

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ Є. О. Антипов
(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Проектування мережевої сонячної електростанції для будівель складського призначення»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами»

02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ

Гарант освітньої програми

_____ К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

_____ Світлана МАКАРЕВИЧ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

_____ Андрій ПЕТРЕНКО
(ПІБ)

Виконав

_____ (Підпис)

_____ Дмитро ПЕРЕТА
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ Євген АНТИПОВ
(підпис)

„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
_____ Переті Дмитру Михайловичу _____

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами»
Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Проектування мережевої сонячної електростанції для будівель складського призначення»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» 10 2025 р. № 2606 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру «29» травня 2026 р.
Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: каталоги електрообладнання; вимоги ПУЕ; генеральний план, електричне навантаження, структурна схема

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Загальна інформація про будівництво мережевої сонячної електростанції для будівель складського призначення
2. Обґрунтування будівництва наземної мережевої сонячної електростанції
3. Розрахунок параметрів мережевої сонячної електростанції
4. Розрахунок економічної ефективності
5. Розрахунок заземлення та блискавкозахисту

Перелік графічних документів: презентація виконана в Microsoft PowerPoint

Дата видачі завдання: _____

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доцент _____

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

_____ Андрій ПЕТРЕНКО _____

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

_____ Дмитро ПЕРЕТА _____

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО БУДІВНИЦТВО МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ СКЛАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	9
1.1 Характеристика впливів мережевої сонячної електростанції на навколишнє середовище	9
1.2 Інформація про будівництво	10
1.3 Пожежна безпека при виконанні будівельно-монтажних робіт	11
1.4 Особливості виконання монтажних робіт	13
1.5 Потреба і забезпечення будівництва енергетичними ресурсами і водою	15
1.6 Розрахунок класу наслідків	16
Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ БУДІВНИЦТВА НАЗЕМНОЇ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	19
2.1 Огляд тенденцій розвитку та сонячного потенціалу електроенергетики в Україні	19
2.2 Територія для встановлення наземної мережевої сонячної електростанції	21
2.3 Улаштування опорної наземної конструкції під сонячні фотомодулі	23
Висновки до розділу 2	29

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Лат</i>	Проектування мережевої сонячної електростанції для будівель складського призначення	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Перета Д. М.						
<i>Перевір.</i>		Петренко А. В.					3	67
<i>Реценз.</i>						ННІ ЕАЕ		
<i>Н. Контп</i>								
<i>Затверд.</i>								

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	30
3.1 Розрахунок основних параметрів сонячної електростанції	30
3.2 Розташування та схема захисту інвертора напруги	35
3.3 Моделювання прогнозованого рівня річного генерування	37
Висновки до розділу 3	43
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	45
4.1 Розрахунок капітальних інвестицій	45
4.2 Розрахунок терміну окупності	47
Висновки до розділу 4	49
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ	50
5.1 Розрахунок заземлення	50
5.2 Розрахунок блискавкозахисту	55
Висновки до розділу 5	59
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

РЕФЕРАТ

Метою роботи є забезпечення електроенергією будівель складського призначення шляхом розробки наземної мережевої сонячної електростанції.

Об'єктом дослідження є наземна мережева сонячна електростанція.

Предметом дослідження є технічні рішення для забезпечення ефективної роботи мережевої сонячної електростанції.

У роботі проведено аналіз загальних умов будівництва та експлуатації мережевої сонячної електростанції для об'єктів складського призначення в селі Шпитьки Київської області. Для забезпечення максимальної генерації обґрунтовано структуру та потужність масиву СЕС. З урахуванням доступної корисної площі земельної ділянки 645 м² та необхідних технологічних зазорів для термокомпенсації металоконструкцій, визначено кількість фотоелектричних модулів SPR-P6-545-COM-M-BF потужністю 545 Вт – 248 шт. Сумарна встановлена пікова потужність масиву по стороні постійного струму становить 135 кВт. Для ефективного завантаження 10 MPPT-трекерів мережевого інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M1 масив розділено на 16 стрінгів: 8 стрінгів по 16 модулів та 8 стрінгів по 15 модулів.

Імітаційне моделювання у програмному середовищі PVsyst для геолокації у с. Шпитьки, дозволило визначити річний обсяг генерування СЕС, що становить 154 539 кВт·год. Щорічний фінансовий потік підприємства перевищує 1,05 млн грн, що забезпечує простий термін окупності інвестицій на рівні 2 роки і 3 місяці.

Розрахований штучний груповий заземлювач з конфігурацією із 12 вертикальних стрижнів завдовжки 3 м та горизонтальної сталевий смуги 40×4 мм загальною довжиною 36 м у суглинковому ґрунті має власний опір до 4 Ом.

Для захисту подвійного ряду масиву СЕС довжиною 66 м та висотою 2,5 м визначено геометрію встановлення 5 щогл повною висотою 7,5 м із максимальним кроком між ними до 14,3 м, що гарантує утворення суцільної захисної зони над усім масивом

Ключові слова: мережева сонячна електростанція, заземлення, блискавкозахист, термін окупності.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

DC – постійний струм
I_{sc} – струм короткого замикання
STC – стандартні умови тестування
AC – змінний струм
ВДЕ – відновлювані джерела енергії
ЗСП – система зрівнювання потенціалів
ІГЕ – інженерно – геологічні елементи
ККД – коефіцієнт корисної дії
ПВР – проект виробництва робіт
ПУЕ – правила улаштування електроустановок
СЕС – сонячна електростанція
ФЕМ – фотоелектричні модулі

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний стан світової та вітчизняної енергетики характеризується стрімким переходом до відновлюваних джерел енергії, серед яких сонячна генерація посідає одне з провідних місць. Для України питання розвитку розподіленої генерації набуло критичного значення внаслідок масштабних пошкоджень централізованої інфраструктури, дефіциту потужності в енергосистемі та постійного зростання тарифів на електроенергію для комерційних споживачів. Впровадження мережевих сонячних електростанцій для власного споживання промислових та комерційних підприємств є дієвим інструментом забезпечення їхньої енергетичної стійкості. Особливе місце в цьому процесі посідають будівлі складського та логістичного призначення, які володіють великими площами незадіяних дахів з ідеальною геометрією для розміщення фотоелектричних масивів, або великою площею територій. Оскільки пік енергоспоживання складів збігається за часом із піком сонячної активності, проектування таких СЕС дозволяє суттєво знизити витрати бізнесу та зменшити навантаження на магістральні електромережі.

Попри значний потенціал, інтеграція мережевих сонячних станцій у складську інфраструктуру стикається з низкою технічних та регуляторних проблем. Головними серед них є непостійність генерації через залежність від погодних умов, а також обмеження щодо несучої здатності дахових конструкцій складів із сендвіч-панелей або профнастилу. Окрему увагу інженери змушені приділяти питанням пожежної безпеки через ризики виникнення дугових розрядів у колах постійного струму, складнощам гасіння дахових масивів та необхідності проектування надійних систем захисного заземлення й блискавкозахисту. Крім того, видача надлишків енергії в локальну мережу може викликати коливання напруги, що вимагає впровадження інтелектуальних систем керування.

У світовій практиці сегмент комерційної та промислової сонячної енергетики переживає справжній бум, а логістичні гіганти на кшталт Amazon чи DHL вже обладнали сонячними панелями мільйони квадратних метрів своїх покрівель. В Україні, попри складні геополітичні умови, бізнес також масово переорієнтовується

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на сонячну генерацію для власних потреб. Замість колишньої орієнтації на «зелений тариф» рушійною силою ринку стає новий механізм Net Billing, тобто чистого продажу надлишків. Зважаючи на високі ринкові ціни на електроенергію для юридичних осіб термін окупності таких проєктів суттєво скоротився, що стимулює кратне щорічне зростання встановлених потужностей дахових СЕС.

Предметом вивчення у роботі виступають технічні характеристики обладнання, електричні схеми, конструктивні рішення монтажу, заходи інженерного захисту, а також техніко-економічні показники мережевої сонячної електростанції. Завдання роботи полягає у розробці та комплексному інженерному обґрунтуванні проєктних рішень для створення СЕС складського комплексу, яка забезпечить максимальне покриття внутрішнього споживання та мінімальний термін повернення інвестицій.

Для вирішення визначених завдань у роботі застосовано комплекс методів дослідження, що включає системний аналіз науково-технічної літератури, комп'ютерне моделювання сонячної генерації у спеціалізованому програмному забезпеченні, методи інженерного розрахунку електричних мереж та систем заземлення, а також методи фінансово-економічного аналізу та теорії інвестиційного менеджменту. Перспективи розвитку таких систем є надзвичайно широкими та пов'язані із концепцією розумних логістичних хабів. У найближчому майбутньому складські СЕС інтегруватимуться з промисловими системами накопичення енергії великої ємності, інтелектуальними системами управління, інфраструктурою для швидкісного заряджання магістрального електротранспорту та механізмами внутрішньої торгівлі квотами на викиди вуглецю.

З економічного погляду сонячна станція забезпечує пряме зниження витрат на купівлю дорогої мережевої електроенергії, захищає бізнес від майбутніх коливань тарифів на десятиліття наперед, дозволяє монетизувати надлишки через Net Billing та підвищує ринкову вартість самої нерухомості. Основним економічним недоліком залишається висока капіталомісткість на початковому етапі та залежність фінансових моделей від регуляторних змін на ринку. З екологічного боку СЕС гарантує повну відсутність шкідливих викидів під час роботи, зменшує вуглецевий слід компанії та заощаджує викопне паливо.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО БУДІВНИЦТВО МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ СКЛАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1. Характеристика впливів мережевої сонячної електростанції на навколишнє середовище

Технологічний процес будівництва та експлуатації запроектованих об'єктів є безвідходним і не супроводжується шкідливими викидами в навколишнє природне середовище (як повітряне, так і водне). Виходячи з цього, проведення повітряно-, ґрунто- та водоохоронних заходів не передбачається.

Шум та вібрація при експлуатації сонячної електростанції (СЕС) відсутні.

Водопостачання і відведення побутових та інших стоків для СЕС не потрібні і в роботі не передбачаються. Захист від впливів електричних та електромагнітних полів від передбаченого у роботі устаткування відповідно до «Правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [1] для ліній напругою до 110 кВ не вимагається.

Для унеможливлення уражень людей електричним струмом у роботі передбачені заходи, що розглядатимуться у наступних розділах.

Виходячи з наведеного, можна визначити, що у роботі передбачено виконання всіх вимог щодо захисту навколишнього середовища, а запроектований об'єкт шкідливого впливу навколишньому середовищу не наносить.

Заходи з техніки безпеки передбачені в обсязі, необхідному "Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів" [2] та відповідно до вимог "Правил улаштування електроустановок" [3]. Усе електрообладнання відповідає умовам середовища і забезпечує безпечну експлуатацію. Устаткування розташовується в закритих шафах, недоступних для сторонніх людей.

Для забезпечення нормальних умов праці при проведенні робіт з ремонту та технічного обслуговування обладнання у роботі передбачатимуться необхідні ізоляційні відстані між струмоведучими частинами та ін.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Інформація про будівництво

Забезпечення основним електропостачанням виконується від існуючого щита ГРЩ-0,4 кВ. У роботі передбачається проектування та підключення СЕС до електричної мережі будівлі без зміни конфігурації ГРЩ, що розміщується у будівлі складського призначення.

Експлуатація СЕС проходить без виробництва шкідливих викидів у навколишнє середовище. Відходи сміття вивозяться централізовано з господарського майданчика.

Додаткових заходів щодо охорони навколишнього середовища не потрібно.

На час будівництва мережевої сонячної електростанції передбачені заходи, що виключають забруднення території – сміття вивозиться в міру нагромадження, не захащує територію, будівельні матеріали складаються на відведених площадках.

При проектуванні враховані вимоги державних будівельних норм, державних стандартів, державних санітарних норм і правил, норм технологічного проектування, чинних ПУЕ та вимог законодавчих актів України.

Будівництво мережевої сонячної електростанції передбачається виконувати на відкритих майданчиках у звичайних умовах.

Для системи водопостачання будівельного майданчика (побутові потреби), необхідно влаштувати тимчасовий доступ до водопровідного джерела. Скидання дощових вод з території будівельного майданчика передбачається в існуючу мережу зливової каналізації.

Для потреб пожежогасіння використовувати існуючі протипожежні заходи об'єкту.

Потребу у воді «питної якості» забезпечувати привозною бутильованою водою.

Будівництво мережевої сонячної електростанції передбачається виконувати в одну чергу.

В основу вибору організаційно – технологічної схеми будівництва мережевої сонячної електростанції покладено послідовний метод організації руху виробничих процесів у часі. Процес модернізації представлений стадіями (етапами):

- монтаж конструкцій;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- пуско-налагоджувальні роботи.

При послідовному методу організації руху виробничих процесів у часі всі будівельні роботи ведуться у строгому технологічному взаємозв'язку до повної готовності об'єкту.

1.3. Пожежна безпека при виконанні будівельно-монтажних робіт

Для потреб пожежогасіння використовувати існуючі протипожежні заходи об'єкту.

Забезпечення пожежної безпеки проводити в відповідності з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні [4], введених в дію наказом міністра внутрішніх справ України від 30.12.2014 №1417 (див. розділ VII – Вимоги пожежної безпеки під час проведення вогневих, фарбувальних та будівельно-монтажних робіт), ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [5], постанови кабінету Міністрів України № 444 від 26.06.2013 та інших нормативних документів чинних на території України.

Пожежна безпека включає комплекс заходів по попередженню пожеж, поліпшенню протипожежного стану будівель і споруд, зниженню пожежної безпеки при виконанні виробничих процесів. Будівельники повинні суворо дотримуватися вимог пожежної безпеки на всіх стадіях модернізації електричних мереж, починаючи з початку робіт.

На будівельному майданчику необхідно:

- забезпечити правильне складування матеріалів і виробів з тим, щоб попередити загорання легкозаймистих і пальних матеріалів;
- будівельні відходи (обрізки лісоматеріалів, тріску, кору, тирсу й ін.) необхідно щодня забирати з місць проведення робіт і з території будівництва в спеціально відведені місця, розташовані не менше 50 м від найближчих будинків і складу лісових матеріалів.
- своєчасно прибирати будівельне сміття;
- дозволяти паління тільки в спеціально відведених місцях;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- суворо дотримуватися інших правил пожежної безпеки;

- забезпечити первинними засобами пожежогасіння (покривалами з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, вогнегасники, совкові лопати) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо)).

- утримувати в постійній готовності всі засоби пожежогасіння (лінії водопроводу з гідрантами, вогнегасники, сигналізаційні засоби, пожежний інвентар).

З метою недопущення пожеж у побутових приміщеннях, необхідно:

1) встановити загальний рубильник для знеструмлення всіх видів побутових приміщень у не робочий час, крім кімнати охорони і зовнішнього освітлення;

2) наказом призначити особу, відповідальну за протипожежний стан побутових приміщень;

3) на видному місці вивісити інструкції про заходи пожежної безпеки в побутових приміщеннях, у яких в обов'язковому порядку заборонити паління і сушіння спецодягу;

4) наприкінці робочого дня начальник ділянки (майстер, бригадир) повинен здавати під охорону сторожу з розписом у спец журналі побутові приміщення з обов'язковим оглядом вагончиків з відключенням енергії в них.

Основні напрямки протипожежної безпеки є:

- розміщення будинків і споруджень;

- протипожежне водопостачання;

- засоби зв'язку й оповіщення.

Відповідальність за пожежну безпеку об'єкту, на якому виконується роботи з будівництва мережевої сонячної електростанції на території будівельного майданчику, своєчасне виконання протипожежних заходів, забезпечення засобами пожежогасіння, забезпечення належного стану проти пожежного захисту на об'єкті будівництва - несе керівник робіт від підрядної організації.

Проведення інструктажів та навчання відповідальної особи за дотримання правил пожежної безпеки здійснювати відповідно до, постанови кабінету Міністрів

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

України №444 від 26.06.2013 та інших нормативних документів чинних на території України.

1.4. Особливості виконання монтажних робіт

Монтажні роботи повинні виконуватись у відповідності з вимогами ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві» [6] та іншими діючими нормативними документами по охороні праці, а також інструкціями з охорони праці які розроблені в будівельній підрядній організації і проектом виконання робіт.

До монтажних і навантажувально-розвантажувальних робіт допускаються особи не молодші 16 років, які пройшли навчання по спеціальних програмах атестовані кваліфікаційною комісією і мають посвідчення на право виконання цих робіт.

При вазі вантажу більше 50 кг навантажувально - розвантажувальні роботи виконуються тільки механізованим методом. Всі працівники, які знаходяться на будівельному майданчику зобов'язані носити захисні каски взуття і жилети.

