

Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка» Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

на тему: **Розроблення проекту сонячної  
міні електростанції приватного будинку**

Виконав: студент 4 курсу,  
групи 401-МЕ

спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

Власко М. Р.

Керівник: Третяк А.В.

Рецензент: Боряк Б. Р.

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,  
електроніки та телекомунікацій

О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Власку Максиму Руслановичу

1. Тема роботи «Розроблення проекту сонячної міні електростанції приватного будинку»  
керівник роботи Трег'як Андрій Валерійович, к.т.н., доцент  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03. 03. 2025 року  
№ 306/1-ф.а.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Документація на електрообладнання житлового будинку. Документація на побутові прилади, що використовуються в будинку. Номінальна напруга 380/220В, частота 50 Гц. Забезпечити надійне електропостачання житлового будинку з мінімальними капіталовкладеннями.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Види систем енергозабезпечення. Типи сонячних батарей. Зелений тариф в Україні. Постановка задач на кваліфікаційну роботу. Вибір структури та основного обладнання станції. Характеристика об'єкту з точки зору енергоспоживання у зимовий та літній періоди. Розрахунок та вибір обладнання електростанції. Розрахунок вартості станції.

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

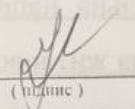
- 1) актуальність, мета та задачі розроблення;
- 2) системи енергозабезпечення, що існують;
- 3) схема житлового будинку з розміщенням обладнання;
- 4) запропонована структура електростанції;
- 5) графіки генерації електроенергії по місяцям;
- 6) таблиця обладнання сонячної станції, що обрано, розрахунок вартості СЕС;
- 7) висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		22.04.25	I	20%	
1	Загальні відомості про житловий об'єкт	22.04.25	I	20%	Пл. 1
2	Типи сонячних батарей. Зелений тариф в Україні. Постановка задач на кваліфікаційну роботу	08.05.25		40%	Пл. 2,3
3	Розрахунок та вибір обладнання сонячної електростанції	22.05.25	II	60%	Пл. 4,5
4	Техніко-економічне обґрунтування використання сонячних панелей	30.05.25		80 %	Пл. 6
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.25	III	100%	Пл. 7

Студент

  
(підпис)

Власко М. Р.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Трег'як А. В.  
(прізвище та ініціали)

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АКБ - акумуляторні батареї;

ВДЕ - відновлювальні джерела енергії;

ЕС - енергетична система;

КЛ - кабельна лінія;

КТП - комплексна трансформаторна підстанція;

ЛЕП - лінія електропередачі;

НКРЕКП - національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг;

ПС - підстанція;

ПЛ - повітряна лінія;

РЕМ - район електричних мереж;

СЕС - сонячна електростанція;

СПП — самонесучий ізольований провід

ТЕО - техніко-економічне обґрунтування.

ФЕП - фотоелектричний помножувач.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЖИТЛОВИЙ ОБ'ЄКТ.....	7
1.1. Класифікація і загальна характеристика електроприймачів.....	7
1.2. Географічне розташування та характеристики місцевості.....	11
1.3. Типи сонячних панелей та їхня ефективність.....	19
1.4. Загальні вимоги для встановлення фотоелектричних модулів в Україні.....	22
2. ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ МІНІ-ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТА.....	24
2.1 Спрощений розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта.....	24
2.2 Точний розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта.....	27
2.3 Розрахунок сонячної міні-електростанції для покриття лише внутрішніх потреб.....	30
2.4 Розрахунок сонячної міні-електростанції для генерації електроенергії в зовнішню мережу.....	43
2.5. Розробка технічних умов для приєднання сонячної міні-електростанції до розподільної електричної мережі .....	50
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОКРИТТЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТУ.....	54
3.1 Визначення терміну окупності для варіанту покриття лише внутрішніх потреб.....	54
3.2 Визначення терміну окупності для варіанту генерації електроенергії в зовнішню мережу.....	60
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТКИ.....	70

## ВСТУП

В Україні останніми роками зростає частка відновлювальної енергетики, але на даний момент залишається не значною. Сонячна енергетика набирає популярність. Влада вводить зелені тарифи, тим самим, заохочуючи людей встановлювати сонячні панелі та інші джерела альтернативної енергії.

В цій бакалаврській роботі розглядається проект установалення домашньої СЕС для двох варіантів: для надання електроенергії тільки для власних потреб будинку та для її продажу державі. Щоб проаналізувати вигідність встановлення такої СЕС, буде виконаний ряд необхідних розрахунків. Також треба вибрати підходящі сонячні панелі та додаткове обладнання. Для цього необхідно:

- визначити обсяги споживання електроенергії в обраному будинку;
- проаналізувати потенціал сонячної енергії в регіоні;
- розрахувати необхідні параметри та вибрати підходящі сонячні панелі та додаткове обладнання;
- розробити електричну схему підключення сонячної електростанції до внутрішньої та зовнішньої мережі;
- здійснити техніко-економічне обґрунтування проекту для оцінки його рентабельності.

Метою даної роботи є узагальнення, закріплення та практичне застосування знань, отриманих у процесі вивчення професійно-орієнтованих дисциплін, під час виконання розрахунків мережі електропостачання, вибору електричного обладнання для побудови схеми електропостачання обраного приватного будинку, а також перевірки роботи вже встановлених трансформаторів і комутаційних апаратів при додатковому навантаженні.

Головні задачі даної роботи: проведення розрахунків та аналізу СЕС для забезпечення електроенергією приватного будинку та можливості продажу надлишку в мережу за умовами "зеленого тарифу", розроблення орієнтовного

проекту підключення будинку до сонячної електростанції та зовнішньої електромережі.

## **1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЖИТЛОВИЙ ОБ'ЄКТ**

### **1.1. Класифікація і загальна характеристика електроприймачів**

За ступенем важливості та надійності електропостачання електроприймачі поділяють три категорії:

Електроприймачі I категорії – це пристрої, припинення електропостачання яких може створити загрозу для життя людей, завдати значних матеріальних збитків (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), порушити роботу складного технологічного процесу та спричинити збої у функціонуванні особливо важливих елементів критичної інфраструктури.

У цій категорії виділяється особлива група пристроїв, які потребують безперебійної роботи для здійснення безпечної зупинки технологічного процесу з метою запобігання аварій, вибухів, пожеж, пошкодженням дорогого обладнання, втраті важливої інформації та загроз життю людей.

Електроприймачі II категорії — це пристрої, через зупинку яких виникають збої у виробництві, затримки у роботі працівників, простої механізмів і транспорту, порушення діяльності населення.

Електроприймачі III категорії — це всі інші електроприймачі, які не належать ні до I ні до II категорії за критеріями важливості та наслідків припинення електроживлення.

Категорії надійності електропостачання визначаються залежно від технології основного виробництва споживача електроенергії відповідно до вимог ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [12].

Побутові споживачі належать до електроприймачів III категорії надійності, так як припинення електропостачання для них не становить загрози для життя людей чи порушення виробничих процесів.

Для електроприймачів цієї категорії дозволяється живлення від одного джерела електроенергії, за умови, що у разі аварії або поломки ремонтні роботи чи заміна обладнання можуть бути виконані протягом не більше ніж однієї доби.

У квартирах багатоповерхових будинків, як правило, використовуються електроприлади невеликої потужності — системи освітлення, побутова техніка, електронні пристрої тощо. Раніше договірна потужність на одного побутового споживача становила 3 кВт. Проте зі зростанням рівня життя та збільшенням кількості електроприладів, цього обсягу стало недостатньо для задоволення потреб типової сім'ї.

У зв'язку з цим, перед увімкненням додаткового приладу, наприклад, тостера, необхідно переконатися, що сумарна потужність уже увімкнених пристроїв не перевищує допустиму межу. В іншому випадку може спрацювати захисний автомат, що призведе до вимкнення електроенергії. Крім того, перевантаження електромережі здатне викликати зниження напруги, що негативно вплине не тільки на споживача, який перевищив ліміт, а й на його сусідів. Надмірне споживання порушує параметри якості електроенергії, що призводить до перепадів напруги, збоїв у роботі обладнання та нестабільного електропостачання.

У березні 2021 року НКРЕКП ухвалила зміни, згідно з якими мінімальна потужність для підключення нових споживачів становить 5 кВт. Це означає, що всі нові абоненти отримуватимуть тариф із підвищеною дозволеною потужністю відразу після приєднання.

Крім того, місцеві енергопостачальні компанії зобов'язані протягом двох років поступово перевести вже підключених споживачів на більш високу потужність, де це технічно можливо.

На жаль, через пандемію COVID-19 процес переходу на нові стандарти підключення значно сповільнився, а з початком повномасштабної війни в лютому 2022 року він узагалі був призупинений на невизначений термін. Наразі

пріоритетом є ліквідація наслідків завданих руйнувань — зокрема, відновлення знищених джерел електропостачання та ремонт електричних мереж.

Для приватного житлового будинку навіть оновлений ліміт потужності у 5 кВт не завжди є достатнім, особливо за відсутності централізованого опалення. Сучасні електричні котли можуть споживати від 2 до 16 кВт, при цьому користувач має змогу регулювати рівень споживання. Щоб підтримувати комфортну температуру в межах 22–24 °С, котлу зазвичай потрібно близько 4 кВт з наявних п'яти.

За приблизними підрахунками, приватний одноповерховий будинок площею 90 м<sup>2</sup>, в якому використовуються електричні конвектори та система "тепла підлога", споживає від 5,5 до 9 кВт.

Крім базових потреб, таких як освітлення, опалення та робота побутової техніки, у приватних домогосподарствах додатковим джерелом навантаження можуть бути електроінструменти. Наприклад, циркулярна пила має споживання в межах 0,85–1,36 кВт. У зв'язку з цим останніми роками все більше власників приватних будинків оформлюють платну послугу зі збільшення договірної потужності до рівня 7–16 кВт.

У цій роботі буде виконано розрахунок електроспоживання типовим одноповерховим житловим будинком. Основні електроприймачі з найбільшим рівнем енергоспоживання наведено в таблиці 1.1. Усі значення споживаної потужності взято з технічної документації, доступної у відкритих джерелах.

Таблиця 1.1 — Основні електроприймачі та їхня потужність

Електроприймач	Кількість електроприладів, од	Потужність одного електроприладу, кВт	Загальна потужність, кВт
Лампи світлодіодні Ecolight	25	0.008	0.2
Холодильник Indesit	1	0.4	0.4
Пральна машина Samsung	1	1.85	1.85

Бойлер Atlantic	1	1.5	1.5
Телевізор Samsung	1	0.031	0.031
Електроплита	2	1.2	2.4
Праска	1	2	2
Мікрохвильова піч Gorenje	1	0.7	0.7
Пилосос Rowenta	1	1.75	1.75
Електрочайник Elenberg	1	2.2	2.2
Кондиціонер	1	2.3	2.3
Максимум потужності	-	-	14.3

У таблиці наведено перелік електроприладів, які мають найвищу споживану потужність у будинку. Загальне максимальне навантаження може становити до 15 кВт. Однак на практиці одночасна робота всіх приладів майже нереальна, тому фактичне споживання електроенергії у приватному будинку зазвичай не перевищує 5–7 кВт.

## 1.2. Географічне розташування та особливості місцевості

Середньорічне надходження сонячної енергії на території України становить близько 1235 кВт·год/м<sup>2</sup>, що є досить високим показником для ефективного застосування як сонячних теплових систем, так і фотоелектричних установок майже на всій території країни. У цілому, фотоелектричні системи можуть працювати з належною ефективністю протягом усього року.

На виробіток електроенергії сонячними панелями найбільше впливають два ключові фактори навколишнього середовища:

- рівень сонячної радіації;
- температура навколишнього повітря.

У даній роботі розглядається приватна земельна ділянка, розташована в місті Полтава, у Шевченківському районі. Місце розташування об'єкта зображено на рис. 1.1, який отримано на основі супутникового знімка з платформи Google Maps.

