

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
професор _____ Вікторія ВОЛКОВА
«__» _____ 2025 р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітній ступінь «Бакалавр»

на тему: «Обґрунтування технології застосування альтернативного джерела
енергії у селі Капітанівка Бучанського району Київської області»

Виконав: здобувачка вищої освіти групи ТЗНС-1-21
спеціальності - 183 «Технології захисту
навколишнього середовища»
освітньої програми - «Технології захисту
навколишнього середовища»
Олена БОЙКО
(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Керівник Тетяна МАКАРОВА
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
 Факультет господарської інженерії та екології
 Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля
 Освітній ступінь «Бакалавр»
 Спеціальність - «Технології захисту навколишнього середовища»
 Освітня програма 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Зав. кафедрою цивільної інженерії,
 технологій будівництва і захисту довкілля
 Вікторія ВОЛКОВА
 « ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ на дипломну роботу

Бойко Олені Володимирівні

на тему: «Обґрунтування технології застосування альтернативного джерела енергії у селі Капітанівка Бучанського району Київської області»

керівник роботи: Макарова Тетяна Костянтинівна, к.с-г.н, доц.
 (прізвище ім'я по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

..

затверджена наказом по університету від «16» 04. 2025 р. № 758

..

..

1. Термін здачі студентом закінченого роботи «14» червня 2025 р.
2. Вихідні дані до роботи: 1. Показники глобальної інсоляції. 2. Технічні характеристики сонячних панелей.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань що потрібно робити). Перелік графічного матеріалу (з точним значенням обов'язкових креслень): вступ. 1. Енергія сонця, як альтернативне джерело енергії. 2. Кліматичні особливості району досліджень. 3. Характеристика об'єкту дослідження. 4. Розрахунок технічних параметрів встановлення PV-панелей. 5. Визначення показників економічної ефективності. 6. Охорона праці та техніка безпеки при монтажі сонячних панелей. Висновок.

4. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
5.			
6.			

5. Дата видачі завдання «10» березня 2025

Керівник роботи


 (підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ щ	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1.	Енергія сонця, як альтернативне джерело енергії	28/03/2025	
2.	Кліматичні особливості району досліджень	11/04/2025	
3.	Характеристика об'єкту дослідження	25/04/2025	
4.	Розрахунок технічних параметрів встановлення PV-панелей	16/05/2025	
5.	Визначення показників економічної ефективності	23/05/2025	
6.	Охорона праці та техніка безпеки при монтажі сонячних панелей	01/06/2025	
	Висновки	14/06/2025	

Здобувач вищої освіти _____ (Олена БОЙКО)

(підпис)

Керівник роботи


 (Тетяна МАКАРОВА)

(під

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 СОНЦЕ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ.....	6
1.1 Фізичні засади сонячної енергії та її потенціал.....	6
1.2 Сонячна енергетика: технології перетворення та перспективи використання.....	10
2 КЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
2.1 Кліматичні умови та їх вплив на розвиток сонячної енергетики Бучанського району Київської області.....	14
2.2 Аналіз температурно-вологого режиму та сонячної інсоляції в районі досліджень.....	21
3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	28
3.1 Загальна характеристика технічних і експлуатаційних параметрів об'єкта дослідження.....	28
4 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВСТАНОВЛЕННЯ PV-ПАНЕЛЕЙ.....	34
4.1 Визначення енергетичних потреб та потенціалу генерації сонячної енергії.....	34
4.2 Технічні характеристики та оптимізація конфігурації фотоелектричної системи.....	36
5 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	41
5.1 Розрахунок витрат енергії.....	41
5.2 Схема роботи сонячної електростанції	48
5.3 Порівняльний аналіз екологічного впливу сонячної енергетики та традиційних джерел енергії.....	62
5.3.1 Екологічна ефективність переходу на сонячну енергетику.....	63
5.4 Період компенсації початкових викидів та енергетичної окупності.....	68
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	71
ВИСНОВОК.....	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	78
ДОДАТКИ	82

ВСТУП

У сучасному світі все більшого значення набувають актуальність ефективного використання ресурсів та впровадження альтернативних джерел енергії. Зростає потреба у сталому розвитку, енергетична безпека та збереження навколишнього середовища вимагають активного впровадження новітніх технологій, що дозволяють зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля, нафта та газ. Особливо актуальною є проблема забезпечення енергією сільських та периферійних територій, де централізовані системи енергопостачання часто недостатньо розвинуті або мають низьку надійність.

Одним із найбільш перспективних рішень є використання екологічних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, яка є екологічно чистою, відновлюваною та потенційно доступною для широкого кола користувачів. Впровадження таких технологій в Україні, зокрема в Київській області, сприятиме не лише зниженню негативного впливу на довкілля, а й підвищенню енергетичної незалежності регіону.

Село Капітанівка Бучанського району Київської області, яке характеризується активним розвитком та наявністю значного потенціалу для застосування нових джерел енергії, є ідеальним об'єктом для впровадження сучасних технологій сонячної енергетики. Враховуючи зростаючі вимоги до енергетичної ефективності та екологічної безпеки, дослідження і впровадження технологій альтернативної енергетики в цьому регіоні є надзвичайно важливими.

Об'єктом даного дослідження є енергетична система села Капітанівка Бучанського району Київської області, зокрема її потенціал і можливості для застосування альтернативних джерел енергії, з акцентом на сонячну енергетику.

Предметом дослідження є технології застосування сонячних панелей та інтеграції їх в існуючу енергетичну інфраструктуру села Капітанівка, а також економічні, технічні та екологічні аспекти їх впровадження.

Метою роботи є розробка обґрунтованої технології застосування альтернативного джерела енергії - сонячної енергетики - у селі Капітанівка з урахуванням місцевих кліматичних, економічних та інфраструктурних особливостей, а також оцінка її ефективності та перспектив впровадження.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз енергоспоживання та існуючої системи енергозабезпечення села Капітанівка,
- оцінити потенціал сонячної енергії в регіоні, враховуючи кліматичні умови та інсоляцію,
- розробити технологічну схему впровадження сонячної енергетики, враховуючи інтеграцію з існуючими мережами,
- провести екологічний аналіз ефективності застосування поновлювальних джерел енергії,
- розробити рекомендації для практичного впровадження запропонованих рішень.

Методологія роботи базується на комплексному підході, який включає аналіз статистичних даних про енергоспоживання та кліматичні умови, моделювання енергетичних процесів, оцінку техніко-економічних показників, а також застосування системного аналізу для вибору оптимальних технологій. Використовуються методи порівняльного аналізу та прогнозування.

Практичне значення роботи полягає у створенні рекомендацій і технічних схем для впровадження сонячної енергетики в сільській місцевості, що сприятиме підвищенню енергетичної незалежності, зниженню витрат на енергопостачання.

1 СОНЦЕ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

1.1. Фізичні засади сонячної енергії та її потенціал

Сонця, як джерело енергії є об'єктом зростаючого наукового інтересу в умовах поглиблення енергетичної кризи, глобального потепління та обмеженості ресурсів традиційного палива. Сучасне людство стикається із викликами, що пов'язані не лише з вичерпністю природних запасів нафти, вугілля та природного газу, а й з наслідками їхнього спалювання для навколишнього середовища. За сучасними оцінками, близько 80% світового енергетичного балансу формується за рахунок викопних джерел енергії, водночас як альтернативні види енергії - зокрема сонячна. Цей вид альтернативної енергії займає поки незначну частку, проте демонструють стрімке зростання. Таким чином, необхідність пошуку екологічно безпечних, відновлюваних та ефективних джерел енергії зумовлює актуальність дослідження потенціалу сонячної енергії як одного з провідних напрямів енергетичного переходу.

Сонце є основним природним джерелом енергії на Землі, і, за даними NASA, щосекунди на поверхню планети надходить приблизно 173 000 терават енергії. Цей показник у десятки тисяч разів перевищує сумарне споживання людством усіх видів енергії разом узятих. З огляду на це, перетворення сонячної енергії у форми, придатні для споживання (електричну та теплову), є перспективним напрямом інноваційного розвитку. До основних способів конверсії сонячної енергії належать: фотогальванічні процеси, в основі яких лежить використання фотоелементів (сонячних панелей); термічне перетворення енергії у тепло; а також сонячна концентрація - фокусування світлового потоку за допомогою лінз або дзеркал.

Фотовольтаїка як ключова технологія сонячної енергетики базується на явищі внутрішнього фотоефекту, відкритому Гайнріхом Герцем і поясненому Альбертом Ейнштейном. Сучасні промислові фотоелементи здебільшого виготовляються з кристалічного кремнію й досягають ККД 18–22%. Проте науковий прогрес останнього десятиліття зміщується в бік перовськітних та органічних фотоелементів, які обіцяють вищу ефективність і нижчу собівартість виробництва. Саме ці напрями стали об'єктом активного дослідження в Україні.

Вагомий внесок у розвиток перовськітних сонячних елементів здійснено українськими вченими, зокрема д.ф.-м.н. Олександром Кольцем із Інституту фізики НАН України, який у співавторстві з колегами опублікував цикл праць щодо стабільності перовськітних структур на основі гібридних органо-неорганічних галогенів [1]. Також варто згадати професора Миколу Лисенка (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України), який працює над дослідженням новітніх тонкоплівкових структур з $Cu(In, Ga)Se_2$ та SnS для застосування в низьковартісних сонячних елементах [2]. У Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна під керівництвом професора Ірини Демченко ведуться дослідження з фотострумкових характеристик наноструктурованих оксидів титану для гібридних фотовольтаїчних систем [3].

Окрім фундаментальних досліджень, українські науковці активно беруть участь у прикладних розробках. Наприклад, у 2022–2024 роках в рамках проєкту *HorizonEurope* було залучено колектив з Київського академічного університету (керівник – д.т.н. Сергій Духович) до розробки технологій інтеграції *BIPV (BuildingIntegratedPhotovoltaics)* у модулі для автономного енергозабезпечення громадських споруд. Дослідники Львівської політехніки під керівництвом проф. Василя Шевчука зосереджені на розробці адаптивних фотовольтаїчних систем із максимізацією енергозбору залежно від умов інсоляції. Ці приклади свідчать про значну наукову активність в Україні

у галузі сонячної енергетики, незважаючи на виклики, пов'язані з війною та фінансуванням науки [4].

Окремо слід зазначити екологічну безпечність сонячної енергетики. Вона не пов'язана з викидами діоксиду вуглецю під час експлуатації, на відміну від традиційних ТЕС. Також відсутні ризики радіаційного забруднення, як у випадку з атомними електростанціями. Водночас, проблематика утилізації сонячних панелей після завершення терміну експлуатації (близько 25–30 років) викликає дискусії серед фахівців, оскільки окремі компоненти панелей можуть містити токсичні речовини. Проте розвиток технологій переробки та повторного використання матеріалів сприяє зниженню цього ризику.

З техніко-економічної точки зору, сонячна енергія поступово втрачає статус дорогого джерела. За останні 10 років собівартість виробництва 1 кВт·год електроенергії за допомогою сонячних панелей знизилася у 5-7 разів. У низці країн, зокрема, в ОАЕ, Саудівській Аравії, Мексиці, вартість генерації з використанням сонячної енергії вже є нижчою, ніж з використанням вугілля або газу. Це зумовлено не лише технологічним прогресом у виробництві фотоелементів, а й розвитком супутніх систем - інверторів, систем моніторингу, накопичення енергії (акумуляторів), трекерів для оптимізації положення панелей відносно Сонця [6].

Однак, сонячна енергія має низку обмежень, серед яких ключовими є залежність від погодних умов і добового/сезонного циклу. Для країн із помірним та північним кліматом характерні зниження ефективності взимку або із-за хмарності. Крім того, зростання частки сонячної генерації в енергосистемі вимагає модернізації інфраструктури: впровадження розумних мереж, систем балансування навантаження, гнучких механізмів накопичення енергії. Саме поєднання сонячної енергетики з технологіями зберігання, такими як літій-іонні акумулятори, системи на основі гідроакумуляування або водневі установки, дозволяє забезпечити безперервність енергопостачання.

У контексті України питання використання сонячної енергії є особливо важливим у світлі необхідності децентралізації енергопостачання, зменшення енергозалежності та підвищення екологічної безпеки. Україна має значний потенціал сонячної радіації, особливо у південних регіонах (Одеська, Херсонська, Миколаївська, Запорізька області), де сумарна річна сонячна інсоляція сягає 1300–1500 кВт·год/м². Протягом останніх років було встановлено понад 8 ГВт сонячних потужностей, як у вигляді великих промислових електростанцій, так і приватних домогосподарств із малими сонячними електростанціями. Державна підтримка у вигляді «зеленого» тарифу, а також програми компенсації для домогосподарств сприяли розвитку цієї галузі. Водночас, із 2022 року виникли нові виклики - руйнування інфраструктури, військові загрози, нестабільність енергосистеми - які зумовили необхідність розвитку автономних, мобільних, мікромережевих рішень із залученням сонячної енергії [8].

Наукові дослідження у сфері сонячної енергетики мають міждисциплінарний характер, поєднуючи досягнення фізики твердого тіла, хімії матеріалів, електроніки, інженерії та економіки. Перспективними напрямками є розробка багатошарових (тандемних) фотоелементів, що дозволяють уловлювати ширший спектр світла, гнучких панелей для побутового використання, інтеграція фотоелементів у конструкційні матеріали (наприклад, фасадні елементи будівель), створення сонячних доріг і навіть космічних орбітальних станцій для передачі енергії на Землю.

Загалом, розвиток сонячної енергетики відображає глибші трансформації енергетичної парадигми - від централізованих систем на основі викопного палива до децентралізованих, відновлюваних, адаптивних моделей, що відповідають принципам сталого розвитку. Інвестиції у цей сектор мають не лише економічне, але й екологічне, геополітичне та соціальне значення. Зниження залежності від імпортованих енергоресурсів, зменшення парникових газів, створення нових робочих місць - усе це визначає важливість

і перспективність сонячної енергетики як фундаментальної складової майбутнього енергетичного ландшафту [10].

1.2 Сонячна енергетика: технології перетворення та перспективи використання

Сонячна енергетика є однією з найдинамічніше розвиваних галузей відновлюваної енергетики, що ґрунтується на використанні енергії сонячного випромінювання для виробництва електричної та теплової енергії. З огляду на екологічну чистоту, необмеженість ресурсів та можливість децентралізованого виробництва енергії, вона відіграє ключову роль у формуванні стратегії сталого енергетичного розвитку багатьох країн світу, включаючи Україну. У цьому контексті розглянемо основні технології перетворення сонячної енергії та перспективи їх використання.

Фундаментальним напрямом у сонячній енергетиці є фотовольтаїка, яка передбачає пряме перетворення енергії сонячного світла в електричну за допомогою фотоелементів. Фотовольтаїчні технології базуються на внутрішньому фотоелекті, відкритому ще у XIX столітті. Сьогодні більшість сонячних панелей виробляється з кристалічного кремнію - як монокристалічного, так і полікристалічного типу, які демонструють ефективність перетворення сонячної енергії у електричну на рівні приблизно від середнього до високого стандарту для комерційних моделей. У лабораторних дослідженнях вдалося досягти значно вищої ефективності, що свідчить про значний науково-технічний потенціал цієї сфери [11].

Окрім кремнієвих модулів, активно досліджуються альтернативні матеріали та структури сонячних елементів. Зокрема, перспективним напрямом є перовськітні сонячні елементи, які завдяки своїй високій абсорбційній здатності, низькій вартості та простоті виготовлення

демонструють стрімке зростання ефективності. В Україні активну наукову діяльність у цьому напрямі здійснюють дослідники Інституту фізики НАН України, зокрема Кольц О.Ф. та Семенюк І.М., які вивчають стабільність перовськітних структур за умов вологості та термічного навантаження. Їхні дослідження підтверджують потенціал цих матеріалів для промислового використання, хоча й залишаються актуальними проблеми деградації та стабільності в умовах тривалої експлуатації.

Паралельно з фотовольтаїкою, у сонячній енергетиці активно розвивається напрям сонячної теплосилової енергетики (*CSP – Concentrated Solar Power*), де енергія сонця використовується для нагрівання теплоносія, який у подальшому приводить в дію турбіну генератора. Технології концентрованої сонячної енергії широко застосовуються в країнах з високим рівнем інсоляції, зокрема в Іспанії, США, Австралії та Об'єднаних Арабських Еміратах. Основною перевагою таких систем є можливість накопичення теплової енергії для її подальшого використання в нічний час або під час хмарної погоди. Водночас, ці технології потребують значних капіталовкладень та великої площі для розміщення, що обмежує їхнє застосування у щільно забудованих районах [18].

Перспективи сонячної енергетики тісно пов'язані з економічними та екологічними чинниками. Згідно з оцінками Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики, вартість виробництва електроенергії з сонячної енергії зменшилася за останнє десятиліття більш ніж на 80%, що зробило її конкурентоспроможною з традиційними джерелами. Це обумовлено як технологічним прогресом, так і зростанням обсягів виробництва та масштабами впровадження. У глобальному контексті лідерами залишаються Китай, США, Німеччина та Індія. Зокрема, у 2024 році Китай встановив понад 200 ГВт нових фотовольтаїчних потужностей, що є світовим рекордом.

Попри складні обставини, в Україні спостерігається помітне зростання обсягів встановлених потужностей сонячної генерації. Так, за даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України,

протягом 2020–2023 років до енергетичної системи було додано понад 1,5 ГВт нових потужностей сонячних електростанцій.. Примітно, що лівова частка цих потужностей була реалізована не у рамках масштабних промислових проєктів, а саме у приватному секторі – домогосподарствах, фермерських господарствах, кооперативах тощо. Такий тренд пояснюється не лише бажанням громадян зменшити енергетичну залежність та витрати на електроенергію, але й більшою гнучкістю та автономністю малих об'єктів генерації у кризових умовах [12].

Розвиток малих та домашніх сонячних електростанцій відіграє важливу роль у децентралізації енергетики. В умовах регулярних атак на об'єкти критичної інфраструктури саме автономні або частково автономні джерела живлення набувають особливої актуальності. Домогосподарства, оснащені сонячними панелями у поєднанні з системами накопичення енергії (акумуляторами), мають можливість забезпечити безперервне енергопостачання навіть під час аварійних відключень у центральній мережі. Крім того, розвиток таких систем позитивно впливає на баланс енергомережі, зменшуючи пікові навантаження та знижуючи потребу в імпорті електроенергії.

Підвищення інтересу до домашніх сонячних електростанцій стимулюється також можливістю участі у механізмі «зеленого» тарифу, хоча останніми роками політика держави щодо підтримки цього механізму зазнала змін у бік поступового згортання субсидування. Замість цього вектор розвитку спрямовується у бік самоспоживання електроенергії та участі у програмах енергетичних кооперативів. У перспективі значного поширення набудуть також моделі спільного виробництва електроенергії в межах об'єднань співвласників багатоквартирних будинків або територіальних громад [13].

На додаток, міжнародна технічна допомога, а також грантові програми Європейського Союзу, Німеччини, Швеції та інших донорів стали одним із ключових джерел фінансування для впровадження локальних проєктів сонячної енергетики. Зокрема, у межах ініціативи « *U – LEAD* з Європою» -

програми ЄС, що підтримує розвиток місцевого самоврядування в Україні - та програм Програми розвитку ООН (ПРООН) було реалізовано десятки об'єктів на дахах комунальних будівель - шкіл, лікарень, адміністративних установ. Це створює додаткові приклади сталого розвитку та підвищення енергоефективності.