Виконуючи монтажні і навантажувально - розвантажувальні роботи необхідно знаходитись за межами небезпечної зони із боку протилежного напрямленню подачі вантажу або конструкції (на відстані 7-10 м від місця прийомки). Допускається підходити до вантажу або конструкції яка опускається коли вони знаходяться над місцем установки 0,5...1,0 м.

До початку виконання монтажних робіт необхідно встановити порядок передачі умовними сигналами між особою, яка керує монтажними роботами і машиністом крану. Всі сигнали подаються тільки однією людиною (бригадиром монтажною бригади або визначеним сигнальником) крім сигналу «Стоп», який може бути поданий будь-яким робітником, який побачив явну небезпеку при виконанні монтажу.

На ділянці де виконуються монтажні і навантажувально - розвантажувальні роботи не допускається виконання інших робіт і знаходження незадіяних осіб.

При виконанні монтажних робіт на будівлях і спорудах заборонено виконувати будь-які роботи, пов'язані із знаходженням людей на поверхах над якими виконується

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщення, установка і тимчасове закріплення елементів збірних конструкцій або обладнання. При виконанні монтажних і навантажувально - розвантажувальних робіт необхідно враховувати можливість виникнення наступних небезпечних виробничих факторів:

- падіння предметів з місць виконання робіт (з висоти);
- падіння людей з висоти;
- ураження людей електричним струмом.

Для уникнення впливу цих факторів, а також роботу крана, на інших робітників необхідно визначити постійно діючі небезпечні виробничі зони на будівельному майданчику. З метою непопадання в ці зони сторонніх осіб, проектом передбачаються захисні огорожі, які відповідають вимогам ДБН А.3.2-2-2009 .

При стропуванні конструкцій необхідно використовувати тільки стропи, які пройшли технічне освідчення у відповідності з вимогами НПАОП 0.00-1.01-07 «Правили будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів».

При переміщенні і монтажі великогабаритних конструкцій і вантажів кранами, до вантажів і конструкцій повинні бути закріплені канати «розчалки», для притримування і супроводу вантажів і конструкцій до місця їх переміщення або монтажу.

Способи стропування переміщуваних конструкцій повинні виключати ковзання переміщуваних вантажів і конструкцій. Розрахунок гнучких стропів виконується у відповідності з правилами влаштування і безпеки експлуатації вантажопідійомних кранів Держнагляду. Не допускається виконувати монтажні роботи на висоті, у відкритих місцях, при швидкості вітру 15 м/с і більше, при ожеледиці чи тумані, які виключають видимість в межах фронту робіт.

Роботи по переміщенню та встановленню профільованих листів - подібних на конструкції з великою вітрильністю, необхідно припинити при швидкості вітру 10 м/с і більше.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Потреба і забезпечення будівництва енергетичними ресурсами і водою

Розрахункову кількість електроенергії на період будівництва мережевої сонячної електростанції необхідно одержати шляхом підключення тимчасовими мережами до існуючих джерел.

Основними споживачами електроенергії на будівельному майданчику є механізми і установки, а також освітлення інвентарних будівель і майданчика.

Сумарна потреба в електроенергії для будівельного майданчика визначається формулою:

$$P = \frac{1,1}{\cos\varphi(k_1 \sum P_1 + k_2 \sum P_2 + k_3 \sum P_3 + k_4 \sum P_4)} \quad (1.1)$$

де P – загальна потреба у потужності, кВА; 1,1 – коефіцієнт, що встановлює втрати потужності в мережах; $k_1 - k_4$ – коефіцієнти одночасності, залежності від виду і кількості споживачів (приймаються 0,6-1); P_1 – силова потужність, що споживається будівельними машинами, інструментами, механізмами, кВт; P_2 – споживна потужність на технологічні потреби (електропідігрів бетону), кВт; P_3 – споживна потужність для внутрішнього освітлення приміщення, кВт; P_4 – споживна потужність для зовнішнього освітлення шляхів, проїздів, фронту робіт, кВт; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності, в середньому рівний 0,75.

$$P = \frac{1,1}{0,75 \cdot (1 \cdot 0,7)} = 1,025 \text{ кВА}$$

Потреба електроенергії потребує уточнення на стадії ПВР після визначення конкретних будівельних енергоємних машин і механізмів.

Основними споживачами води на будівельному майданчику є технологічні процеси (приготування розчину тощо).

У таблиці 1.1 зведені основні будівельні машини і механізми, проте рекомендовані марки механізмів не є обов'язковими і можуть бути замінені на інші з аналогічними технічними характеристиками.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потреба в основних будівельних машин і механізмах

№ п/п	Найменування	Марка механізму	Кількість	Примітка
1	Крани на автомобільному ході 10 т	ЗИЛ-133	1	
2	Шліфмашина кутова	Dnipro- MGL-125S	1	
3	Перфоратори електричні	Dnipro-M RH-100	2	
4	Машини свердлильні електричні	-	2	

1.6. Розрахунок класу наслідків

У роботі при проектуванні мережевої сонячної електростанції для складських будівель передбачаються роботи з монтажу основного обладнання сонячної електростанції, прокладка кабельно-провідникової продукції та використання додаткових електромонтажних виробів та матеріалів згідно ПУЕ та ПТЕЕ.

Відповідно до пункту 4.3 ДСТУ 8855:2019 «Клас наслідків (відповідальності) [7] може бути визначений для частини (відокремленої частини) об'єкта»

Передбачається,

N_1 – Кількість людей, що постійно перебувають на будові – 10 осіб;

N_2 – Кількість людей, що періодично перебувають на будові – 2 осіб;

N_3 – Кількість осіб, що знаходяться зовні об'єкта приймається – 12 осіб.

$$N_3 = N_1 + N_2 = 10 + 2 = 12$$

Враховуючи наведені показники, та відповідно до табл.1 ДСТУ8855:2019, об'єкт відноситься до класу наслідків СС1.

Прогнозована кошторисна вартість будівельних робіт об'єкта складає: 2 300,000 тис. грн.

Збитки від руйнувань та пошкодження основних фондів розраховуються за формулою:

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi = c \cdot \sum^n P_i (1 - 0,5T_{ef} \cdot K_a) \quad (1.2)$$

де $n = 1$ – кількість видів основних фондів; $c = 0,45$ – коефіцієнт, що враховує відносну долю основних фондів, що повністю втрачаються при відмові; $T_{ef} = 20$ років – середнє значення встановленого терміну експлуатації основних фондів; $K_a = 0,01$ – коефіцієнт амортизаційних відрахувань і-го виду основних фондів; $P_i = 2300,000$ тис. грн – кошторисна вартість і-го виду втрачених основних фондів.

Прогнозовані збитки визначаються за формулою.

$$\Phi = 0,45 \cdot 2300,000 \cdot (1 - 0,5 \cdot 20 \cdot 0,01) = 931,500 \text{ тис. грн}$$

Обсяг можливого економічного збитку у мінімальних заробітних платах складає:

$$2\,300,000 \text{ грн.} / 8\,647 \text{ грн.} = 266 \text{ м.р.з.п.}$$

Враховуючи розмір можливого економічного збитку побудованої мережевої СЕС для складських будівель, що розташовані у селі Шпитьки, Київської області, відноситься до класу наслідків СС1.

Мережева сонячна електростанція не розташована в охоронній зоні об'єктів культурної спадщини і не є об'єктом культурної спадщини. Робота об'єкту передбачається у звичайних інженерно - геологічних умовах, при відсутності таких ускладнюючих умов як: сейсміка, просадки тощо. Мережева сонячна електростанція не є об'єктом підвищеної екологічної небезпеки.

Приймаємо, що відмова будови не спричинить припинення роботи об'єктів транспорту, зв'язку та енергетики загальнодержавного, регіонального й місцевого рівнів.

Отже, відповідно до п. 4.4. ДСТУ 8855:2019, клас наслідків (відповідальності) об'єкту будівництва встановлюється за найвищою характеристикою можливих наслідків, отриманих за результатами розрахунків.

За критерієм табл. 1 (ДСТУ 8855:2019) об'єкт відноситься до класу наслідків СС1, а відповідно до п. 4.12 (ДСТУ 8855:2019) належить до класу наслідків СС1.

За критеріями загальних вимог об'єкт у селі Шпитьки, Київської області, з встановлення наземної мережевої сонячної електростанції належить до класу наслідків СС1.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз загальних умов будівництва та експлуатації мережевої сонячної електростанції для об'єктів складського призначення в селі Шпитьки Київської області. За результатами аналізу зроблено такі висновки:

встановлено, що функціонування мережевої СЕС є безвідходним, не супроводжується шкідливими викидами в атмосферне повітря чи водні об'єкти, а також не створює шумового та вібраційного забруднення, що дозволяє відмовитися від розробки додаткових спеціальних заходів з охорони навколишнього природного середовища під час експлуатації станції;

визначено місце інтеграції СЕС у структуру складу. Запроектована сонячна електростанція підключатиметься до існуючої системи електропостачання через діючий щит ГРЩ-0,4 кВ складської будівлі без необхідності його капітальної перебудови чи зміни конфігурації;

реалізацію будівництва передбачено в одну чергу за послідовним методом організації виробничих процесів, що включає два базових етапи: монтаж будівельних і електротехнічних конструкцій та пусконаладжувальні роботи. На період будівництва виконуватиметься тимчасове підключення до існуючих мереж об'єкта за уточненою методикою розрахунку потужності.

Відповідно до чинних нормативних документів ДБН А.3.2-2-2009, НАПБ А.01.001-2014 визначено межі небезпечних зон на будівельному майданчику, встановлено метеорологічні обмеження для монтажних робіт на висоті, швидкість вітру < 15 м/с загалом та < 10 м/с для елементів із високою вітрильністю;

На основі аналізу демографічних факторів, кількість постійного та тимчасового персоналу та розрахунку прогнозованого економічного збитку від можливої руйнації, який становить 266 мінімальних заробітних плат (при очікуваній кошторисній вартості 2 300,00 тис. грн), згідно з ДСТУ 8855:2019 об'єкту проектування встановлено клас наслідків СС1 (незначні наслідки), що підтверджує, що СЕС не належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки і може проектуватися за спрощеними процедурами, передбаченими для даного класу.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ БУДІВНИЦТВА НАЗЕМНОЇ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1. Огляд тенденцій розвитку та сонячного потенціалу електроенергетики в Україні

Сучасний світовий паливно-енергетичний комплекс досі демонструє високу залежність від спалювання невідновлюваних ресурсів. Зокрема, на частку нафти, кам'яного вугілля та природного газу припадає понад дві третини глобального енергоспоживання.

Проте, за аналітичними прогнозами міжнародних експертів, до 2040 року очікується фундаментальна трансформація енергетичного сектору завдяки масштабному впровадженню екологічно чистих технологій із нульовим рівнем емісії CO₂. Передбачається, що в найближчі 25 років загальний обсяг нових генеруючих потужностей у світі зросте майже на 10 ТВт, при цьому близько 60 % від цієї кількості становитимуть саме об'єкти відновлюваної енергетики. Така стрімка переорієнтація зумовлена як вичерпністю традиційного викопного палива, так і його деструктивним впливом на біосферу, що робить перехід до ВДЕ базовою умовою сталого розвитку глобальної економіки.

Серед різних видів альтернативних рішень сонячна енергія є практично невичерпною та найбільш безпечною з екологічного погляду. Середньорічні показники питомої інсоляції на один квадратний метр земної поверхні коливаються в межах від 1000 до 1350 кВт·год. Це підтверджує колосальні перспективи інтеграції сонячних технологій у різні сфери промисловості та життєдіяльності.

Географічне положення України створює сприятливі передумови для успішної реалізації проєктів у сфері сонячної енергетики. Кліматичні особливості більшості регіонів характеризуються значною кількістю сонячних днів протягом року.

Рівень інсоляції – тобто обсяг надходження сонячної радіації на одиницю площі горизонтальної поверхні за одиницю часу – в Україні є значно вищим, ніж у

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Німеччині, яка наразі визнана лідером європейського простору за обсягами фотоелектричної генерації. Наведені географічні чинники безпосередньо формують потужний ресурсний потенціал вітчизняного енергетичного сектору, див. рис. 2.1.



Рис. 2.1. Карта загальної сонячної радіації на території України за даними Solargis.info

Додатковим стимулом для інвесторів є задекларована державою всебічна підтримка ініціатив та проєктів у галузі відновлюваної енергетики. На сьогоднішній день у практиці будівництва більшості промислових сонячних електростанцій під час їх експлуатації застосовуються статичні фіксовані системи кріплення. Оптимальний кут нахилу фотоелектричних модулів та їхнє просторове орієнтування за азимутом розраховуються індивідуально для кожної географічної зони. Зазвичай цей кут встановлюється в діапазоні від 30° до 45° .

Продуктивність сонячних електростанцій безпосередньо корелює з якістю оптимізації їхніх вихідних електричних характеристик. Системний аналіз цих аспектів дозволяє максимізувати генерацію активної потужності та стимулює інновації у сфері розробки новітніх напівпровідникових матеріалів для фотоелементів. Крім того, верифіковані масиви даних роблять можливим високоточне прогнозування добового та сезонного виробітку, що є базовою вимогою для безаварійної інтеграції об'єктів розподіленої генерації в об'єднану енергосистему.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Окремим науково-практичним завданням є забезпечення динамічної стійкості та надійності магістральних і локальних електричних мереж в умовах стрімкого збільшення частки нестабільної генерації на основі ВДЕ. Деталізація внутрішніх електричних процесів у сонячних системах закладає теоретичний фундамент для створення автоматизованих та інтелектуальних систем керування Smart Grid, які забезпечують нормативну якість електричної енергії та балансування потужності.

Варто зважити, що попри значні технологічні досягнення у фотоелектричній індустрії, коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення світлової енергії в електричну все ще залишається обмеженим. На сьогодні промислові зразки здатні перетворювати у корисну потужність у середньому лише близько 23% сумарного сонячного випромінювання, тоді як решта 77% втрачається через теплове розсіювання або недостатнє поглинання світла напівпровідниковою структурою.

2.2. Територія для встановлення наземної мережевої сонячної електростанції

Наземну мережеву сонячну електростанцію планується встановити на території будівлі складського призначення у селі Шпитьки, що розташована у Київській області, див. рис. 2.2.

Мережева сонячна електростанція призначена для часткового забезпечення електропостачання струмоприймачів споживача, без передавання електроенергії в загальну електромережу.

В якості головного елементу станції використовуються монокрісталічні панелі, потужністю 545 Вт, кожна. Для підключення станції до електричної мережі будівлі використовуються існуючі інвертори на 10 МРРТ трекерів, з інтегрованим блоком моніторингу залишкового струму, розрахункової потужності, класом захисту IP65 та обмежувачами перенапруги типу II для DC и AC. Підключення панелей до інверторів виконується проводами марки H1Z2Z2-K з мідними жилами у подвійній ізоляції з зшитого поліетилену, стійкої до зовнішніх умов використання.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середньорічна температура повітря коливається від 6,8 °С в північній і центральній частинах області до 7,3 °С – в південній. Влітку найвищі середні температури повітря спостерігаються в південній частині області 18,8 °С – 19,3 °С, а найнижчі – в північній 18,5 °С і західній 18,3 °С. Середні січні температури повітря найнижчі в центральній частині області -5,4 °С. Влітку повітря може прогрітись до +39 °С абсолютний максимум, а взимку охолоджуватись до -34 °С абсолютний мінімум. Сніговий покрив утворюється в другій половині грудня і тримається, переважно, до першої декади березня. Товщина його незначна 10 – 15 см. Влітку переважають північно-західні і західні вітри, а взимку – північно-західні і південно-східні.



Рис. 2.2. Ситуаційний план території із будівлею складу та існуючої КТП 10/0,4 кВ

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальна глибина сезонного промерзання ґрунтів складає 1,0 м. Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями – II (середня). Згідно геологічних вишукувань в межах ділянки досліджень було виділено 6 інженерно – геологічних елементів (ІГЕ).

ІГЕ 1. Ґрунтово – рослинний шар, запісочений.

ІГЕ 2. Пісок мілкий, сірий, жовтий, сухий, пухкий.

ІГЕ 3. Глина коричнева-бура, жовта, тугопластична, запісочена.

ІГЕ 4. Пісок жовтий, коричневий, мілкий, з прошарками пилюватого, середньої щільності, нижче рівня ґрунтовних вод – водонасичений.

ІГЕ 5. Глина коричнева-бура, блакитно-сіра, тугопластична, з лінзами супіску та піску водонасиченого.

За значенням вітрового тиску майданчик відноситься до 3-го району і становить 500 Па, за значенням ваги снігового покриву – до 4-го району і становить 1400 Па.

У процесі будівельно-монтажних робіт службою технагляду проводиться проміжне приймання та огляд прихованих робіт, а також робіт від якості виконання яких залежить технічний стан будівлі.