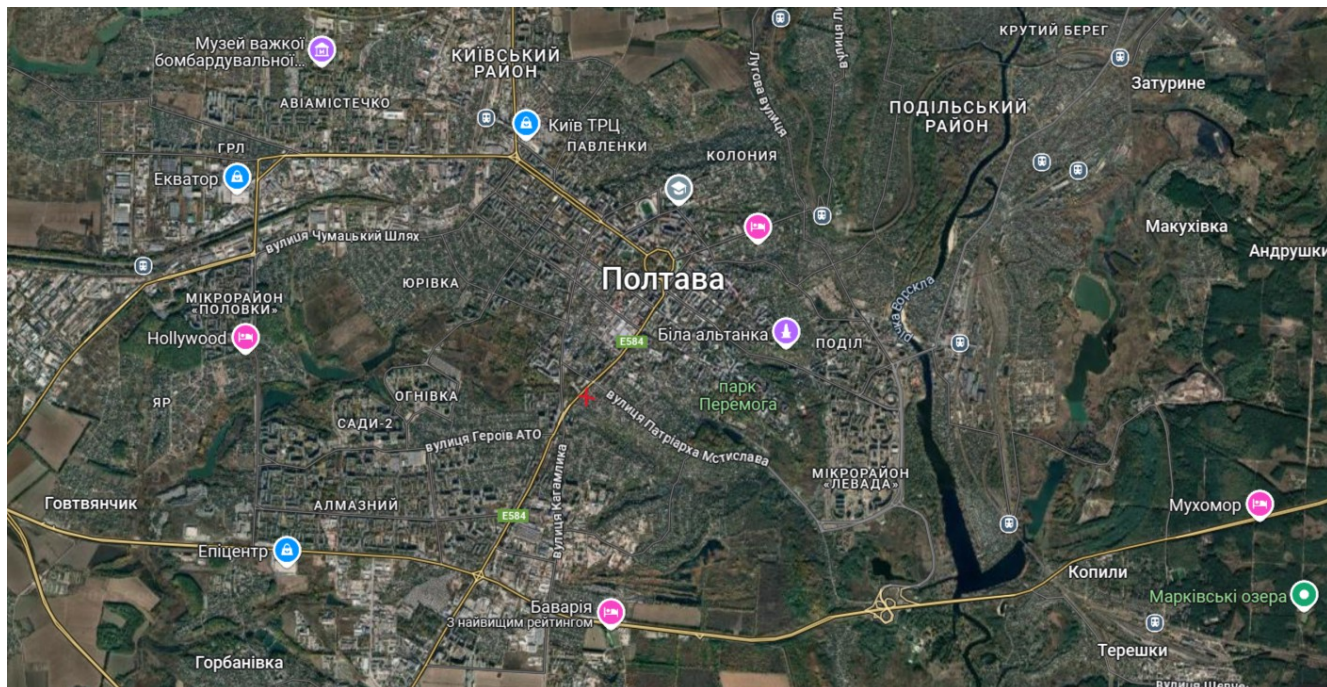


Рисунок 1.1 — Місцезнаходження земельної ділянки

Місто Полтава розташоване в центральній частині України, на рівнинній території вздовж річки Ворскла. Більша частина Полтавської області знаходиться в лісостеповій природній зоні, тоді як решта — у степовій. Область має порівняно густу гідрографічну мережу, яка повністю належить до басейну річки Дніпро: в середньому на кожні 5 км<sup>2</sup> площі припадає близько 1 км водотоків. Загальна площа лісів лісового фонду області становить приблизно 278 тисяч гектарів.

Клімат Полтавської області — помірно континентальний, з м'якими зимами та теплим літом. Він формується під впливом таких чинників, як температура повітря, кількість опадів, рівень сонячної радіації, переміщення повітряних мас, атмосферна циркуляція, характер рельєфу та тип підстилаючої поверхні. Рівнинна територія області сприяє вільному проникненню як атлантичних, так і арктичних та континентальних повітряних мас.

На наступних діаграмах (рис. 1.2–1.5) подано середні кліматичні показники для м. Полтава, за останні п'ять років. Ці параметри мають важливе значення для оцінки ефективності роботи сонячних електростанцій.

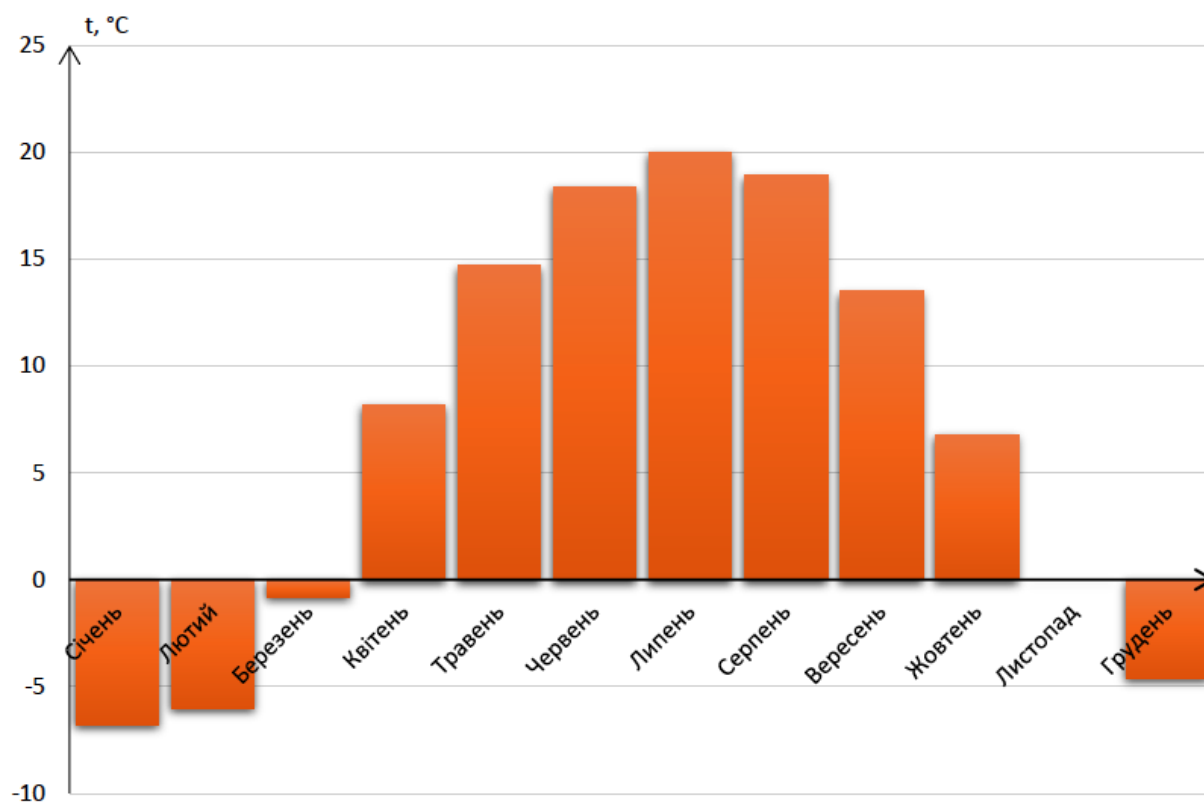


Рисунок 1.2 — Середня температура протягом року

Сонячні панелі генерують електроенергію завдяки сонячному світлу, а не теплу, тому навіть при мінусових температурах їхня здатність до виробництва електроенергії не зменшується.

Взимку сонячні батареї також функціонують, хоча їхня ефективність може бути знижена у 2–3 рази. Основними причинами цього є скорочення тривалості світлового дня (менше сонячного випромінювання протягом доби) та можливе накопичення снігу на поверхні панелей, який необхідно регулярно очищати для забезпечення безперешкодного надходження світла.

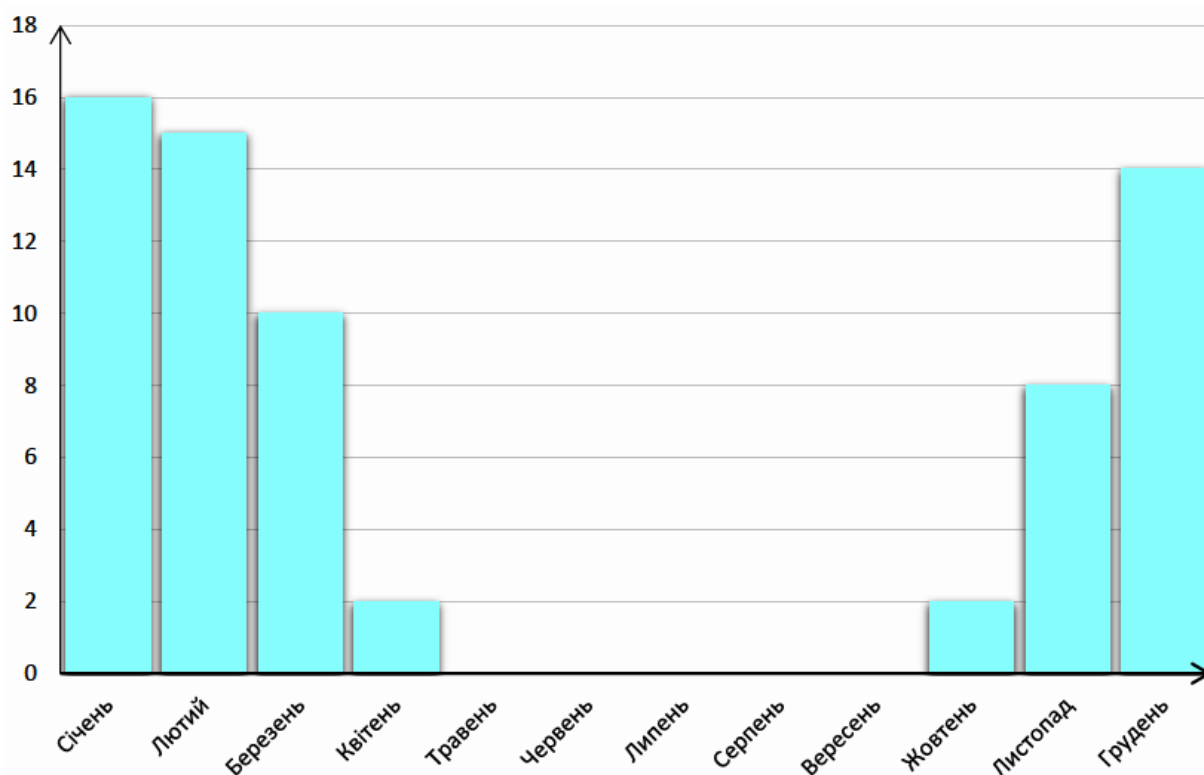


Рисунок 1.3 — Кількість днів зі снігом протягом року

У зимовий період у роботі сонячних панелей також є певні переваги. Зокрема, сніг має високу відбивну здатність, тому в ясний сніжний день відбиті від снігового покриву сонячні промені додатково потрапляють на поверхню панелей, що підвищує загальну генерацію електроенергії.

Крім того, при низьких температурах виключається ризик перегріву панелей, що характерно для літнього періоду. У деяких випадках фотомодулі взимку можуть навіть генерувати більше електроенергії, ніж їх номінальна потужність. Негативно впливає не стільки холод, скільки різкий перепад температур — наприклад, коли влітку вдень спостерігається спека, а вночі температура різко знижується, це може зменшувати ефективність роботи сонячних елементів.

Ще одним важливим погодним чинником є дощ. У дощову погоду звичайна сонячна панель працює значно гірше. Причина полягає в тому, що краплі дощу можуть заломлювати сонячне світло, змінюючи кут його падіння. Крім того, шар води на скляній поверхні панелі частково відбиває світло, знижуючи кількість

променів, які потрапляють на фотоелементи. У результаті, виробіток електроенергії суттєво падає.