У цілому, розвиток сонячної енергетики в Україні, попри всі виклики, залишається актуальним і перспективним напрямом, який відповідає загальноєвропейським тенденціям та національним стратегічним завданням з декарбонізації економіки. Успішна реалізація потенціалу цієї галузі потребує консолідованої державної політики, спрямованої на створення стабільного правового поля, фінансових механізмів підтримки, сприяння локалізації виробництва сонячних панелей та компонентів, а також стимулювання наукових досліджень у галузі фотовольтаїки та енергетичного менеджменту.

Сучасні наукові дослідження зосереджені на вдосконаленні матеріалів, конструкцій фотоелементів, зменшенні втрат при перетворенні енергії, а також розробці нових архітектур фотовольтаїчних систем. Особливу увагу приділяють багатошаровим (тандемним) структурам, які дозволяють ефективніше використовувати спектр сонячного випромінювання. Такі дослідження активно ведуться як у провідних міжнародних лабораторіях, так і в українських наукових центрах, зокрема у Львівському національному університеті імені Івана Франка, де працює група під керівництвом проф. Білана І.І. над створенням тонкоплівкових сонячних елементів на основі сульфідів олова [16].

У підсумку, сонячна енергетика є невід'ємною частиною стратегії енергетичної трансформації як у світовому, так і в українському контексті. Її розвиток потребує подальших інвестицій у наукові дослідження, технологічну модернізацію, а також формування сприятливого правового та економічного середовища. Успішне поєднання цих чинників дозволить забезпечити стійке, безпечне та екологічно чисте енергетичне майбутнє.

2 КЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Кліматичні умови та їх вплив на розвиток сонячної енергетики Бучанського району Київської області

Бучанський район Київської області розташований у помірно континентальній кліматичній зоні, що має значний вплив на екологічні та енергетичні характеристики регіону. Ця кліматична зона характеризується чіткою сезонністю, з виразно окресленими холодними зимовими місяцями і теплим літом. Середньорічна температура в районі становить близько 7-8 °С, при цьому зимові місяці відзначаються помірними морозами, а літні - досить теплими та іноді спекотними періодами. Такі кліматичні умови є важливими факторами, які слід враховувати при плануванні та впровадженні систем сонячної енергетики, оскільки вони визначають рівень і тривалість сонячної інсоляції, а також температурний режим, що безпосередньо впливає на ефективність фотогальванічних перетворювачів.

Інсоляція - це один із ключових показників, що визначають потенціал сонячної енергетики у регіоні. Для Бучанського району характерні середні значення сонячної радіації на рівні близько 1000-1100 кВт · год/м² на рік, що відповідає помірним показникам для території України загалом. Цей рівень інсоляції дозволяє успішно експлуатувати сонячні електростанції, особливо з урахуванням сучасних технологій фотоелектричних модулів, здатних ефективно працювати в умовах змінного освітлення. Варто зазначити, що найбільш інтенсивне сонячне випромінювання припадає на весняно-літній період, що забезпечує максимальну продуктивність систем у теплу пору року.

В осінньо-зимовий період, хоча і зменшується інсоляція, ефективність сонячних панелей залишається достатньою для підтримки стабільного

енергопостачання, особливо якщо системи оснащені акумуляторними батареями або інтегровані в гібридні енергетичні комплекси.

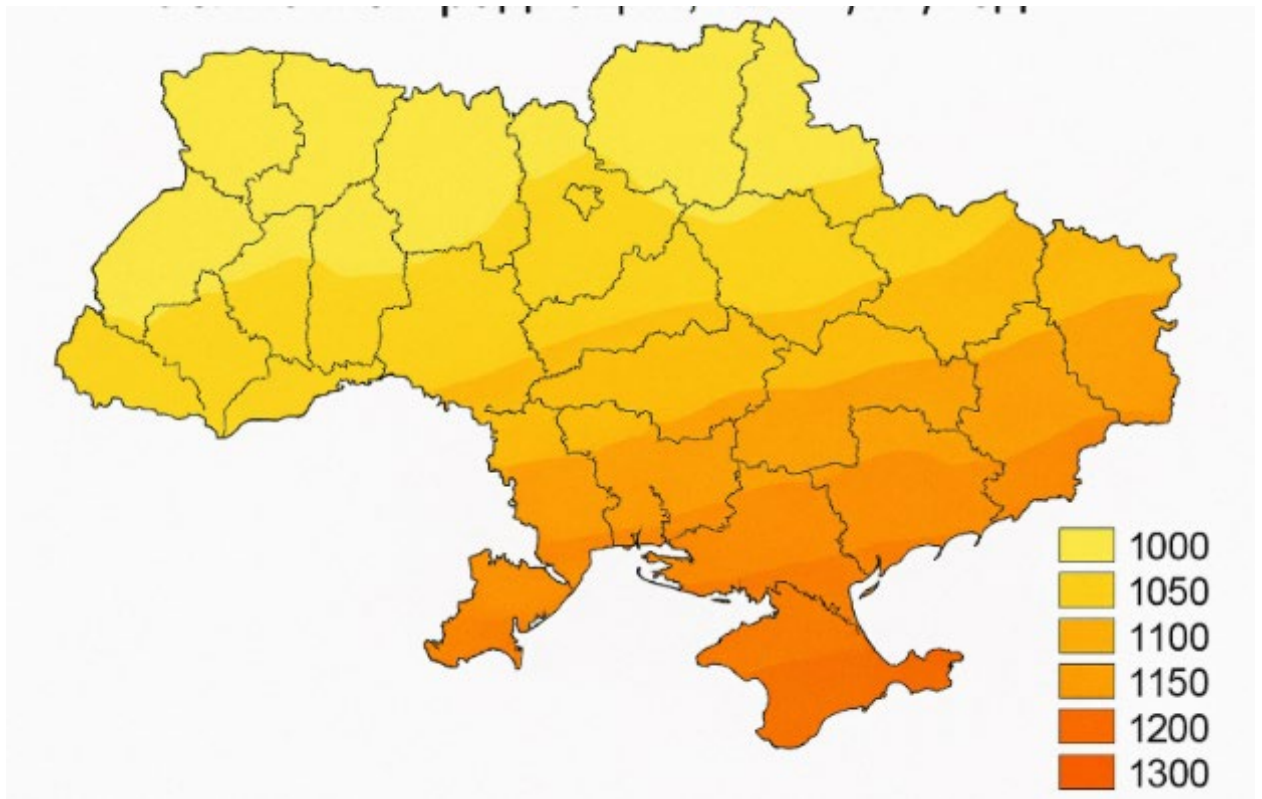


Рисунок 2.1 - Рівень сонячної інсоляції в Україні [16]

Така інсоляція дозволяє успішно експлуатувати сонячні електростанції, особливо з урахуванням сучасних технологій фотоелектричних модулів, здатних ефективно працювати в умовах змінного освітлення.

Як видно з табл.2.1, найбільше сонячного випромінювання припадає на літні місяці, а найменше - на зимові.

В літній період інсоляція в 5–6 разів більша, ніж узимку, що безпосередньо відображається на сезонній продуктивності сонячних електростанцій. Для підтримки стабільного рівня генерації електроенергії в зимовий період рекомендується впровадження акумуляторних систем або використання гібридних схем із іншими джерелами енергії.

Таблиця 2.1 - Середньомісячна інсоляція в Бучанському районі, кВт · год/м²

Місяць	Інсоляція (кВт·год/м ²)
Січень	35
Лютий	50
Березень	90
Квітень	130
Травень	160
Червень	180
Липень	190
Серпень	170
Вересень	120
Жовтень	80
Листопад	45
Грудень	30
Рік	1250

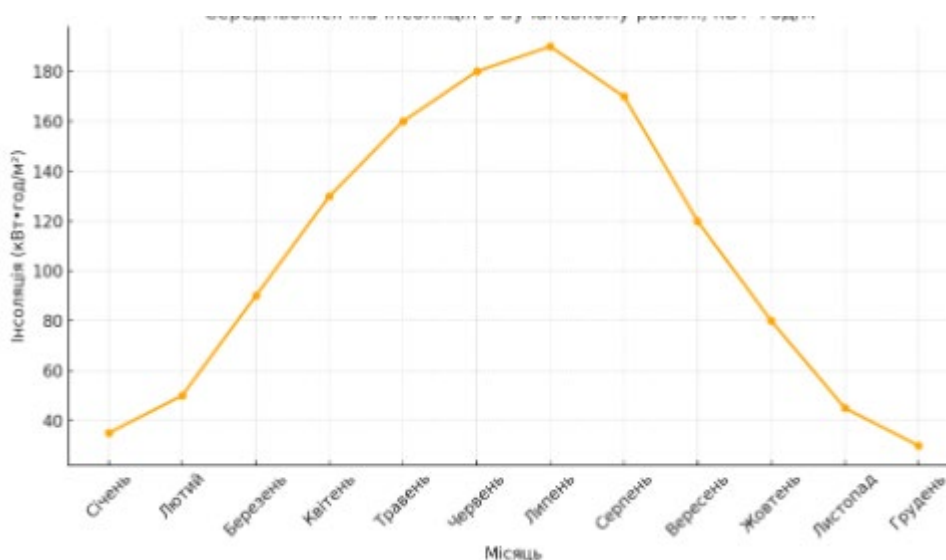


Рисунок 2.2 - Середньомісячна інсоляція в Бучанському районі [16]

Температурний режим Бучанського району відзначається середньорічною температурою близько +7,5 °С, з зимовими мінімумами до -20 °С та літніми максимумами, які можуть досягати +30 °С і вище. Така амплітуда температур потребує застосування технологій, які витримують широкий діапазон температурних навантажень, щоб забезпечити стабільну роботу фотоелектричних модулів. Особливо важливо враховувати температурний коефіцієнт потужності сонячних панелей, оскільки

підвищення температури знижує їх ефективність, що потребує застосування систем охолодження або правильного монтажу з врахуванням вентиляції.

У табл. 2.2 наведено середні температурні показники за місяцями.

Таблиця 2.2 -Середньомісячна температура повітря в Бучанському районі, °C [15]

Місяць	Температура (°C)
Січень	-5
Лютий	-3
Березень	2
Квітень	10
Травень	16
Червень	19
Липень	21
Серпень	20
Вересень	15
Жовтень	8
Листопад	2
Грудень	-2

Як видно з даних, широкий діапазон температур свідчить про необхідність вибору панелей з високою термостійкістю і конструктивних рішень, що забезпечують охолодження або вентиляцію, аби знизити тепловий вплив на ККД.

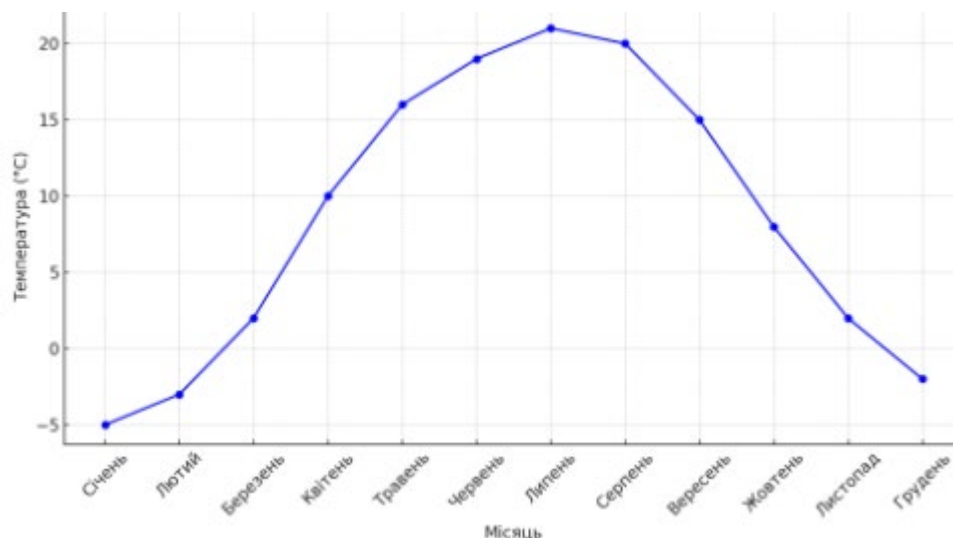


Рисунок 2.3 - Середньомісячна температура повітря в Бучанському районі [17]

Одним із важливих кліматичних факторів, що впливають на сонячну енергетику, є хмарність. За статистичними даними, середньорічна хмарність у Бучанському районі коливається в межах 5-6 балів за 10-бальною шкалою, що свідчить про відносно помірну хмарність і достатню кількість сонячних днів для ефективного функціонування сонячних електростанцій. Однак періоди з підвищеною хмарністю і опадами можуть тимчасово знижувати генерацію, що потребує впровадження систем акумулювання або інтеграції з іншими джерелами енергії.

Таблиця 2.3 -Середня кількість днів із опадами в Бучанському районі [15]

Місяць	Кількість днів з опадами
Січень	10
Лютий	8
Березень	9
Квітень	11
Травень	12
Червень	14
Липень	12
Серпень	10
Вересень	9
Жовтень	11
Листопад	10
Грудень	12

Періоди з опадами можуть впливати на роботу сонячних панелей, особливо коли йдеться про сніг або забруднення поверхні. Для підтримки максимальної ефективності потрібні регулярні заходи з очищення панелей, а також проєктування нахилу панелей для самоочищення.

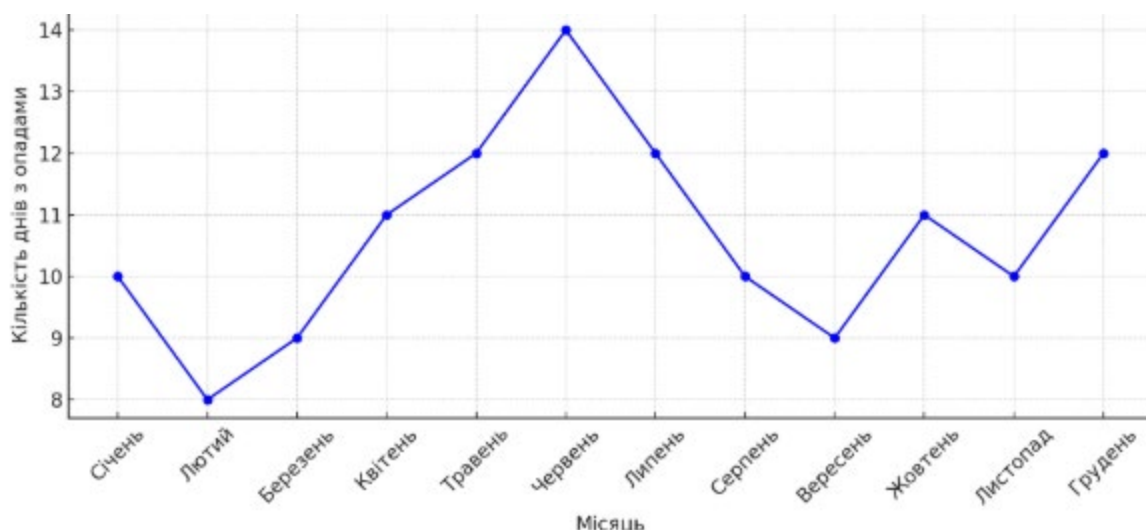


Рисунок 2.4 - Середня кількість днів із опадами в Бучанському районі по місяцях [1]

Швидкість вітру у Бучанському районі є відносно помірною, з середньорічними показниками 3-4 м/с. Вітрові навантаження впливають на конструкції сонячних електростанцій і вимагають відповідних стандартів монтажу. Стійкість конструкцій до вітру забезпечує безпеку і довговічність обладнання.

Аналіз сезонних коливань сонячного випромінювання показує, що максимальна інсоляція припадає на травень-серпень, коли сонце знаходиться на найвищій позиції над горизонтом і тривалість світлового дня максимальна. У цей період ККД сонячних систем досягає пікових значень, що створює сприятливі умови для накопичення енергії та живлення енергомережі. Водночас, зимовий період характеризується суттєвим зниженням інсоляції, що потребує врахування резервних потужностей або використання гібридних систем.

Кліматичні особливості району також визначають вибір типів сонячних панелей і їх монтажних систем. Так, для регіонів з помірно континентальним кліматом, як у Бучанському районі, оптимальним є використання кристалічних кремнієвих панелей, які демонструють стабільність та довговічність у широкому діапазоні температур і вологості. При цьому важливо враховувати фактори навколишнього середовища - зокрема,

можливість засмічення панелей пилом, снігом та листям, що впливає на загальну ефективність.

Інші кліматичні параметри, такі як вітер і опади, також мають значення для планування сонячних електростанцій. Середньорічна швидкість вітру в районі становить близько 3-4 м/с, що не є критичною для інсталяції сонячних електростанцій, проте потребує забезпечення надійної фіксації конструкцій для уникнення пошкоджень. Опади у вигляді снігу можуть призводити до тимчасового покриття сонячних панелей і зниження їх ефективності, тому система автоматичного очищення або нахил панелей мають бути спроектовані з урахуванням цього фактору.

Отже, кліматичні умови Бучанського району Київської області можна розглядати як досить сприятливі для розвитку сонячної енергетики. Насамперед, це зумовлено достатнім рівнем інсоляції - кількості сонячного світла, що досягає поверхні землі. У цьому регіоні спостерігається помірна хмарність, яка незначно знижує інтенсивність сонячного випромінювання, що є важливим чинником для забезпечення стабільної роботи фотоелектричних систем.

Крім того, температура повітря у Бучанському районі, як правило, знаходиться в діапазоні, що дозволяє ефективно функціонувати сонячним панелям. Оптимальні температурні умови сприяють підтриманню високого коефіцієнта корисної дії (ККД) фотоелектричних модулів, адже надмірне нагрівання може призводити до зниження їх продуктивності.

Разом з тим, для досягнення максимальної ефективності використання сонячної енергетики в цьому регіоні необхідно враховувати певні особливості. Зокрема, варто брати до уваги сезонні коливання сонячної радіації: взимку інсоляція суттєво зменшується через коротший світловий день та частіше похмуру погоду, тоді як у літній період сонячна енергія надходить у значно більшій кількості. Також важливі добові зміни інтенсивності сонячного випромінювання - максимальні значення спостерігаються в середині дня, тоді як уранці та ввечері енергії надходить менше.

Не менш важливим є вплив температурних режимів на ККД панелей. Зниження температури навколишнього середовища може підвищувати ефективність сонячних модулів, тоді як висока температура - знижувати. Крім того, потенційні погодні ризики, такі як сильний вітер, сніг, дощ або пил, можуть впливати на роботу та довговічність обладнання.

Враховуючи всі ці фактори, ключовим для сталого розвитку сонячної енергетики в Бучанському районі є застосування сучасних технологій, які адаптовані під кліматичні умови регіону. Це може включати використання панелей з покращеними показниками роботи при змінних температурах, системи моніторингу та автоматичного регулювання, а також заходи з очищення поверхонь модулів. Такий узагальнений підхід дозволить ефективно використовувати природні умови району та сприятиме зростанню виробництва чистої енергії.