2.3. Улаштування опорної наземної конструкції під сонячні фотомодулі

Конструкція під сонячні фотомодулі (див. рис. 2.3) стаціонарною наземною і призначена для кріплення сонячних панелей під фіксованим кутом до горизонту. Вона складається з похилої рами для модулів, системи підкосів, центральної вертикальної стійки та фундаментного вузла. Значна частина розмірів на кресленні позначена зірочкою *, що вказує на їхню варіативність залежно від конкретних умов, а саме кута нахилу, типу ґрунту тощо.

Загальна довжина похилої напрямної становить 4051 мм. Кріпильні профілі розташовані з кроком 1350 мм, на кресленні зображено три такі прольоти. Висота від рівня землі до найвищої точки панелей є змінною і становить 1990 – 2190 мм.

Похила рама утримується в заданому положенні завдяки центральній вертикальній опорі та двом діагональним підкосам: передній підкіс з нижнього краю панелей має довжину 1120 мм; задній підкіс з верхнього краю має довжину 1700 мм.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

Центральна стійка проходить крізь фундаментний блок і забивається або монтується в ґрунт нижче нього на глибину 1500 – 1700 мм.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На розрізі А-А зображено, що центральна несуча стійка має відкритий С-подібний переріз швелер або гнутий профіль. Вона встановлена по центру фундаментної осі, відступи від країв становлять 225 – 275 мм, що є рівно половиною ширини фундаменту.

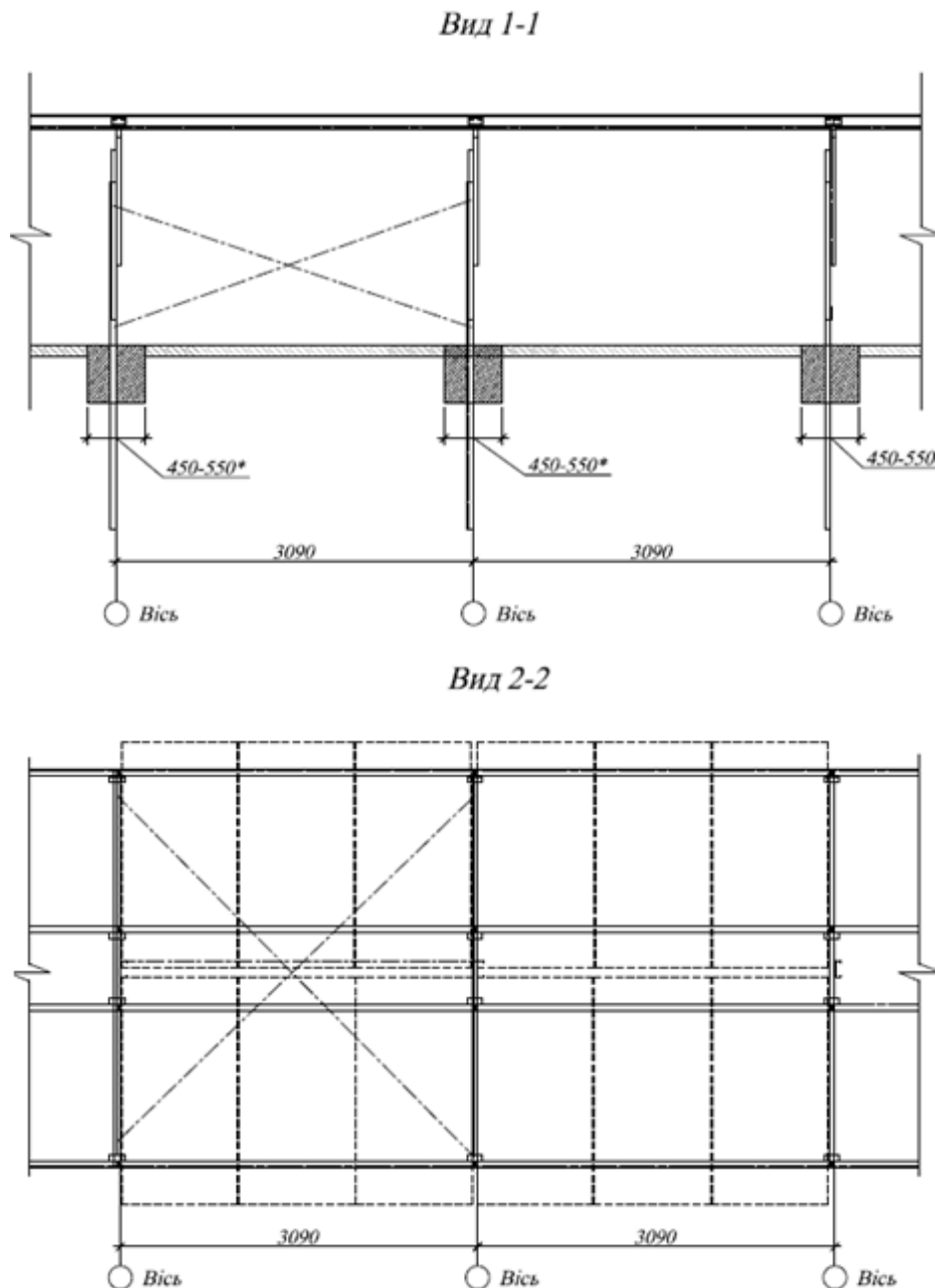


Рис. 2.4. Розрізи опорної наземної конструкції під сонячні фотомодулі
з розрізами фундаменту 1-1 і 2-2

На рис. 2.4 зображені два види опорної металоконструкції для монтажу сонячних фотомодулів, які деталізують її поздовжнє компонування та систему просторової жорсткості. Вид 1-1 має фронтальну проєкцію і демонструє розташування

вертикальних опорних стійок конструкції вздовж ряду. Вид 2-2 у площині панелей показує конструкцію зверху, перпендикулярно до площини встановлення модулів.

Загалом креслення ілюструють модульний принцип побудови наземної СЕС, причому секції довжиною 3090 мм можуть нарощуватися вздовж єдиної лінії до потрібної довжини стрінга.

Сучасні сонячні електростанції є складними інженерно-технічними комплексами, функціональне призначення яких полягає в перетворенні енергії сонячного випромінювання в електричну. Специфіка їхнього конструктивного виконання та підсумкова ефективність генерації безпосередньо визначаються обраним технологічним рішенням.

Наземні сонячні електростанції – це установки, які перетворюють сонячне випромінювання на електроенергію, розташовуючи сонячні панелі на відкритих земельних ділянках. Вони можуть бути як великої, так і меншої потужності, від комерційних до приватних, і дозволяють досягати значних обсягів генерації, а також можуть допомагати заощаджувати на рахунках за електроенергію та зменшувати викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Даний спосіб розміщення комерційних сонячних електростанцій на земельних ділянках є найбільш вигідним і поширеним для забезпечення ефективного будівництва фотогальванічних систем і для максимізації доходу від продажу виробленої сонячною електростанцією електроенергії. У такому розташуванні передбачено встановлення усіх важливих елементів сонячної станції, включаючи сонячні панелі, системи кріплення, інвертори, трансформатори та інше відповідне обладнання, безпосередньо на земельній ділянці.

Ключовою перевагою наземного встановлення фотоелектричних станцій (див. рис. 2.5) є відсутність просторових обмежень, що дозволяє проектувати об'єкти з будь-якою заданою номінальною потужністю. Такий чинник є критично важливим при створенні резервних систем енергоживлення, функціональне призначення яких полягає в повній компенсації дефіциту потужності або аварійного припинення електропостачання з централізованої промислової електромережі.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попри те, що процедура виділення та юридичного оформлення земельних ділянок може дещо подовжити тривалість доінвестиційної фази і загальні терміни реалізації проєкту, такий підхід забезпечує можливість розгортання масштабних масивів фотоелектричних панелей для досягнення максимальних показників генерації.

Період повернення інвестицій у будівництво наземних СЕС середньої потужності в середньому становить 3,5 – 4 роки.



Рис. 2.5. Зображення наземної сонячної електростанції

На відміну від дахових інсталяцій, наземне розташування надає максимальну свободу для оптимізації орієнтації фотомодулів відносно сторін світу та точного розрахунку кута нахилу. Експлуатація таких систем суттєво знижує фінансові витрати споживачів на оплату традиційної електроенергії, а саме використання геліоенергетики повністю виключає викиди парникових газів чи токсичних сполук в атмосферу під час роботи.

У стаціонарних комплексах фотоелектричні модулі фіксуються на нерухомих металевих рамах під заздалегідь розрахованим оптимальним кутом. Натомість динамічні системи, або треки, оснащуються електромеханічними приводами для автоматичного стеження за сонцем. Вони можуть бути одноосьовими, що

забезпечують обертання масиву переважно за вектором «схід-захід», або двовісними, які здійснюють точне двокоординатне позиціонування за азимутом і зенітним кутом, максимізуючи добовий виробіток.

Етап проектування наземних геліосистем вимагає ретельного інженерного аналізу та врахування чинних містобудівних і санітарних обмежень. Особлива увага приділяється вибору географічного майданчика, де необхідно повністю виключити ризики рельєфного чи природного затінення, а також оцінити загрози підтоплення території. Правове регулювання цього сектору в Україні чітко регламентує порядок будівництва та приєднання фотоелектричних комплексів до об'єднаної енергосистеми. Законодавством передбачено окремі спрощені процедури для об'єктів мікрогенерації приватних домогосподарств потужністю до 30 кВт, що суттєво полегшує процеси їхнього монтажу на земельних ділянках та інтеграції в мережу.

Попри високу технологічність, функціонуванню наземних СЕС притаманний ряд експлуатаційних викликів та природних обмежень. Головним чинником залишається висока метеозалежність, оскільки інтенсивність генерації напряму корелює з рівнем інсоляції, зумовлюючи падіння потужності в похмурі дні та зимовий період. Додатково на продуктивність впливає фактор сойлінгу – осадження пилу, бруду та органічних решток на скляній поверхні модулів, що потребує регулярного очищення. Також критичне значення має локальне затінення навіть незначної частини масиву, оскільки воно не лише знижує загальну ефективність послідовного ланцюга, а й може спровокувати виникнення небезпечного ефекту «гарячих точок».

Життєвий цикл сонячних станцій пов'язаний із нерівномірним зносом їхніх компонентів та певним екологічним впливом. Розрахунковий ресурс самих фотомодулів становить понад чверть століття, тоді як силова електроніка, зокрема інвертори, через високі комутаційні навантаження потребують заміни кожні 5–15 років. Розгортання великих за площею об'єктів вимагає значного стартового капіталу та відчуження земельних ресурсів, що іноді створює конкуренцію з аграрним сектором чи змінює мікроклімат підпанельного простору. Крім того, тривалий екологічний розвиток галузі залежить від становлення інфраструктури рециклінгу напівпровідникових відходів після виведення станцій з експлуатації, оскільки сам

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процес виробництва панелей є енергоємним та пов'язаним із використанням хімічних реагентів.

Базова інженерна архітектура наземної СЕС базується на взаємодії кількох ключових вузлів, де первинною ланкою є фотоелектричні модулі, що перетворюють сонячну радіацію в постійний струм. Керування цими процесами та захист системи від зворотних струмів у темну пору доби здійснюють інтелектуальні контролери керування. Для акумулювання виробленої потужності та її згладжування під час пікових навантажень застосовуються промислові системи накопичення енергії на основі акумуляторних батарей. Статичні інвертори трансформують постійний струм у змінний стандартної частоти для видачі в мережу, обсяги якої фіксуються двонаправленими вузлами комерційного обліку. Надійна комутація всіх елементів забезпечується спеціалізованою кабельно-провідниковою продукцією, стійкою до жорстких атмосферних чинників та ультрафіолетового випромінювання.

Висновки до розділу 2

На основі аналізу сонячного потенціалу Київської області обґрунтовано ефективність будівництва наземної СЕС для складського комплексу у с. Шпитьки. Модель роботи станції виключно для забезпечення власних потреб дозволить суттєво знизити операційні витрати підприємства на електроенергію з прогнозованим терміном окупності інвестицій у 3,5 – 4 роки.

Для забезпечення максимальної генерації планується використати при проектуванні монокристалічні панелі потужністю 545 Вт та високозахищені стрінгові інвертори з 10 МРРТ-трекерами. Враховуючи специфіку 6 інженерно-геологічних шарів ґрунту, розроблено надійну наземну металоконструкцію з кроком стійок 3090 мм та комбінованим фундаментом, бетонний блок на 350 – 550 мм із подальшим заглибленням стійки в ґрунт на 1500 – 1700 мм.

Конструктивні параметри СЕС повністю адаптовані до кліматичних умов регіону, а саме нормативної глибини промерзання 1,0 м, навантажень 3-го вітрового 500 Па та 4-го снігового 1400 Па районів.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1. Розрахунок основних параметрів сонячної електростанції

На території будівелі складу доступна площа для встановлення масиву фотоелектричних модулів складає 645 м².

Використаємо рівняння для розрахунку кількості панелей та встановленої потужності:

$$n = \frac{S_z}{S_p} \quad (3.1)$$

де S_z – задана загальна площа масиву 645 м²; S_p – фізична площа однієї сонячної панелі потужністю 545 Вт, $S_p = 2,58$ м².

$$n = \frac{S_z}{S_p} = \frac{645}{2,58} = 250 \text{ шт}$$

З урахуванням технологічних зазорів між модулями на металоконструкції для компенсації температурного розширення металу, приймаємо 248 шт панелей.

Розрахуємо загальну потужність сонячного масиву постійного струму:

$$P_{DC} = \frac{n \cdot P_m}{1000} \quad (3.2)$$

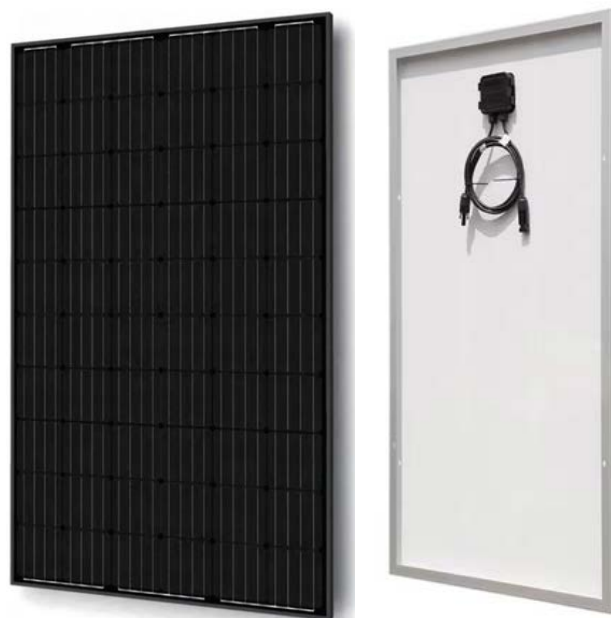
де P_{DC} – загальна пікова потужність масиву фотоелектричних модулів по стороні постійного струму, кВт; n – загальна кількість сонячних панелей, шт.; P_m – номінальна потужність однієї сонячної панелі, Вт; 1000 – коефіцієнт для переведення ват Вт у кіловати кВт.

Виконаємо розрахунок для фотоелектричних модулів марки SPR-P6-545-COM-M-BF, згідно (3.2).

$$P_{DC} = \frac{n \cdot P_m}{1000} = \frac{248 \cdot 545}{1000} = 135,16 \text{ кВт}$$

Зовнішній вигляд фотоелектричних модулів марки SPR-P6-545-COM-M-BF зображено на рис. 3.1.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



А

Б

Рис. 3.1. Зовнішній вигляд фотоелектричних модулів марки SPR-P6-545-COM-M-BF: А – вид спереду, Б – вид ззаду

Виконаємо розрахунок максимальної кількості панелей у стрінгу. Врахуємо, щоб інвертор не вийшов з ладу в найхолодніший зимовий день, коли напруга на панелях зростає до максимуму, розраховуємо максимальну напругу холостого ходу одного модуля при $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Формула для напруги холостого ходу при мінімальній температурі:

$$U_{oc.max} = U_{oc} \cdot (1 + \beta \cdot (T_{min} - T_{STC})) \quad (3.3)$$

де $U_{oc.max}$ – напруга холостого ходу панелі при мінімальній температурі, В; U_{oc} – номінальна напруга холостого ходу, при стандартних умовах STC $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, В; β – температурний коефіцієнт напруги, $1/^{\circ}\text{C}$; T_{min} – абсолютна мінімальна температура в регіоні, згідно з даними: $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$; T_{STC} – стандартна температура тестування 25°C .

$$U_{oc.max} = 49,5 \cdot (1 + (-0,0027) \cdot (-34 - 25)) = 57,39\text{ В}$$

Розрахуємо максимальну довжину стрінгу:

$$N_{max} = \frac{U_{max.in}}{U_{oc.max}} \quad (3.4)$$

де N_{max} – максимальна кількість панелей у стрінгу, шт; $U_{max.in}$ – максимальна допустима вхідна напруга інвертора, $U_{max.in} = 1100\text{ В}$.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

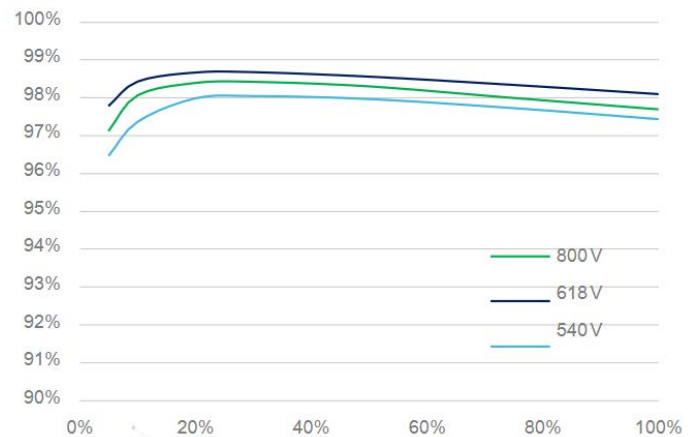
$$N_{max} = \frac{U_{max.in}}{U_{oc.max}} = \frac{1100}{57,39} = 19 \text{ шт}$$

Отже, в один послідовний стрінг можна підключити не більше 19 панелей.