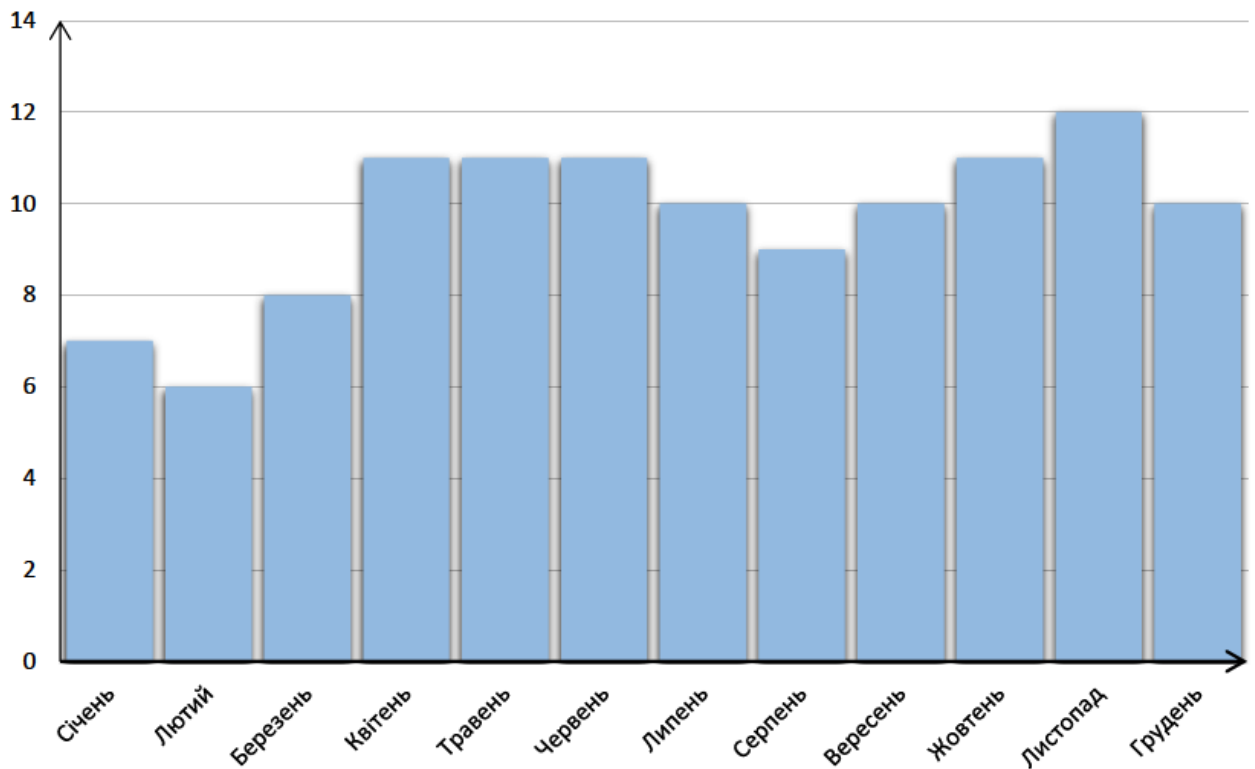


Рисунок 1.4 — Кількість днів з дощем протягом року

У похмуру погоду полікристалічні сонячні панелі демонструють кращу ефективність завдяки своїй зернистій структурі, яка дозволяє краще вловлювати розсіяне світло, що проходить крізь хмари. Натомість монокристалічні панелі, з огляду на їхню однорідну структуру, найефективніше працюють при прямому сонячному світлі в ясну, безхмарну погоду.

Принцип роботи сонячних панелей під час хмарності подібний до їхньої роботи взимку: ефективність генерації безпосередньо залежить від ступеня хмарного покриття, його змінності, а також температури навколишнього повітря.

За умов туману ситуація нагадує дощову погоду — водяна пара, що конденсується в повітрі, створює щільний шар, який заломлює сонячне світло і частково перешкоджає його надходженню на поверхню фотомодулів, що знижує рівень виробництва електроенергії.

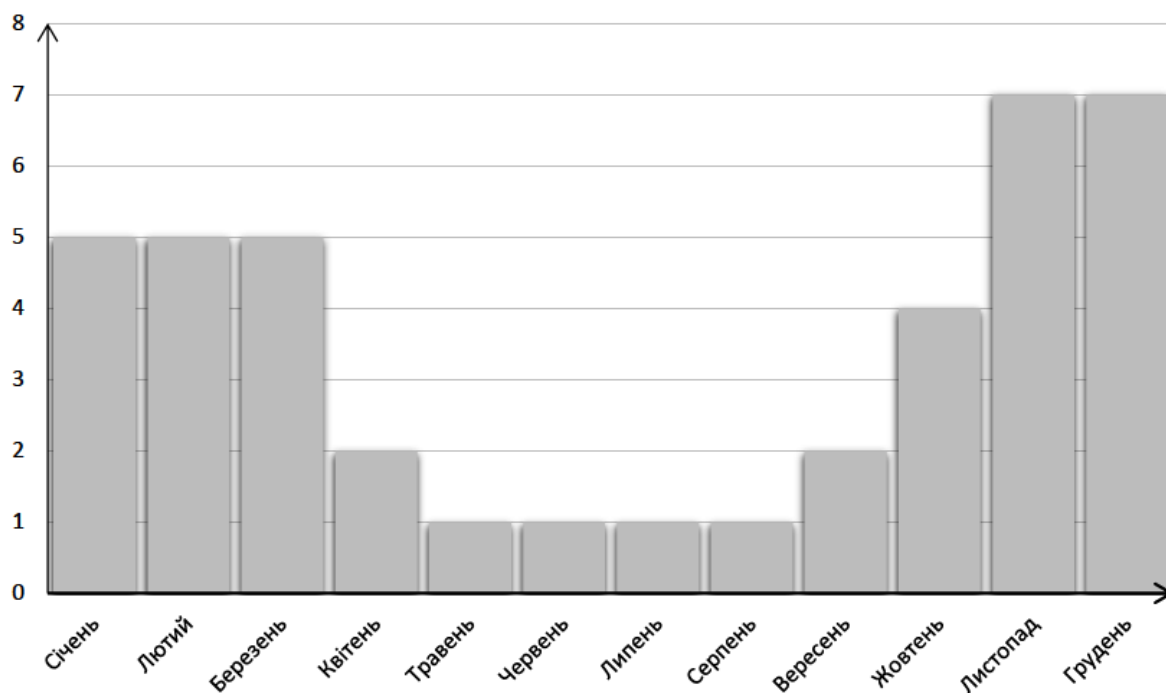


Рисунок 1.5 — Кількість днів з туманом протягом року

Місце для встановлення сонячних панелей розташоване в оточенні дерев та будівель, що частково обмежує доступ сонячного випромінювання до поверхні панелей. У зв'язку з цим доцільним є варіант монтажу обладнання на даху будинку. Крім того, через близькість до автомобільних доріг можливе накопичення пилу на поверхні панелей, що також може впливати на ефективність їх роботи. Зображення обраної ділянки представлено на рис. 1.6.

Для цілей проєктування системи електропостачання приватного житлового будинку вважається, що земельна ділянка вже перебуває у приватній власності. Отже, при обчисленні вартості встановлення сонячної електростанції витрати, пов'язані з придбанням, орендою, переоформленням або приватизацією земельної ділянки, не враховуються.



Рисунок 1.6 — Супутниковий знімок земельної ділянки

Серед переваг обраної земельної ділянки варто відзначити її зручну квадратну форму та рівнинний рельєф, що значно спрощує процес проектування та встановлення обладнання, а також зменшує додаткові витрати. Крім того, було враховано орієнтацію ділянки, адже найефективніше розташування сонячних панелей — у напрямку півдня або на південному схилі.

Отже, одним із ключових чинників, що впливає на ефективність роботи сонячної електростанції, є рівень інсоляції в регіоні — тобто кількість сонячної енергії, яку отримує поверхня. Чим вищий цей показник, тим більшу кількість електроенергії здатна генерувати система. На основі даних NASA [6] було складено карту сонячного випромінювання та потенціалу сонячної енергії в межах України (рис. 1.7).

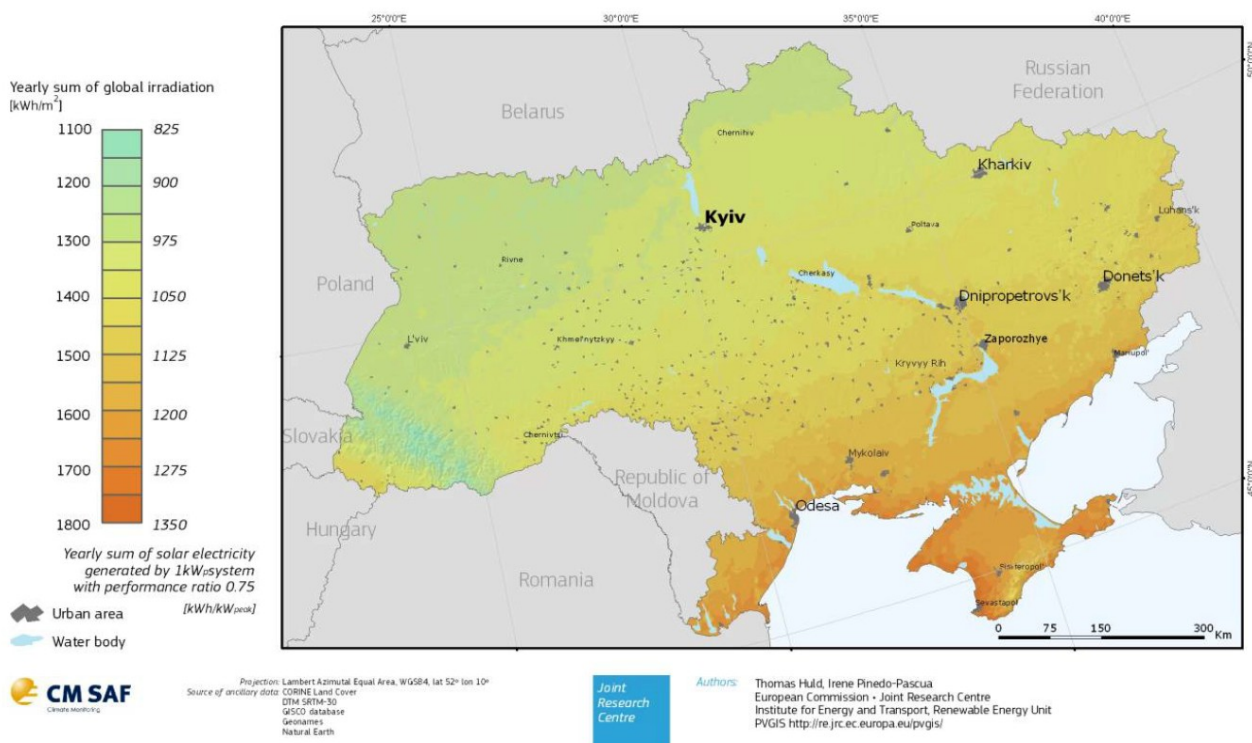


Рисунок 1.7 — Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні

У географічному розрізі територія України демонструє різні рівні сонячного потенціалу: максимальні значення спостерігаються в Херсонській області — близько 1400 кВт·год на м<sup>2</sup> на рік, а найнижчі — у Львівській та інших західних регіонах, де цей показник становить приблизно 1180 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік.

У таблиці 1.2 представлено середньомісячні значення сонячної інсоляції (так званої сонячної постійної) в містах України по місяцях. Дані подані в одиницях кВт·год/м<sup>2</sup>/день і є усередненими результатами багаторічних спостережень, проведених NASA протягом останніх 25 років.

Таблиця 1.2 - Рівні сонячної інсоляції міст України, кВт\*год/м<sup>2</sup>/день

Міста/Місяці	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Сер.
Вінниця	1.07	1.89	2.94	3.92	5.19	5.30	5.16	4.68	3.21	1.97	1.10	0.90	3.11
Дніпропетровськ	1.21	1.99	2.98	4.05	5.55	5.57	5.70	5.08	3.66	2.27	1.20	0.96	3.36
Донецьк	1.21	1.99	2.94	4.04	5.48	5.55	5.66	5.09	3.67	2.24	1.23	0.96	3.34
Житомир	1.01	1.82	2.87	3.88	5.16	5.19	5.04	4.66	3.06	1.87	1.04	0.83	3.04
Запоріжжя	1.21	2.00	2.91	4.20	5.62	5.72	5.88	5.18	3.87	2.44	1.25	0.95	3.44
Івано-Франківськ	1.19	1.93	2.84	3.68	4.54	4.75	4.76	4.40	3.06	2.00	1.20	0.94	2.94
Київ	1.07	1.87	2.95	3.96	5.25	5.22	5.25	4.67	3.12	1.94	1.02	0.86	3.10
Кропивницький	1.20	1.95	2.96	4.07	5.47	5.49	5.57	4.92	3.57	2.24	1.14	0.96	3.30
Луцьк	1.02	1.77	2.83	3.91	5.05	5.08	4.94	4.55	3.01	1.83	1.05	0.79	2.99
Луганськ	1.23	2.06	3.05	4.05	5.46	5.57	5.65	4.99	3.62	2.23	1.26	0.93	3.34
Львів	1.08	1.83	2.82	3.78	4.67	4.83	4.83	4.45	3.00	1.85	1.06	0.83	2.92
Миколаїв	1.25	2.10	3.07	4.38	5.65	5.85	6.03	5.34	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Одеса	1.25	2.11	3.08	4.38	5.65	5.85	6.04	5.33	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Полтава	1.18	1.96	3.05	4.00	5.40	5.44	5.51	4.87	3.42	2.11	1.15	0.91	3.25
Рівне	1.01	1.81	2.83	3.87	5.08	5.17	4.98	4.58	3.02	1.87	1.04	0.81	3.01
Суми	1.13	1.93	3.05	3.98	5.27	5.32	5.38	4.67	3.19	1.98	1.10	0.86	3.16
Сімферополь	1.27	2.06	3.05	4.30	5.44	5.84	6.20	5.34	4.07	2.67	1.55	1.07	3.58
Тернопіль	1.09	1.86	2.85	3.85	4.84	5.00	4.93	4.51	3.08	1.91	1.09	0.85	2.99
Ужгород	1.13	1.91	3.01	4.03	5.01	5.31	5.25	4.82	3.33	2.02	1.19	0.88	3.16
Харків	1.19	2.02	3.05	3.92	5.38	5.46	5.56	4.88	3.49	2.10	1.19	0.90	3.26
Херсон	1.30	2.13	3.08	4.36	5.68	5.76	6.00	5.29	4.00	2.57	1.36	1.04	3.55
Хмельницький	1.09	1.86	2.87	3.85	5.08	5.21	5.04	4.58	3.14	1.98	1.10	0.87	3.06
Черкаси	1.15	1.91	2.94	3.99	5.44	5.46	5.54	4.87	3.40	2.13	1.09	0.91	3.24
Чернігів	0.99	1.80	2.92	3.96	5.17	5.19	5.12	4.54	3.00	1.86	0.98	0.75	3.03
Чернівці	1.19	1.93	2.84	3.96	4.54	4.75	4.76	4.40	3.06	2.00	1.20	0.94	2.94

Тривалість світлового дня змінюється залежно від пори року. У літній період, за сприятливих погодних умов, обсяг виробленої електроенергії зростає завдяки тривалому світловому дню — ранньому сходу та пізньому заходу сонця. Натомість взимку, через суттєве скорочення тривалості дня, продуктивність сонячних електроустановок помітно знижується (рис. 1.8).