2.2 Аналіз температурно-вологого режиму та сонячної інсоляції в районі досліджень

Температурно-вологісний режим та сонячна інсоляція є ключовими кліматичними факторами, що визначають природні умови розвитку екосистем, а також впливають на різноманітні галузі господарської діяльності, зокрема сільське господарство, лісове господарство та урбаністичне планування. Бучанський район, розташований у північно-західній частині Київської області, характеризується специфічним кліматичним режимом, що формується під впливом географічного положення, рельєфу та розподілу опадів.

Бучанський район розташований у північно-західній частині Київської області України. Географічні координати центру району приблизно становлять 50°33' пн. ш. та 30°15' сх. д. Район знаходиться в межах

Дніпровсько-Донцівської рівнини, яка характеризується переважно рівнинним рельєфом із незначними підвищеннями, середня висота над рівнем моря - близько 150 м.

Таблиця 2.4 - Географічні характеристики Бучанського району [18]

Показник	Значення
Географічна широта	50°33' пн. ш.
Географічна довгота	30°15' сх. д.
Висота над рівнем моря	140–160 м
Відстань до Києва	25 км
Рельєф	Рівнинний
Тип клімату	Помірно-континентальний

Відстань від райцентру до столиці України, міста Києва, складає приблизно 25 км, що визначає певний вплив урбанізованої агломерації на мікрокліматичні умови території. Район межує із Києвом на сході, що створює умови для формування так званого міського теплового острова в прилеглих зонах.

Клімат Бучанського району належить до помірно-континентального типу з чітко вираженими сезонами: холодна зима, тепле літо, м'яка весна та осінь. Формування клімату зумовлене комплексом факторів, зокрема географічним положенням, впливом атлантичних циклонів, континентальних антициклонів, а також рельєфом і рослинністю.

Основними характеристиками клімату є середньорічна температура повітря, розподіл опадів, сезонна мінливість вологості, а також рівень сонячної інсоляції. Всі ці показники мають суттєве значення для агроєкосистем, природних ландшафтів і соціально-економічного розвитку району.

Таблиця 2.5. Основні кліматичні характеристики Бучанського району
[19]

Показник	Середнє значення
Середньорічна температура, °С	+7,8
Середня температура січня, °С	-5,8
Середня температура липня, °С	+19,5
Середньорічна кількість опадів, мм	590
Максимум опадів у літні місяці, мм	250
Відносна вологість повітря, %	70–85 (зима), 60–70 (літо)
Середня тривалість сонячного сяйва, год/рік	1200–1350

Температурний режим є одним із компонентів клімату Бучанського району, що належить до зони помірно-континентального клімату з чітко вираженою сезонністю. Загалом, температура повітря демонструє суттєві коливання протягом року, що зумовлено географічним розташуванням району на межі між помірними широтами та впливом континентальних і морських повітряних мас.

Зима характеризується стабільним похолоданням, при якому середньомісячні температури січня становлять від -5 до -7 °С. В цей період поширені сильні морози, що можуть досягати -20 °С у холодні антипольні хвилі. Сніговий покрив формується у другій половині листопада і зберігається в середньому протягом 70–90 днів, до початку березня, що забезпечує достатню ґрунтову ізоляцію від морозів і впливає на гідрологічний режим. Наявність снігу також підтримує баланс вологості в зимовий період і є важливим фактором для багатьох біологічних процесів.

Літній період характеризується теплими умовами, зі середньомісячними температурами липня у межах +18,5-20,0 °С. Водночас, у спекотні роки не рідкістю є підвищення денних температур до +30-35 °С, що створює умови теплового стресу для рослинності та населення. Літні температури зумовлюють активний розвиток біологічних процесів, фотосинтезу та швидкий кругообіг речовин у екосистемах.

Весняно-осінні періоди відзначаються поступовим підвищенням або зниженням температури відповідно, з інтенсивними температурними

коливаннями в межах декількох градусів за добу, що впливає на фенологію рослин і активність фауни.

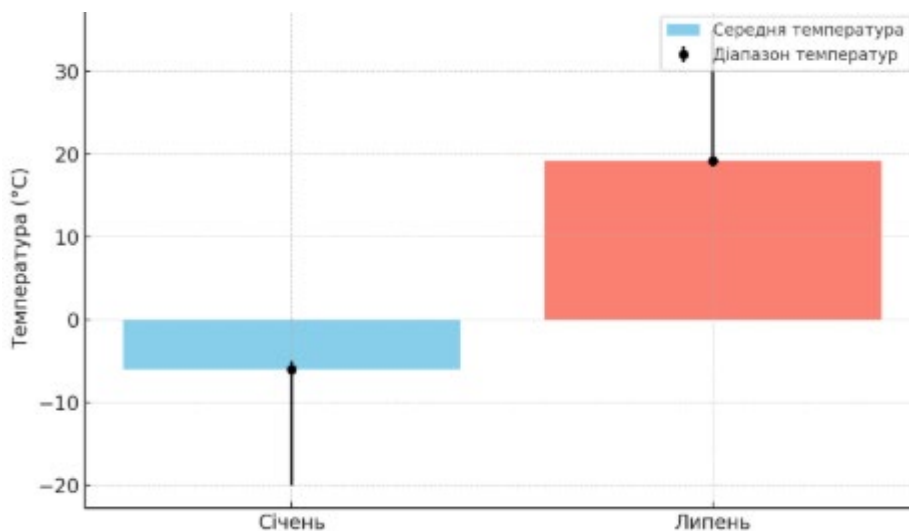


Рисунок 2.5 - Середні та екстремальні температури зимового (січень) і літнього (липень) періодів [19]

Вологісний режим у районі досліджень визначається балансом опадів та випаровування, що зумовлює наявність певного гідротермічного режиму. Середньорічна кількість опадів у Бучанському районі становить приблизно 550–650 мм, із максимумом у літні місяці (червень-серпень), коли випадає близько 40–50 % від загальної річної кількості.

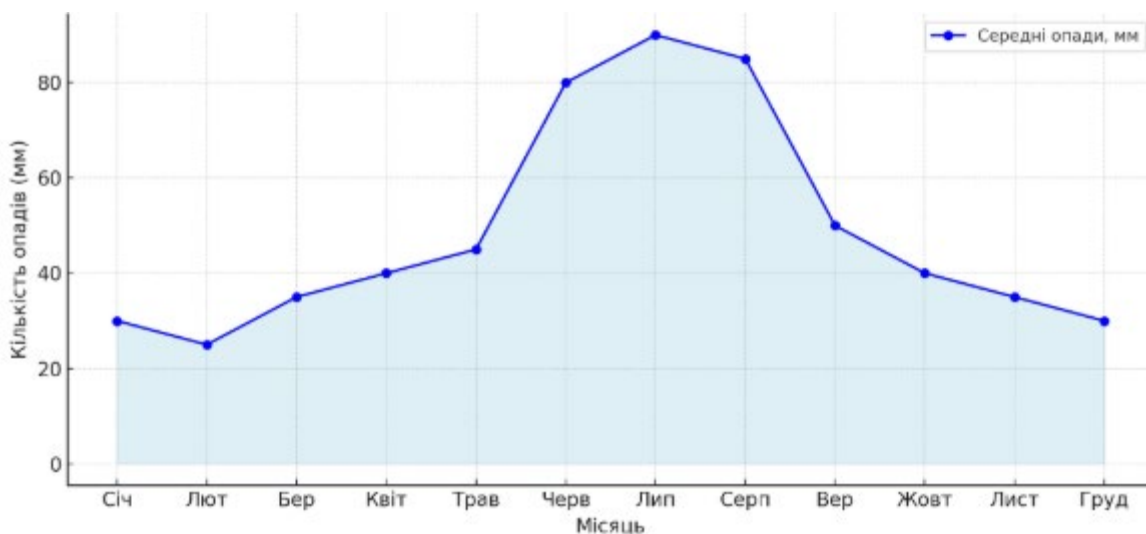


Рисунок 2.6 -Середньомісячний розподіл опадів у Бучанському районі [19]

Розподіл опадів протягом року нерівномірний: зимовий період характеризується переважно сніговими опадами, які відіграють важливу роль у формуванні ґрунтової вологи на початку весняного сезону. Весна та осінь характеризуються помірною кількістю дощів, що сприяє забезпеченню рослинності вологою у періоди активного росту.

Відносна вологість повітря варіюється в межах 60–85 %, при цьому найвищі показники спостерігаються у зимовий період, а найнижчі - у літній, що пов'язано з підвищеною температурою та інтенсивністю випаровування. Вологісний режим впливає на природні екосистеми району, зокрема лісові масиви, а також визначає потреби сільськогосподарських культур у зрошенні. Літні зливи забезпечують основне поповнення ґрунтової вологи, що є критично важливим для сільського господарства, забезпечуючи умови для нормального розвитку сільськогосподарських культур. Зимові опади переважно у вигляді снігу, що має значний вплив на формування снігового покриву і захист рослин від морозів.

Весняний період відзначається відносною посушливістю, що пояснюється більшою кількістю сонячних днів та підвищеним випаровуванням. Восени кількість опадів знову зростає, але вони переважно мають дощовий характер. Нерівномірність розподілу опадів іноді викликає періоди тимчасових посух або надмірної вологості, що може негативно впливати на агроекосистеми.

Найбільш інтенсивна інсоляція спостерігається у літні місяці, коли тривалість світлового дня сягає 16 годин і більше, а середньодобова кількість сонячних годин становить від 5 до 6. У холодну пору року інсоляція суттєво знижується через короткий світловий день, більшу хмарність і часті опади. Взимку середньодобова кількість сонячних годин може бути меншою за 2-3, що призводить до зниження фотосинтетичної активності та сповільнення біологічних процесів.

Розташування Бучанського району у безпосередній близькості від Києва створює додаткові умови для формування локального мікроклімату під

впливом урбанізації. Міський тепловий острів Києва проявляється підвищенням температур у нічний час на 1-2 °С порівняно з навколишніми сільськими територіями.

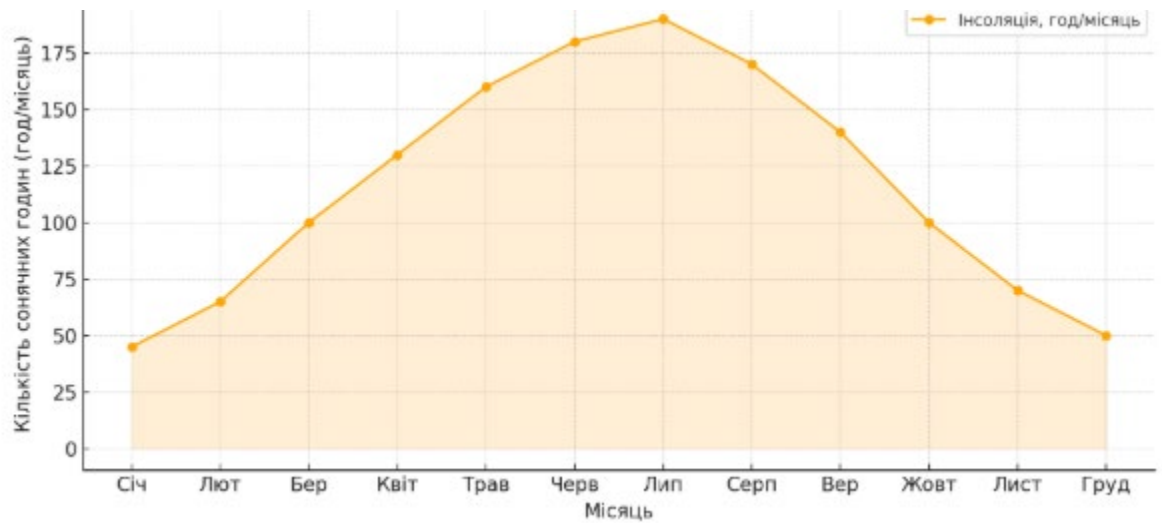


Рисунок 2.6 - Сонячна інсоляція в Бучанському районі протягом року [19]

Також спостерігається тенденція до зниження відносної вологості повітря через інтенсифікацію випаровування в умовах більш теплих температур і зниження рослинного покриву на урбанізованих територіях. Зменшення кількості туманів і зміна структури атмосферних аерозолів також є типовими проявами міського впливу.

Ці зміни мають значний вплив на умови проживання населення, стан здоров'я, а також на екологічний стан природних територій, особливо у перехідних зонах між міською забудовою і природними екосистемами.

Температурно-вологісний режим і сонячна інсоляція визначають основні екологічні параметри розвитку рослинних і тваринних угруповань Бучанського району. Наприклад, оптимальні температури і рівень вологості сприяють формуванню типових лісостепових біоценозів із домінуванням листяних порід дерев, тоді як зміни кліматичних параметрів можуть призводити до деградації або зміни видового складу.

Рельєф Бучанського району представлений переважно рівнинною місцевістю, що є частиною Поліської низовини. Територія характеризується слабохвилястим рельєфом із незначними абсолютними висотами - переважно в межах 150–200 метрів над рівнем моря. Такий рельєф сприяє рівномірному поширенню повітряних мас, що зумовлює відносну стабільність мікрокліматичних умов у межах району.

У південній частині зустрічаються окремі підвищення, які формують вододіли між невеликими річками, притоками Ірпеня, зокрема річками Буча та Рокач. Річкові долини та зниження рельєфу часто акумулюють вологу, створюючи умови для формування болотистих ділянок і локального підвищення вологості повітря.

Загалом, рівнинний рельєф у поєднанні з наявністю водотоків та зелених масивів (особливо у північній частині району) сприяє формуванню комфортного природного середовища для життя населення, ведення сільського господарства й розвитку рекреаційного потенціалу території.

Аналіз температурно-вологісного режиму та сонячної інсоляції в Бучанському районі свідчить про чітко виражену сезонність кліматичних умов, характерну для помірно-континентального клімату.

Опади розподілені нерівномірно, із річною сумою близько 550–650 мм та максимумом у літні місяці (до 50 % від загальної кількості), що впливає на вологість повітря, водний баланс ґрунтів і гідрологічний режим річок. Таке співвідношення температур і опадів формує специфічний гідротермічний режим, важливий для функціонування природних і аграрних екосистем.

Таким чином, отримані результати відображають стабільний кліматичний режим району, який, попри локальні коливання, забезпечує сприятливі умови для життя населення, ведення сільського господарства та впровадження енергоощадних і екологічно сталих технологій.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Загальна характеристика технічних і експлуатаційних параметрів об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є складське приміщення загальною площею 1985,55 м², розташоване в селі Капітанівка Бучанського району Київської області. Вибір саме цього об'єкта зумовлений необхідністю оптимізації енергоспоживання в умовах підвищення вартості традиційних енергоресурсів, а також прагненням до впровадження сучасних технологій з використанням альтернативних джерел енергії. Складське приміщення функціонує як логістичний центр для зберігання різноманітних товарів і матеріалів, що вимагає забезпечення стабільних мікрокліматичних умов і підтримки технічного обладнання в робочому стані.

Нижче наведено основні технічні та експлуатаційні параметри об'єкта, які були визначені в процесі попереднього технічного огляду і збору даних (табл.3.1).

Таблиця 3.1 - Технічні параметри будівлі

Параметр	Значення	Одиниці виміру	Примітки
Загальна площа приміщення	1985,55	м ²	Площа внутрішньої поверхні
Висота приміщення	7,5	м	Від підлоги до стелі
Конструктивна система	Монолітний залізобетонний	—	Каркас будівлі
Тип зовнішніх стін	Теплоізоляційні панелі	—	З утепленням
Матеріал даху	Металочерепиця	—	З додатковим утепленням
Тип вікон	Подвійне скління	—	Енергозберігаючі вікна
Теплоізоляція будівлі	0,25	Вт/(м ² · К)	Тепловтрати через огорожуючі конструкції

Будівля виконана із застосуванням сучасних будівельних матеріалів, які забезпечують достатній рівень теплоізоляції, що є одним із важливих факторів для мінімізації тепловтрат і, відповідно, зменшення енергоспоживання. Конструктивні особливості об'єкта включають монолітний залізобетонний каркас, зовнішні стіни з теплоізоляційними панелями, дах із металочерепиці з додатковим утепленням, а також сучасні віконні системи із подвійним склінням.

Експлуатаційні параметри об'єкта визначаються режимом роботи складського комплексу, який передбачає безперервний або періодичний режим функціонування систем освітлення, вентиляції, опалення та іншого технологічного обладнання. З огляду на призначення будівлі, значна частина споживаної електроенергії припадає на освітлення великої площі, роботу механізованих засобів підйому і транспортування вантажів, а також на підтримання оптимального температурного режиму всередині приміщення.

Таблиця 3.2. - Експлуатаційні параметри [20]

Параметр	Значення	Одиниці виміру	Примітки
Режим роботи освітлення	12 годин на добу	год	Денний робочий час
Режим роботи вентиляції	Безперервний	год	24/7
Температурний режим	+15...+22	°C	В залежності від пори року
Середнє споживання електроенергії	120 кВт·год/добу	кВт·год	За даними попереднього обліку
Номінальна напруга електромережі	380	В	Трифазна мережа

Важливо зазначити, що існуюча система електропостачання складається з мережі розподільних щитів, які забезпечують безперебійне живлення обладнання з урахуванням ступеня навантаження та режимів роботи окремих підсистем.

Одним із ключових аспектів аналізу енергоспоживання складського приміщення є детальний опис основних систем, що споживають

електроенергію в об'єкті. Такий аналіз дозволяє визначити структуру споживання, виділити найбільш енергоємні компоненти та обґрунтувати подальші заходи з підвищення енергоефективності, у тому числі впровадження альтернативних джерел енергії.

Першою і найбільш значущою складовою енергоспоживання є система освітлення. У сучасних складських приміщеннях, зокрема в досліджуваному об'єкті, застосовані енергозберігаючі світлодіодні (*LED*) світильники, які забезпечують рівномірне й ефективне освітлення всієї площі складу. Використання *LED* -технологій є доцільним з огляду на їхню високу енергоефективність, тривалий термін експлуатації та можливість регулювання інтенсивності світла. Загальна встановлена потужність освітлювального обладнання складає близько 20 кВт, що враховує як постійні, так і змінні режими роботи впродовж доби. Враховуючи площу приміщення та режим функціонування освітлення, ця система формує значну частку від загального енергоспоживання об'єкта.

Другим важливим елементом є система примусової вентиляції, яка призначена для підтримання оптимального мікроклімату всередині складського приміщення. Вентиляція забезпечує необхідний повітрообмін, що допомагає збереженню товарів та матеріалів, а також створює комфортні умови для персоналу. Середня потужність вентиляційного обладнання на даному об'єкті становить приблизно 10 кВт. Вентиляційні системи, як правило, функціонують безперервно, що зумовлює значні витрати електроенергії протягом усього часу експлуатації складу.

Третім компонентом енергоспоживання є система опалення. У холодний період року для підтримки необхідного температурного режиму застосовується електричне опалення. Потужність опалювального обладнання складає близько 30 кВт. Використання електричного опалення, попри свою зручність і ефективність у плані швидкого нагріву, є енергоємним процесом і суттєво впливає на загальне споживання електроенергії, особливо в зимові місяці.

Останнім за величиною споживачем є підйомно-транспортне обладнання, що включає електричні навантажувачі, конвеєрні лінії та інші механізми для переміщення вантажів у межах складу. Загальна встановлена потужність такого обладнання складає близько 25 кВт. Ця група споживачів характеризується періодичним режимом роботи залежно від інтенсивності складських операцій.