Виконаємо розподіл панелей по стрінгах та інверторах. Врахуємо, що загальна кількість панелей становить 248 шт., які необхідно рівномірно розподілити на 1 інвертор потужністю 100 кВт. Використаємо інвертор марки SUN2000-100KTL-M1, зовнішній вид якого зображено на рис. 3.2.



А



Б

Рис. 3.2. Зовнішній вид мережевого інвертора марки SUN2000-100KTL-M1:

А – зовнішній вид; Б – залежність ККД від навантаження.

Виконаємо розрахунок коефіцієнта перевантаження інвертора. Коли загальна потужність панелей постійного струму (DC) перевищує номінальну потужність інвертора змінного струму (AC), це називається перевантаженням. Для одного інвертора на 100 кВт цей показник буде наступним:

$$K = \frac{P_{DC}}{P_{inv}} \quad (3.5)$$

Отже,

$$K = \frac{P_{DC}}{P_{inv}} = \frac{135,16}{100} = 1,35$$

Коефіцієнт 135 % є економічно обґрунтованим та ефективним показником для сучасних промислових СЕС. Інвертор працюватиме на свою повну потужність 100 кВт значно більше годин на день, особливо у хмарну погоду, вранці та ввечері. У

пікові літні години буде спостерігатися незначне зрізання піків генерації, але загальний річний виробіток енергії буде максимальним.

Інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M1 має 10 незалежних MPPT-трекерів, і до кожного трекера можна підключити по 2 стрінги, всього 20 DC-входів. Рівномірно розподілимо 248 панелей на стрінги довжиною не більше 19 панелей, що розраховано раніше через зимову температуру.

Згідно формули для розподілу 248 панелей на 16 стрінгів, отримаємо:

$$248 = (8 \cdot 16) + (8 \cdot 15)$$

звідси 8 стрінгів по 16 панелей (разом 128 панелей); 8 стрінгів по 15 панелей (разом 120 панелей).

Щоб уникнути появи втрат через неузгодженість, на один і той самий MPPT-трекер можна паралельно підключати лише стрінги однакової довжини. Розподіл виглядає так:

MPPT №1, №2, №3, №4: на кожен трекер підключається по 2 стрінги по 16 панелей. Разом: 4 трекери $\times$ 2 стрінги $\times$ 16 панелей = 128 панелей.

MPPT №5, №6: на кожен трекер підключається по 2 стрінги по 15 панелей. Разом: 2 трекери $\times$ 2 стрінги $\times$ 15 панелей = 60 панелей.

MPPT №7, №8, №9, №10: на кожен трекер підключається по 1 стрінгу по 15 панелей (другий вхід трекера залишається вільним). Разом: 4 трекери $\times$ 1 стрінг $\times$ 15 панелей = 60 панелей.

Струм масиву сонячних панелей DC розраховується як сума струмів усіх паралельних стрінгів. Для розрахунків кабелю та захисту враховуємо струм короткого замикання (I_{sc}) панелі при стандартних умовах тестування (STC). Для типової панелі 545 Вт струм короткого замикання $I_{sc} \approx 13,92$ А.

У попередньому розрахунку ми визначили, що масив з 248 панелей оптимально розбивається на 16 стрінгів.

Отже, визначимо максимальне значення постійного струму

$$I_{DC.max} = N_{str} \cdot I_{sc} \quad (3.6)$$

де $I_{DC.max}$ — максимальний загальний струм короткого замикання всього сонячного масиву, А; N_{str} — загальна кількість паралельних стрінгів, підключених до інвертора,

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N_{str} = 16$ шт.; I_{sc} – паспортний струм короткого замикання одного фотоелектричного модуля, $I_{sc} = 13,92$ А.

$$I_{DC.max} = N_{str} \cdot I_{sc} = 16 \cdot 13,92 = 222,72 \text{ А}$$

Врахуємо, номінальний робочий струм масиву в точці максимальної потужності I_{mp} буде меншим: $16 \cdot 13,04 = 208,6$ А.

Максимальний сумарний струм, який генеруватиме масив по стороні постійного струму, становить 222,72 А. Однак, оскільки інвертор Huawei має 10 окремих MPPT-трекерів, кожен з обмеженням вхідного струму 26 А, загальний струм фізично розділений на індивідуальні стрінгові кабелі перерізом 4–6 мм², по яких протікатиме струм лише одного стрінга, до 14 А або двох об'єднаних, до 28 А, що інвертор успішно обмежує електронікою. Сумарно масив здатен видати 222 А, що повністю відповідає потужності 135,16 кВт.

Виконаємо перевірку згідно рівняння: $128 + 60 + 60 = 248$ панелей. Для інвертора обмеження трекерів по струму у 26 А не перевищені.

Для мережевих інверторів максимальний вихідний змінний струм АС розраховується не від номінальної активної потужності 100 кВт, а від максимальної повної потужності кВА, яку здатен видати інвертор. Згідно з паспортом Huawei SUN2000-100KTL-M1, його максимальна повна потужність становить 110 кВА.

Отже, максимальний вихідний змінний струм АС:

$$I_{AC.max} = \frac{S_{max} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L} \quad (3.7)$$

де $I_{AC.max}$ – максимально можливий лінійний струм на виході інвертора, А; S_{max} – максимальна повна вихідна потужність інвертора; 1000 - коефіцієнт переведення кіловольт-ампер кВА у вольт-ампери ВА; U_L – номінальна лінійна напруга мережі $U_L = 400$ В.

$$I_{AC.max} = \frac{S_{max} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{110 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 158,77 \text{ А}$$

Максимальний струм, який інвертор фізично може видати в загальну мережу, становить 158,8 А. Отже, захисний автоматичний вимикач по стороні АС має бути розрахований на номінал у межах від 160 до 200 А.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З'єднання між панелями виконується штатними конекторами MC-4. Для приєднання стрінга до інвертора використовується провід H1Z2Z2-K 1×6 мм² з оснащеними комплектними конекторами MC-4 positive (+) та negative (-).

3.2. Розташування та схема захисту інвертора напруги

Зображення однолінійної електричної схеми захисту фотомодулів по постійному струму DC показано на рис. 3.3. У верхній частині схеми зображено 16 ліній, які відповідають індивідуальним послідовним стрінгам сонячних фотомодулів. Кількість ліній 16 шт. згідно попередніх розрахунків потрібні для створення оптимальної конфігурації для 248 панелей.



Рис. 3.3. Однолінійна електрична схема захисту фотомодулів по DC.

Чорний та червоний кольори ліній традиційно позначають негативну (-) та позитивну (+) полярність. Кожен із 16 стрінгів проходить через індивідуальний захисний апарат, позначений аббревіатурою FU плавкої вставки запобіжника. Захист розділено на дві групи номіналів. FU 25/16 (16 штук), що означає використання корпусу (тримача) запобіжника на 25 А із встановленою плавкою вставкою

номіналом 16 А. Такий номінал є абсолютно правильним для панелей потужністю 545 Вт, де струм короткого замикання становить близько 13,9 А.

Після проходження апаратів захисту всі лінії сходяться до головного вузла Інвертор SUN2000-100KTL-M1. Варто зазначити, що інвертори цієї серії мають вбудовані електронні модулі захисту кожного стрінга (без запобіжників, які перегорають) і прямі конектори MC4. Часто зовнішні щити постійного струму DC-box із запобіжниками для таких інверторів не монтують фізично, щоб уникнути зайвих контактних з'єднань, покладаючись на внутрішній захист інвертора.

Знизу від інвертора відходить одна лінія РУ-0,4 кВ, що відповідає за перетворення електроенергії у вигляді трифазного змінного струму напругою 400 В і направлення до головного розподільного пристрою підприємства для подальшого споживання.

Місце розташування запроектованого розподільного щита та інвертора у КТП-10/0,4 кВ зображено на рис. 3.4.

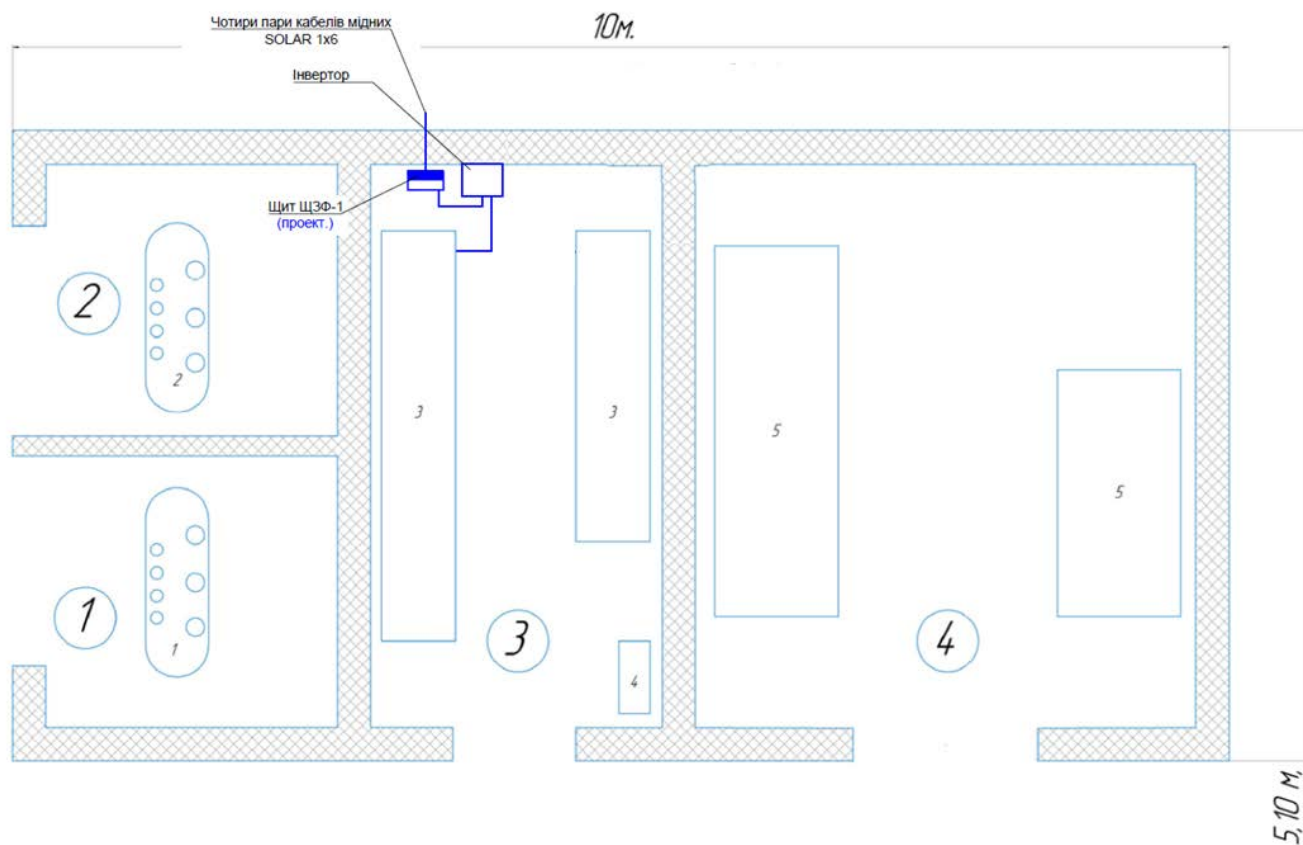


Рис. 3.4. План розташування запроектованого розподільного щита та інвертора у КТП-10/0,4 кВ

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3.3. Моделювання прогнозованого рівня річного генерування

Виконаємо моделювання прогнозованого рівня річного генерування сонячною електростанцією. Для цього створимо проєкт та визначимо локацію встановлення СЕС.

На першому етапі задаємо місцезнаходження СЕС у населеному пункті с. Шпитьки, Київської області з координатами 50.426° пн. ш., 30.119° сх. д., див. рис. 3.5. Згідно заданих координат імпортуємо кліматичну базу даних із Meteonorm, яка містить інформацію про інсоляцію, температуру та інші погодні умови для локації. Зазначимо температурні мінімуми до -34°C та максимуми $+39^{\circ}\text{C}$, що критично важливо для перевірки напруги холостого ходу стрінгів.

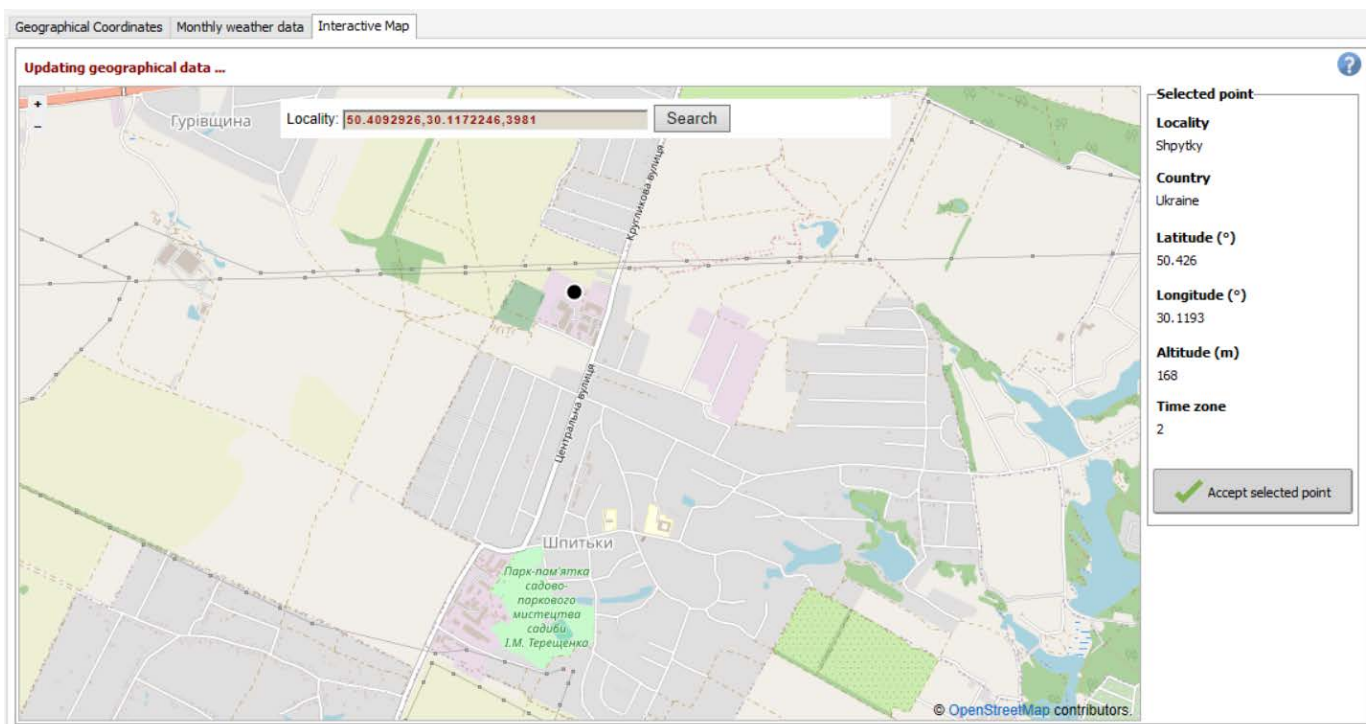


Рис. 3.5. Визначення місця встановлення СЕС у програмному середовищі PVsyst

Згідно виконаного моделювання отримали графік у вигляді гістограми (див. рис. 3.6), що показує розподіл ефективної потужності сонячного масиву протягом року з 1 січня по 31 грудня. Важливо розуміти, що це не графік генерування в часі, як

по годинах чи місяцях, а демонстрація того, на яких саме рівнях потужності станція виробить найбільше сумарної енергії.