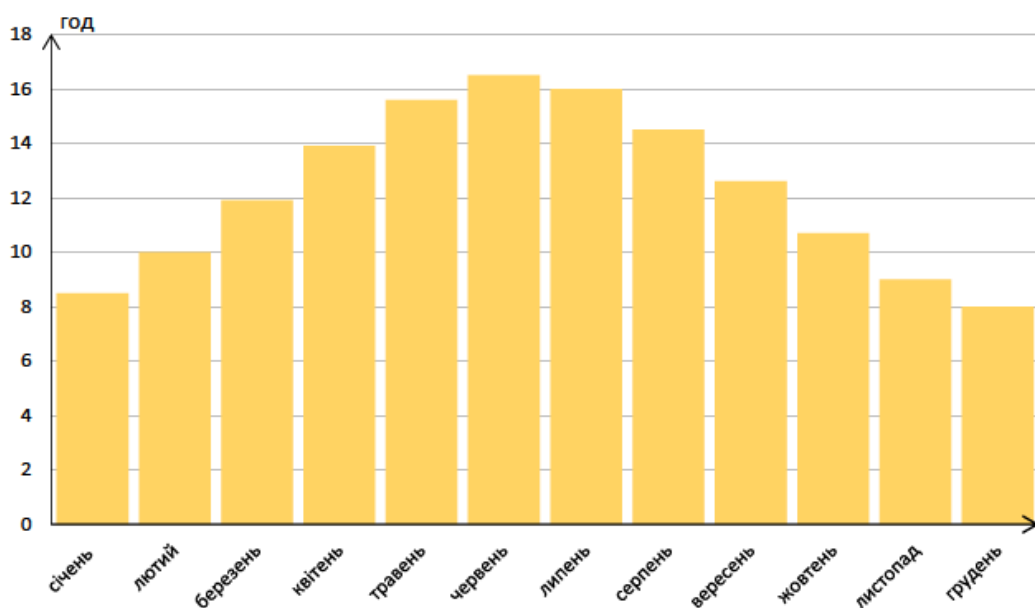


Рисунок 1.8 — Довжина світлового дня протягом року

На графіку (рис. 1.8) відображено середню тривалість часу протягом доби, коли в місті Полтава сонце перебуває над горизонтом.

Варто зазначити, що відмінності в рівні сонячної інсоляції між різними регіонами України мають незначний вплив на строк окупності та загальну ефективність роботи сонячної електростанції. Завдяки правильному підбору фотоелектричних модулів, інверторного обладнання та технічно обґрунтованим проектним рішенням можна компенсувати природні коливання інсоляції та підвищити ефективність системи.

Наочним прикладом є Польща, де рівень сонячної інсоляції в південних регіонах відповідає мінімальним показникам в Україні. Незважаючи на це, країна активно впроваджує сонячну енергетику, рівномірно оснащуючи територію високоефективними СЕС.

### **1.3. Типи сонячних панелей та їх ефективність**

Сонячні батареї складаються з фотоелементів, які виконують основну функцію — перетворюють енергію сонячного випромінювання на електричну. За типом використовуваних фотоелементів сонячні модулі поділяють на три основні групи: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові (гнучкі) [8].

#### **Монокристалічні сонячні модулі**

Монокристалічні панелі легко впізнати за характерною формою елементів — вони мають округлі обрізані кути, що видно на рисунку 1.9. Такі модулі демонструють найвищу ефективність серед усіх типів фотопанелей — близько 22%. Це пояснюється високим ступенем очищення кремнію (до 99,999%), що використовується у виробництві, що суттєво покращує продуктивність елементів.

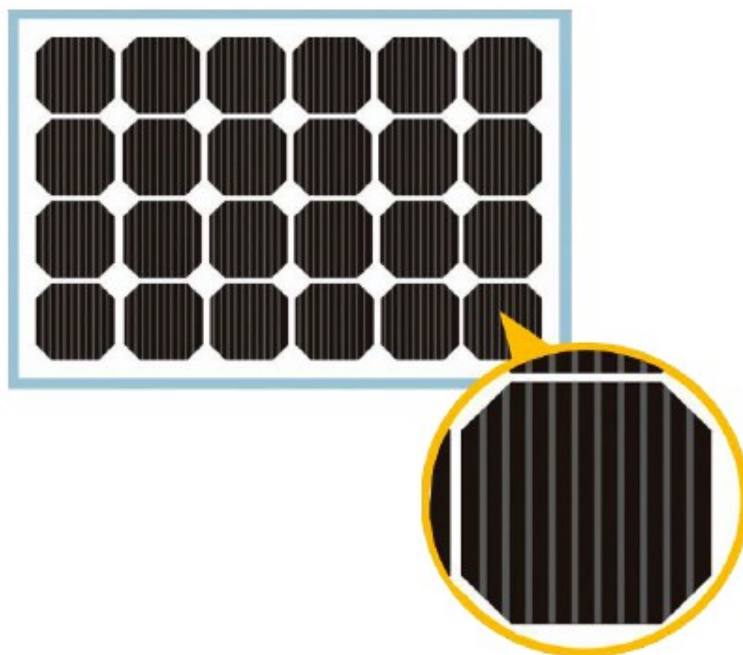


Рисунок 1.9 — Монокристалічна сонячна панель

Монокристалічна панель складається з кількох десятків кремнієвих фотоелементів, які розміщені в захисному корпусі зі склопластику. Такий корпус ефективно захищає модуль від пилу, вологи та інших зовнішніх впливів.

До основних переваг монокристалічних панелей належать компактні розміри, достатня гнучкість під час монтажу, висока ефективність навіть за умов недостатнього освітлення (наприклад, у похмурі дні), а також тривалий термін служби — понад 30 років у середньому.

### **Полікристалічні сонячні модулі**

Полікристалічні панелі відрізняються характерною квадратною формою осередків і яскравим синьо-блакитним відтінком, що можна побачити на рисунку 1.10. Ще донедавна цей тип панелей був найпоширенішим на ринку завдяки своїй доступній вартості. Втім, їх енергоефективність є нижчою порівняно з монокристалічними аналогами і зазвичай становить 12–14%. Саме завдяки меншій ціні, але достатній продуктивності, полікристалічні панелі були обрані для автономної сонячної електростанції потужністю 10 кВт у досліджуваному приватному господарстві.

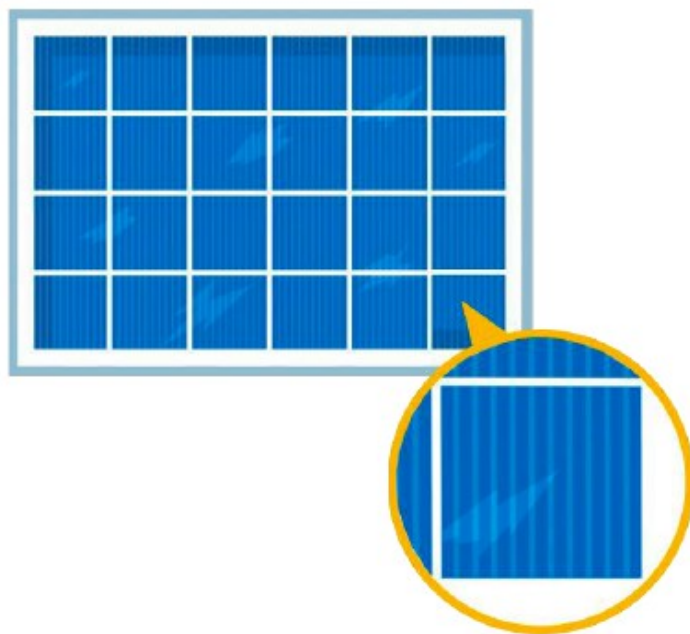


Рисунок 1.10 — Полікристалічна сонячна панель

Низький коефіцієнт корисної дії полікристалічних панелей пояснюється тим, що для їх виготовлення використовують менш очищену сировину, ніж для монокристалічних аналогів. У виробництві часто застосовують вторинний кремній або матеріали нижчої чистоти, що знижує якість кристалів, але й суттєво зменшує собівартість таких модулів.

Попри нижчу ефективність, полікристалічні модулі активно використовуються у великомасштабних проєктах — як для приватних домогосподарств, так і для цілих населених пунктів. Наприклад, у США та країнах ЄС статистика показує, що за два десятиліття безперервної експлуатації полікристалічні панелі втрачають лише близько 10% своєї первинної потужності, що є прийнятним показником для довготривалих інвестицій.

### **Гнучкі сонячні панелі**

Головною перевагою гнучких сонячних батарей є їхня здатність адаптуватися до різноманітних поверхонь — завдяки еластичній структурі їх можна монтувати навіть на нерівні або вигнуті площини. Цей тип фотомодулів виготовляється шляхом нанесення шару напівпровідникового матеріалу на тонку

плівкову основу. Однак через особливості виробництва і використані матеріали їхні характеристики істотно поступаються традиційним кремнієвим панелям — як у продуктивності, так і в терміні служби. Тому гнучкі модулі зазвичай застосовують у специфічних умовах або мобільних рішеннях, а не як основне джерело енергії.



Рисунок 1.11 — Тонкоплівкова панель

Серед ключових переваг гнучких сонячних панелей — стабільна робота за підвищених температур, ефективність при дифузному освітленні або недостатній сонячній активності, а також хороша продуктивність у частково затінених умовах. Їхнє виготовлення є відносно простим, при цьому ймовірність виникнення виробничих дефектів залишається низькою. Водночас головною перевагою цього типу є гнучкість та можливість монтажу на різних типах поверхонь — таких як скляні фасади будівель, вікна чи навіть дахові конструкції нестандартної форми. Коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячної панелі — це показник того, яку частину сонячної енергії, що потрапляє на поверхню модуля, вона здатна перетворити на електричну.

Рівень ефективності фотоелемента визначається його внутрішньою будовою, а також типом кремнієвої підкладки (р-тип або п-тип), яка використовується під

час виробництва. Для об'єктивного порівняння продуктивності всіх типів панелей застосовуються стандартні умови тестування (STC): температура навколишнього середовища — 25 °С, інтенсивність сонячного випромінювання — 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а також спектральна характеристика АМ 1.5.

Розрахунок ефективності здійснюється як відношення максимальної номінальної потужності модуля ( $P_{max}$ , Вт) до його площі в квадратних метрах. Отримане значення й визначає, яку частину світлової енергії панель здатна перетворити в корисну електричну.

Ефективність функціонування сонячної панелі значною мірою залежить від зовнішніх чинників. У реальних умовах навколишнього середовища ці фактори можуть істотно зменшити як продуктивність окремої панелі, так і всієї сонячної електростанції. Основні з них були розглянуті у підрозділі 1.2, серед них:

- рівень інсоляції (щільність сонячного випромінювання);
- часткове або повне затінення фотомодулів;
- орієнтація сонячних панелей відносно сторін світу;
- температурний діапазон експлуатації;
- широта географічного розташування;
- сезонні зміни;
- забруднення поверхні (пил, бруд, пісок тощо).

На сьогодні найбільш ефективними вважаються сонячні модулі на основі монокристалічного кремнію з елементами п-типу. Водночас, на ринку поки переважають фотоелементи, виготовлені за технологією моно-PERC на основі р-типу, проте спостерігається тенденція поступового переходу виробників на більш продуктивні рішення з використанням кремнію п-типу.