Для більш наочного представлення розподілу основних електроспоживачів за потужністю наведена у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 -Розподіл встановленої потужності основних систем енергоспоживання об'єкта [20]

№	Система	Встановлена потужність	Відсоток від загальної потужності	Примітки
1	Освітлення	20 кВт	23,5 %	Енергозберігаючі LED-світильники
2	Вентиляція	10 кВт	11,8 %	Безперервний режим роботи
3	Опалення	30 кВт	35,3 %	Електричне опалення в холодний період
4	Підйомно-транспортне обладнання	25 кВт	29,4 %	Електричні навантажувачі, конвеєри
	Всього	85 кВт	100 %	

Як видно з таблиці, найбільшу частку у структурі електроспоживання займає система опалення (понад 35 %), що є характерним для об'єктів у регіонах з помірно-континентальним кліматом, де опалювальний сезон має значну тривалість. Освітлення та підйомно-транспортне обладнання також суттєво впливають на загальні енергетичні витрати (рис.3.1).

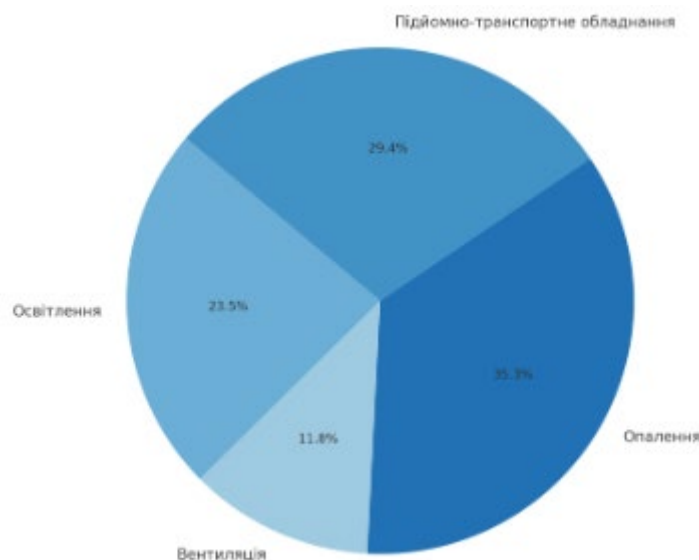


Рисунок 3.1 - Структура встановленої потужності основних систем енергоспоживання складського приміщення [21]

При цьому вентиляційна система споживає порівняно менше електроенергії, проте її робота є безперервною, що має враховуватися при плануванні енергозберігаючих заходів.

Розподіл питомої потужності за системами дозволяє пріоритетно визначити напрямки для впровадження альтернативних джерел енергії або підвищення ефективності систем. Опалення може бути частково замінене на більш економічні технології, освітлення - на більш інтелектуальні системи керування, а транспортне обладнання - на модернізовані електроприводи з кращими показниками енергоспоживання.

Для більш об'єктивної та кількісної оцінки енергоспоживання об'єкта застосовується метод питомої потужності, який дозволяє стандартизовано визначити середнє споживання електроенергії на одиницю площі складського приміщення. Цей метод є широко використовуваним у енергетичному аудиті та дозволяє порівнювати ефективність енергоспоживання різних об'єктів незалежно від їх розміру.

Комплексний аналіз основних систем енергоспоживання та розрахунок питомої потужності забезпечують науково обґрунтовану базу для подальшого дослідження можливостей застосування альтернативних джерел енергії в складському приміщенні села Капітанівка.

Для забезпечення більш точного аналізу споживання електроенергії на об'єкті було здійснено попередній розрахунок на основі методу питомої потужності, який дозволяє оцінити середнє споживання енергії на одиницю площі складського приміщення. Цей метод базується на стандартизованих нормативах і фактичних показниках експлуатації технічних систем, що дає змогу виявити потенційні резерви економії та обґрунтувати доцільність застосування альтернативних джерел енергії.

4 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВСТАНОВЛЕННЯ PV-ПАНЕЛЕЙ

4.1. Визначення енергетичних потреб та потенціалу генерації сонячної енергії

Проектування системи сонячної генерації для складського приміщення потребує всебічної оцінки як потреб об'єкта в електроенергії, так і потенціалу сонячної енергії, доступної у конкретному географічному регіоні. Такий підхід дає змогу визначити оптимальну конфігурацію та масштаб фотовольтаїчної (PV) системи, орієнтованої на часткову або повну компенсацію річного споживання електроенергії.

Розрахунки базуються на детальному аналізі фактичних характеристик об'єкта, включаючи його площу, режим експлуатації інженерних систем, сезонну варіативність навантажень та функціональне призначення. Також враховано кліматичні умови регіону, зокрема показники сонячної інсоляції, що мають вирішальне значення при оцінці річної енерговіддачі фотоелектричних панелей. У регіоні дослідження спостерігається сприятливий рівень сонячного випромінювання, що дозволяє ефективно використовувати дахові або наземні PV-рішення з орієнтацією на південь і кутом нахилу, наближеним до оптимального.

З урахуванням технологічних характеристик сучасних фотоелектричних модулів та типових показників питомої площі, що необхідна для встановлення 1 кВт потужності, сформовано орієнтовні просторові вимоги до розміщення системи. Також визначено, що доступна територія об'єкта дозволяє реалізувати інсталяцію фотовольтаїчної (PV) системи без істотних обмежень.

Узагальнені результати попереднього технічного аналізу наведено нижче у вигляді табличних даних, що дозволяють оперативно зіставити вхідні

параметри та проектні розрахунки в контексті подальшого техніко-економічного обґрунтування впровадження фотоелектричних систем.

Таблиця 4.1 - Основні параметри проєктування сонячної електростанції для складського приміщення [22]

Параметр	Опис / Значення	Одиниці виміру / Примітка
<u>Площа об'єкта</u>	<u>1985,55</u>	<u>м²</u>
<u>Річне електроспоживання (мін.– макс.)</u>	<u>87 600 – 120 000</u>	<u>кВт·год/рік</u>
<u>Середнє електроспоживання (опінене)</u>	<u>103 800</u>	<u>кВт·год/рік</u>
<u>Середня денна інсоляція (горизонтальна поверхня)</u>	<u>3,2 – 3,6</u>	<u>кВт·год/м²/доба</u>
<u>Середня денна інсоляція (оптимальний кут/орієнтація)</u>	<u>3,8 – 4,2</u>	<u>кВт·год/м²/доба</u>
<u>Річна генерація 1 кВт PV-потужності</u>	<u>1100 – 1250</u>	<u>кВт·год/кВтвст.</u>
<u>Необхідна встановлена потужність PV-системи</u>	<u>≈ 86,5</u>	<u>кВт</u>
<u>Рекомендована потужність для компенсації</u>	<u>86 – 90</u>	<u>кВт</u>
<u>Питома площа встановлення 1 кВт потужності</u>	<u>6 – 8</u>	<u>м²/кВт</u>
<u>Загальна орієнтовна площа для монтажу панелей</u>	<u>≈ 630</u>	<u>м²</u>
<u>Можливі варіанти розміщення</u>	<u>Дах будівлі, прилегла земельна ділянка</u>	<u>—</u>
<u>Кліматична зона об'єкта</u>	<u>Помірно-континентальний</u>	<u>Київська обл. (Центральна Україна)</u>

Результати узагальненого технічного аналізу свідчать про те, що впровадження сонячної електростанції потужністю 86–90 кВт є технічно доцільним і повністю відповідає енергетичним потребам складського приміщення. Отримані розрахунки демонструють можливість повної компенсації середньорічного електроспоживання за рахунок сонячної генерації за умови оптимального розташування та орієнтації фотогальванічних модулів..

Наявність достатньої площі для інсталяції панелей, а також сприятливі кліматичні умови регіону забезпечують високий рівень потенційної

енерговіддачі. Таким чином, застосування фотоелектричної системи у даному випадку є не лише обґрунтованим з технічної точки зору, але й перспективним з огляду на енергоефективність і довгострокову економічну доцільність.

4.2 Технічні характеристики та оптимізація конфігурації фотоелектричної системи

У сучасному світі розвиток нових джерел енергії стає пріоритетом для забезпечення майбутнього. Сонячна енергетика відіграє ключову роль у процесі, пропонуючи екологічно чисті та ефективні рішення для генерації електроенергії. Компанія *JinkoSolar*, лідер світового ринку сонячних панелей, пропонує інноваційні продукти, що поєднують передові технології і високу надійність.

Одна з найпопулярніших моделей — *JinkoSolar JKM580N – 72HL4 – BDV* потужністю 580 Вт (з можливим збільшенням до 725 Вт). Ця панель є прикладом передових технологій у сонячній енергетиці, поєднуючи декілька інноваційних рішень.

Дана панель оснащена двосторонніми сонячними осередками (144 елементи, 72 на передній та 72 на задній стороні), що дозволяє генерувати електроенергію не лише за прямого сонячного світла, але й за рахунок відбитого світла з поверхні, на якій встановлено панель. Це дає середній приріст потужності близько 10% порівняно зі звичайними односторонніми панелями.

Особливо ефективним є застосування спеціальних відбивних покриттів на землі або дахах, що може збільшити загальну потужність до 725 Вт, підвищуючи ефективність до 25%. Така технологія значно розширює можливості використання панелей у різних умовах, як у наземних сонячних електростанціях, так і на дахах будівель.

Панель має ступінь захисту *IP68*, що означає абсолютний захист від пилу та проникнення води навіть при тривалому зануренні. Це робить її ідеальним рішенням для експлуатації у складних кліматичних умовах - від посушливих регіонів до вологих і пилових середовищ.

Міцна конструкція також забезпечує стійкість до механічних пошкоджень, що підвищує довговічність та стабільність роботи пристрою протягом усього терміну служби.

Сонячна панель *JinkoSolar JKM580N – 72HL4 – BDV* – це високотехнологічне обладнання, яке поєднує передові рішення у сфері сонячної енергетики. Завдяки високій ефективності, інноваційним технологіям та надійності вона забезпечує стабільне та довгострокове виробництво електроенергії. Ця модель ідеально підходить для сучасних сонячних систем, що прагнуть максимізувати продуктивність і знизити експлуатаційні витрати.

Вибір цієї панелі підтверджує прагнення до інновацій та екологічної сталості, а її технічні характеристики детально наведені в табл. 4.2.

Результативність використання відбитих сонячних променів для генерації додаткової електроенергії залежить від альбедо поверхні - її здатності до відбивання (табл. 4.3).

Стрінг у контексті сонячної енергетики - це ланцюг послідовно з'єднаних сонячних панелей, які об'єднуються для формування більш потужного сонячного масиву або фотоелектричного поля, здатного генерувати електроенергію. Така послідовна конфігурація панелей дозволяє підвищити напругу вихідного сигналу системи, що є фактором у забезпеченні ефективного перетворення сонячної енергії.

Таблиця 4.2. – Характеристики панелей

Характеристики:	Данні
Макс. потужність (P_{max})	580(725)Вт
Макс., напруга живлення (V_{mp})	43,88В
Макс., сила струму (I_{mp})	13,22А
Напруга холостого ходу (V_{oc})	52,50В
Струм короткого замикання (I_{sc})	13,95А
Ефективність STC (%)	22,45%
Тип комірки	монокристалічний N-тип
Кількість осередків	144 (72x2)
Фронтальне скло	2.0 мм, антивідблискове покриття
Заднє скло	2.0 мм, термозміцнене скло
Захист розподільчої коробки	IP68
Клас вибухозахисту	Клас II
Тип пожежної безпеки IEC	Клас C
Вихідні кабелі	4,0 мм ² (+): 400 мм, (-): 200 мм або індивідуальна довжина
Максимальна напруга системи	1500 В постійного струму (IEC)
Максимальний номінал запобіжника серії	30 А
Номінальна робоча температура комірки - NOCT	45±2 °C
Коефіцієнт біфазності	80±5 %
Рамка	анодований алюмінієвий сплав
Робоча температура	-40°C ~ +85°C
Розміри	2278 x 1134 x 30 мм
Вага	31 кг

Таблиця 4.3 - Різні варіанти поверхонь, їхнє альбедо та прогнозований приріст генерації

Тип поверхні	Альбедо	Приріст генерації
Вода	5-8%	4-6%
Зелена трава	15-25%	7-9%
Бетон/білий гравій	25-35%	8-10%
Сухий пісок	35-45%	10-15%
Старий сніг	40-70%	15-22%
Відбиваюче покриття	80-90%	23-25%
Свіжий сніг	80-95%	25-30%

Паралельне з'єднання стрінгових панелей передбачає підключення кількох стрінгів до спільних позитивного та негативного провідників. Цей спосіб з'єднання має низку переваг, зокрема, він сприяє збільшенню загального струму, що надходить із системи, а також підвищує відмовостійкість. Якщо одна панель або стрінг виходить з ладу або зазнає затінення, інші елементи продовжують працювати без суттєвих втрат у продуктивності. Окрім цього, паралельне з'єднання полегшує розширення системи - до неї можна легко додавати нові панелі або стрінги.

Проте паралельне з'єднання має і свої недоліки. Зокрема, можливе виникнення «невідповідності напруг» при нерівномірному затіненні панелей у одному стрінгу, що може призводити до зниження ефективності системи. Також важливо враховувати максимальний струм, який здатен пропускати інвертор, оскільки перевищення цих значень може спричинити пошкодження обладнання.

Практичне застосування паралельного з'єднання характерне для систем із підвищеним струмом, наприклад, у випадках живлення потужних електроприладів. Розрахунок загального струму при паралельному з'єднанні здійснюється шляхом сумування струмів окремих панелей. Якщо, наприклад,

у стрінгу є шість панелей, кожна з яких виробляє 13,22 ампер, то загальний струм буде 79,32 ампер.

Варто також зазначити, що при затіненні навіть однієї панелі у стрінгу продуктивність усієї ланки значно знижується, що негативно впливає на загальну потужність масиву. Для формування більш потужних фотоелектричних систем кілька стрінгів можуть бути з'єднані між собою у вигляді PV масиву, що дозволяє масштабувати виробництво електроенергії відповідно до потреб.

Принцип роботи таких систем полягає у тому, що кожна сонячна панель генерує постійний струм, який згодом інвертор перетворює у змінний струм для подальшого використання у електромережі. Завдяки комбінуванню послідовних і паралельних з'єднань стрінгів і масивів забезпечується оптимальна робота сучасних сонячних електростанцій.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

5.1 Розрахунок витрат енергії

У процесі проєктування будь-яких об'єктів, що потребують електропостачання, одним із важливих завдань є визначення необхідної потужності освітлювальної системи. Для цього часто застосовується метод питомої потужності, який є простим і водночас ефективним інструментом для попередніх розрахунків споживання електроенергії освітлювальними приладами. Метод питомої потужності дозволяє орієнтовно оцінити сумарну електричну потужність, необхідну для забезпечення нормативного рівня освітленості у приміщенні або на території, виходячи з площі об'єкта і встановлених норм освітлення.

Суть методу полягає у використанні усереднених показників питомої потужності, які розраховані на основі аналізу великої кількості готових об'єктів та типових умов їх експлуатації. Питома потужність виражається у ватах на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$) і характеризує кількість електроенергії, що споживається на одиницю площі для підтримання необхідного рівня освітлення. Використання таких усереднених значень дозволяє суттєво спростити процес проєктування, уникаючи складних розрахунків для кожного окремого світильника чи приміщення.

Для застосування методу спочатку визначається площа приміщення, що освітлюватиметься. У наведеному прикладі площа становить $1985,55 \text{ м}^2$ - це значення отримано шляхом аналізу плану приміщення (рис. 1.1), де чітко позначено межі площі. Наступним кроком є вибір нормативної питомої потужності для обраного типу світильників. Цей показник береться з таблиць, які містять стандартизовані значення питомої потужності для різних типів освітлювальних приладів та різних умов експлуатації.

Крім того, у розрахунках використовується коефіцієнт запасу, який враховує можливі непередбачені втрати, коливання напруги, зниження ефективності освітлювального обладнання з часом, а також певні технологічні і експлуатаційні фактори. Значення цього коефіцієнта зазвичай приймається у межах від 1,2 до 1,5, і у прикладі використано 1,3.

Обчислення встановленої потужності (P_v) здійснюється за формулою:

$$P_v = P_o \times S \times K_{\text{зап}}, \text{ де}$$

- P_o — питома потужність ($\text{Вт}/\text{м}^2$),
- S — площа приміщення (м^2),
- $K_{\text{зап}}$ — коефіцієнт запасу,
- n — кількість світильників.

Підставивши конкретні значення, отримуємо:

$$P_v = 7 \times 1985,55 \times 1,3400 = 45,17 \text{ кВт}$$

У цьому розрахунку $7 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - усереднене значення питомої потужності для обраного типу світильника, $1985,55 \text{ м}^2$ - площа приміщення, $1,3$ - коефіцієнт запасу, а 400 - кількість світильників. Додатково враховано $0,6 \text{ кВт}$ - витрати електроенергії комп'ютерною технікою, що також є важливим елементом енергоспоживання об'єкта.

Загалом, сумарна встановлена потужність освітлювальної системи разом із електроприладами становить $45,77 \text{ кВт}$. Цей показник є орієнтовним і дозволяє визначити мінімальні технічні характеристики обладнання, яке потрібно встановити для забезпечення комфортних і нормативних умов освітлення.

Метод питомої потужності широко застосовується у проєктуванні не лише комерційних чи адміністративних будівель, але й виробничих цехів, навчальних закладів, торгових площ, де ефективність і економія електроенергії є важливими критеріями. Такий підхід дозволяє оперативноотримати необхідні технічні дані, що полегшує подальше планування електропостачання та вибір освітлювальних приладів.

Важливо відзначити, що метод питомої потужності є приблизним і вимагає додаткових уточнень при детальному проєктуванні. Його застосування особливо корисне на початкових етапах, коли потрібно швидко оцінити масштаб необхідних ресурсів. У подальшому можуть бути використані більш точні методи, що враховують конкретні параметри світильників, режим їх роботи, особливості приміщення, а також розподіл освітленості. Метод питомої потужності є ефективним інструментом для розрахунку потреби в електроенергії, який базується на аналізі статистичних даних і нормованих значень. Це забезпечує баланс між точністю і зручністю використання, що робить його незамінним у процесі проєктування сучасних систем електропостачання.