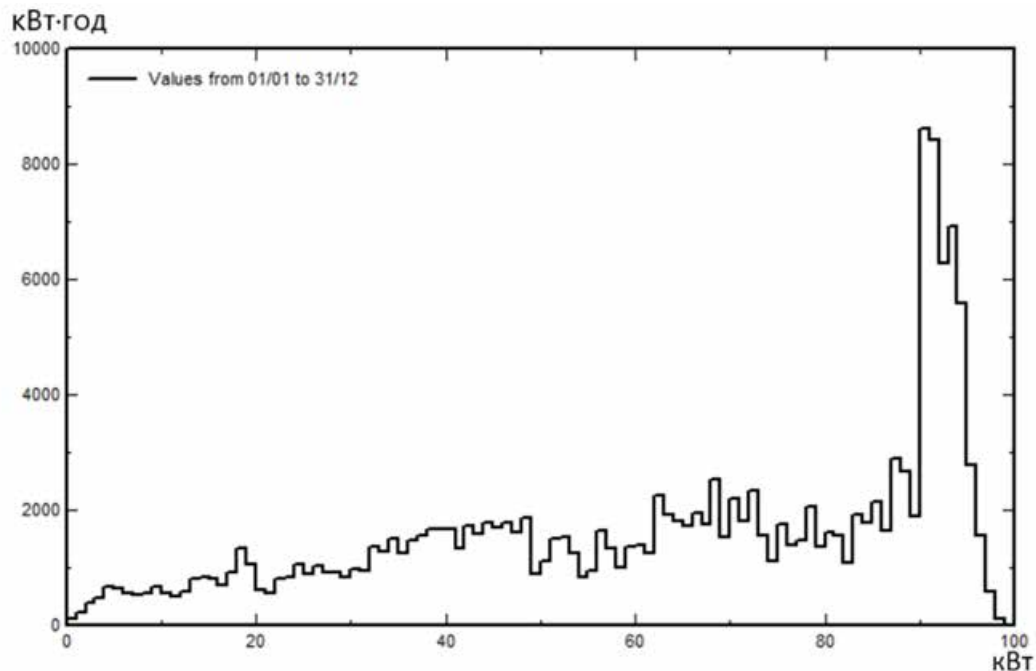


Рис. 3.6. Розподіл ефективної потужності сонячного масиву

Найбільшу частку своєї річної електроенергії станція виробить, працюючи на високій потужності - у вузькому діапазоні від 85 до 98 кВт. Найвищий стовпчик понад 8000 кВт·год сумарного виробітку припадає на роботу станції при потужності близько 90-92 кВт.

Широке, але відносно низьке генерування у діапазоні від 0 до 80 кВт відображає роботу масиву вранці, ввечері та в похмурі дні. Хоча станція проводить багато часу в цих режимах, їхній сумарний внесок у річне вироблення є поступовим і не таким концентрованим, як під час прямого яскравого сонця.

Графік різко обривається і падає до нуля безпосередньо перед відміткою 100 кВт. Що означає, хоча сумарна номінальна потужність фотопанелей становить 135 кВт, у реальних умовах експлуатації, через температурне нагрівання модулів влітку та системні втрати, ефективна потужність масиву майже ніколи не перевищує бар'єр у 100 кВт. Це ідеально узгоджується з вибором інвертора на 100 кВт, оскільки втрати від зрізання піків будуть мінімальними.

Діаграма втрат енергії є одним із найважливіших результатів симуляції у PVsyst, оскільки вона наочно та послідовно розкриває фізику процесів, які відбуваються на СЕС протягом року, див. рис. 3.7. Трансформація енергії побудована за принципом «від більшого до меншого» починаючи з первинного сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню і закінчуючи корисним змінним струмом, який інвертор віддає безпосередньо в мережу підприємства. Кожен етап на діаграмі супроводжується специфічними оптичними, термічними та електричними втратами, які виражаються у відсотках від поточного рівня енергії.

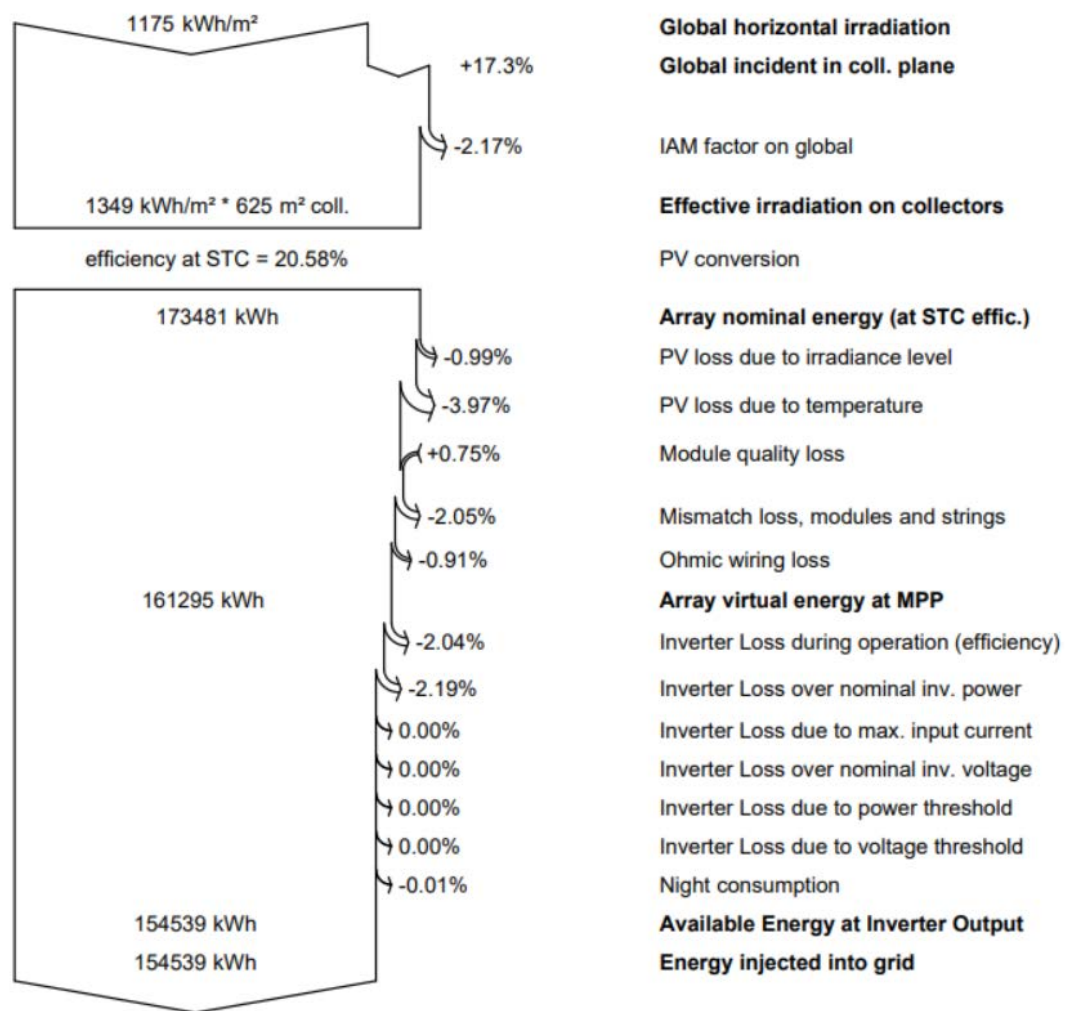


Рис. 3.7. Діаграма втрат енергії у мережевій сонячній електростанції

Розрахунок починається з показника глобального горизонтального випромінювання для локації с. Шпитьки, який становить 1175 кВт·год/м². За рахунок нахилу фотомодулів отримання сонячної енергії на площину модулів суттєво зростає

– на 17,3%, досягаючи значення 1349 кВт·год/м². Проте виникають оптичні втрати, пов'язані з так званим коефіцієнтом IAM = 2,17 %. Ефект виникає через те, що вранці, ввечері або взимку сонячні промені падають на захисне скло панелей під прямим кутом, і частина світла просто відбивається від поверхні, так і не потрапивши на кремнієвий кристал.

Після врахування чистої площі масиву 625 м² та базового коефіцієнта корисної дії фотомодулів у стандартних тестових умовах STC = 20,58 %, визначаємо номінальну теоретичну енергію масиву на рівні 173 481 кВт·год. Проте реальні умови експлуатації далекі від лабораторних, тому на DC-стороні постійного струму вмикається ціла низка факторів зменшення потужності. По-перше, близько 0,99 % енергії втрачається через низький рівень інсоляції в похмурі дні, коли ефективність кремнію природно падає. По-друге, фіксуються значні температурні втрати 3,97 %, оскільки влітку сонячні осередки нагріваються значно вище номінальних 25 °С, що призводить до просідання робочої напруги модулів.

Показник якості модулів +0,75%, який відображає позитивний технологічний толеранс панелей SunPower – виробник гарантує, що реальна потужність куплених модулів буде трохи вищою за номінальні 545 Вт. Проте цей невеликий плюс нівелюється втратами від невідповідності параметрів 2,05 %. Вони виникають через те, що в одному стрінгу всі панелі працюють за характеристиками найслабшого модуля, на який, наприклад, міг з'явитися локальний бруд. Останнім бар'єром на шляху постійного струму є омичний опір сонячних кабелів, який забирає ще 0,91 % енергії у вигляді тепла, залишаючи для інвертора 161 295 кВт·год енергії в точці максимальної потужності.

Проаналізуємо процес інвертування енергії в змінний струм АС. Перші втрати пов'язані безпосередньо з ККД силової електроніки інвертора Huawei, яка витрачає 2,04 % енергії на власну роботу та перетворення струму. Потім втрати від перевищення номінальної потужності інвертора 2,19 %. Оскільки СЕС навмисно перевантажили інвертор по DC-стороні, встановили 135 кВт панелей на інвертор потужністю 100 кВт, у найтепліші та найсонячніші весняні дні масив генеруватиме більше, ніж інвертор фізично може крізь себе пропустити. Електроніка Huawei в такі

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моменти штучно зрізає ці піки, що сумарно за рік забирає трохи більше двох відсотків енергії, але дозволяє станції працювати значно ефективніше вранці, ввечері та взимку.

Враховуючи нічне споживання інвертора на роботу плат моніторингу близько 0,01 %, корисна енергія, що виходить з інвертора та повністю експортується в локальну мережу об'єкта, становить 154 539 кВт·год, або 154,5 МВт·год на рік. Результат є чудовим інженерним підтвердженням успішності проєкту.

Початкове розрахункове обґрунтування передбачало планове вгенерування в 130 МВт·год, тоді як точне комп'ютерне моделювання в PVsyst довело, що прогнозоване генерування буде майже на 19 % вищим, повністю виправдовуючи конфігурацію з одним інвертором на 100 кВт.

Гістограма прогнозованого помісячного генерування електроенергії для мережевої сонячної електростанції зображена на рис. 3.8. Потужність СЕС 135 кВт відповідає загальній встановленій потужності фотоелектричного масиву по постійному струму DC.

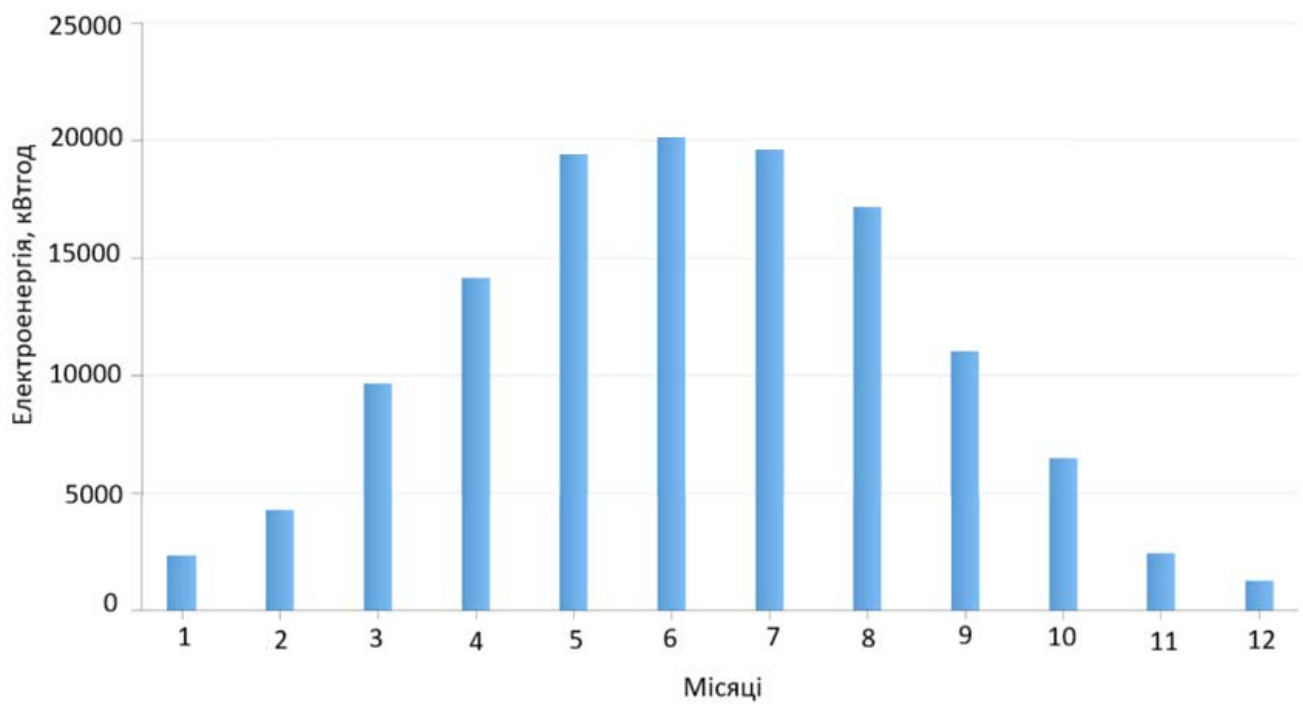


Рис. 3.8. Прогнозоване генерування електроенергії мережевою сонячною станцією 135 кВт

Весняно-літній пік з травня по липень, максимум генерації припадає на червень, де виробіток досягає свого пікового значення – близько 20 000 кВт·год. Травень та липень демонструють майже однакові високі результати у межах 19 000 – 19 500

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кВт·год. Що пов'язано з максимальною тривалістю світлового дня та високим кутом стояння сонця над горизонтом.

Осінньо-зимовий мінімум з листопаду по січень, найнижчі показники генерації зафіксовані в грудні, коли виробіток падає до свого річного мінімуму – орієнтовно 1 200 – 1 500 кВт·год. Січень та листопад також демонструють низькі результати генерування 2 000 – 2 500 кВт·год. Основними причинами є коротка тривалість дня, низький кут нахилу сонця, велика кількість хмарних днів та можлива наявність снігового покриву на панелях.

Отже, можемо підсумувати, що близько 70 – 75 % річної енергії сонячна станція генерує у період з квітня по вересень. Отримана крива є базою для розрахунку техніко-економічних показників, оскільки дозволяє зіставити графік помісячного споживання із реальними можливостями генерації СЕС для мінімізації купівлі енергії з зовнішньої мережі.

Енергетичний баланс генерування СЕС зведений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Енергетичний баланс генерування СЕС

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	25.3	16.80	-3.48	46.0	45.3	5832	5728	0.970
February	40.9	23.50	-2.66	65.4	64.3	8138	7989	0.952
March	87.8	43.59	2.50	120.5	118.2	14137	13874	0.897
April	127.2	60.61	10.05	149.1	145.8	16902	16559	0.865
May	168.1	79.75	16.22	168.7	164.4	18777	18372	0.848
June	184.3	83.46	19.06	176.3	171.8	19544	19107	0.844
July	181.5	81.48	21.44	178.4	174.0	19653	19208	0.839
August	151.7	78.60	20.57	165.4	161.7	18539	18126	0.853
September	102.9	49.37	14.41	131.6	128.6	14862	14547	0.861
October	60.8	36.08	8.47	88.4	86.8	10503	10298	0.907
November	25.8	14.35	3.45	49.4	48.6	5968	5844	0.922
December	19.2	11.62	-1.04	39.8	39.3	4986	4887	0.956
Year	1175.3	579.22	9.15	1378.9	1349.0	157841	154539	0.873

Підписи до таблиці 3.1.