"Нижче наведено типові значення коефіцієнта корисної дії (ККД) для різних типів сонячних елементів :

- Полікристалічні модулі: 15–18%

- Монокристалічні модулі: 16,5–19%
- Полікристалічні PERC: 17–19,5%
- Монокристалічні PERC: 17,5–20%
- Монокристалічні елементи n-типу: 19–20,5%
- Монокристалічні HJT (heterojunction): 19–21,7%
- Монокристалічні IBC (interdigitated back contact) n-типу: 20–22,8%"[10].

Таким чином, вибір типу фотоелементів відіграє ключову роль при проектуванні системи, особливо з урахуванням місцевих кліматичних особливостей і умов експлуатації.

#### **1.4. Загальні вимоги до встановлення фотоелектричних модулів в Україні**

Для легального встановлення сонячної електростанції (СЕС) в Україні та подальшого підключення до системи «зеленого» тарифу, необхідно дотримуватись ряду обов'язкових умов:

- наявність житлового будинку, що введений в експлуатацію;
- підтвержене право власності на житлову будівлю та земельну ділянку (особливо важливо при встановленні панелей на наземних опорах);
- підключення будинку до електромережі та наявність технічних умов.

Послідовність дій для підключення СЕС включає наступні етапи:

1. Придбання та монтаж сонячної установки потужністю до 30 кВт (саме така межа дозволяє оформлення за «зеленим» тарифом для домогосподарств).
2. Подання заяви-повідомлення до місцевого РЕМ або обленерго разом зі схемою підключення. На цьому етапі формується технічне завдання. Наприклад, у разі, якщо будинок має однофазне підключення потужністю 5

кВт, а запланована СЕС – 30 кВт, необхідно також подати заяву на підключення до трифазної мережі.

3. Відкриття банківського рахунку, реквізити якого вносяться до заяви-повідомлення. Через цей рахунок здійснюватиметься оплата за надлишки виробленої електроенергії.
4. Узгодження схеми підключення з оператором системи розподілу та отримання рахунку на встановлення вузла обліку. Після цього працівники обленерго встановлюють двонаправлений (з реверсним підрахунком) лічильник, опломбовують його, перевіряють функціонування станції та вводять її в експлуатацію.
5. Подання пакету документів до обленерго для укладення договору купівлі-продажу електроенергії. До документів належать:
  - однолінійна схема СЕС;
  - сертифікати відповідності обладнання;
  - технічний паспорт;
  - документи на право власності;
  - технічні умови.

Згідно з чинним законодавством, оператор системи розподілу не має права відмовити у підключенні сонячної електростанції, якщо замовник дотримався всіх вимог і надав необхідну документацію.

Висновок: хоча вартість монокристалічних панелей є вищою, їх придбання в довгостроковій перспективі є економічно доцільнішим. Вони значно переважають полікристалічні аналоги за основними технічними параметрами: вищий ККД, краща якість кремнію, менші габарити при більшій потужності. Завдяки цьому монокристалічні модулі забезпечують більшу продуктивність за меншої площі встановлення. Варто також зазначити, що станом на 2024–2025 роки

полікристалічні фотомодулі поступово втрачають актуальність, поступаючись більш досконалим технологіям.

## 2. ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ МІНІ-ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТА

### 2.1 Спрощений підхід до розрахунку електроспоживання житлового будинку

У приватних будинках, призначених для постійного проживання, електропостачання зазвичай здійснюється через однофазну або трифазну мережу. Щоб визначити, яку кількість електроенергії має забезпечувати сонячна електростанція, потрібно розрахувати пікову потужність навантаження, а також добове споживання електроенергії — як середнє, так і максимальне.

Пікова потужність визначається як сума потужностей усіх електроприладів, які можуть працювати одночасно. Це дозволяє врахувати найгірший сценарій навантаження на електромережу.

Однак не слід механічно підсумовувати потужність абсолютно всіх побутових приладів. Деякі з них експлуатуються лише в певні сезони або рідко працюють одночасно. Наприклад, снігоприбирач і газонокосарка використовуються в різні пори року, а такі інструменти, як перфоратор і болгарка, фізично не можуть застосовуватись одночасно однією людиною. Більшість побутових приладів вмикаються по черзі.

Щоб уникнути перевитрат на надлишкову потужність, яка фактично не використовується, доцільно оптимізувати використання електроприладів. Наприклад, перед вмиканням праски можна дочекатися, поки закипить електрочайник, і лише після цього увімкнути наступний прилад.

Окремо слід врахувати електроспоживачі, які вмикаються автоматично (електропідігрів підлоги, бойлери) та електроприлади постійної дії (освітлення, холодильник, телевізор, комп'ютер), оскільки ймовірність їх одночасної роботи досить висока.

Такий підхід дозволяє адекватно оцінити потреби домогосподарства в електроенергії та уникнути надлишкових витрат на надмірну потужність системи.

У результаті такого підходу вимоги до максимальної миттєвої потужності значно зменшуються — замість десятків кіловат, які були б необхідні при одночасній роботі всієї наявної електротехніки, у більшості випадків цілком достатньо 3–6 кВт для комфортного споживання.

У конкретному будинку, що аналізується, основними джерелами навантаження є електроплита, бойлер для гарячого водопостачання, а також різноманітні побутові електроприлади. За умови одночасної роботи всіх цих приладів, включно з освітленням, максимальне навантаження було попередньо визначене в підрозділі 1.1 і становить менше 15 кВт.

Визначимо питоме навантаження на вводі даного будинку за формулою:

$$P_{п.б} = P_{уст} * K_{поп} \quad (2.1)$$

Заявлена потужність електроспоживачів, що позначається як  $P_{уст}$ , визначається як сума номінальних потужностей усіх електроприладів та освітлювального обладнання, які планується використовувати у будинку. Це значення вже було визначено у підрозділі 1.1 і виражається в кіловатах.

Щоб оцінити реальне навантаження, необхідно врахувати так званий коефіцієнт попиту  $K_{поп}$  — це безрозмірна величина, яка враховує імовірність одночасної роботи всіх приладів. У випадку одночасного ввімкнення всієї техніки коефіцієнт попиту дорівнює одиниці  $K_{поп} = 1$ . Проте в реальних умовах така ситуація майже ніколи не трапляється.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-23, рекомендовані значення коефіцієнта попиту для житлових приміщень становлять:

- 0,8 — якщо підключено 2 прилади;
- 0,75 — для 3 приладів;
- 0,7 — для 5 і більше електроспоживачів.

Згідно з Правилами роздрібного ринку електричної енергії, для побутових споживачів коефіцієнт попиту визначається також відповідно до таблиці 2.1, яка містить нормативні значення залежно від кількості та типу навантаження.

Знаходимо розрахункове активне навантаження всього будинку за формулою (2.1) для найбільш завантаженого зимнього періоду.

$$P_B = 14.3 * 0.6 = 8.58 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.1 — Коефіцієнти використання потужності

Тип помешкання	$K_{\text{вик}}$
Квартира, окремий будинок або інший об'єкт споживача, не обладнаний ні електроопаленням, ні стаціонарною електроплитою	0,2
Квартира, окремий будинок або інший об'єкт споживача, який обладнаний стаціонарною електроплитою	0,3
Квартира, окремий будинок або інший об'єкт споживача, який обладнаний електроопаленням	0,1 (у період з 01 травня до 30 вересня) 0,6 (у період з 01 жовтня до 30 квітня)
Квартира, окремий будинок або інший об'єкт споживача, який обладнаний електроопаленням та стаціонарною електроплитою	0,2 (у період з 01 травня до 30 вересня) 0,6 (у період з 01 жовтня до 30 квітня)

Реактивне навантаження будинку знаходиться за формулою:

$$Q_B = P_B * \tan \varphi \quad (2.3)$$

Значення розрахункових коефіцієнтів потужності  $\cos \varphi$  та коефіцієнта реактивного навантаження  $\tan \varphi$  для житлових будинків приймаються відповідно до нормативних даних, наведених у типових таблицях коефіцієнтів [12].

Для будинків, у яких встановлено електричні плити та побутові кондиціонери повітря, рекомендовані значення мають такий вигляд:

- коефіцієнт потужності:  $\cos \varphi = 0,93$ ;

- коефіцієнт реактивного навантаження:  $\text{tg } \varphi = 0,40$ .

Підставляючи прийняті значення коефіцієнтів у формулу (2.2) маємо:

$$Q_B = 8.58 * 0.4 = 3.43 \text{ кВар}$$

Повне навантаження будинку знаходиться за наступною формулою:

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} \quad (2.3)$$

Підставляючи у формулу (2.3) вже розраховані за формулами (2.1) та (2.2) значення отримаємо:

Розрахункова сила струму для мережі 220В знаходиться за формулою:

$$I = \frac{S_B}{U_{\text{ном}}} \quad (2.4)$$

Підставляючи у формулу (2.1.4) повне навантаження будинку, сила струму дорівнюватиме:

## **2.2 Точний розрахунок споживання електроенергії для житлового об'єкта**

Спрощений метод дає лише орієнтовні, середньозважені значення енергоспоживання. Для того щоб отримати більш точні дані про кількість електроенергії, яку реально споживає житловий будинок, слід провести деталізований аналіз.

Точне визначення очікуваного добового або місячного споживання електроенергії залежить від режиму експлуатації електричної системи будинку, а також частоти та тривалості використання конкретних приладів.

У цьому розділі виконується деталізований розрахунок на основі повного переліку електроприладів, що вже наведені в таблиці 1.1. Методика передбачає

множення номінального споживання електроенергії кожного пристрою на середню кількість годин його роботи за розрахунковий період.

Ураховуючи, що більшість побутових приладів використовуються не щодня (наприклад, пральна машина може працювати раз на два дні, а пиросос — лише декілька разів на тиждень), у цій роботі розрахунки здійснюються не на добу, а одразу на **місячний період**. Такий підхід дозволяє врахувати як робочі, так і вихідні дні, у які структура енергоспоживання суттєво відрізняється. Підсумкові результати представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Графік використання електроприладів

Найменування електроприладів	Використана потужність, кВт*год											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Кондиціонер	156,4	119,6	23	0	0	55,2	73,6	69	0	9,2	64,4	147,2
Пральна машина	9,3	11,1	13	11,1	9,3	13	13	13	11,1	9,3	9,3	13
Бойлер	67,5	63	60	63	64,5	66	69	72	57	60	57	69
Електрична варильна поверхня	26,4	18	24	15,6	12	12	14,4	14,4	12	14,4	14,4	31,2
Праска	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4
Електрочайник	6,6	4,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	4,4	4,4	4,4
Холодильник	297,6	268,8	297,6	288	297,6	288	297,6	297,6	288	297,6	288	296
Мікрохвильова піч	2,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,1
Пиросос	3	2,3	3	3	3	3	3	3	3	2,3	2,3	3
Телевізор	1,6	2,2	2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,3	2,2	2	1,9	2,5
Всього за місяць	572,4	492,7	428,2	390,5	396,3	447,1	480,6	478,8	380,9	402,5	445	572,4
Всього за рік	5487,4											
В середньому за день	18,46	17,6	13,81	13,02	12,78	14,9	15,5	15,45	12,7	12,99	14,83	18,46

Після визначення потужностей усіх електроприладів виконується підсумування їхнього споживання, що дозволяє отримати загальні витрати електроенергії домогосподарства за один місяць. Цю процедуру доцільно проводити окремо для кожного місяця року, оскільки обсяги споживання суттєво змінюються залежно від сезону. Наприклад, у літні місяці кондиціонери активно використовуються для охолодження, тоді як взимку — для обігріву. У перехідні сезони ці пристрої можуть майже не експлуатуватися.

У цьому розрахунку освітлення не враховано, оскільки в будинку застосовуються енергоощадні світлодіодні лампи малої потужності, які мають незначний вплив на загальне споживання. Крім того, фіксація їх фактичного використання ускладнена, оскільки вони вмикаються епізодично за потреби.

Аналізуючи результати, наведені в таблиці 2.2, можна зробити висновок, що найбільші обсяги електроспоживання фіксуються в зимовий період — до 572 кВт·год у найхолодніші місяці. Середньомісячне споживання протягом року становить приблизно 457 кВт·год.

Оскільки досліджується реально існуючий житловий об'єкт, можливо здійснити порівняння між розрахунковими та фактичними показниками. Максимальний зареєстрований рівень споживання за останні п'ять років становив 591 кВт·год за місяць, а середній показник — 448 кВт·год/міс. Це є досить невелике значення у порівнянні з іншими приватними домоволодіннями у місті. Наприклад, у будинках із газовими плитами споживання нижче, а в оселях з електричним підігрівом підлоги — у зимовий період воно може бути вдвічі вищим.

Максимальне добове споживання спостерігається в грудні та січні — близько 18,46 кВт·год. Для визначення середньодобового споживання протягом року річне значення ділять на кількість днів у році, в результаті чого отримують приблизно 15,04 кВт·год/добу.