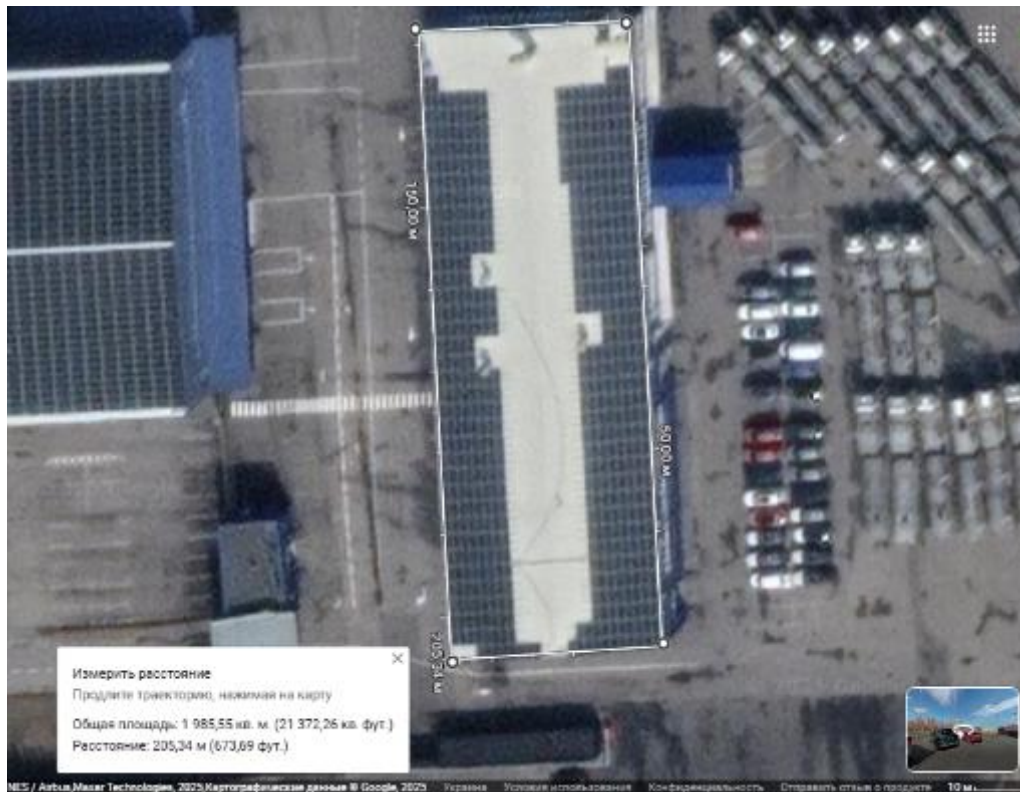


Рисунок 5.1 – Розташування панелей

У розділі наведено детальний аналіз розрахунку електричних параметрів та конфігурації фотоелектричної системи на основі заданих технічних характеристик і енергоспоживання об'єкта. Першочергово, для визначення

сили струму у системі використовується базова формула, що пов'язує потужність, напругу та струм:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{45770}{600} = 76,3 \text{ A}$$

де I - сила струму в амперах (А), P - потужність у ватах (Вт), U - напруга у вольтах (В). У наведеному прикладі з потужністю $P=45770$ Вт і номінальною напругою системи $U = 600$.

Для подальшого планування системи розраховується оптимальна кількість панелей в одному стрінгу. Використовуючи максимальну робочу напругу панелі $V_{mp} = 43,88$ В, кількість панелей $N_{пан}$ визначається за формулою:

$$N_{пан.} = \frac{P_B}{V} = \frac{600}{43,88} = 13,99 = 14 \text{ шт}$$

Це значення гарантує, що робоча напруга стрінгу буде близькою до номінальної напруги системи, забезпечуючи ефективну та безпечну роботу фотоелектричної установки.

Враховуючи технічні характеристики панелей, де максимальна сила струму $I_{mp} = 13,22$ А, а номінальна потужність однієї панелі становить 580 Вт, переходять до аналізу місячного споживання електроенергії. Припустивши місячне споживання 45770 кВт·год, середньодобову тривалість сонячного сяйва - 5 годин, та коефіцієнт корисної дії системи (ККД) 1,38, обчислюють необхідну потужність:

$$P_H = \frac{P}{5 * 30} * ККД = \frac{45770}{5 * 30} * 1,38 = 421,07$$

Далі визначають необхідну кількість панелей для генерації такої потужності:

$N_{\text{пан}} = 421,07580 \approx 0,72$, що приблизно відповідає одній панелі. З урахуванням ККД системи коригують значення: $1 \times 11,38 \approx 1,25$, що також підтверджує необхідність встановлення принаймні однієї панелі для забезпечення базових енергетичних потреб.

Загальний струм фотомасиву обчислюють, виходячи з кількості стрінгів і струму одного стрінгу:

$$U_{\text{заг}} = L * 6 = 13,22 * 6 = 79,32 \text{ A}$$

де 6 — орієнтовна кількість стрінгів, що обрана з урахуванням максимальної сили струму системи (76,3 А).

Відповідно, загальна кількість панелей дорівнює:

$$N_{\text{заг}} = N_{\text{пан.}} * N_{\text{стрінг}} = 14 * 6 = 84 \text{ панелей}$$

Проведені розрахунки є попередніми і базуються на методі питомої потужності для складського приміщення площею 1985,55 м². Метод дозволяє, спираючись на усереднені показники питомої потужності (7 Вт/м²), кількість світильників, 400 та коефіцієнт запасу, 1,3, визначити орієнтовне навантаження на систему - 45,17 кВт, яке з урахуванням додаткового навантаження комп'ютерної техніки, 0,6 кВт становить 45,77 кВт.

Визначена сила струму, 76,3 А і напруга системи, 600 В слугують основою для вибору інвертора і проектування кількості стрінгів сонячних панелей. На підставі технічних характеристик обраних панелей, 580 Вт, $V_{\text{mp}} = 43,88 \text{ В}$, $I_{\text{mp}} = 13,22 \text{ А}$) оптимальна довжина стрінга встановлена у 14 панелей. Це забезпечує робочу напругу стрінга близько 614 В, що відповідає технічним вимогам.

Узагальнюючи, конфігурація із 6 стрінгів по 14 панелей кожен (загалом 84 панелі) повністю забезпечує потребу у потужності 45,77 кВт, враховуючи ККД системи 1,38 та середню тривалість сонячного освітлення 5 годин на добу. Такий запас дозволяє компенсувати вплив погодних умов і втрати в системі, забезпечуючи надійне та стабільне електропостачання об'єкта.

Таким чином, наведені формули та розрахунки є базисом для проектування ефективної фотоелектричної системи, що відповідає технічним нормам і вимогам експлуатації. Подальші етапи передбачають детальне опрацювання схем підключення, вибір інверторів та систем моніторингу, що забезпечать безперебійну роботу сонячної електростанції.

При проектуванні приватної сонячної електростанції середньої та великої потужності особливу увагу слід приділяти оптимальному способу підключення сонячних панелей між собою, та підключення до інвертора. Вибір схеми підключення має суттєвий вплив на річну продуктивність станції, оскільки від цього залежить ефективність генерації електроенергії. Особливо гостро це питання постає у випадках, коли площа для розміщення панелей обмежена, і доводиться орієнтувати панелі відносно півдня, що може призводити до нерівномірного освітлення і, відповідно, нерівномірної роботи окремих модулів [2].

Існує три основні варіанти підключення сонячних панелей у єдиний сонячний масив:

- послідовне підключення;
- паралельне підключення;
- послідовно-паралельне підключення.

При послідовному підключенні мінусовий клем першої панелі з'єднується з плюсовим клемом другої панелі, мінусовий клем другої - з плюсовим клемом третьої, і так далі. У разі послідовного підключення напруга в ланцюзі підсумовується, а струм у ньому дорівнює струму тієї панелі, яка має найнижче значення струму. Через це дуже важливо, щоб усі панелі у стрінгу були ідентичними, тобто мали однакові технічні характеристики, походили від одного виробника та поставлялися однією партією. Навіть незначне відхилення параметрів однієї панелі може суттєво знизити загальну продуктивність усього стрінгу. Крім того, необхідно, щоб панелі у стрінгу були орієнтовані в одному напрямку для забезпечення однакових умов освітлення.

Паралельне підключення сонячних панелей має іншу логіку: напруга на виході кожної панелі при цьому підключенні дорівнює напрузі всього сонячного масиву, тоді як струми від усіх панелей сумуються. Такий тип підключення збільшує загальний струм, але напруга залишається на рівні однієї панелі. Паралельне підключення підходить для систем із низькою напругою, де потрібно збільшити вихідний струм.

Найпоширенішим і найбільш оптимальним варіантом у практичних проєктах є послідовно-паралельне підключення. Ця схема поєднує переваги обох попередніх методів: дозволяє збільшувати як напругу, так і струм, не піднімаючи при цьому надмірно напругу системи. Послідовно-паралельне підключення здійснюється шляхом формування кількох послідовних стрінгів з однаковою кількістю панелей, які потім підключаються паралельно один до одного.

Важливо дотримуватися технічних умов: напруга паралельно з'єднаних стрінгів не повинна відрізнятись більш ніж на 5%. Також необхідно, щоб кількість панелей у кожному паралельному стрінгу була однаковою. Наприклад, неправильно з'єднувати в паралель стрінги, які складаються з різної кількості панелей, скажімо, одного зі 7 панелей, а іншого - з 8. Така різниця призведе до нерівномірного розподілу струмів і потенційних пошкоджень або зниження ефективності всієї системи (рис.5.2).

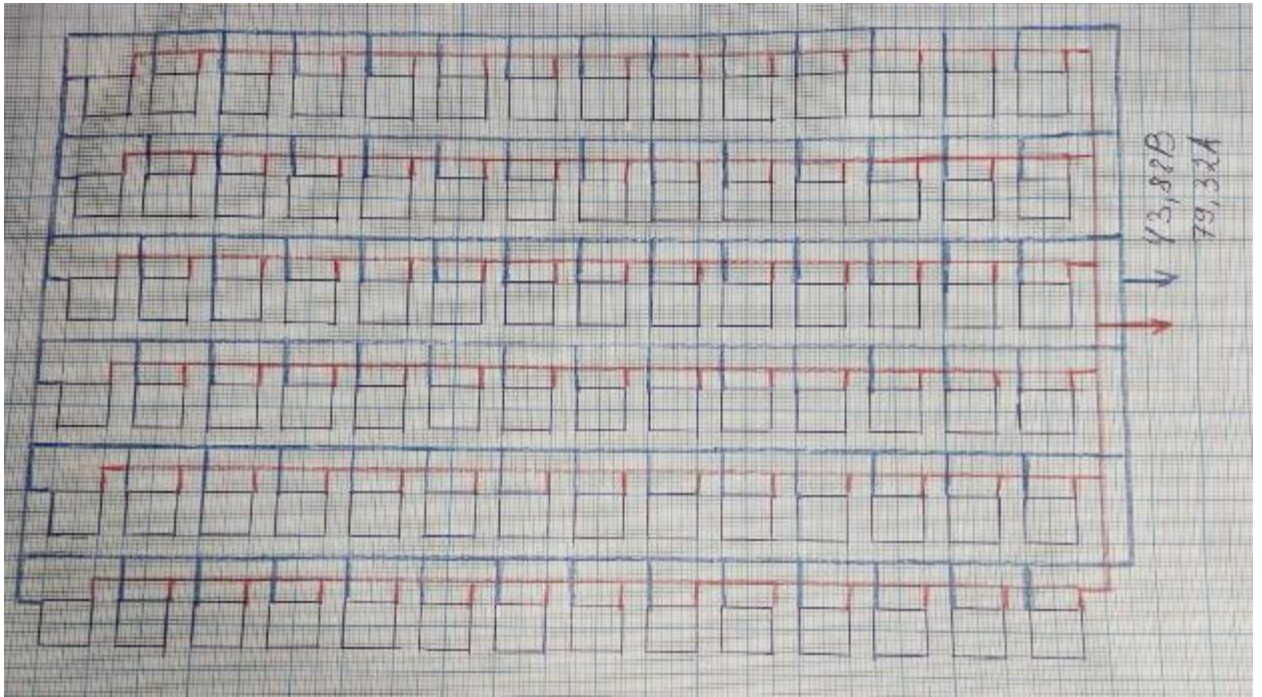


Рисунок 5.2 - Схема паралельного підключення сонячних панелей [24]

Отже, вибір схеми підключення сонячних панелей є критично важливим етапом проєктування сонячної станції. Від правильності цього вибору залежить не лише максимальна потужність та надійність системи, але й її довготривала стабільність роботи, особливо в умовах обмежених площ для розміщення модулів та нерівномірного сонячного освітлення. Рациональне застосування послідовного, паралельного або послідовно-паралельного підключення дозволяє оптимізувати роботу станції, підвищити її енергетичну віддачу і забезпечити ефективне використання наявних ресурсів.

5.2 Схема роботи сонячної електростанції

Основним компонентом сонячної електростанції є фотомодулі, які здійснюють безпосереднє перетворення сонячного випромінювання у постійний електричний струм. Вони виготовлені з напівпровідникових матеріалів, здатних генерувати електрони при поглинанні фотонів.

Розміщення панелей може бути як на дахах будівель, так і на спеціальних наземних опорах чи каркасах, що дозволяє максимізувати інсоляцію та підвищити ефективність генерації. Ключовим параметром є потужність кожного модуля, а також електричні характеристики - напруга та струм при максимальній потужності, які впливають на загальну продуктивність станції. Для підвищення надійності рекомендується використовувати панелі однієї моделі і виробника, що забезпечує однорідність параметрів та знижує ризик зниження генерації.

Інвертор виконує функцію перетворення постійного струму, виробленого сонячними панелями, у змінний струм, який використовується побутовими та промисловими електроприладами. Крім того, інвертор відповідає за синхронізацію напруги та частоти з електричною мережею, що забезпечує стабільну та безпечну інтеграцію сонячної станції. В системі використовується гібридний інвертор потужністю 50 кВт, який здатний працювати як у мережевому режимі, так і автономно, забезпечуючи безперервне живлення при відсутності зовнішньої мережі.

Контролер заряду виконує важливу функцію захисту акумуляторних батарей (якщо такі використовуються) від перезаряду і глибокого розряду, що продовжує їх ресурс і підвищує безпеку експлуатації. Сучасні контролери оснащені функцією відстеження точки максимальної потужності, що дозволяє максимально ефективно використовувати енергію, генеровану панелями. У більшості випадків у гібридних системах контролер заряду інтегрується безпосередньо в інвертор, що спрощує конструкцію та підвищує надійність.

Перемикач забезпечує можливість перемикання між різними джерелами живлення - мережею, інвертором або акумуляторами. Це важливо для підтримання безперервного електропостачання в разі перебоїв або аварійних ситуацій. Крім того, перемикач дозволяє ізолювати сонячну систему під час технічного обслуговування чи ремонту, що підвищує безпеку персоналу та надійність роботи обладнання.

Ці пристрої призначені для захисту електричної системи від аварійних станів, таких як перевантаження, короткі замикання або перегрів. Вони автоматично розривають електричний ланцюг у випадку небезпечної ситуації, запобігаючи пошкодженню обладнання та знижуючи ризик пожежі. Запобіжники та вимикачі встановлюються на кожному стрінгу сонячних панелей, а також на основному вводі/виводі системи.

DC combiner box — це пристрій, який об'єднує декілька стрінгів сонячних панелей у один загальний вихід постійного струму. Він оснащений захисними пристроями, такими як пристрої захисту від перенапруги (ПЗП), автоматичні вимикачі або запобіжники, що забезпечує надійний захист кожного стрінгу. Цей комплекс також виконує функції централізованого управління та безпечної інтеграції сонячних панелей з інвертором. Лічильник служить для обліку електроенергії, що виробляється, споживається та віддається у загальну мережу. Це важливо для взаєморозрахунків із постачальниками електроенергії, особливо у випадках, коли застосовується «зелений тариф» або інші механізми підтримки відновлюваної енергетики. Для таких систем використовуються двонаправлені лічильники, які можуть вести облік електроенергії у двох напрямках - на споживання та на віддачу.

Трансформаторна підстанція служить для перетворення напруги відповідно до вимог електромережі - пониження або підвищення напруги, що забезпечує оптимальне електропостачання для споживачів. У схемі сонячної електростанції КТП забезпечує інтеграцію системи в локальну або магістральну мережу з напругою 10/0,4 кВ, а також дозволяє віддавати надлишки виробленої електроенергії в загальну мережу, що підвищує економічну ефективність проєкту.

Кабелі забезпечують передачу електроенергії між усіма компонентами системи: від сонячних панелей до інвертора, далі - до розподільних щитів та трансформаторної підстанції. Для підбору кабелю враховують номінальну напругу, максимальний струм, довжину лінії та умови монтажу, щоб мінімізувати втрати електроенергії та забезпечити безпеку експлуатації.

Використання якісного мідного кабелю з відповідним перерізом є обов'язковим для стабільної та довготривалої роботи системи.

При проектуванні сонячної електростанції насамперед важливим етапом є правильний вибір інвертора, який відповідає заданим потужностним і технічним вимогам системи. Для розглядуваної станції було визначено загальну необхідну потужність у 45,77 кВт (45770 Вт), що є основним критерієм при підборі обладнання.

З урахуванням цього показника було обрано гібридний інвертор потужністю 50 кВт (50000 Вт), що з урахуванням запасу потужності забезпечує стабільну роботу системи навіть при пікових навантаженнях. Напруга інвертора становить 48 В, що є типовим для систем з акумуляторним живленням і дозволяє ефективно працювати з сучасними літій-іонними батареями.

Даний гібридний інвертор призначений для трифазного живлення, що робить його ідеальним рішенням як для приватних будинків середнього і великого розміру, так і для комерційних або промислових об'єктів із високими вимогами до стабільності електропостачання. Трифазна система забезпечує більш рівномірне розподілення навантаження, знижує втрати і підвищує загальну ефективність енергопостачання.

Інвертор перетворює постійний струм (DC), отриманий від сонячних панелей, у змінний струм (AC) з чистою синусоїдою, що відповідає вимогам стандартів електропостачання та безпеки для побутових і промислових приладів. Завдяки цьому забезпечується якісне і безперебійне живлення різних типів електропристроїв без ризику пошкодження чи втрати ефективності.

Одна з ключових переваг гібридного інвертора - підтримка роботи з акумуляторними батареями, що дозволяє використовувати систему не лише у мережевому режимі, а й автономно. Це забезпечує резервне живлення у разі відключення основної електромережі, підвищуючи надійність електропостачання і дозволяючи уникнути простоїв.

Інвертор оснащений кількома *MPPT* -контролерами, що забезпечують максимальне використання потенціалу сонячних панелей за різних умов освітленості. Кожен контролер відстеження максимальної точки потужності (*MPPT*) незалежно визначає оптимальні параметри роботи свого стрінгу сонячних панелей, що підвищує загальну ефективність системи. Вибір моделі гібридного інвертора 48 В, 50 кВт базується на необхідності отримати потужне, надійне та гнучке рішення, здатне ефективно працювати у трифазній мережі, з підтримкою автономної роботи та можливістю інтеграції в існуючу електромережу. Таке рішення підходить для об'єктів з високими вимогами до потужності, що потребують як виробництва, так і збереження електроенергії.

Цей інвертор оптимально поєднує в собі функції перетворення, контролю та захисту, що дозволяє суттєво підвищити надійність, довговічність та продуктивність сонячної електростанції в цілому (додаток А).

Для ефективного керування зарядом акумуляторів у сонячній електростанції було обрано сучасний контролер заряду з системою відстеження максимальної потужності моделі *MPPT-T-100A* виробництва *Demuda*. Цей пристрій є ключовим елементом системи, що забезпечує оптимальне використання доступної сонячної енергії та подовжує термін служби акумуляторних батарей.

Контролер не тільки оптимізує процес заряджання, а й забезпечує адаптивне керування у різних режимах роботи акумуляторів, з урахуванням їх хімічного складу та технічних параметрів.

Вбудований РК-дисплей забезпечує зручний інтерфейс для перегляду основних параметрів системи - напруги, струму, стану заряду, температури та інших робочих характеристик.

Для віддаленого моніторингу контролер оснащено інтерфейсом *RS485*, що дозволяє підключення до персонального комп'ютера або бездротових адаптерів *Bluetooth/Wi-Fi*. Це дає можливість оперативно контролювати роботу системи та проводити її діагностику, що особливо важливо для великих або віддалених об'єктів.