GlobHor – глобальне горизонтальне сонячне випромінювання;

DiffHor – горизонтальне розсіяне сонячне випромінювання;

T_Amb – температура навколишнього середовища;

EArray – ефективна електроенергія, що генерується на виході масиву фотоелектричних модулів;

E_User – електроенергія, що споживається електричним навантаженням;

E_Solar – електроенергія, що отримується від сонячного випромінювання;

E_Grid – електроенергія, що може передаватися у мережу (за відповідного узгодження із ДТЕК);

EFrGrid – електроенергія, що отримується із мережі для власного споживання, у період коли сонячного випромінювання не достатньо.

Висновки до розділу 3

У даному розділі обґрунтовано структуру та потужність масиву СЕС. З урахуванням доступної корисної площі земельної ділянки складу 645 м² та необхідних технологічних зазорів для термокомпенсації металоконструкцій, визначено кількість фотоелектричних модулів SPR-P6-545-COM-M-BF потужністю 545 Вт – 248 шт. Сумарна встановлена пікова потужність масиву по стороні постійного струму становить 135,16 кВт.

Розрахунок напруги холостого ходу при екстремальному температурному мінімумі для Київської області -34 °С показав, що максимальна довжина одного стрінгу обмежена 19 фотомодулями, тобто напруга не перевищить допустимі інвертором 1100 В. Для ефективного завантаження 10 MPPT-трекерів мережевого інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M1 масив розділено на 16 стрінгів: 8 стрінгів по 16 модулів та 8 стрінгів по 15 модулів.

Підтверджено доцільність перевантаження інвертора напруг. Коефіцієнт перевантаження інвертора становить 135 %, тобто 135,16 кВт по постійному струму проти 100 кВт по змінному струму. Таке рішення обґрунтоване збільшенням генерування у часи низької інсоляції вранці, ввечері, взимку та в хмарну погоду. При цьому річні втрати від обмеження пікової потужності становлять лише 2,19 %.

Спроековано систему захисту та комутації. Максимальний сумарний струм короткого замикання сонячного масиву становить 222,72 А, проте завдяки архітектурі

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інвертора він розділений на окремі входи із стрінговим обмеженням струму, де кожен стрінг захищений запобіжниками з номіналом 16 А. По стороні змінного струму визначено максимальний лінійний вихідний струм на рівні 158,8 А, при повній потужності 110 кВА, що потребує встановлення захисного автомата у підстанції КТП-10/0,4 кВ з номіналом у діапазоні 160 – 200 А.

Імітаційне моделювання у програмному середовищі PVsyst для геолокації у с. Шпильки, дозволило визначити річний обсяг генерування СЕС, що експортується в мережу і становить 154 539 кВт·год.

Виявлено графік сезонності генерування електроенергії для інтеграції в баланс підприємства. Приблизно 70 – 75 % річної енергії виробляється у період з квітня по вересень із піком у червні до 20 000 кВт·год та мінімумом у грудні до 1 500 кВт·год.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Розрахунок капітальних інвестицій

Впровадження мережевої сонячної електростанції встановленою потужністю 135,16 кВт наземного встановлення у с. Шпитьки Київської області має на меті зниження витрат підприємства на оплату активної електроенергії із зовнішньої мережі та підвищення його локальної енергонезалежності.

В умовах нестабільності централізованого електропостачання та постійного зростання тарифів для комерційних споживачів в Україні, інвестиції у власну генерацію за механізмом Net Billing є найбільш раціональним фінансово-інженерним кроком для бізнесу.

Доступна корисна площа земельної ділянки 645 м² використана максимально ефективно. З урахуванням технологічних проходів та температурних зазорів на металоконструкціях, на ділянці розміщено 248 високоефективних фотомодулів марки SPR-P6-545-COM-M-BF номінальною потужністю 545 Вт кожен. Використання панелей із високим коефіцієнтом корисної дії, ККД при STC = 20,58%, дозволило максимізувати питому встановлену потужність сонячного масиву з кожного квадратного метра, що є важливим за обмеженої площі.

Загальна сума капітальних інвестицій у будівництво мережевої сонячної електростанції потужністю 135 кВт визначена як сума прямих та непрямих витрат згідно з формулою:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{обн}} + K_{\text{мат}} + K_{\text{бмр}} + K_{\text{проект}} + K_{\text{неперед}} \quad (4.1)$$

де $K_{\text{обн}}$ – витрати на придбання основного технологічного обладнання (фотомодулі та інвертор);

$K_{\text{мат}}$ – витрати на допоміжні матеріали та конструкції (кріплення, щити, кабелі, заземлення);

$K_{\text{бмр}}$ – витрати на будівельно-монтажні та пусконаладжувальні роботи;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_{\text{проект}}$ – витрати на проектно-вишукувальні роботи та погодження;

$K_{\text{неперед}}$ – непередбачені витрати.

Визначимо вартість кожної групи. В якості основного обладнання прийнято 248 фотомодулів SPR-P6-545-COM-M-BF потужністю 545 Вт та мережевий інвертор Huawei на 100 кВт. Вартість основного обладнання $K_{\text{обн}}$ зведена у таблицю 4.1. Вартість фотомодулів потужністю 545 Вт розрахована пропорційно базовим цінам ринку на рівні 2 940,00 грн за одиницю. Вартість основного обладнання $K_{\text{обн}}$, зведена у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Вартість основного обладнання

№ п/п	Назва	Кількість, шт	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Фотоелектричні модулі SPR-P6-545-COM-M-BF, 545 Вт	248	2 940,00	729 120,00
2	Мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M1	1	258 000,00	258 000,00
Разом $K_{\text{обн}}$				987 120,00

Вартість матеріалів та конструкцій $K_{\text{мат}}$ визначена з врахуванням точної потужності масиву фотомодулів 135,16 кВт та питомої ціни кріплень 3 500 грн/кВт. Вартість матеріалів та конструкцій $K_{\text{мат}}$, зведена у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Вартість матеріалів та конструкцій

№ п/п	Назва	Кількість, шт	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Металоконструкції наземні опорні для фотомодулів	135	3 500,00	473 060,00
2	Електричні щити захисту AC/DC	2	41 500,00	83 000,00
3	Кабельно-провідникова продукція	компл.	228 250,00	228 250,00
Разом $K_{\text{мат}}$				784 310,00

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будівельно-монтажні та пусконаладжувальні роботи $K_{\text{бмр}}$. Вартість комплексу робіт до яких входять земляні роботи, монтаж фотомодулів, електромонтаж, облаштування контуру заземлення, налаштування інвертора та BMS враховується як комплексна послуга і складає $K_{\text{бмр}} = 390\,000,00$ грн.

Проектні роботи $K_{\text{проект}}$ включають геодезію, розробку робочого проекту та погодження і складають $K_{\text{проект}} = 85\,000,00$ грн.

Непередбачені витрати $K_{\text{неперед}}$ закладаються як резерв у розмірі 5% від суми всіх попередніх прямих витрат на покриття курсових різниць, логістики або додаткових робіт і складають

$$K_{\text{неперед}} = 0,05 \cdot (K_{\text{обл}} + K_{\text{мат}} + K_{\text{бмр}} + K_{\text{проект}}) \quad (4.2)$$

$$K_{\text{неперед}} = 0,05 \cdot (987120 + 784310 + 390000 + 85000) = 112\,321,50 \text{ грн}$$

Підставляємо всі розраховані значення у рівняння (4.1):

$$K_{\Sigma} = 2\,246\,430,00 + 112\,321,50 = 2\,358\,751,50 \text{ грн}$$

Отже, загальний обсяг капітальних інвестицій для впровадження наземної мережевої сонячної електростанції потужністю 135 кВт становить 2 358 751,50 грн.

4.2. Розрахунок терміну окупності

Економічна ефективність розраховується на основі заміщення електроенергії з централізованої електромережі для власного споживання підприємства та продажу надлишків генерації.

Для визначення економічної доцільності будівництва наземної мережевої сонячної електростанції виконаємо розрахунок періоду, за який початкові інвестиції повністю повернуться за рахунок чистого прибутку від експлуатації.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запишемо розраховані у попередніх розділах роботи показники та розрахований обсяг капітальних інвестицій.

Капітальні інвестиції, $K_{\Sigma} = 2\,358\,751,50$ грн.

Загальне прогнозоване річне генерування СЕС, $W_{\text{ген}} = 154\,539$ кВт·год/рік.

За умови, що профіль навантаження підприємства дозволяє миттєво споживати 70 % сонячної енергії, а 30 % йде в мережу на експорт:

Пряме використання електроенергії від мережевої СЕС:

$$W_{\text{спож}} = 154\,539 \cdot 0,7 = 108\,177,30 \text{ кВт·год/рік.}$$

Електроенергія, передана в мережу:

$$W_{\text{експ}} = 154\,539 \cdot 0,3 = 46\,361,70 \text{ кВт·год/рік.}$$

Запишемо діючі тарифи для підприємств [8-10].

Тариф закупівлі електроенергії з мережі для підприємств $T_{\text{куп}} - 8,50$ грн/кВт·год.

Тариф продажу надлишків у мережу за механізмом Net Billing $T_{\text{пр}} - 4,00$ грн/кВт·год.

Операційні витрати на обслуговування ОРЕХ - 2% від K_{Σ} на рік.

Виконаємо розрахунок щорічного грошового потоку чистого грошового потоку, тобто різниці між усіма доходами станції та її експлуатаційними витратами за один рік, згідно рівняння:

$$CF = (D_{\text{екон}} + D_{\text{експ}}) - B_{\text{експ}} \quad (4.3)$$

де $D_{\text{екон}}$ - фінансова економія підприємства від заміщення мережевої електроенергії;
 $D_{\text{експ}}$ - дохід від продажу надлишків енергії в мережу; $B_{\text{експ}}$ - операційні експлуатаційні витрати ОРЕХ.

Фінансова економія підприємства від заміщення купованої мережевої енергії:

$$D_{\text{екон}} = W_{\text{спож}} \cdot T_{\text{куп}} \quad (4.4)$$

$$D_{\text{екон}} = 108\,177,30 \cdot 8,50 = 919\,507,05 \text{ грн/рік}$$

Дохід від експорту залишків генерації у загальну мережу:

$$D_{\text{експ}} = W_{\text{експ}} \cdot T_{\text{пр}} \quad (4.5)$$

$$D_{\text{експ}} = 46\,361,70 \cdot 4,00 = 185\,446,80 \text{ грн/рік}$$

Щорічні операційні витрати на сервіс, моніторинг та чистку наземних ФЕМ:

$$B_{\text{експ}} = K_{\Sigma} \cdot 0,02 \quad (4.6)$$

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{\text{експ}} = 2\,358\,751,50 \cdot 0,02 = 47\,175,03 \text{ грн/рік}$$

Отже, підсумковий річний грошовий потік, згідно (4.3):

$$CF = (D_{\text{екон}} + D_{\text{експ}}) - B_{\text{експ}} = (919\,507,05 + 185\,446,80) - 47\,175,03 = 1\,057\,778,82 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо простий термін окупності, що свідчить, за скільки років чистий прибуток перекриє початкові інвестиції, без урахування інфляції та зміни вартості грошей у часі, згідно рівняння:

$$PP = \frac{K_{\Sigma}}{CF} = \frac{2\,358\,751,50}{1\,057\,778,82} = 2,23 \text{ роки} \quad (4.7)$$

Отже, базовий термін окупності наземної мережевої сонячної електростанції складає 2 роки та 2,8 місяці.

Висновки до розділу 4

За результатами техніко-економічного розрахунку проєкт будівництва наземної мережевої сонячної електростанції на базі 248 фотомодулів по 545 Вт сумарною потужністю 135,16 кВт з інвертором 100 кВт є високорентабельним, незважаючи на капітальні витрати до 2,36 млн грн.

За рахунок значного генерування 154,5 МВт·год/рік та заміщення електроенергії від централізованої електромережі для юридичних осіб 8,50 грн/кВт·год, щорічний чистий фінансовий потік підприємства перевищує 1,05 млн грн. Це забезпечує простий термін окупності інвестицій на рівні 2,23 року, тобто 2 роки і 3 місяці.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

5.1. Розрахунок заземлення

Система заземлення наземної мережевої сонячної електростанції є одним із найважливіших елементів забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, захисту дорогого обладнання інверторів, фотомодулів від струмів короткого замикання та атмосферних розрядів блискавки, а також забезпечення стабільної роботи автоматики й систем моніторингу.

Розглянемо вимоги, особливості технології монтажу та розрахунку системи заземлення СЕС потужністю 135 кВт.

В Україні проектування, монтаж та експлуатація заземлювальних пристроїв регламентуються у розділі 1.7 ПУЕ [3] та ПТЕЕС [11].

Для електроустановок напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю, стандартне підключення мережевого інвертора до мережі 0,4 кВ, опір заземлювального пристрою R у будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом [3]. Якщо заземлення суміщається з блискавкозахистом, імпульсний опір має бути не більше 10 Ом. Оскільки контур робиться загальним, орієнтуються на жорсткішу вимогу – до 4 Ом.

Для вертикальних електродів використовується кругла сталь, діаметром не менше 16 мм, або сталевий кутик, товщина полиці якого не менше 4 мм.

Для горизонтальних з'єднувачів застосовують сталь прямокутну з перерізом не менше 100 мм² і товщиною від 4 мм, найчастіше застосовують смугу 40×4 мм.

Усі підземні з'єднання елементів заземлювача повинні виконуватися виключно методом зварювання, довжина зварного шва має дорівнювати подвійній ширині смуги. Болтові з'єднання дозволені лише у місцях підключення до обладнання або у спеціальних ревізійних колодязях над землею.

Основні вимоги у процесі експлуатації згідно [11]. Перевірка та вимірювання опору заземлювального пристрою мають проводитися 1 раз на рік у період

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільшого висихання або промерзання ґрунту, коли опір є максимальним. Огляд видимої частини контуру здійснюється не рідше 1 разу на 6 місяців. Експлуатуюча організація зобов'язана проводити вибіркове розкриття ґрунту для перевірки корозійного стану підземних елементів не рідше 1 разу на 12 років.

Наземні сонячні станції мають специфічні відмінності від дахових чи побутових об'єктів. Фотомодулі розміщуються на довгих металевих столах опорах. Кожен такий стіл є провідником і може акумулювати статичний заряд або отримати потенціал у разі пробоя ізоляції кабелів постійного струму DC. Тому усі металеві столи СЕС мають бути жорстко об'єднані між собою сталевую смугою або мідним дротом у єдину систему зрівнювання потенціалів (ЗСП) та приєднані до загального контуру заземлення.

Заземлення алюмінієвих рам ФЕМ. Самі сонячні панелі мають алюмінієвий каркас. Оскільки алюміній утворює гальванічну пару зі сталлю, що викликає прискорену корозію, для їх кріплення до столів використовують спеціальні притискні кліпси з гострими зубами, які пробивають анодований шар рам, або окремий мідний провідник зі спеціальними біметалевими шайбами.

Геометричні опори наземної СЕС, сталеві палі, які забиваються в землю на глибину 1,5–2,5 м частково виконують роль природного заземлення. Проте у ПУЕ вимагається обов'язкове влаштування штучного контуру заземлення, оскільки взимку верхній шар ґрунту промерзає, і палі втрачають електропровідність.

Влаштування контуру заземлення виконується послідовно за етапами.

Виконуються земляні роботи. Навколо інверторного обладнання або по периметру майданчика викопується траншея завглибшки 0,7 – 0,8 м та завширшки близько 0,5 м. Форма траншеї зазвичай обирається у вигляді замкнутого контуру прямокутник, квадрат або лінії.

Монтаж вертикальних електродів. У дно траншеї забиваються або занурюються вібротолотом вертикальні заземлювачі, сталеві стрижні завдовжки 3 метри. Верхівка стрижня повинна виступати над дном траншеї на 10 – 15 см для зручності зварювання. Відстань між електродами зазвичай дорівнює їхній довжині.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконують об'єднання контуру, див. рис. 5.1. Вертикальні електроди зварюються між собою сталевую смугою 40×4 мм, що прокладається по дну траншеї.