Для візуалізації отриманих результатів побудовано діаграму помісячного споживання енергії. На основі цих даних у подальшому буде здійснено вибір оптимальної конфігурації сонячної електростанції.

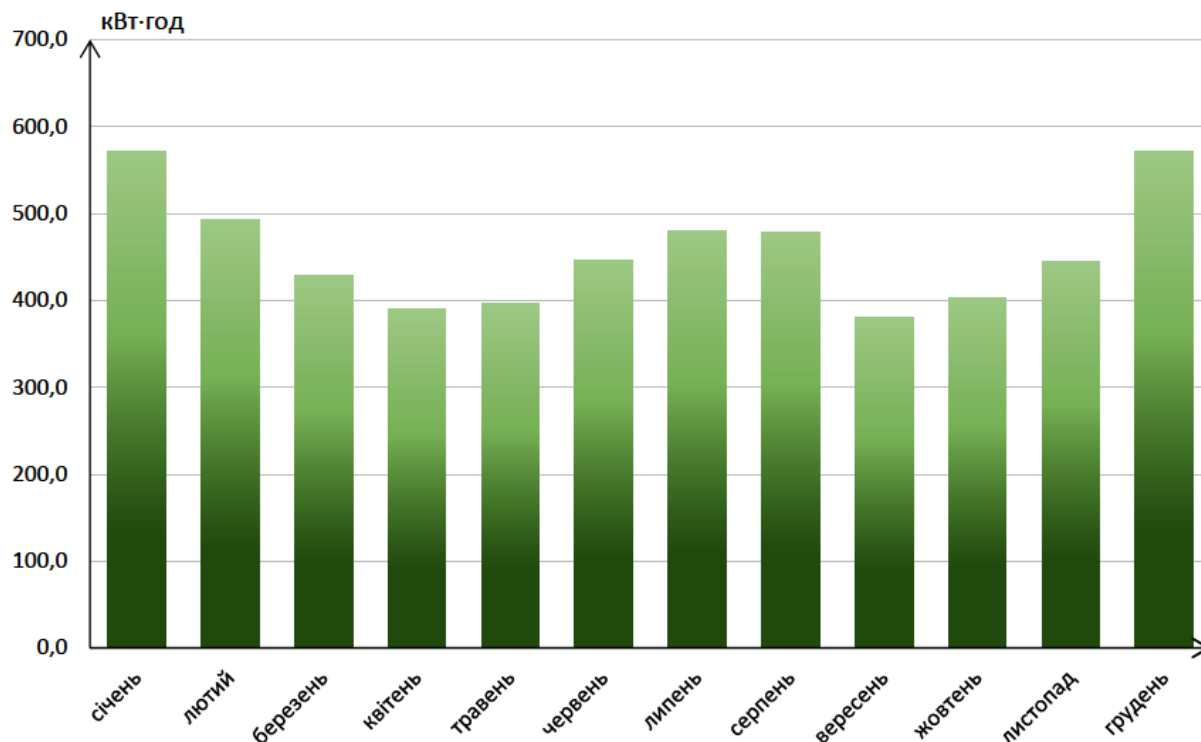


Рисунок 2.1 - Споживана потужність щомісячно

### 2.3 Розрахунок сонячної мініелектростанції для покриття виключно внутрішнього споживання

Сонячна електростанція для власного споживання — це мережева СЕС, яка не підключається до системи «зеленого тарифу». Такий варіант також відомий як автономна або гібридна домашня електростанція. У даному випадку система працює за принципом нульового експорту енергії (режим *0% Feed-in Mode*), який реалізується за допомогою спеціального пристрою — Smart Meter або «розумного» лічильника.

У моменти, коли вироблення електроенергії перевищує потреби будинку, надлишок не надсилається до загальної мережі, а накопичується в акумуляторних

батареях. Якщо ж рівень генерації є недостатнім (наприклад, у нічний час або в похмурі дні), будинок споживає енергію з централізованої електромережі (РЕМ).

Подібна конфігурація СЕС має сенс для кількох завдань:

- забезпечення автономного або резервного живлення в умовах нестабільного енергопостачання;
- зниження витрат на електроенергію шляхом часткового або повного покриття споживання за рахунок сонячної енергії;
- підвищення енергетичної незалежності об'єкта.

У контексті цього проєкту сонячна станція розраховується саме для зменшення обсягів споживаної електроенергії з мережі та забезпечення безперебійної роботи побутових приладів. Це дозволить значно оптимізувати витрати домогосподарства на електроенергію без потреби у продажу надлишків державі.

Схематичне зображення принципу роботи системи, а також перелік її основних складових, наведено на рисунку 2.2.

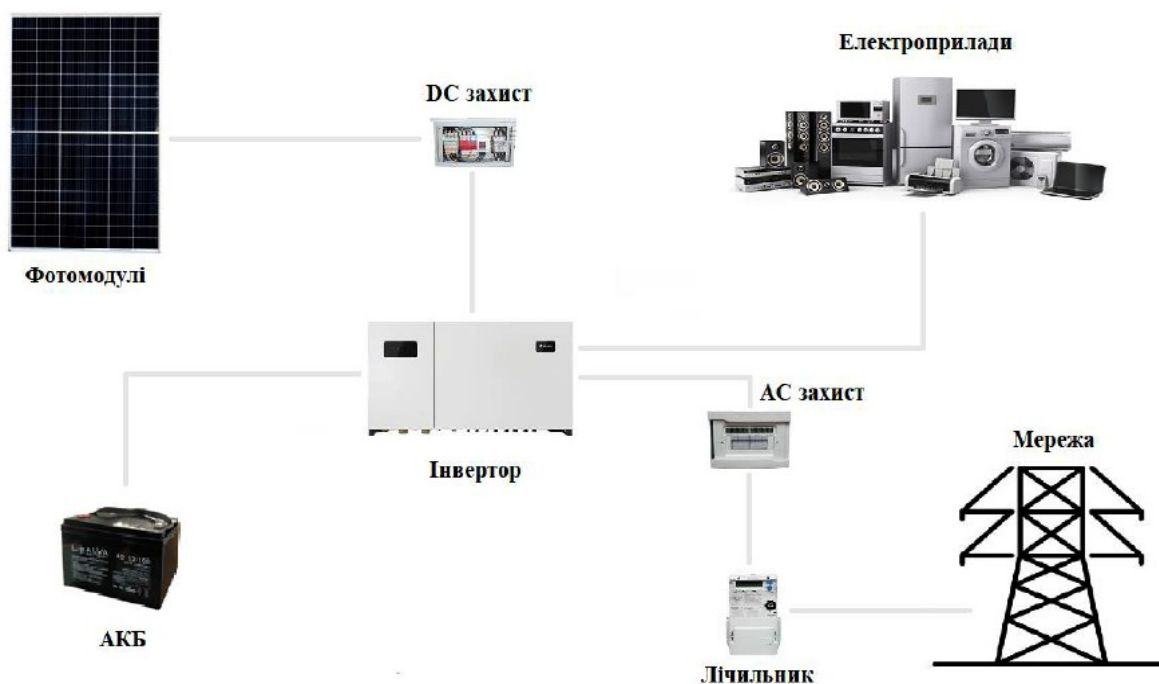


Рисунок 2.2 - Схематичне зображення системи гібридної СЕС

Першим кроком при проектуванні сонячної мініелектростанції є вибір сонячних панелей. Під час підбору обладнання необхідно враховувати два ключові параметри:

- необхідну загальну потужність для покриття навантаження;
- номінальну потужність однієї панелі.

Для визначення потреби у встановленій потужності фотоелектричної станції враховано два показники добового енергоспоживання (максимальне та середньодобове значення), розраховані та наведені в таблиці 2.3.

Виходячи з техніко-економічного аналізу, виконаного в підрозділі 1.3, для реалізації проекту обрано сучасний монокристалічний фотоелектричний модуль **Risen Energy RSM110-8-540M**, який відзначається високим коефіцієнтом корисної дії та надійними експлуатаційними характеристиками. Його технічні параметри подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики сонячної панелі гібридної СЕС

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Тип модуля	Монокристалічний	
Потужність модуля, $P_{\text{MAX}}$	540	Вт
Номінальна напруга, $U_{\text{НОМ}}$	24	В
ККД	20,7	%
Струм при максимальній потужності	17,17	А
Напруга при максимальній потужності	31,46	В
Максимальна напруга в системі	1500	В
Робочі параметри навколишнього середовища для даного фотомодуля	від - 40 до + 85	°С
Габарити	2384 x 1096 x 35	мм
Вага	29	кг

Для визначення кількості сонячних модулів, необхідних для забезпечення житлового будинку електроенергією, слід враховувати періоди максимального споживання. Найбільші обсяги електроспоживання, згідно з проведеним аналізом, спостерігаються в зимові місяці.

Розрахунок починається з визначення потужності, яку здатен генерувати один фотоелектричний модуль у відповідних кліматичних умовах. Формула для обчислення виглядає так:

$$W = k \cdot P \cdot E \quad (2.5)$$

де:

- $P$  — добове вироблення електроенергії одним модулем, кВт·год;
- $k$  — коефіцієнт втрат, пов'язаний із сезонною ефективністю системи (у зимовий період приймається  $k = 0,7$ , у літній —  $k = 0,5$ );
- $E$  — рівень сонячної інсоляції за день, кВт·год/м<sup>2</sup> (для зими значення береться з табл. 1.2).

На основі цієї формули обчислюється фактична добова енергія, яку може згенерувати один модуль у зимовий період.

$$W = 0,7 \cdot 540 \cdot 0,86 = 325,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Далі визначається необхідна кількість панелей за формулою:

$$N = \frac{P_{\text{ДОБ}}}{W} \quad (2.6)$$

де:

- $N$  — розрахункова кількість сонячних модулів;
- $P_{\text{ДОБ}}$  — максимальне добове споживання електроенергії, кВт·год (в даному випадку — 18,46 кВт·год);
- $W$  — добове вироблення одного модуля, кВт·год (згідно з формулою 2.5).

Отримане значення округлюється до більшого цілого числа, щоб гарантовано покрити потреби навіть у найменш сонячні дні.

$$N = \frac{18460}{325,1} = 56,7 \approx 56$$

Аналогічний розрахунок виконується для середньодобового енергоспоживання протягом року, підставляючи середнє значення інсоляції (3,16 кВт·год/м<sup>2</sup>·день) та коефіцієнт  $k = 0,5$ , що є типовим для більшості місяців.

$$N = \frac{15042}{0,5 \cdot 540 \cdot 3,16} = 17,63 \approx 18$$

Для правильного проєктування системи електропостачання необхідно визначити цільовий рівень енергетичної незалежності домогосподарства. Існує кілька можливих варіантів реалізації системи на основі сонячної енергії:

- Повне — повна автономія, при якій всі споживачі живляться винятково від сонячної електростанції (СЕС), без використання електромережі.
- Комфортне — автономне забезпечення основних побутових потреб (освітлення, холодильник, комп'ютери тощо), тоді як енергоємні прилади, як-от пральна машина чи духовка, залишаються підключеними до мережі.
- Помірне — покриття базових потреб та часткове забезпечення додаткових навантажень, у той час як решта споживачів живиться від зовнішньої мережі.
- Базове — автономне живлення лише критично важливих пристроїв (освітлення, циркуляційний насос, сигналізація), а вся інша електрика надходить з централізованої мережі (РЕМ).
- Аварійне — резервне живлення основних приладів упродовж короткого періоду, достатнього для очікування відновлення централізованого постачання.

Для наочності виконується моделювання роботи системи на основі різних конфігурацій сонячних панелей. У даному випадку аналізується два варіанти:

встановлення 18 та 56 сонячних модулів. Генерування електроенергії розраховується для кожного місяця за формулою (2.5), з урахуванням сезонної інсоляції та коефіцієнта ефективності.

Отримані результати представлено у вигляді графіка:

- лінії генерування для обох варіантів конфігурації (18 та 56 модулів);
- лінія споживання, що відображає фактичну потребу домогосподарства за кожен місяць (рис. 2.1).

Порівняння цих показників дозволяє наочно визначити, який рівень енергетичного забезпечення може бути реалізовано при відповідній кількості панелей. Наприклад:

- 18 модулів можуть гарантувати помірне або комфортне електропостачання у весняно-літній період;
- 56 модулів потенційно забезпечують повну автономію навіть взимку, з урахуванням пікових навантажень.