Пристрій має вбудовані захисти від перевантаження струму, короткого замикання, а також захист від переполюсовки. Використання датчика температури забезпечує температурну компенсацію процесу заряджання, що сприяє продовженню терміну служби акумуляторів.

Завдяки високому ККД, широкій сумісності з різними типами акумуляторів, розширеним функціям моніторингу та системам захисту, MPPT-контролер заряду *Demuda MPPT – T – 100A* є оптимальним вибором для побудови автономних та гібридних сонячних електростанцій середньої і великої потужності. Він гарантує максимальне використання сонячної енергії, захищає батареї від передчасного зносу та забезпечує стабільну і безпечну роботу всієї системи.

Запобіжники та автоматичні вимикачі є основними елементами захисту будь-якої електричної системи, що забезпечують надійність та безпеку роботи обладнання. Вони виконують важливу функцію запобігання аварійних ситуацій, пов'язаних із перевантаженнями або короткими замиканнями, які можуть спричинити вихід з ладу електронної техніки, пошкодження проводки або навіть пожежі. Запобіжники, або плавкі запобіжники, працюють за принципом миттєвого розриву електричного ланцюга у разі перевищення допустимого струму. Це відбувається завдяки спеціальному плавкому елементу, який при виникненні перевантаження нагрівається та розплавляється, розриваючи ланцюг і перешкоджаючи подальшому проходженню електричного струму. Такий пристрій забезпечує ефективний захист обладнання, однак має суттєвий недолік - він призначений для одноразового використання. Після спрацювання запобіжника необхідно замінити його новим елементом, що інколи може викликати незручності, особливо у складних або важкодоступних електричних системах.

На відміну від запобіжників, автоматичні вимикачі є більш гнучкими і зручними у використанні пристроями. Вони також реагують на перевантаження і короткі замикання, однак їх можна повторно вмикати після усунення причини аварії. Автоматичні вимикачі застосовують складніші

механізми, зокрема теплові і електромагнітні тригери, які розривають ланцюг при перевищенні допустимого струму. Після спрацювання вони не потребують заміни деталей - достатньо вручну або автоматично повернути важіль у робоче положення. Це робить їх ідеальним рішенням для захисту великих і складних електричних мереж, де швидкість відновлення живлення має важливе значення. Автоматичні вимикачі використовуються як у побуті, так і в промисловості, забезпечуючи безперебійну роботу електроустановок і знижуючи ризик виходу з ладу дорогої апаратури.

Основна відмінність між цими двома типами захисних пристроїв полягає у можливості повторного використання. Запобіжники перегорають і їх потрібно замінювати, тоді як автоматичні вимикачі після спрацювання можна просто увімкнути знову. Запобіжники найчастіше застосовуються для захисту окремих електропристроїв або дрібних ділянок мережі, тоді як автоматичні вимикачі покривають більш масштабні ділянки, забезпечуючи комплексний захист цілих будинків, офісів або виробничих підприємств. Вони є необхідним елементом безпеки, адже своєчасне розмикання електричного ланцюга запобігає не тільки поломкам обладнання, а й усуває загрозу пожежі, що виникає при перегріві проводки.

У сучасних гібридних електроенергетичних системах, які інтегрують сонячні панелі, акумулятори і традиційну мережу, для ефективного керування джерелами живлення використовують спеціальні перемикачі. Один із найбільш поширених і надійних варіантів - ручний перемикач навантаження *GEYA GYHO8 2P*, який дозволяє безпечно і просто переключатися між двома джерелами електроживлення або двома групами навантажень. Він виконує відразу кілька функцій: вмикає, вимикає, ізолює та переключає живлення, що робить його надзвичайно корисним для побутових, комерційних і промислових систем електроживлення.

Зазвичай, для стандартного перемикання між двома джерелами живлення застосовують схему, де вхідні дроти підключаються знизу, а вихідні - зверху, хоча можливі й інші варіанти підключення залежно від особливостей

монтажу. Такий перемикач ідеально підходить для резервних систем живлення, гібридних електростанцій, де інтегруються сонячні батареї, акумулятори і мережеві джерела, а також для промислових ланцюгів, де потрібна надійність і безперебійність електропостачання.

Завдяки простоті монтажу і експлуатації, а також широкому діапазону робочих параметрів, *GEYA GYH08 2P* став популярним рішенням, що поєднує в собі функціональність, безпеку та довговічність. Це дає змогу ефективно керувати потоками електроенергії, швидко реагувати на зміну умов живлення і забезпечувати безперебійну роботу обладнання в різних режимах.

Таким чином, запобіжники, автоматичні вимикачі та перемикачі є фундаментальними складовими сучасних електричних систем. Вони гарантують захист і керування електроенергією, що особливо важливо у системах, які поєднують традиційну електромережу з відновлюваними джерелами енергії. Завдяки цим пристроям забезпечується не тільки стабільність і безпека роботи, а й зручність експлуатації та технічного обслуговування. Це особливо актуально для гібридних систем, де постійне перемикання між різними джерелами живлення вимагає надійних і довговічних рішень.

Запобіжник *AGU 80 A ACV 30.3900 – 80* є надійним та ефективним елементом захисту електричних ланцюгів від перевантажень і коротких замикань. Це плавкий запобіжник типу AGU, який застосовується переважно у системах постійного або змінного струму середньої потужності. Він широко використовується в різних сферах - від автомобільної електрики до побутових приладів і сонячних енергосистем, де потрібен стабільний захист високострумів ділянок.

Запобіжник розрахований на номінальний струм 80 ампер, що дозволяє йому ефективно захищати потужні електричні кола, зокрема сонячні стрінги (ланцюги послідовно з'єднаних фотоелементів), інвертори, акумуляторні батареї та кабелі живлення. Основною перевагою цього запобіжника є його конструкція: корпус виконаний зі спеціального загартованого скла, яке

прозоре і міцне. Завдяки цьому можна візуально контролювати стан плавкої вставки - чи вона ціла або перегоріла. Це дуже зручно під час технічного обслуговування, оскільки дозволяє швидко виявити несправність без розбирання пристрою.

Контактні частини та провідникова вставка покриті сріблом, що забезпечує низький електричний опір і високу теплопровідність. Це сприяє ефективному розсіюванню тепла під час роботи, а також подовжує термін служби запобіжника. Простота конструкції, надійність і висока швидкодія розриву струму у випадку несправності роблять цей запобіжник надійним захисним компонентом. Компактні розміри і стандартне виконання дозволяють легко інтегрувати його в електричні щити, особливо у системах сонячної енергетики та автомобільних електросистемах із високим навантаженням.

Використання запобіжника *AGU 80 A* обов'язковим у захисних контурах сонячних електростанцій, оскільки він запобігає загорянню та виходу з ладу дорогого обладнання через перевищення струму в ланцюгу. Надійний захист гарантує стабільну і безпечну роботу всієї електросистеми.

Розподільна коробка *TOMZN PV CombinerBox* є важливим компонентом фотоелектричних систем, призначеним для захисту та централізованого підключення елементів сонячної установки. Вона оснащена одним входом і одним виходом, що робить її ідеальним рішенням для невеликих або середніх систем з однією стрінговою лінією сонячних панелей.

Коробка призначена для роботи з постійною напругою до 600 В, що відповідає стандартним параметрам більшості сучасних сонячних модулів. Це дозволяє безпечно підключати і захищати фотомодулі, підтримуючи їхню ефективну роботу у складних експлуатаційних умовах.

Для забезпечення комплексного захисту електросистеми, *TOMZN PV CombinerBox* оснащена трьома ключовими захисними елементами:

MCB (автоматичний вимикач) — виконує захист від перевантажень і коротких замикань. При перевищенні допустимого струму він автоматично розмикає ланцюг, запобігаючи пошкодженню обладнання.

SPD (пристрій захисту від перенапруги/блискавкозахист) — призначений для захисту системи від імпульсних перенапруг, які можуть виникати під час грозових розрядів або інших електричних збурень. *SPD* швидко відводить надлишкову напругу, оберігаючи електроніку.

Плавкий запобіжник - забезпечує локальний захист окремих ділянок ланцюга. Він є останньою ланкою безпеки, що перериває струм у разі аварії.

Зовнішній корпус коробки виготовлений із міцного матеріалу та має ступінь захисту IP65. Це означає, що пристрій повністю захищений від пилу і води, що робить його придатним для встановлення на відкритому повітрі або в умовах підвищеної вологості. Така конструкція гарантує довговічність і стабільність роботи системи навіть у складних погодних умовах.

Компактність і надійність конструкції *TOMZN PV CombinerBox* забезпечують швидкий і простий монтаж, а також зручне підключення кабелів, що істотно полегшує технічне обслуговування і експлуатацію сонячної електростанції (рис.5.3).

Характеристика Комбінованого щита із захистом від блискавки, сонячна фотоелектрична система, Додаток Б.



Рисунок 5.3 - Схема підключення комплекту захисту

Таблица 5.1. Розрахунок довжини кабелю (груба оцінка)[25]

Позиція	Розрахунок	Загальна довжина, м
Відстань між панелями в ряду	1,2 м	
Кількість з'єднань на 1 стрінг	13	
Довжина кабелю на 1 стрінг	$13 \times 1,2 \text{ м}$	15,6
Кількість стрінгів	6	
Загальна довжина кабелю між панелями	$15,6 \text{ м} \times 6$	93,6
Відстань від кожного стрінга до інвертора	середня 15–20 м (візьмемо 20 м для розрахунку)	
Кабель для 6 стрінгів (2 жили на стрінг)	$6 \times 2 \times 20 \text{ м}$	240
Відстань від інвертора до лічильника	приблизно 25 м	25
Відстань від лічильника до КТП	приблизно 30 м	30
Примітка: Кабель ведеться двома жилами (плюс і мінус), тому довжини множаться на 2		

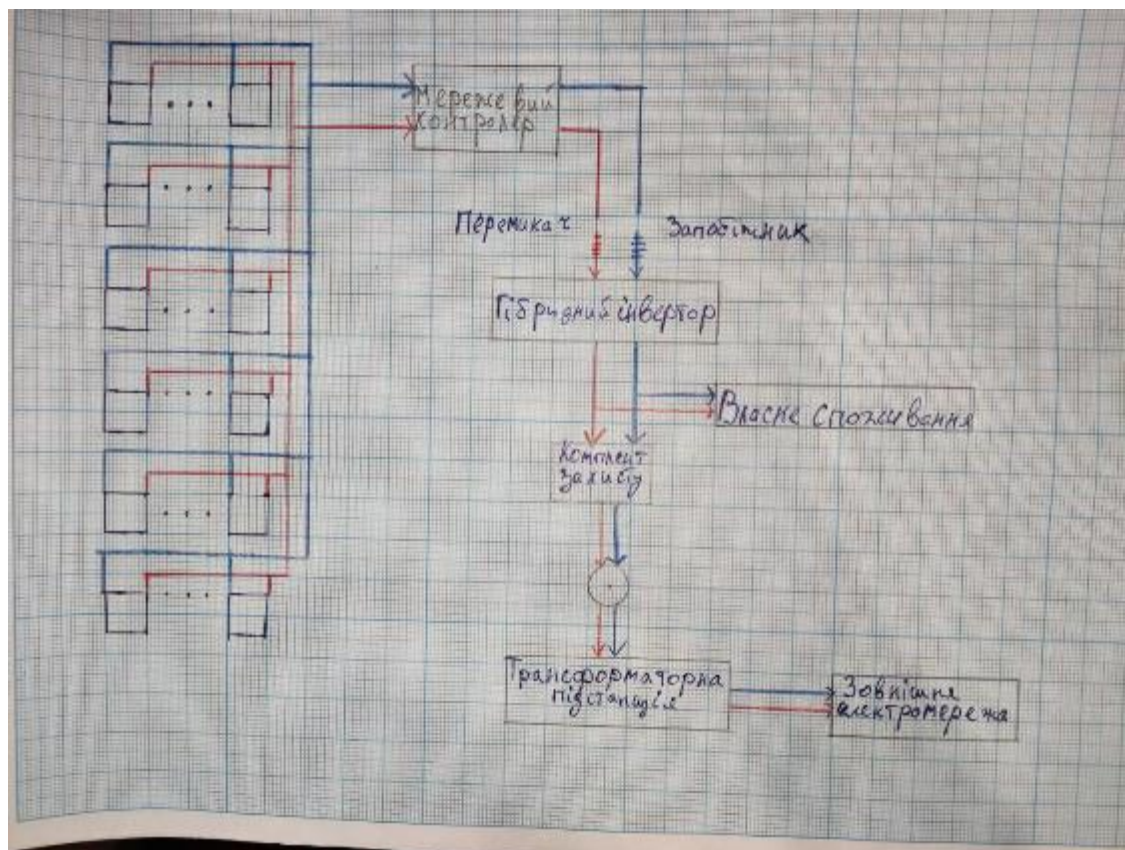


Рисунок 5.4 - Схема системи сонячних панелей

Комплектна трансформаторна підстанція КТП 2к – 630 є ключовим елементом енергетичної інфраструктури, що забезпечує ефективне та безпечне живлення електричних споживачів. Основна її функція полягає у перетворенні високої напруги 6 або 10 кВ до робочої напруги 0,4 кВ, придатної для промислових та побутових мереж. При цьому підстанція прохідного типу з одно трансформаторним виконанням передбачає простий та зручний спосіб приєднання до мережі, що значно спрощує монтаж і обслуговування. Враховуючи кліматичні та географічні умови експлуатації, КТП 2к – 630 здатна працювати у широкому температурному діапазоні від -40 до +40 градусів Цельсія та на висоті до 1000 метрів над рівнем моря, що свідчить про її надійність та універсальність в різних регіонах.

Одним із найважливіших аспектів роботи підстанції є наявність комплексної системи захисту, яка гарантує безпеку експлуатації, захищаючи обладнання від пошкоджень і запобігаючи аварійним ситуаціям. Зокрема, захист від коротких міжфазних замикань забезпечує оперативне відключення у випадку пошкоджень лінії, що є критичним для запобігання пожежам та пошкодженню трансформаторів. Захист від атмосферних перенапруг важливий для мінімізації ризиків, пов'язаних із зовнішніми факторами, такими як блискавки або інші імпульсні перенапруги, які можуть пошкодити електрообладнання. Також у комплектній трансформаторній підстанції реалізовано захист від замикань і перевантажень у низьковольтній мережі напругою 0,4 кВ, що забезпечує стабільність і безперервність енергопостачання навіть при виникненні локальних несправностей у ланцюгах освітлення або обігріву. Газовий захист трансформатора є додатковим важливим елементом безпеки, який моніторить стан внутрішнього середовища трансформатора, фіксує небезпечні стани і автоматично реагує для попередження катастрофічних наслідків.

Не менш значущим компонентом системи є комплект захисту, що використовується у складі розподільної коробки *TOMZN PV CombinerBox* для сонячних електростанцій. Ця коробка виконує функцію централізованого об'єднання струмів від фотомодулів у єдиний вихідний канал до інвертора, що забезпечує надійність і стабільність роботи системи. Наявність у ній автоматичних вимикачів, пристроїв захисту від перенапруг та плавких запобіжників гарантує комплексний захист як від перевантажень і коротких замикань, так і від імпульсних перенапруг, характерних для сонячних установок. Завдяки ступеню захисту IP65, корпус коробки захищає обладнання від пилу і вологи, що дозволяє встановлювати її в різних умовах, навіть на відкритому повітрі, збільшуючи надійність роботи системи в цілому.

Важливим аспектом при проектуванні будь-якої електричної системи є правильний вибір і розрахунок кабельної продукції. В нашому випадку, розрахунок довжин кабелів для сонячної електростанції показує, що загальна

довжина кабелю між панелями стрінга сягає близько 93,6 метрів, а для шести стрінгів це вже близько 240 метрів кабелю для підключення до інвертора. Окремо необхідно врахувати кабелі для підключення інвертора до лічильника і далі до трансформаторної підстанції, що додає ще приблизно 55 метрів. Всі ці показники є важливими для забезпечення ефективної передачі електроенергії з мінімальними втратами і безпекою роботи електричних ланцюгів.

Використання якісних запобіжників, таких як *AGU 80 A* від *ACV*, що мають високу надійність і здатність ефективно переривати струм при аваріях, є обов'язковою умовою для захисту від перевантажень і коротких замикань у високострумових колах сонячних установок, інверторів та акумуляторів. Їх прозорий корпус дозволяє легко контролювати стан пристрою візуально, що сприяє оперативному виявленню несправностей і швидкому обслуговуванню.

Таким чином, комплектна трансформаторна підстанція типу 2к-630 у поєднанні із сучасними захисними пристроями та правильно спроектованими кабельними ланцюгами утворює надійну, ефективну і безпечну систему електропостачання як для промислових, так і для сонячних енергетичних установок. Впровадження комплексних заходів захисту і правильний підбір компонентів є ключовими факторами для забезпечення стабільної роботи обладнання, продовження терміну його служби і мінімізації ризиків аварійних ситуацій. Всі ці аспекти є фундаментом для створення сучасних автономних і гібридних електричних систем, які відповідають найвищим стандартам безпеки та.

5.3 Порівняльний аналіз екологічного впливу сонячних панелей та традиційних джерел енергії

У межах оцінки ефективності впровадження сонячних панелей для забезпечення енергетичних потреб адміністративно-торгівельної будівлі в селі Капітанівка доцільно враховувати не лише техніко-економічні характеристики запропонованої енергосистеми, але й екологічні аспекти, що мають суттєвий вплив на сталий розвиток території. З огляду на актуальність проблеми зміни клімату, скорочення викидів парникових газів є одним із пріоритетних завдань для енергетики XXI століття. У зв'язку з цим у роботі проведено порівняльний аналіз екологічного навантаження різних джерел енергії на навколишнє середовище, зокрема шляхом оцінки викидів діоксиду вуглецю при виробництві електроенергії.

Відомо, що саме CO_2 є основним парниковим газом, викиди якого мають безпосередній вплив на глобальне потепління та зміну клімату. Згідно з аналітичними даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, удільні викиди вуглекислого газу при генерації 1 кіловат-години електроенергії суттєво різняться залежно від типу джерела енергії. Найвищі показники характерні для вугілля – 820 грамів CO_2 на кожен вироблений кВт • год, мазут забезпечує дещо нижчий рівень – 650 кВт • год, тоді як природний газ має показник 490 г/кВт • год. Для порівняння, сучасні фотоелектричні системи, засновані на сонячній енергії, продукують лише близько 41 г CO_2 /кВт • год, що в 15–20 разів менше, ніж традиційні викопні види палива.

Такий суттєвий розрив у рівні викидів пояснюється насамперед природою технологічного процесу. У той час як виробництво електроенергії на теплових електростанціях супроводжується спалюванням викопного палива з вивільненням великої кількості вуглецю, сонячні електростанції не мають подібних процесів під час експлуатації. Основне екологічне навантаження у випадку фотоелектричних установок припадає лише на етап

виробництва та монтажу обладнання, після чого енергогенерація відбувається без суттєвих викидів.

Таким чином, застосування сонячної енергетики дозволяє не лише зменшити витрати на енергоспоживання у довгостроковій перспективі, але й істотно знизити антропогенне навантаження на довкілля. Порівняно з традиційними джерелами енергії, сонячні панелі демонструють найкращі екологічні показники, що є додатковим аргументом на користь їх інтеграції у енергетичну інфраструктуру населених пунктів.