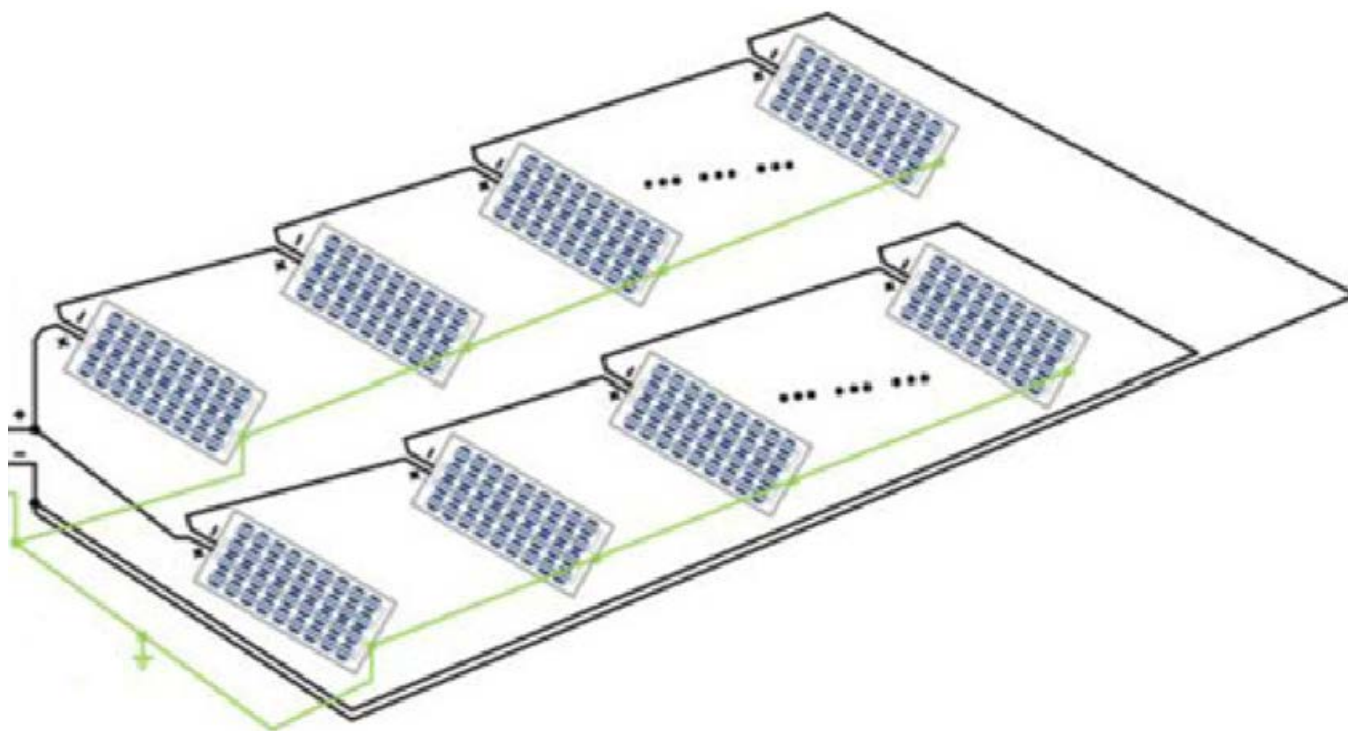


Рис. 5.1. Схема заземлення масиву фотомодулів сонячної станції

Антикорозійна обробка. Зварні шви ретельно очищаються від шлаку та покриваються бітумним лаком або гідроізоляційною мастикою. Причому самі стрижні та смугу фарбувати категорично заборонено, оскільки це ізолює їх від ґрунту.

Виведення провідників. Фізична смуга виводиться із землі на опору до силового щита або корпусу інвертора та приєднується до головної заземлювальної шини за допомогою болтового з'єднання.

Траншея засипається однорідним ґрунтом без будівельного сміття та каміння і ретельно утрамбовується.

Для розрахунку групового заземлювача, що складається з N вертикальних стрижнів, об'єднаних горизонтальною смугою, використаємо метод коефіцієнтів використання.

Визначення розрахункового питомого опору ґрунту. Оскільки вологість ґрунту змінюється протягом року, табличне значення питомого опору коригується коефіцієнтом сезонності:

$$\rho_{\text{розр.в}} = \rho \cdot \varphi_{\text{в}} \quad (5.1)$$

$$\rho_{\text{розр.г}} = \rho \cdot \varphi_{\text{г}} \quad (5.2)$$

де ρ – базовий питомий опір ґрунту, Ом·м;

$\varphi_{\text{в}}, \varphi_{\text{г}}$ – коефіцієнти сезонності для вертикальних та горизонтальних електродів відповідно.

Розрахунок опору одного вертикального заземлювача. Для круглого стрижня, забитого нижче рівня поверхні землі, формула має вигляд:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр.в}}}{2\pi \cdot l} \cdot \left(\ln \left(\frac{2l}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4h+l}{4h-l} \right) \right) \quad (5.3)$$

де l – довжина стрижня, м;

d – діаметр стрижня, м;

h – відстань від поверхні землі до середини стрижня, м ($h = h_0 + l/2$, де h_0 – глибина траншеї).

Визначення сумарного опору групового заземлювача. Електроди під землею екранують один одного, тому їхня ефективність знижується. Що враховують коефіцієнти використання $\eta_{\text{в}}$ та $\eta_{\text{г}}$:

$$R_{\text{Е}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{N \cdot R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{в}} + R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{г}}} \quad (5.4)$$

де N – кількість вертикальних електродів;

$\eta_{\text{в}}, \eta_{\text{г}}$ – коефіцієнти використання вертикальних стрижнів та смуги.

З урахуванням стандартних умов проектування для центральної України:

Ґрунт: суглинок, $\rho = 100$ Ом·м.

Кліматична зона: II, коефіцієнти сезонності $\psi_{\text{в}} = 1,3$; $\psi_{\text{г}} = 1,6$.

Характеристики матеріалів: вертикальні стрижні з круглої сталі діаметром $d = 16$ мм (0,016 м), довжиною $l = 3$ м. Горизонтальна смуга 40×4 мм ($b = 0,04$ м). Глибина траншеї $h_0 = 0,7$ м.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конфігурація контуру: замкнутий контур із $N=12$ вертикальних електродів, відстань між ними $a=3$ м. Загальна довжина смуги $L = N \cdot a = 12 \cdot 3 = 36$ м.

Розрахуємо опори ґрунту:

$$\rho_{\text{розр.в}} = 100 \cdot 1,3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{\text{розр.г}} = 100 \cdot 1,6 = 160 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Розрахуємо опору одного вертикального стрижня:

Глибина до середини стрижня: $h = 0,7 + (3/2) = 2,2$ м.

$$R_B = \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,016} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) \right) = 43,35 \text{ Ом}$$

Розрахунок опору горизонтальної смуги:

$$R_\Gamma = \frac{160}{2 \cdot 3,14 \cdot 36} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 36^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 8,08 \text{ Ом}$$

Розрахунок загального опору групового заземлювача. Для контуру з 12 електродів при відношенні відстані до довжини $a/l = 1$, згідно з довідковими таблицями ПУЕ, коефіцієнти використання становлять: $\eta_B \approx 0,66$; $\eta_\Gamma \approx 0,40$.

Підставляємо всі компоненти у підсумкову формулу:

$$R_E = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{N \cdot R_\Gamma \cdot \eta_B + R_B \cdot \eta_\Gamma} = \frac{43,35 \cdot 8,08}{12 \cdot 8,08 \cdot 0,66 + 43,35 \cdot 0,4} = 4,30 \text{ Ом}$$

Отримане значення 4,30 Ом незначно перевищує норму ПУЕ 4,0 Ом. У реальному проектуванні наземних СЕС, тому врахуємо додатковий позитивний вплив природних заземлювачів, сталевих паль опорних конструкцій сонячних столів.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна площа контакту десятків забитих металевих паль із землею для СЕС потужністю 135 кВт має власний опір розтікання струму близько 8 – 12 Ом. При їх паралельному підключенні до штучного контуру, загальний підсумковий опір системи гарантовано знизиться до показника 2,5 – 3,0 Ом, що повністю задовольняє всі вимоги ПУЕ та ПТЕ і забезпечує надійний захист станції.

Загальна схема заземлення фотомодулів та інвертора напруги зображена на рис. 5.2.

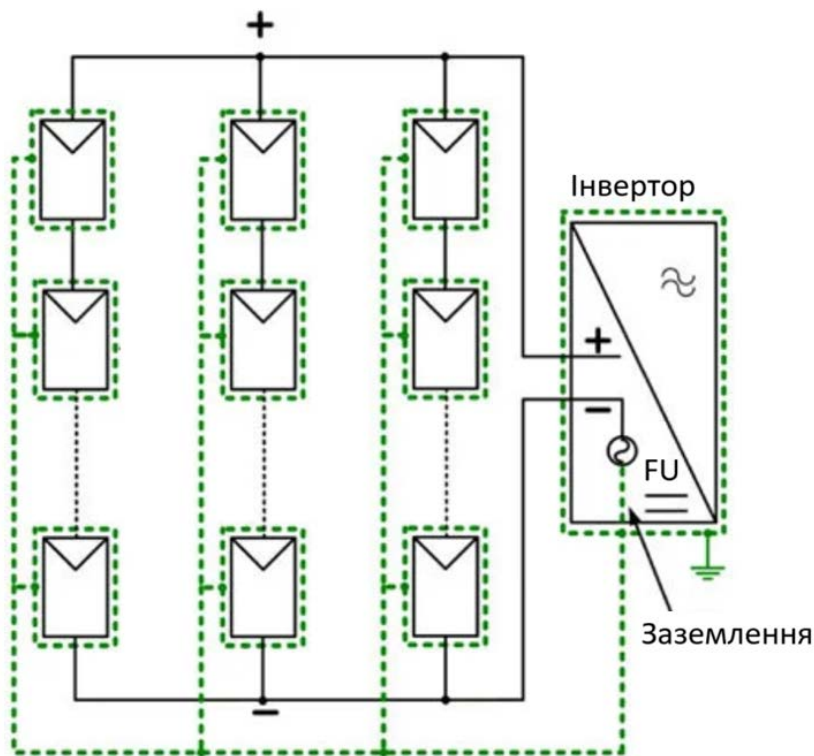


Рис. 5.2. Схема заземлення фотомодулів та інвертора напруги

5.2. Розрахунок блискавкозахисту

Система блискавкозахисту наземної мережевої сонячної електростанції призначена для захисту обладнання від руйнівного впливу прямих ударів блискавки, а також від вторинних ефектів – наведених імпульсних перенапруг, електромагнітної індукції, які здатні миттєво вивести з ладу інвертори та фотомодулі.

В Україні проектування та монтаж систем блискавкозахисту жорстко регламентуються національним стандартом ДСТУ EN 62305 [12], частини 1–4

«Блискавкозахист», який повністю гармонізований європейськими нормами, а також вимогами ПУЕ.

Основні нормативні вимоги. Клас захисту ДСТУ EN 62305-3: для промислових та комерційних наземних СЕС зазвичай призначається III або IV клас захисту. Найчастіше обирають III клас, який гарантує перехоплення 91% усіх можливих розрядів блискавки.

Блискавкозахист обов'язково має складатися з двох взаємопов'язаних частин. Зовнішній блискавкозахист. Блискавкоприймачі, щогли, доземні провідники, опуски та заземлювач. Внутрішній блискавкозахист. Застосування пристроїв захисту від імпульсних перенапруг та система зрівнювання потенціалів.

Імпульсний опір заземлення згідно з ДСТУ EN 62305-3, заземлювача блискавкозахисту у будь-яку пору року не повинен перевищувати 10 Ом. Проте, оскільки контур блискавкозахисту СЕС завжди об'єднується із захисним заземленням станції, уся система орієнтується на жорсткішу вимогу ПУЕ – до 4 Ом.

Наземні сонячні електростанції мають унікальну специфіку, яку необхідно враховувати. Роздільна відстань, ключове поняття ДСТУ EN 62305. Між щоглою блискавкоприймача та металевим столом СЕС або самими панелями, має бути витримана повітряна або ізоляційна відстань s , зазвичай становить 0,5 – 0,8 м. Це необхідно, щоб струм блискавки з щогли не «пробив» повітря і не перекинувся на сонячні панелі. Якщо цю відстань витримати неможливо, систему роблять неізольованою, щогли жорстко з'єднують зі столами, але тоді на DC-стороні інверторів обов'язково встановлюють потужні ПЗІП класу 1.

Мінімізація індукційних петель. Кабелі постійного струму DC-стрингі від сонячних панелей до інвертора мають прокладатися так, щоб плюсовий та мінусовий провідники були в одному лотку максимально близько один до одного. Утворення петель великої площі категорично заборонено, оскільки під час удару блискавки поруч із СЕС у такій петлі наводиться колосальна ЕРС, що спалює плату інвертора.

Монтаж щогл блискавкоприймачів, дис. рис. 5.3. Встановлюються окремо розташовані щогли на власних бетонних фундаментах або щогли, які інтегруються

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо в конструкцію столів через діелектричні ізолятори для створення ізольованої системи.

Прокладання доземних провідників. Від кожної щогли до заземлювача прокладається провідник зазвичай кругла сталь-катанка діаметром від 8 мм або оцинкована смуга. Провідники опускаються найкоротшим шляхом.

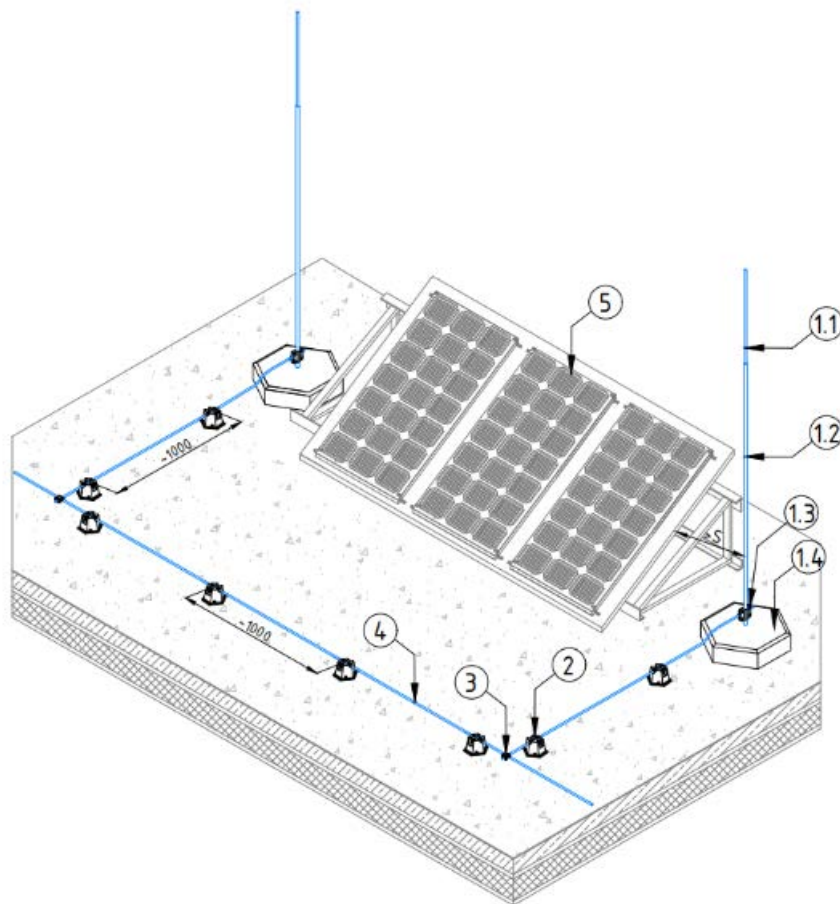


Рис. 5.3. Схема монтажу системи блискавкозахисту:

1 – Блискавкоприймач з бетонною основою (комплект); 1.1 – шпиль блискавкоприймача $\varnothing 10\text{мм}$ $L=1\text{ м}$; 1.2 – шпиль блискавкоприймача $\varnothing 16\text{мм}$ $L=0,5\dots 3,0\text{ м}$; 1.3 – З'єднувач для шпиль $\varnothing 16\text{мм}$ та дроту; 1.4 – бетонна основа 32 кг;
2 – Тримач дроту пластиковий з бетоном Н-303; 3 – З'єднувач для дроту універсальний С-011; 4 – Дріт алюмінієвий $\varnothing 8\text{ мм}$ W-08/AL; 5 – Захищена установка

Встановлення ПЗІП для внутрішнього захисту. В інверторних шафах або силових щитах з боку сонячних батарей монтуються ПЗІП DC на напругу 1000/1500 В, а з боку підключення до мережі – ПЗІП АС на 400 В.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Заземлювачі кожної щогли блискавкозахисту під землею приєднуються до загального магістрального контуру заземлення СЕС за допомогою зварювання.

Для розрахунку зони захисту вертикальних щогл використаємо метод захисного кута згідно з ДСТУ EN 62305-3, що є найбільш наочним для об'єктів простої геометричної форми довгих рядів сонячних столів.

Наземна СЕС на 135 кВт до складу якої входять 248 панелей по 545 Вт. Панелі розміщуються на столах у два ряди. Орієнтовна довжина одного подвійного ряду столів складає 66 метрів, ширина стола – 4,5 метрів.

Висота об'єкта – верхній край сонячного стола при куті нахилу 30° знаходиться на висоті $h_x = 2,5$ метри.

Параметри захисту. Обираємо III клас блискавкозахисту. Прийmemo окремо розташовані щогли повною висотою $h = 7,5$ метрів.