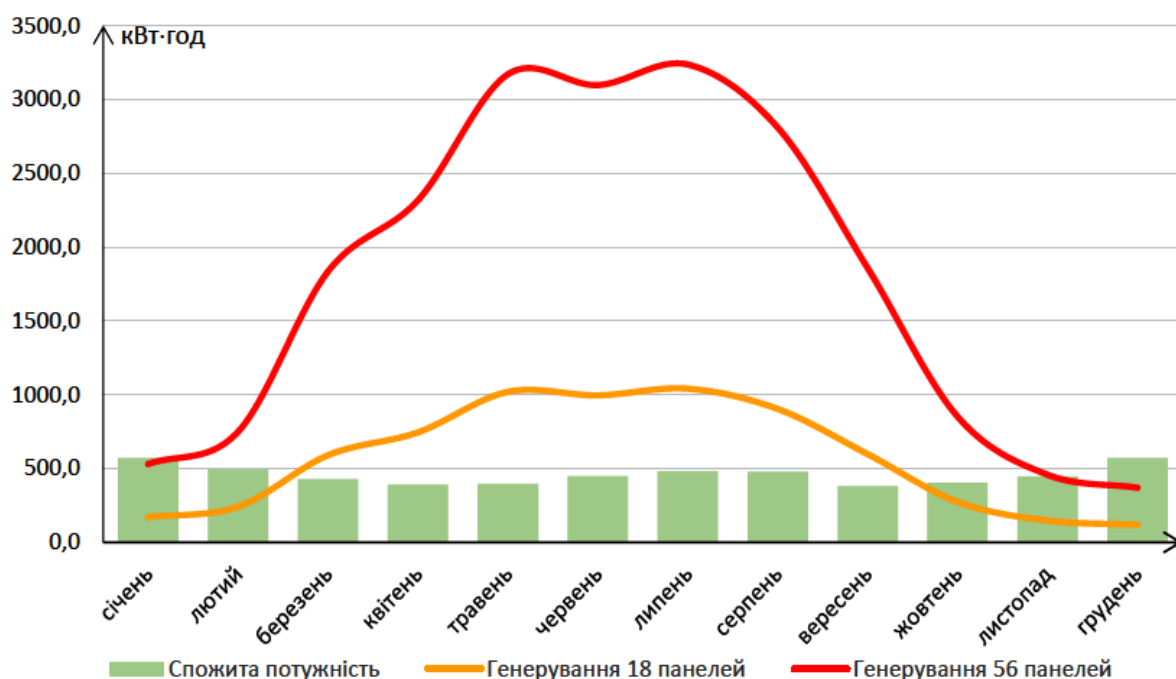


Рисунок 2.3 — Відношення спожитої потужності до згенерованої

Як видно з графіків на рис. 2.3, потужність, що генерується сонячними панелями влітку, значно перевищує зимову через сезонні коливання рівня інсоляції. Це призводить до надлишку невикористаної енергії у теплі місяці року. Враховуючи це, для реалізації помірному режиму електропостачання доцільно обмежитись встановленням не більше 18 сонячних модулів. Така кількість панелей здатна покрити основні потреби будинку більшу частину року, тоді як у зимові місяці дефіцит енергії буде компенсуватися електропостачанням з районної мережі.

Щодо геометричних параметрів системи, оптимальний кут нахилу панелей для території України традиційно приймається в межах 35-45°. Проте для більш точного визначення оптимального кута саме для конкретної місцевості слід скористатися формулою (2.7), підставивши в неї географічну широту відповідного регіону.

$$n = \text{географічна широта}^\circ * 0.76 + 3.1^\circ \quad (2.7)$$

Географічна широта м. Полтава — 49° 35' 36". Отже фотомодулі слід установити під кутом:

$$n = 49.35^\circ * 0.76 + 3.1 = 41.5^\circ$$

Відповідно до визначених параметрів системи необхідно обрати інвертор, який відповідатиме потужності встановленої гібридної сонячної електростанції. Для цього у виборі був зупинений на гібридному інверторі Solis RHI-3P10K-HVES-5G, що призначений для автономних гібридних та сонячних електростанцій. Технічні характеристики даного інвертора наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Характеристика інвентору для СЕС

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Номінальна потужність	10	кВт
Максимальна потужність	16	кВт
Номінальна напруга масиву фотомодулів	600	В
Максимальна напруга масиву фотомодулів	1000	В
Номінальна вихідна напруга	220/230	В
Максимальний вхідний струм	26	А
ККД	97,7	%
Розмір	535 x 455 x 181	мм
Вага	25	кг

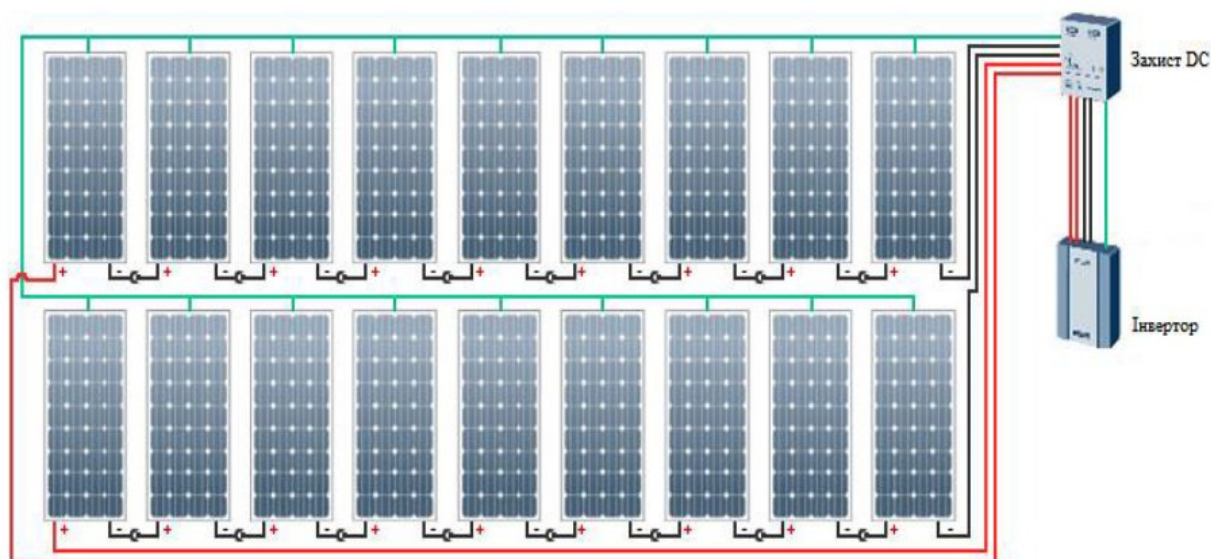


Рисунок 2.4 - Схема сонячних панелей до гібридного інвертора

Автономні інвертори здатні функціонувати без підключення до зовнішньої електричної мережі, використовуючи сонячні панелі як основне джерело заряду акумуляторних батарей. Вони акумулюють надлишкову електроенергію вдень і передають її у навантаження будинку у разі потреби. Такий підхід забезпечує

безперервне і стабільне електропостачання навіть за умови відсутності зовнішньої мережі, що є актуальним в умовах частих перебоїв електроживлення в Україні.

Завдяки роботі в режимі 24/7, сонячна електростанція з акумуляторним блоком здатна забезпечити будинок електроенергією цілодобово: вдень електроенергія надходить безпосередньо з панелей, а вночі або в похмурі дні — з накопичених у батареях запасів.

При виборі акумуляторів важливо враховувати їхню ємність. Надмірна ємність може призводити до хронічного недозарядження, що негативно впливає на ресурс батарей, тоді як недостатня ємність не зможе задовольнити потреби споживача та спричинить глибокі розряди, що також шкодить батареям [16].

Найпоширенішими робочими напругами акумуляторних батарей у сонячних системах є 12, 24 та 48 В. Вибір напруги і кількості акумуляторів визначається параметрами інвертора та необхідною ємністю акумуляторного блоку для забезпечення енергоспоживання будинку. З урахуванням середньодобового споживання енергії 15,04 кВт·год (табл. 2.2) розрахунок ємності акумуляторної батареї буде проведено для одного дня повної автономної роботи. Для цього визначимо необхідний струм акумулятора за формулою (2.8).

$$I_{\text{роз}} = \frac{P_{\text{доб}}}{U_{\text{ном}}} \quad (2.8)$$

де  $P_{\text{доб}}$  — розрахунковий струм акумуляторної батареї, А;  
 $U_{\text{ном}}$  — номінальна робоча напруга акумуляторної батареї, В.

При цьому слід враховувати, що для збільшення терміну служби акумуляторів їх допустимо розряджати не більше ніж на 20–30 % від загальної ємності. Використаємо у формулі (2.8) номінальну напругу акумуляторної батареї, яка становить 48 В:

$$I_{\text{роз}} = \frac{15042}{48} \cdot 1,2 = 376 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Для забезпечення автономного електропостачання електроприладів протягом доби було обрано акумуляторну батарею з ємністю 400 А·год. Це відповідає чотирьом акумуляторам на 48 В по 100 А·год кожен. В якості джерела енергії було обрано літій-залізофосфатні акумулятори Challenger LF48-100, зображені на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 - Акумуляторна батарея Challenger LF48-100

Акумуляторні батареї необхідно з'єднати паралельно, щоб підтримувати напругу, сумісну з параметрами інвертора. При паралельному з'єднанні напруга залишається сталою (48 В), а ємність батарей сумується, що дозволяє збільшити загальний запас енергії. Для кращого розуміння наведено схему підключення таких акумуляторних батарей (рис. 2.6).

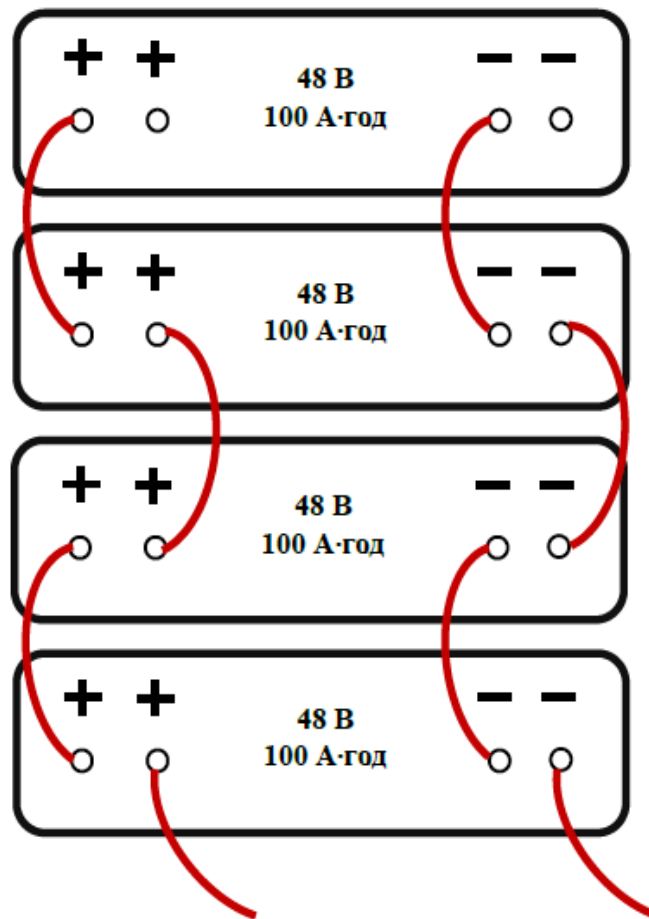


Рисунок 2.6 - Схема підключення акумуляторних батарей

Вибрані акумуляторні батареї оснащені вбудованою системою управління (BMS), що робить їх ідеальними для створення автономних систем зберігання енергії, а також автономних і гібридних сонячних електростанцій.

Для з'єднання всіх елементів схеми необхідно правильно підібрати кабелі. Від відповідності перетину кабелів залежить надійність, ефективність і безпека роботи всієї системи електропостачання гібридної сонячної електростанції, що наведена на рис. 2.7.