Згідно з даними Міжурядової панелі зі зміни клімату, удільні викиди вуглекислого газу для різних джерел енергії мають наступні значення.

вугілля – $820 \text{ г} \frac{\text{CO}_2}{\text{кВт}} \cdot \text{год}$, мазут – $650 \text{ г} \frac{\text{CO}_2}{\text{кВт}} \cdot \text{год}$, природний газ – $490 \text{ г} \frac{\text{CO}_2}{\text{кВт}} \cdot \text{год}$, сонячна енергетика – $41 \text{ г} \frac{\text{CO}_2}{\text{кВт}} \cdot \text{год}$.

Таким чином, сонячні панелі генерують електроенергію з викидами парникових газів, що у 10–20 разів менші, ніж у викопних джерел.

Таблиця 5.2. Розрахунок річних викидів [26]

Джерело енергії	Удільні викиди, $\text{г CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{год}$	Річні викиди, т CO_2
Вугілля	820	328,77
Мазут	650	260,61
Природний газ	490	196,46
Сонячні панелі	41	16,44

5.3.1 Екологічна ефективність переходу на сонячну енергетику

Заміна традиційних джерел енергії сонячною електростанцією потужністю 45,77 кВт дозволяє досягти наступного річного скорочення викидів CO_2 :

- порівняно з вугіллям – 312,3 т (95,0%),
- порівняно з мазутом – 244,2 т (93,7%),

- порівняно з газом – 180,0 т (91,6%).

Однією з ключових переваг сонячної енергетики є її довгострокова стабільність та екологічна безпечність у процесі експлуатації. Термін служби сучасних фотоелектричних модулів становить у середньому 25–30 років, протягом яких забезпечується стабільна генерація електроенергії без додаткових викидів парникових газів або інших забруднювальних речовин. Завдяки цьому сонячні панелі класифікуються як одне з найбільш чистих джерел енергії з точки зору експлуатаційного впливу на навколишнє середовище.

Важливим екологічним показником є так званий період «вуглецевої окупності» - час, протягом якого сонячна панель компенсує ті обсяги викидів CO_2 , які були спричинені її виробництвом, транспортуванням та монтажем. Залежно від регіону встановлення та типу панелей, цей період варіюється від одного до чотирьох років. Після завершення цього етапу вся подальша генерація електроенергії відбувається фактично без додаткового вуглецевого сліду, що робить технологію повністю кліматично нейтральною протягом 20-25 років її активної експлуатації.

Крім того, варто зазначити, що з технологічним прогресом у сфері переробки фотоелементів, що завершили свій життєвий цикл, знижується і потенційне екологічне навантаження на етапі утилізації. Таким чином, сонячні панелі не лише відповідають вимогам екологічної сталості, а й формують нову модель енергоспоживання, орієнтовану на низьковуглецеве майбутнє.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна дійти висновку, що використання сонячних панелей як основного джерела електропостачання для адміністративно-торговельних будівель, таких як об'єкт у селі Капітанівка, має беззаперечні екологічні переваги. Зниження річних викидів CO_2 у десятки разів порівняно з традиційними джерелами енергії свідчить про потужний позитивний ефект на довкілля. У поєднанні з високою енергоефективністю, прогнозованими економічними вигодами та можливістю довготривалого автономного функціонування, це створює передумови для активного

впровадження подібних рішень як у комунальному секторі, так і в приватному домогосподарстві.

Отже, перехід до відновлюваної енергетики на основі сонячної генерації є не лише технічно обґрунтованим, а й стратегічно важливим кроком у контексті боротьби зі зміною клімату, зменшення залежності від викопного палива та досягнення цілей сталого розвитку.

Окрім викидів вуглекислого газу, важливими показниками екологічної ефективності є також інші види шкідливих викидів, зокрема тверді частинки, важкі метали, оксиди сірки та азоту, теплове забруднення, водоспоживання та радіоактивність. Усі ці чинники прямо впливають на якість атмосферного повітря, стан екосистем, здоров'я населення та загальний рівень екологічної безпеки.

Викиди твердих частинок є одним із найбільш небезпечних для здоров'я людей видів забруднень. Частинки діаметром до 2,5 мкм можуть проникати в альвеоли легень та навіть потрапляти до кровоносної системи, викликаючи хронічні захворювання дихальних і серцево-судинних систем. Річні викиди таких частинок від вугілля сягають 20,05 кг, від мазуту - 12,03 кг, природного газу - 0,40 кг, тоді як сонячна генерація продукує лише 0,04 кг. Таким чином, використання сонячних панелей дозволяє зменшити викиди *PM2.5* на 99,7–99,8% у порівнянні з викопними джерелами.

Викиди важких металів, зокрема ртуті, свинцю та кадмію, є ще одним серйозним чинником забруднення. Спалювання викопного палива спричиняє накопичення цих речовин у ґрунтах, водних екосистемах та атмосфері. Зокрема, при генерації 400,9 МВт • год електроенергії з вугілля до атмосфери надходить до 4,0 г ртуті, 8,0 г свинцю та 3,2 г кадмію. Для мазуту ці показники трохи нижчі, але все ще суттєві. У разі використання сонячної енергетики ці викиди знижуються до 0,04 г для кожного з елементів, що свідчить про зменшення на 98–99%.

Оксиди сірки та азоту, що утворюються при спалюванні вуглеводневого палива, є головною причиною кислотних дощів та зниження якості

атмосферного повітря. Наприклад, спалювання вугілля призводить до викидів понад 1 т SO_2 і майже 0,5 т NOx щорічно. У випадку сонячної генерації ці викиди фактично нульові — лише 0,0004 т. Отже, сонячна енергетика дозволяє уникнути до 99,9% кислотного забруднення, властивого вихопним електростанціям.

Теплове забруднення — ще один недооцінений, але важливий фактор. Теплові електростанції вивільняють у навколишнє середовище велику кількість надлишкового тепла, що сприяє підвищенню локальних температур і утворенню так званих «теплових островів». Наприклад, вугільна ТЕС спричиняє до 2887 ГДж/рік теплових викидів, тоді як сонячні панелі — лише 0,04 ГДж/рік. Це означає зниження теплового впливу на понад 98%.

Водоспоживання є критично важливим з огляду на дефіцит прісної води. Вугільна електростанція споживає понад 1,5 млн літрів води на рік, мазутна — 1,28 млн л, газова — 0,76 млн л, тоді як сонячні панелі потребують лише близько 8000 л, і то виключно для очищення. Отже, сонячна енергетика дозволяє зекономити до 99,5% води.

Радіоактивність спалювання вугілля також заслуговує на увагу. Попіл вугільних ТЕС містить природні радіоізотопи, зокрема уран і торій, що підвищує радіаційний фон у прилеглих районах. Щорічні викиди радіоактивності становлять понад 40 мкКі для вугільної генерації, тоді як для сонячної — лише 0,4 мкКі, що на 99% менше.

Таблиця 5.3. Різниця у впливі на довкілля при однаковому рівні електрогенерації [26]

Показник	Вугілля	Мазут	Газ	Сонячні панелі
CO_2 (кг/рік)	328 775	260 614	140 331	10 024
$PM_{2.5}$ (кг/рік)	20,1	12,0	0,4	0,04
SO_2 (кг/рік)	1002	722	40	0,4
NOx (кг/рік)	481	361	160	0,4
Теплове забруднення (ГДж)	2887	2726	2165	40
Водопоживання (тис. л)	1524	1283	762	8

Узагальнюючи результати проведеного комплексного порівняльного аналізу екологічного впливу різних джерел енергії, слід зазначити, що сонячна енергетика демонструє беззаперечні переваги над усіма основними видами викопного палива - вугіллям, мазутом і природним газом - практично за всіма ключовими екологічними критеріями. Найважливішим показником є рівень викидів вуглекислого газу, який у випадку використання сонячних панелей зменшується на 92,9-97,0% у порівнянні з тепловими електростанціями. Це має суттєве значення в контексті боротьби зі зміною клімату та реалізації національних і міжнародних кліматичних зобов'язань.

Окрім цього, сонячні панелі дозволяють практично повністю усунути викиди твердих частинок, зокрема фракцій *PM2.5*, зменшуючи їх на понад 99,8% відносно викопного палива. Цей результат є особливо важливим для охорони здоров'я населення, оскільки дрібнодисперсні частинки мають здатність проникати в дихальну систему та викликати тяжкі хронічні захворювання.

Також встановлено, що використання сонячної енергії мінімізує викиди кислототворних компонентів - оксидів сірки та оксидів азоту, що є основними причинами кислотних дощів, деградації ґрунтів і пошкодження флори. За результатами моделювання, їхні обсяги при сонячній генерації знижуються до рівня, близького до нульового. Аналогічна ситуація спостерігається щодо токсичних важких металів, викиди яких у традиційній енергетиці створюють значні ризики забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і водних екосистем. Сонячні панелі дозволяють зменшити ці викиди на понад 98–99%, що має велике екоотоксикологічне значення.

Додатковими перевагами є надзвичайно низьке водоспоживання сонячних установок у порівнянні з тепловими електростанціями, які потребують значних обсягів води для охолодження. Установки на базі фотоелектричних панелей використовують лише 0,5–1% від водних ресурсів, необхідних для роботи ТЕС, що робить їх ідеальними для регіонів із дефіцитом прісної води.

Не менш важливим є зниження теплового та радіаційного забруднення, які також суттєво зменшуються при переході на сонячну генерацію. Надлишкове теплове навантаження, що сприяє утворенню локальних кліматичних аномалій, таких як "міські теплові острови", у випадку сонячної енергетики практично відсутнє. Крім того, радіоактивність золи та шлаків, притаманна вуглеводневим джерелам, зведена до мінімуму.

Таким чином, використання сонячної енергетики виступає не лише економічно доцільним і технологічно ефективним рішенням, але й критично важливим із точки зору забезпечення екологічної безпеки, зниження техногенного навантаження на довкілля, охорони здоров'я населення та реалізації кліматичних стратегій сталого розвитку. У сукупності ці фактори формують міцне науково обґрунтоване підґрунтя для ширшого впровадження технологій відновлюваної енергетики в Україні та світі.

5.4 Період компенсації початкових викидів та енергетичної окупності

Хоча сонячні панелі під час експлуатації виробляють електроенергію практично без шкідливих викидів, їх виробництво потребує певних енергетичних витрат, що спричиняють початкові викиди парникових газів. Оцінка терміну, за який ці викиди компенсуються під час подальшої роботи системи, має важливе значення для комплексного екологічного аналізу. Такий показник називається періодом вуглецевої окупності, і слугує важливим індикатором реальної кліматичної ефективності фотоелектричних технологій.

Сучасні дослідження засвідчують, що сонячні панелі здатні повністю компенсувати викиди, пов'язані з їх виробництвом, протягом від одного до чотирьох років після введення в експлуатацію. Більшість монокристалічних та полікристалічних систем демонструють період вуглецевої окупності в межах 2–3 років в умовах помірної інсоляції. Згідно з даними Національної

лабораторії відновлюваної енергії США, утилітарні системи на сонячних фермах досягають повної вуглецевої нейтральності вже через 0,8–2,1 року. Зокрема, типова панель, яка генерує понад 900 кг CO_2 економії щороку, окупає вуглецевий слід у середньому за 1,6 року.

Для аналізованої в роботі системи потужністю 45,77 кВт, яка щорічно виробляє 400,945 тис. кВт•год електроенергії, початкові викиди внаслідок виробництва обладнання становлять приблизно 96,1 т CO_2 . З урахуванням цього обсягу, період компенсації залежно від того, яке викопне джерело енергії замінюється, виглядає наступним чином: при заміні вугільної генерації - 0,29-0,31 року, мазутної - 0,37-0,39 року, газової - 0,49-0,53 року. Це означає, що повна кліматична окупність системи може бути досягнута вже за 3,5-6 місяців після початку її експлуатації.

Аналогічно, енергетичний період окупності (тобто час, за який система виробить стільки енергії, скільки було витрачено на її виготовлення) для даного об'єкта становить 0,48 року. Таким чином, за пів року сонячна система повністю відновлює енергетичні витрати на її створення, що вказує на високу енергоефективність сучасних фотоелектричних технологій. Залежно від типу панелей, ці показники можуть варіюватися: для тонкоплівкових панелей період окупності становить 0,2 року, для полікристалічних - 0,28 року, а для монокристалічних - близько 0,31 року у випадку заміщення вугільної генерації.

Ключову роль у швидкості окупності відіграє також географічне розташування системи. У південних регіонах України, де рівень сонячної інсоляції перевищує 1300 кВт • год/м², період компенсації становить лише 0,33 року. Для центральної частини країни цей показник складає приблизно 0,43 року, тоді як у північних регіонах - до 0,54 року. Водночас у районах з низькою інсоляцією період може сягати до 6 років.

Істотним чинником, що впливає на початковий вуглецевий слід, є енергетичний мікс країни, в якій виготовляються сонячні панелі. Якщо у процесі виробництва використовується електроенергія з відновлюваних

джерел, то викиди значно нижчі, ніж у випадку застосування електроенергії, отриманої з вугілля.

Прогнозні тенденції вказують на подальше скорочення періодів окупності. Очікується, що вже у 2025 році середній період компенсації знизиться до 0,38 року, у 2030 році - до 0,25 року, а до 2035 року - до 0,15 року. Такі зміни обумовлені технічним прогресом, підвищенням ефективності сонячних елементів, автоматизацією виробництва та зниженням енергоспоживання на одиницю продукції. За розрахунками, з кожним подвоєнням встановлених потужностей фотоелектричної генерації світового рівня витрати енергії на виробництво панелей скорочуються на 12-13%, а відповідні викиди CO_2 - на 17-24%.

У підсумку, коефіцієнт повернення енергії для системи потужністю 45,77 кВт становить 52:1, тобто за час експлуатації система виробить у 52 рази більше енергії, ніж було витрачено на її створення. У контексті повного життєвого циклу це дозволяє досягти скорочення викидів у 12 разів у порівнянні з природним газом і в 20 разів у порівнянні з вугіллям. Така ефективність робить сонячну енергетику одним із найперспективніших інструментів у боротьбі зі зміною клімату та у досягненні стратегічних цілей сталого розвитку.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Монтаж сонячних панелей є комплексним та відповідальним процесом, що пов'язаний із численними ризиками для життя і здоров'я працівників. Охорона праці та техніка безпеки у цій сфері має надзвичайне значення, оскільки монтажні роботи часто виконуються на висоті, із застосуванням електрообладнання та у складних погодних умовах. Дотримання норм охорони праці та використання засобів індивідуального захисту дозволяють запобігти нещасним випадкам, зберегти здоров'я персоналу і забезпечити безперервну та якісну роботу сонячної електростанції. Для забезпечення безпеки працівників потрібно починати з організації робочого процесу, який включає в себе попередній інструктаж, навчання та кваліфікаційний відбір персоналу. Працівники, зайняті монтажем, повинні мати відповідні допуски, проходити медичні огляди та регулярно оновлювати знання з охорони праці. Велика увага приділяється правильній організації робочих місць: видаленню зайвих предметів, правильному розміщенню інструментів, освітленню та вентиляції. Особливо важливо забезпечити чистоту і порядок, щоб запобігти травмам через спіткання або падіння.

При роботі з електрообладнанням основною загрозою є ураження електричним струмом. Тому перед початком монтажу обов'язково відключають електроживлення і перевіряють відсутність напруги за допомогою спеціальних приладів. Використовують тільки справний інструмент з ізоляцією, виконують підключення за встановленими схемами, уникають роботи за вологої погоди та не торкаються оголених струмоведучих частин. Дотримання цих правил є обов'язковим і контролюється відповідальними за техніку безпеки.

Робота на висоті пов'язана з особливими ризиками падіння, що може призвести до тяжких травм. Тому працівники повинні застосовувати надійні

страхувальні системи - пояси, мотузки, троси, що надійно фіксують людину. Всі роботи на даху або інших висотних конструкціях проводять лише за сприятливих погодних умов, при відсутності вітру, дощу чи ожеледиці. Важливо також дотримуватись правил переміщення і підйому матеріалів, використовувати безпечні сходи та настили. Для підвищення безпеки встановлюють огороження, перила і захисні сітки, де це передбачено проєктом. Необхідно забезпечити наявність системи аварійного виклику, щоб у разі нещасного випадку швидко отримати допомогу.

Значну увагу приділяють засобам індивідуального захисту, які є обов'язковими для всіх, хто працює при монтажі сонячних панелей. До них належать захисні каски, що захищають від ударів, рукавиці для запобігання порізам і ураженню струмом, спеціальне взуття з протиковзкою підошвою, захисні окуляри для запобігання попадання пилу чи уламків у очі, а також спецодяг. При роботі на висоті використовують страхувальні пояси, мотузки і карабіни, які забезпечують надійне кріплення. Для захисту органів дихання застосовують респіратори чи маски в умовах пилу або забруднення повітря. Всі засоби індивідуального захисту регулярно перевіряють на справність і замінюють у разі пошкоджень.

При організації робочого процесу керівник повинен визначити небезпечні зони і встановити відповідні попереджувальні знаки. На робочому місці мають бути вогнегасники, аптечки для першої допомоги, а також засоби зв'язку для виклику допомоги. Персонал повинен бути обізнаний про порядок дій у разі аварії, включно з алгоритмами евакуації. Проводять регулярні перевірки дотримання техніки безпеки та аналіз нещасних випадків, щоб запобігти їх повторенню.

Перша медична допомога при нещасних випадках є невід'ємною складовою охорони праці. В аптечці мають бути засоби для зупинки кровотеч, антисептики, бинти, засоби для іммобілізації переломів. Працівники мають бути навчені надавати першу допомогу - штучне дихання, непрямий масаж

серця, накладення джгутів. У разі серйозних травм необхідно оперативно викликати швидку допомогу та надати всю інформацію про стан потерпілого.

Варто враховувати кліматичні умови регіону монтажу. У спекотних зонах потрібно запобігати тепловим ударам, організовувати роботу з перервами, забезпечувати доступ до питної води і засобів охолодження. У холодних регіонах слід подбати про теплий одяг, попередити ризики обморожень, а також уникати робіт за ожеледиці. В обох випадках важливе дотримання режиму роботи і відпочинку, правильний вибір спецодягу і засобів захисту.

Отже, охорона праці та техніка безпеки при монтажі сонячних панелей є ключовими чинниками, що визначають успіх і безпеку виконання робіт. Комплексний підхід - це навчання, забезпечення засобами захисту, контроль і правильна організація процесу - дозволяє мінімізувати ризики, знизити кількість травм та аварій, а також зберегти здоров'я і життя працівників. Впровадження цих заходів є не просто нормативною вимогою, а основою відповідальної і професійної роботи в галузі відновлюваної енергетики.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту є невід'ємною складовою комплексної системи охорони праці при монтажі сонячних панелей. Таблиця 6.1 узагальнює основні типи засобів індивідуального захисту, які необхідно використовувати для ефективного захисту від потенційних небезпек, що виникають під час монтажних робіт. Використання захисної каски дозволяє мінімізувати ризик травм голови від падіння інструментів або випадкових ударів, що є однією з найпоширеніших причин травмування на будівельних майданчиках. Робочі рукавиці не лише оберігають руки від порізів і опіків, але й запобігають ураженню електричним струмом, що є критично важливим при роботі з електрообладнанням.