Кут захисту, згідно з ДСТУ EN 62305-3, для III класу захисту при висоті щогли до 10 м кут захисту становить $\alpha = 55^\circ$. Тоді $\tan 55^\circ \approx 1,43$.

Розрахунок радіуса захисту однієї щогли на рівні верху панелей:

$$r_x = \Delta h \cdot \tan \alpha = (h - h_x) \cdot \tan \alpha \quad (5.5)$$

де Δh – активна, корисна, висота щогли над об'єктом;

α – кут захисту в градусах, який визначається за нормативним графіком ДСТУ залежно від обраного класу захисту та повної висоти щогли h ;

r_x – радіус захисної зони щогли на рівні висоти об'єкта h_x ;

$$r_x = (7,5 - 2,5) \cdot \tan 55^\circ = 7,15 \text{ м}$$

Одна щогла на висоті 2,5 м захищає коло радіусом 7,15 м навколо себе.

Розрахунок радіуса захисту на рівні землі:

$$r_0 = h \cdot \tan \alpha \quad (5.6)$$

де h – повна висота щогли блискавкоприймача від рівня землі, м.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_0 = h \cdot \tan \alpha = 7.5 \cdot \tan 55^\circ = 7.5 \cdot 1.43 = 10,72 \text{ м}$$

Щоб захистити довгий ряд столів СЕС, щогли встановлені парами. Простір між двома щоглами розраховується через зону взаємодії. Мінімальна висота зони захисту посередині між двома щоглами $h_c = 2,5$ м визначається за формулою:

Розрахунок максимальної відстані між сусідніми щоглами D для покриття ряду столів:

$$h_c = h - \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} \quad (5.7)$$

$$2,5 = 7,5 - \frac{D}{2 \cdot 1,43}$$

Отже, максимальна відстань між щоглами вздовж сонячного стола має становити не більше 14,3 метрів. $D = 14,3$ м.

Зважаючи на те, що довжина ряду столів складає близько 66 метрів, для повного та безперервного покриття станції блискавкозахистом уздовж конструкцій необхідно встановити систему з 5 щогл заввишки 7,5 метрів розставлених з кроком близько 14 метрів одна від одної, або використати вищі щогли, наприклад, 10-метрові, що дозволить збільшити крок між ними та зменшити їхню загальну кількість до 3-4 одиниць.

Таке рішення у поєднанні з обов'язковими внутрішніми ПЗІП класу 1+2 гарантує безпеку сонячної електростанції від літніх гроз та атмосферних перенапруг.

Висновки до розділу 5

Згідно з вимогами ПУЕ та ПТЕЕС для електроустановок напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю, базовий опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом у будь-яку пору року. Розрахований штучний груповий заземлювач з конфігурацією із 12 вертикальних стрижнів завдовжки 3 м та горизонтальної сталевий смуги 40×4 мм загальною довжиною 36 м у суглинковому ґрунті має власний опір 4,30 Ом.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення нормативного показника штучний контур електрично об'єднується із природними заземлювачами станції – сталевими палями опорних конструкцій СЕС, які мають власний опір розтікання в межах 8 – 12 Ом. Завдяки їх паралельному підключенню підсумковий опір загальної системи знижується до 2,5–3,0 Ом, що повністю задовольняє вимоги ПУЕ та ПТЕ.

Згідно зі стандартом ДСТУ EN 62305, для наземної СЕС обрано III клас блискавкозахисту, що забезпечує надійність перехоплення прямих ударів на рівні 91 %. Задля уникнення вторинних проявів блискавки, іскріння та перенапруг, закладено дотримання роздільної повітряної відстані $s = 0,5 - 0,8$ м між щоглами та столами, а також технологічну вимогу щодо мінімізації індукційних петель при прокладанні DC-кабелів у лотках.

Згідно методу захисного кута $\alpha = 55^\circ$, $\tan 55^\circ \approx 1,43$ розраховано зону покриття щоглових блискавкоприймачів. Для захисту подвійного ряду сонячних столів завдовжки 66 м та заввишки 2,5 м визначено геометрію встановлення 5 щогл повною висотою 7,5 м із максимальним кроком між ними до 14,3 м, або, як технічна альтернатива, 3–4 щогли заввишки 10 м, що гарантує утворення суцільної захисної зони над усім масивом ФЕМ.

Для захисту інверторного обладнання та фотомодулів від наведених імпульсних перенапруг впроваджено обов'язкове встановлення пристроїв захисту від імпульсних перенапруг на DC-стороні інвертора під номінальну напругу 1000/1500 В та на AC-стороні під напругу 400 В.

Впровадження запропонованих рішень із заземлення та блискавкозахисту забезпечує довгострокову безаварійну експлуатацію наземної СЕС 135 кВт, надійно захищає дороговартісну напівпровідникову техніку від грозових та комутаційних всплесків напруги, а також повністю гарантує безпеку праці для технічного персоналу об'єкта.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз загальних умов будівництва та експлуатації мережевої сонячної електростанції для об'єктів складського призначення в селі Шпильки Київської області. За результатами аналізу зроблено такі висновки:

встановлено, що функціонування мережевої СЕС є безвідходним, не супроводжується шкідливими викидами в атмосферне повітря чи водні об'єкти, а також не створює шумового та вібраційного забруднення, що дозволяє відмовитися від розробки додаткових спеціальних заходів з охорони навколишнього природного середовища під час експлуатації станції;

визначено місце інтеграції СЕС у структуру складу. Запроектована сонячна електростанція підключатиметься до існуючої системи електропостачання через діючий щит ГРЩ-0,4 кВ складської будівлі без необхідності його капітальної перебудови чи зміни конфігурації;

реалізацію будівництва передбачено в одну чергу за послідовним методом організації виробничих процесів, що включає два базових етапи: монтаж будівельних і електротехнічних конструкцій та пусконаладжувальні роботи. На період будівництва виконуватиметься тимчасове підключення до існуючих мереж об'єкта за уточненою методикою розрахунку потужності.

Відповідно до чинних нормативних документів ДБН А.3.2-2-2009, НАПБ А.01.001-2014 визначено межі небезпечних зон на будівельному майданчику, встановлено метеорологічні обмеження для монтажних робіт на висоті, швидкість вітру < 15 м/с загалом та < 10 м/с для елементів із високою вітрильністю.

На основі аналізу демографічних факторів, кількість постійного та тимчасового персоналу та розрахунку прогнозованого економічного збитку від можливої руйнації, який становить 266 мінімальних заробітних плат (при очікуваній кошторисній вартості 2 300,00 тис. грн), згідно з ДСТУ 8855:2019 об'єкту проектування встановлено клас наслідків СС1 (незначні наслідки), що підтверджує, що СЕС не

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки і може проектуватися за спрощеними процедурами, передбаченими для даного класу.

На основі аналізу сонячного потенціалу Київської області обґрунтовано ефективність будівництва наземної СЕС для складського комплексу у с. Шпитьки. Модель роботи станції виключно для забезпечення власних потреб дозволить суттєво знизити операційні витрати підприємства на електроенергію з прогнозованим терміном окупності інвестицій у 3,5 – 4 роки.

Для забезпечення максимальної генерації планується використати при проектуванні монокристалічні панелі потужністю 545 Вт та високозахищені стрінгові інвертори з 10 MPPT-трекерами. Враховуючи специфіку 6 інженерно-геологічних шарів ґрунту, розроблено надійну наземну металоконструкцію з кроком стійок 3090 мм та комбінованим фундаментом, бетонний блок на 350 – 550 мм із подальшим заглибленням стійки в ґрунт на 1500 – 1700 мм.

Конструктивні параметри СЕС повністю адаптовані до кліматичних умов регіону, а саме нормативної глибини промерзання 1,0 м, навантажень 3-го вітрового 500 Па та 4-го снігового 1400 Па районів.

У третьому розділі обґрунтовано структуру та потужність масиву СЕС. З урахуванням доступної корисної площі земельної ділянки складу 645 м² та необхідних технологічних зазорів для термокомпенсації металоконструкцій, визначено кількість фотоелектричних модулів SPR-P6-545-COM-M-BF потужністю 545 Вт – 248 шт. Сумарна встановлена пікова потужність масиву по стороні постійного струму становить 135,16 кВт.

Розрахунок напруги холостого ходу при екстремальному температурному мінімумі для Київської області -34 0С показав, що максимальна довжина одного стрінгу обмежена 19 фотомодулями, тобто напруга не перевищить допустимі інвертором 1100 В. Для ефективного завантаження 10 MPPT-трекерів мережевого інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M1 масив розділено на 16 стрінгів: 8 стрінгів по 16 модулів та 8 стрінгів по 15 модулів.

Підтверджено доцільність перевантаження інвертора напруг. Коефіцієнт перевантаження інвертора становить 135 %, тобто 135,16 кВт по постійному струму

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проти 100 кВт по змінному струму. Таке рішення обґрунтоване збільшенням генерування у часи низької інсоляції вранці, ввечері, взимку та в хмарну погоду. При цьому річні втрати від обмеження пікової потужності становлять лише 2,19 %.

Спроековано систему захисту та комутації. Максимальний сумарний струм короткого замикання сонячного масиву становить 222,72 А, проте завдяки архітектурі інвертора він розділений на окремі входи із стрінговим обмеженням струму, де кожен стрінг захищений запобіжниками з номіналом 16 А. По стороні змінного струму визначено максимальний лінійний вихідний струм на рівні 158,8 А, при повній потужності 110 кВА, що потребує встановлення захисного автомата у підстанції КТП-10/0,4 кВ з номіналом у діапазоні 160 – 200 А.

Імітаційне моделювання у програмному середовищі PVsyst для геолокації у с. Шпитьки, дозволило визначити річний обсяг генерування СЕС, що експортується в мережу і становить 154 539 кВт·год.

Виявлено графік сезонності генерування електроенергії для інтеграції в баланс підприємства. Приблизно 70 – 75 % річної енергії виробляється у період з квітня по вересень із піком у червні до 20 000 кВт·год та мінімумом у грудні до 1 500 кВт·год.

За результатами техніко-економічного розрахунку проєкт будівництва наземної мережевої сонячної електростанції на базі 248 фотомодулів по 545 Вт сумарною потужністю 135,16 кВт з інвертором 100 кВт є високорентабельним, незважаючи на капітальні витрати до 2,36 млн грн.

За рахунок значного генерування 154,5 МВт·год/рік та заміщення електроенергії від централізованої електромережі для юридичних осіб 8,50 грн/кВт·год, щорічний чистий фінансовий потік підприємства перевищує 1,05 млн грн. Це забезпечує простий термін окупності інвестицій на рівні 2,23 року, тобто 2 роки і 3 місяці.

Згідно з вимогами ПУЕ та ПТЕЕС для електроустановок напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю, базовий опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом у будь-яку пору року. Розрахований штучний груповий заземлювач з конфігурацією із 12 вертикальних стрижнів завдовжки 3 м та горизонтальної сталевий смуги 40×4 мм загальною довжиною 36 м у суглинковому ґрунті має власний опір 4,30 Ом.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення нормативного показника штучний контур електрично об'єднується із природними заземлювачами станції – сталевими палями опорних конструкцій СЕС, які мають власний опір розтікання в межах 8 – 12 Ом. Завдяки їх паралельному підключенню підсумковий опір загальної системи знижується до 2,5–3,0 Ом, що повністю задовольняє вимоги ПУЕ та ПТЕ.

Згідно зі стандартом ДСТУ EN 62305, для наземної СЕС обрано III клас блискавкозахисту, що забезпечує надійність перехоплення прямих ударів на рівні 91 %. Задля уникнення вторинних проявів блискавки, іскріння та перенапруг, закладено дотримання роздільної повітряної відстані $s = 0,5 - 0,8$ м між щоглами та столами, а також технологічну вимогу щодо мінімізації індукційних петель при прокладанні DC-кабелів у лотках.

Згідно методу захисного кута $\alpha = 55^\circ$, $\tan 55^\circ \approx 1,43$ розраховано зону покриття щоглових блискавкоприймачів. Для захисту подвійного ряду сонячних столів завдовжки 66 м та заввишки 2,5 м визначено геометрію встановлення 5 щогл повною висотою 7,5 м із максимальним кроком між ними до 14,3 м, або, як технічна альтернатива, 3–4 щогли заввишки 10 м, що гарантує утворення суцільної захисної зони над усім масивом ФЕМ.

Для захисту інверторного обладнання та фотомодулів від наведених імпульсних перенапруг впроваджено обов'язкове встановлення пристроїв захисту від імпульсних перенапруг на DC-стороні інвертора під номінальну напругу 1000/1500 В та на AC-стороні під напругу 400 В.

Впровадження запропонованих рішень із заземлення та блискавкозахисту забезпечує довгострокову безаварійну експлуатацію наземної СЕС 135 кВт, надійно захищає дороговартісну напівпровідникову техніку від грозових та комутаційних всплесків напруги, а також повністю гарантує безпеку праці для технічного персоналу об'єкта.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Наказ від 01.08.1996 № 239 Про затвердження Державних санітарних правил та норм. ДСанПіН (Державні Санітарні Правила і Норми). Початок дії: 15.11.2023

2. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Наказ від 09.01.1998 № 4 Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів. НПАОП, ДНАОП (Державні Нормативні Акти з Охорони Праці). Початок дії: 20.02.1998

3. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. Наказ від 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок. Початок дії: 21.08.2017

4. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. Наказ від 30.12.2014 № 1417 Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. НАПБ (Нормативний акт з пожежної безпеки). Початок дії: 27.02.2026

5. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Наказ від 31.10.2016 № 287 Про затвердження ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. ДБН (Державні Будівельні Норми). Початок дії: 01.06.2017

6. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. Наказ від 27.01.2009 № 45 Про затвердження державних будівельних норм (НПАОП 45.2-7.02-12). Початок дії: 01.04.2012

7. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). Наказ від 24.06.2019 № 175 Про прийняття та скасування національних стандартів, прийняття зміни до національного стандарту. ДСТУ (Державний Стандарт України). Початок дії: 01.12.2019

8. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. (2026). Тарифи на електроенергію. Вилучено 9 травня 2026, із <https://www.nerc.gov.ua/>

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Оператор ринку. (2026). Результати торгів: Ринок «на добу наперед» та внутрішньодобовий ринок. Вилучено 9 травня 2026, із <https://www.oree.com.ua/>

10. Гарантований покупець. (2026). Інформація щодо розміру «зеленого» тарифу. Вилучено 9 травня 2026, із <https://www.gpee.com.ua/>

11. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Наказ від 25.07.2006 № 258 Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів. Міністерство палива та енергетики України. Початок дії: 21.02.2017 https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29329

12. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT). Наказ від 28.05.2012 № 640 Про прийняття міжнародних та європейських нормативних документів як національних нормативних документів методом підтвердження. ДСТУ (Державний Стандарт України). Початок дії: 01.08.2012

13. ДСТУ HD 60364-7-712:2022. Електроустановки низької напруги. Частина 7-712. Фотоелектричні (PV) системи [Електронний ресурс]. Режим доступу до сервера: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104701

14. ДСТУ EN IEC 61215-1-1:2022. Наземні фотоелектричні (PV) модулі. Частина 1-1. Випробування кристалічних кремнієвих модулів [Електронний ресурс]. Режим доступу до сервера: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=105110

15. ДСТУ EN 62446-1:2022. Фотоелектричні (PV) системи. Частина 1. Системи, підключені до мережі [Електронний ресурс]. Режим доступу до сервера: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=105009

16. ДСТУ EN 50575:2018. Кабелі силові, контрольні та зв'язку. Вимоги щодо реакції на вогонь [Електронний ресурс]. Режим доступу до сервера: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81656

17. ДСТУ EN 50618:2018. Кабелі електричні для фотоелектричних систем [Електронний ресурс]. Режим доступу до сервера: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79241

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. ДСТУ EN 50583:2017. Фотоелектричні модулі, інтегровані в будівлі. Частина 1: Фотоелектричні модулі. Частина 2: Фотоелектричні системи. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.

19. ДБН А.3.2-2:2009. Система стандартів безпеки праці. Основні положення. Режим доступу до сервера: <https://tehnadzor.cc/pages/dbn-a-3-2-2-2009-systema-standartiv-bezpeky-praci-ohorona-praci-i-promyslova-bezpeka-u-budivnyctvi-osnovni-polojennya.php>

20. Державні будівельні норми України ДБН А.3.2-2:2009. Охорона праці та промислова безпека у будівництві [Електронний ресурс]. Режим доступу до сервера: <https://dbn.com.ua/A.3.2-2-2009>

21. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Дата введення 2011-11-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).

22. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ: УкрНДПІ сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського, 2006. – 75 с.

23. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Національний стандарт України).

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 006 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		