикул	Виріб	Кіл-сть, шт.
1.		ZZ-201-010	ZANDZ Блискавкоприймач вертикальний 10 м (оцинк. сталь; із заставними під фундамент)	1
2.		ZZ-001-065	ZANDZ Штир заземлення обміднений різьбовий (D14; 1,5 м)	10
3.		ZZ-002-061	ZANDZ Муфта сполучна різьбова	6

4.		ZZ-003-061	ZANDZ Наконечник стартовий	5
5.		ZZ-004-060	ZANDZ Головка пряма для насадки на відбійний молоток	2
6.		ZZ-006-000	ZANDZ Мастоно струмопровідне	1
7.		ZZ-008-000	ZANDZ Насадка на відбійний молоток (SDS max)	1
8.		ZZ-005-064	ZANDZ Затискач для підключення провідника (до 40 мм)	6
9.		GL-11075-20	GALMAR Смуга обміднена (30*4 мм/S 120 мм ² ; бухта 20 метрів)	2

Установка блискавкоприймача, що окремо стоїть, висотою 10 м забезпечить надійність блискавкозахисту за II категорією, що у свою чергу є хорошим показником і знизить кількість проривів блискавки до 1 разу на 5263 роки.

Застосування обміднених заземлювачів у вигляді контуру по периметру об'єкта з вертикальними електродами дозволить забезпечити надійне заземлення електроустановки.