Захисні окуляри або щитки охороняють зір від пилу, дрібних уламків та інтенсивного ультрафіолетового випромінювання, що виникає при роботі з сонячними панелями, а спеціальне взуття із протиковзкою підошвою зменшує ризик травм через падіння або ковзання.

Таблиця 6.1 - Основні засоби індивідуального захисту при монтажі сонячних панелей

№	Засіб індивідуального захисту	Призначення	Особливості застосування
1	Захисна каска	Захист голови від механічних травм	Повинна бути міцною, регульованою по розміру
2	Робочі рукавиці	Захист рук від порізів, опіків, струму	Вибирати залежно від характеру робіт
3	Захисні окуляри або щитки	Захист очей від пилу, уламків, ультрафіолету	Важливі при різанні, свердлінні, монтажі панелей
4	Спецвзуття з протиковзкою підошвою	Запобігання падінню та ураженню струмом	Водонепроникне, з електроізоляцією
5	Страхувальні пояси та мотузки	Захист від падіння при роботі на висоті	Повинні проходити регулярну перевірку
6	Захисний спецодяг	Захист тіла від механічних, теплових та електричних пошкоджень	Легкий, зручний, з дихаючих матеріалів
7	Респіратори або маски	Захист дихальних шляхів від пилу і шкідливих газів	Використовувати у запиленому або забрудненому середовищі

Особливу увагу слід приділяти засобам захисту при роботі на висоті - страхувальні пояси і мотузки є життєво необхідними для запобігання травматизму у разі падіння. Використання спеціального захисного одягу забезпечує комплексний захист тіла від механічних, теплових і електричних пошкоджень. Крім того, респіратори чи маски важливі для захисту дихальних шляхів у умовах запиленості або забруднення повітря.

Систематичне застосування цих засобів у поєднанні з дотриманням правил техніки безпеки значно знижує ймовірність нещасних випадків та професійних захворювань серед працівників. Водночас правильний вибір і своєчасна заміна засобів індивідуального захисту сприяють підвищенню комфорту та продуктивності праці. Таким чином, табличне узагальнення ЗІЗ допомагає не лише у плануванні заходів з охорони праці, а й у контролі їх виконання, що є важливою складовою безпечної та ефективної роботи на об'єктах сонячної енергетики.

ВИСНОВОК

Проведене дослідження з обґрунтування технології застосування альтернативного джерела енергії у селі Капітанівка Бучанського району Київської області підтвердило високу актуальність впровадження сонячної енергетики у сільській місцевості. Аналіз сучасного стану енергопостачання регіону виявив суттєві проблеми з надійністю та економічною доцільністю використання традиційних джерел енергії, що підкреслює необхідність пошуку нових, екологічно чистих і ефективних способів забезпечення населення електроенергією.

Важливим фактором, що визначає перспективність застосування сонячної енергетики у селі Капітанівка, є природні кліматичні умови регіону. Помірний клімат з достатнім рівнем інсоляції протягом року забезпечує оптимальні умови для роботи сонячних панелей, що гарантує стабільне виробництво електроенергії. Це, у свою чергу, дає можливість значно знизити залежність від централізованих електромереж, які в сільській місцевості часто мають проблеми з стабільністю та якістю постачання.

Технічний аналіз показав, що сучасні технології сонячних панелей і супутнього обладнання, включно з інверторами, системами захисту та трансформаторними підстанціями, забезпечують високий рівень надійності і безпеки експлуатації. Застосування комплектних трансформаторних підстанцій типу КТП 2к – 630/10/04 дозволяє організувати ефективний розподіл електроенергії в локальних мережах, забезпечуючи стабільну роботу системи навіть при коливаннях навантаження. Впровадження захисних пристроїв, таких як автоматичні вимикачі, запобіжники та обмежувачі перенапруг, забезпечує надійний захист електрообладнання від коротких замикань, перевантажень та атмосферних впливів.

В процесі розробки проекту було проведено детальний розрахунок довжини і типу кабелів, необхідних для підключення сонячних панелей до інвертора і подальшої передачі електроенергії до трансформаторної підстанції. Ці розрахунки дозволяють мінімізувати втрати енергії і забезпечити максимальну ефективність системи. Обрана кабельна продукція відповідає вимогам безпеки і експлуатації в складних кліматичних умовах, що характерні для регіону.

Окрім технічних аспектів, важливу роль відіграють питання охорони праці та техніки безпеки під час монтажу і подальшої експлуатації сонячних панелей. В роботі було розроблено комплекс заходів, спрямованих на зниження ризиків травматизму та забезпечення безпечних умов роботи для монтажних бригад. Особливу увагу приділено правильному вибору засобів індивідуального захисту, організації робочих місць, дотриманню нормативів і стандартів безпеки, що істотно знижує ймовірність нещасних випадків та аварій.

З екологічної точки зору, застосування сонячної енергетики є одним із найефективніших заходів зі зменшення викидів парникових газів і шкідливих речовин в атмосферу. Це не тільки сприяє поліпшенню якості повітря в регіоні, але й відповідає міжнародним зобов'язанням України щодо боротьби зі змінами клімату і розвитку сталого господарства. Таким чином, проект вносить свій внесок у формування екологічно безпечного середовища для життя майбутніх поколінь. Запропонована модель інтеграції сонячної енергетики адаптована під особливості сільської інфраструктури і може бути масштабована на інші подібні регіони України, що має важливе значення для розвитку «зеленої» енергетики на національному рівні.

Практичне значення роботи полягає в розробці конкретних рекомендацій та технічних рішень, які можуть бути безпосередньо впроваджені в процесі створення сонячної електростанції в селі Капітанівка. Це стосується вибору обладнання, розрахунку електричних параметрів, організації монтажних робіт і забезпечення безпеки. Запропоновані заходи

сприятимуть оптимізації процесу будівництва та експлуатації системи, підвищуючи її ефективність і довговічність.

Запроєктована системи потужністю 45,77 кВт щорічно виробляє 400,945 тис.кВт • год електроенергії з викидами внаслідок виробництва обладнання становлять приблизно 96,1 т CO_2 . Період компенсації при заміні вугільної генерації - 0,29-0,31 року, мазутної - 0,37-0,39 року, газової - 0,49-0,53 року. Повна кліматична окупність системи може бути досягнута вже за 3,5-6 місяців після початку її експлуатації.

Отже, впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних панелей, у селі Капітанівка має стратегічне значення для забезпечення сталого розвитку регіону. Це дозволить не лише вирішити проблему енергозабезпечення, а й покращити екологічну ситуацію, стимулювати економічний розвиток та підвищити якість життя населення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кольц О.Ф., Семенюк І.М., Гутарев І.Ю. Вплив аніонного складу на стабільність перовськітних фотоелементів. // Журнал фізичних досліджень. – 2021. – Т.25, №2. – С. 112–119.
2. Лисенко М.С., Білан І.І., Копитко С.Я. Тонкоплівкові матеріали на основі SnS для застосування у сонячних елементах. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2020. – Т.21, №4. – С. 845–851.
3. Демченко І.Ю., Коваленко П.О., Зайцев В.Г. Дослідження фотострумівих характеристик наноструктурованого TiO₂ для гібридних фотоелементів. // Функціональні матеріали. – 2022. – Т.29, №1. – С. 56–63.
4. Шевчук В.І., Кузів В.С., Павлишин А.Б. Оптимізація геометрії фотовольтаїчних модулів для умов змінної інсоляції. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Електроенергетика та електромеханіка. – 2023. – №890. – С. 98–104.
5. Андрієвський, О. І. Сонячна енергетика України: перспективи розвитку / О. І. Андрієвський, В. П. Коваль // Енергетика і електрифікація. – 2022. – Вип. 4. – С. 12–19.
6. Бондаренко, І. В. Технології відновлюваної енергетики: сучасний стан та перспективи / І. В. Бондаренко, С. М. Шевченко // Вісник Київського національного університету. Серія «Енергетика». – 2023. – Вип. 10. – С. 45–52.
7. Вакуленко, М. П. Аналіз ефективності сонячних панелей для сільських районів України / М. П. Вакуленко // Наукові праці НТУУ «КПІ». – 2021. – Вип. 105. – С. 98–104.
8. Гнатюк, Ю. О. Техніка безпеки при монтажі сонячних панелей / Ю. О. Гнатюк // Безпека праці в промисловості. – 2023. – № 3. – С. 33–39.

9. Демченко, В. І. Застосування гібридних інверторів у фотоелектричних системах / В. І. Демченко, Н. С. Литвин // Електротехніка та електромеханіка. – 2022. – Вип. 27. – С. 72–79.
10. Жук, О. М. Енергетична незалежність сільських територій: роль альтернативних джерел / О. М. Жук // Екологія і енергозбереження. – 2024. – Вип. 7. – С. 56–63.
11. Коваленко, Т. В. Проектування сонячних електростанцій: методичні рекомендації / Т. В. Коваленко. – Київ: Видавництво КНУ, 2023. – 198 с.
12. Лисенко, А. С. Вплив кліматичних факторів на продуктивність фотоелектричних модулів / А. С. Лисенко, В. І. Петренко // Журнал «Енергетичні технології». – 2022. – Т. 11, № 2. – С. 112–118.
13. Мельник, О. В. Захист електричних мереж сонячних електростанцій / О. В. Мельник // Вісник електротехніки України. – 2021. – Вип. 3. – С. 87–94.
14. Назаренко, І. Ю. Трансформаторні підстанції для фотоелектричних систем / І. Ю. Назаренко // Енергетична політика. – 2023. – Вип. 15. – С. 28–34.
15. Онищенко, В. В. Розрахунок кабельних ліній для сонячних електростанцій / В. В. Онищенко // Електротехнічний журнал. – 2022. – № 9. – С. 40–46.
16. Петров, Д. І. Модернізація систем енергозбереження у сільських громадах / Д. І. Петров, О. Г. Сидоренко // Вісник інноваційної енергетики. – 2023. – Вип. 8. – С. 60–67.
17. Романенко, Л. В. Використання систем моніторингу у сонячній енергетиці / Л. В. Романенко // Енергетичні системи України. – 2024. – Вип. 2. – С. 10–18.
18. Савченко, Ю. М. Методи підвищення ефективності фотоелектричних модулів / Ю. М. Савченко // Технічна механіка. – 2022. – Вип. 19. – С. 77–83.

19. Ткаченко, О. В. Екологічний аспект розвитку сонячної енергетики / О. В. Ткаченко // Екологічний вісник. – 2023. – № 5. – С. 51–59.
20. Харченко, В. П. Питання охорони праці при монтажі фотоелектричних систем / В. П. Харченко // Охорона праці в Україні. – 2024. – Вип. 6. – С. 24–30.
21. Шевченко, І. М. Сучасні інвертори для сонячних електростанцій / І. М. Шевченко, А. В. Кравченко // Енергетика і автоматизація. – 2022. – Вип. 11. – С. 38–44.
22. Якимчук, С. О. Інновації в альтернативній енергетиці України / С. О. Якимчук // Вісник української науки. – 2023. – Вип. 9. – С. 15–23.
23. Український стандарт ДСТУ 8302:2015 «Науково-технічна документація. Бібліографічний опис» / Національний стандарт України. – Київ: Мінекономіки, 2015. – 28 с.
24. Державні будівельні норми ДБН В.2.5-23:2010 «Електроустановки» / Міністерство регіонального розвитку України. – Київ, 2010. – 35 с.
25. Зруйнована війною галузь зеленої енергетики в Україні знаходиться на грані банкрутства. Що далі? | Журнал ECOBUSINESS. Екологія підприємства | ecolog-ua.com. URL: <https://ecolog-ua.com/news/zruynovana-viynoyu-galuz-zelenoyi-energetyky-v-ukrayini-znahodytsya-na-grani-bankrutstva-shcho> (дата звернення: 12.06.2025).
26. Підключення сонячних панелей в один масив | SolarSoul.net. URL: <https://solarsoul.net/uk/pidklyuchennya-sonyachnix-panelej-v-odin-masiv/#:~:text=> (дата звернення: 12.06.2025).
27. Сонячна панель 580 Вт JinkoSolar JKM580N-72HL4-BDV двостороння. Salespot. URL: https://salespot.com.ua/coniachna-panel-580-vt-jinko-solar-jkm580n-72hl4-bdv/?gad_source=1&gad_campaignid=21882166019&gbraid=0AAAAAqQGcS_aVYgQphu2pnlJqu80cl4vz&gclid=CjwKCAjwuIbBBhBvEiwAsNyp

vZVInx0Paqs110cBVLyDmZKgTWDzSykMCENTo7s5Pocx2YE-
0DEMnхоCI6QQAвD_BwE (дата звернення: 12.06.2025).

28. Гібридний інвертор сонячний 48В, V, 50 кВт, kW, 50000 Вт, Deye, трифазний: продаж, ціна у Києві. Інвертори від "Український Склад Електрообладнання YCE" - 2353252521. URL: <https://use.com.ua/ua/p2353252521-gibridnyj-invertor-solnechnyj.html> (дата звернення: 12.06.2025).

29. Запобіжники AGU 80 ампер (срібло) 1 шт ACV 30.3900-80, ціна: 50.40 ₴, купити на Prom.ua. [prom.ua. URL: https://prom.ua/ua/p2530953554-predohraniteli-agu-amper.html](https://prom.ua/ua/p2530953554-predohraniteli-agu-amper.html) (дата звернення: 13.06.2025).

30. Dukhovich S., Marchenko A., Biletska V. HybridPhotovoltaicModulesforBuildingIntegrationinEasternEurope: FromLaboratorytoDeployment. // ProceedingsoftheHorizonEurope PV Workshop. – 2023. – Brussels.

31. Kolts O., Semenyuk I., Lytvyenko L. Stabilityofhybridperovskitesolarcellsunderhumiditystress: A comparativestudy. // SolarEnergyMaterials&SolarCells. – 2022. – Vol. 238. – Article ID 111582.

ДОДАТКИ

Характеристика інвертора

<u>Характеристики:</u>	<u>Данні</u>
<u>Виробник</u>	<u>Deye</u>
<u>Країна походження</u>	<u>Китай</u>
<u>Тип ДБЖ</u>	<u>гібридний</u>
<u>Кількість фаз</u>	<u>3</u>
<u>Робота в паралелі</u>	<u>Він може</u>
<u>Тип зарядного пристрою від СП</u>	<u>MPPT</u>
<u>Кількість MPPT</u>	<u>4 (2+2+2+2)</u>
<u>ККД%</u>	<u>97</u>
<u>Інтерфейс</u>	<u>RS232 USB RS485 wi-fi CAN</u>
<u>Робота з генератором</u>	<u>Так</u>

Вхідні характеристики змінного струму

Характеристики:	Данні
Форма вхідного сигналу	Синусоїдна
Номінальна напруга	380 В
Номінальна потужність	50000 Вт
Характеристики:	Данні
Номінальна потужність	50000 Вт
Пікова потужність(протягом 5 сек)	55000 Вт
Вихідний струм	75,8/72,5 А
Вихідна напруга	380 В
Форма вихідного сигналу	синусоїдна
Частота вихідного сигналу	50/60Гц

Характеристики зарядно-розрядного пристрою

Характеристики:	Данні
Діапазон вхідної напруги	160-800 В
Номіналь напруга	300 В
Максимальний струм заряду, А (мережа + сонце)	50+50А
Максимальний струм заряду від мережі	50+50А
Максимальний струм розряду АКБ	94А
Тип підтримуваних акумуляторів	Li-Ion
Тип охолодження	активне

Вхідні характеристики MPPT(PWM)

Характеристики:	Данні
Номінальна потужність	50 000 Вт
Максимальна потужність	65 000 Вт
Робочий діапазон MPPT	450 – 850 В
Загальний вхідний діапазон	150 – 850 В
Максимальна напруга холостого ходу	1000 В
Вхідний струм	A 36+36+36+36+36

Додаток Д

Характеристика Комбінованого щита із захистом від блискавки, сонячна фотоелектрична система.

Характеристики:	Данні
Тип	Щит
Особливості монтажу	Начіпний
Клас захисту IP	IP65 (водо- та <u>пилозахист</u>)
Кількість модулів	8
Матеріал корпусу	Пластик
Країна-виробник	Китай
Країна бренду	Китай
Гарантія	3 місяці

Опис і характеристика КТП 2к-630/10/04

Категорія	Параметри та опис
Назва пристрою	Комплектна трансформаторна підстанція КТП 2к-630/10/04
Тип підстанції	Прохідна
Потужність трансформатора	630 кВА
Напруга високої напруги (ВН)	6 кВ або 10 кВ
Напруга низької напруги (ПН)	0,4 кВ
Частота мережі	50 або 60 Гц
Габаритні розміри	Довжина: 3200 мм Висота: 2200 мм Ширина: 2400 мм
Призначення	Прийом та перетворення електричної енергії для промислових, комунальних та житлових об'єктів
Умови експлуатації	Температурний діапазон: від -40°C до +40°C Монтаж на висоті до 1000 м над рівнем моря
Атмосферні умови	Відповідність промислового типу атмосфери згідно з ГОСТ 15150-69 Відсутність вибухонебезпечних газів, пилу у концентрації, що знижує параметри
Особливості конструкції	Компактні розміри, зручний монтаж, стійкість до погодних умов та пилу, надійний захист
Тип підключення	Прохідне з можливістю перемикавання та підключення кількох ліній
Область застосування	Промислові підприємства, житлові та комунальні об'єкти, відновлювальні джерела енергії
Переваги	- Надійність та довговічність - Відповідність стандартам - Універсальність напруги ВН - Компактність - Стійкість до кліматичних впливів
Тип навколишнього середовища	Не вибухонебезпечне повітря без агресивних домішок

Продовження додатку Е

Характеристики та типи КТП 2к (40–2500 кВА)

Тип КТП	Номінальна потужність, кВА	Сфера застосування
КТП 2к-40	40	Живлення невеликих сільських об'єктів, освітлення, господарські споруди
КТП 2к-63	63	Малі ферми, приватні підприємства, насосні станції
КТП 2к-100	100	Сільські громади, невеликі соціальні об'єкти (школи, амбулаторії)
КТП 2к-160	160	Багатоквартирні будинки, АЗС, невеликі цехи
КТП 2к-250	250	Промислові підприємства середньої потужності, теплопункти
КТП 2к-400	400	Сонячні електростанції до 30–40 кВт, ЖКГ, логістичні склади
КТП 2к-630	630	Оптимальний для СЕС потужністю до 50–60 кВт, середні промислові об'єкти
КТП 2к-1000	1000	Великі СЕС, промислові комплекси, житлові мікрорайони
КТП 2к-1600	1600	Технопарки, логістичні хаби, потужні виробництва
КТП 2к-2500	2500	Об'єкти з високим навантаженням: великі заводи, кар'єри, агропромислові об'єднання

Типи конструктивного виконання КТП

Тип виконання	Опис та призначення
Блокові	Компактні підстанції, що монтуються на бетонну основу. Захищені, швидкі в монтажі.
Щоглові	Монтуються на опори ліній електропередач. Ідеальні для сільської місцевості.
Внутрішньоцехові	Використовуються у промислових цехах, в закритих приміщеннях.
Пересувні	Мобільні КТП, розміщуються на шасі, використовуються на тимчасових об'єктах.
КТПН (наземні)	Типові КТП для живлення побутових і комерційних об'єктів, поділяються на тупикові/прохідні.
Тупикові	Живлення одного споживача або напрямку, один вихід.
Прохідні	Забезпечують наскрізне підключення, використовуються для кількох споживачів.