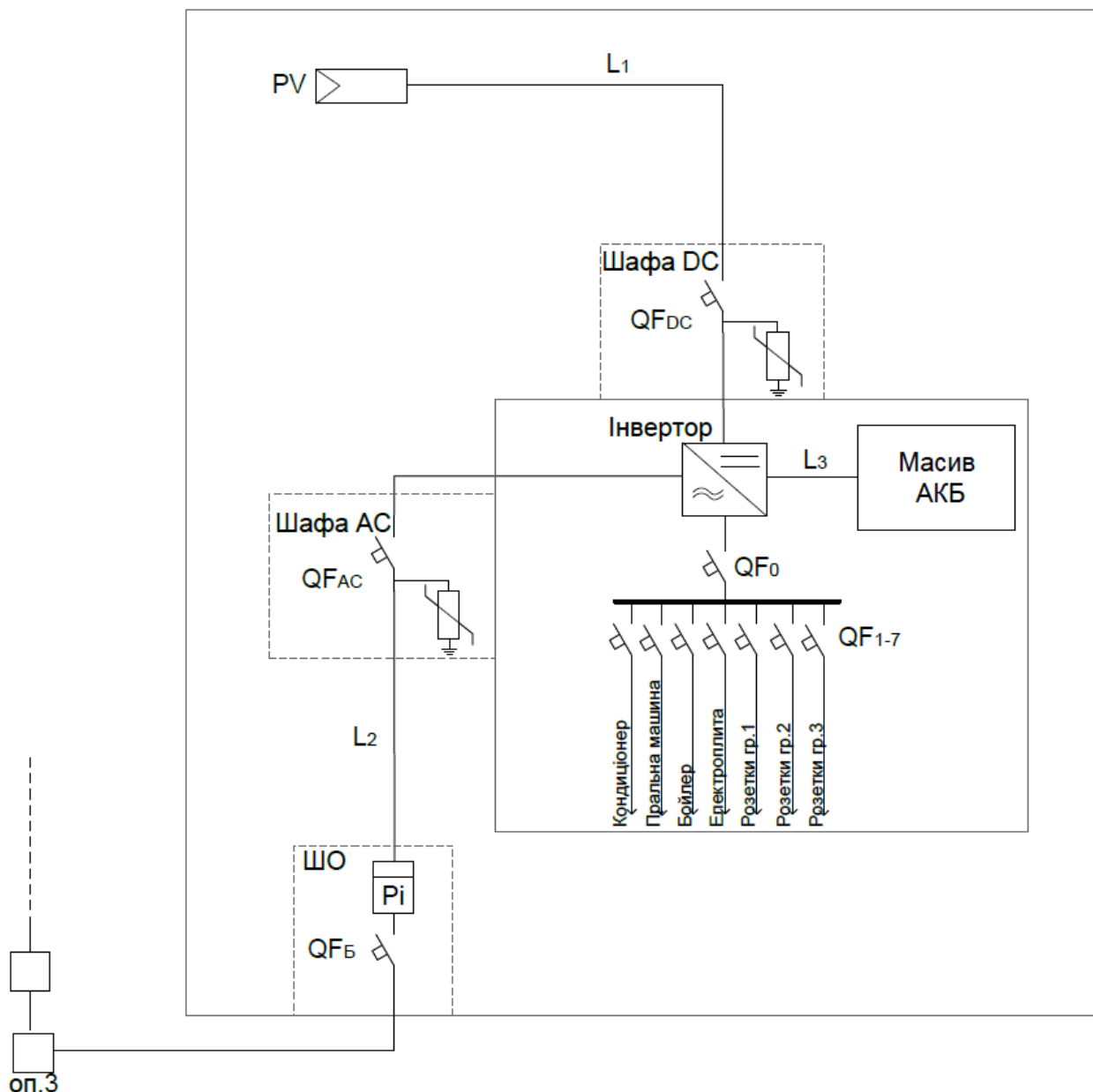


Рисунок 2.7 - Однолінійна схема електропостачання від СЕС

Вибір електричних кабелів, тобто їхніх перерізів, буде виконуватися за допустимим тривалим струмом. Визначимо струми в лініях за формулою (2.9) та (2.10). і занесемо знайдені дані в табл. 2.6:

– для трифазної мережі:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.9)$$

– для однофазної мережі:

$$I = \frac{S}{U_H}$$

(2.10)

Перевіримо існуючу систему електропостачання в будинку, порівнявши номінальні струми кабелів з розрахованими. Результати занесені в табл. 2.7.

Також для всіх кабелів знайдемо втрати напруги за формулою:

$$\Delta U = \frac{\kappa \cdot P \cdot L}{C \cdot S} \quad (2.11)$$

де,  $\Delta U$  - втрати напруги в провіднику, %;

$C$  - коефіцієнт, який обирається з таблиці 2.5:

$S$  - переріз провідника,  $M \cdot M^2$

$P$  - підключена потужність, кВт;

$\kappa$  - коефіцієнт, що враховує ступінь розподілу навантаження на провіднику,  
для КЛ:  $\kappa = 1$  для ПЛ:  $\kappa = 0,5$

$L$  - довжина провідника, м.

Таблиця 2.5 - Коефіцієнт для визначення втрат напруги в провіднику

Тип лінії	Мідні жили	Алюмінієві жили
Для однофазної лінії	12	7,4
Для трифазної лінії	72	44

Результати всіх розрахунків та перевірок згруповані та занесені до табл. 2.6 — 2.7.

Таблиця 2.6 - Вибір кабелів для підключення СЕС

№	L, м	U, кВ	P, кВт	I <sub>p</sub> , А	Марка	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> , А	$\Delta U$ , %
L <sub>1</sub>	50	0,566	9,8	17,6	H1Z2Z2-K ×4	4	55	3,4
L <sub>2</sub>	10	0,22	10	45,5	АВВГ 3 × 10	10	58	0,83
L <sub>3</sub>	1	0,048	5	104,2	ПВ 3 × 25	25	154	0,02

Для з'єднання фотомодулів між собою та підключення їх до інвертора обрано спеціальний кабель Solar Energy HIZ2Z2-K з перетином 4 мм<sup>2</sup>. Цей кабель призначений саме для сонячних панелей і відповідає європейському стандарту EN50618 для Solar DC Cable, що гарантує надійність і безпечну експлуатацію в системах постійного струму.

Для підключення акумуляторних батарей до інвертора використовується мідний кабель з полівінілохлоридною (ПВХ) ізоляцією. Для забезпечення мінімальних втрат і максимальної безпеки кабель обрано коротким і з великим перетином.

Таблиця 2.7 - Перевірка існуючих проводів електропроводки будинку

№	Марка	L, м	P, кВт	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> , А	I <sub>p</sub> , А	ΔU, %
l <sub>1</sub>	ВВГ 3x1,5	8	2,3	1,5	21	10,5	1,02
l <sub>2</sub>	ВВГ 3x1,5	12	1,85	1,5	21	8,4	1,23
l <sub>3</sub>	ВВГ 3x1,5	15	1,5	1,5	21	6,8	1,25
l <sub>4</sub>	ВВГ 3x2,5	17	2,4	2,5	27	10,9	1,36
l <sub>5</sub>	ВВГ 3x2,5	5	3	2,5	27	13,6	0,5
l <sub>6</sub>	ВВГ 3x2,5	11	3	2,5	27	13,6	1,1
l <sub>7</sub>	ВВГ 3x2,5	16	3	2,5	27	13,6	1,6

Всі існуючі кабелі у проводці будинку пройшли перевірку: розрахункові струми не перевищують допустимі значення, а втрати напруги становлять менше 5%. Це забезпечує безпечну і ефективну роботу електричної системи.

Для надійного захисту кожної лінії встановлюються автоматичні вимикачі, як показано на рис. 2.7. Вибір номінального струму автоматичних вимикачів здійснюється за формулою (2.10). Підбір конкретних автоматичних вимикачів для кожної лінії наведений у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 - Вибір автоматичних вимикачів для дому

Позначення на схемі	Розрахунковий струм, А	Номінальний струм, А	Тип автоматичного вимикача
QF 0	45,5	50	AB 1p 50 SZ201
QF 1	10,5	16	ABB 1p 16 SZ201
QF 2	8,4	10	ABB 1p 10 SZ201
QF 3	6,8	10	ABB 1p 10 SZ201
QF 4	10,9	16	ABB 1p 16 SZ201
QF 5	13,6	16	ABB 1p 16 SZ201
QF 6	13,6	16	ABB 1p 16 SZ201
QF 7	13,6	16	ABB 1p 16 SZ201

Всі обрані автоматичні вимикачі задовольняють умову  $I_{НОМ} \geq I_{РОЗ}$ , що гарантує їх коректну роботу у режимах перевантаження. Правильно підібрана захисна автоматика дозволяє уникнути пошкодження основного обладнання в разі перегріву, перевантаження, імпульсних стрибків напруги, зворотного струму, ударів блискавки та інших аварійних ситуацій.

Вибрані компоненти для захисту в шафах постійного (DC) та змінного (AC) струму наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Захисна автоматика для СЕС

Захист	Назва
Шафа AC	
Автоматичний вимикач	ETIMAT 10 3p+N C 50A (6 kA)
Обмежувач перенапруг	ETITEC M T12 300/7 (4+0, 4p, TNC-S)
Шафа DC	
Автоматичний вимикач	ETIMAT 10 DC 2p C 25A (6kA)
Обмежувач перенапруг	ETITEC EM T2 PV 1000/20 Y (для PV систем)

Для даного проекту було обрано розумний лічильник DTSU666-H (250A/50mA) від компанії Huawei, який буде встановлений у існуючій шафі обліку на межі земельної ділянки. Пристрій призначений для роботи у трифазній мережі.

Основні характеристики лічильника наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Характеристика лічильника для СЕС

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>	<b>Одиниця виміру</b>
Діапазон вхідної напруги (фазова)	від 176 до 288	В
Значення вхідного струму	до 250	А
Точність вимірювань напруги	$\pm 0.5$	%
Точність вимірювань струму	$\pm 1$	%

#### **2.4 Розрахунок сонячної міні-електростанції для генерації електроенергії в зовнішню мережу**

Мережеві СЕС є найбільш доступним за вартістю рішенням, оскільки не включають акумуляторні батареї. При цьому акумулятори разом із системою безперебійного живлення можуть становити 40–50 % загальної вартості проекту.

Основна відмінність мережевої сонячної електростанції від гібридної зображена на рисунку 2.8. Під час сонячного освітлення фотоелектричні модулі виробляють достатньо електроенергії для задоволення потреб домогосподарства. Надлишкова електроенергія може продаватися до центральної мережі в рамках програми "зелений тариф". Вночі та в похмурі дні електроенергія надходить безпосередньо з районної електромережі (РЕМ).

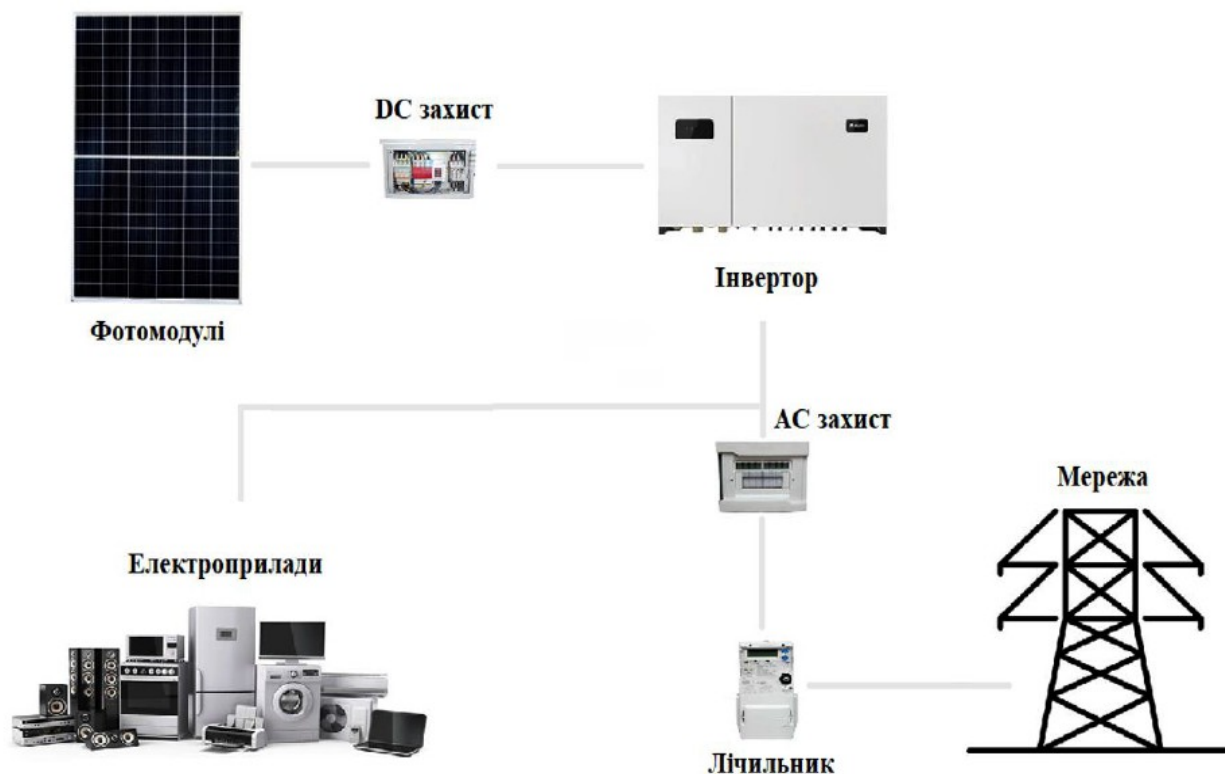


Рисунок 2.8 - Схематичне зображення системи мережевої СЕС

Розрахунок мережевої сонячної електростанції має свої особливості, оскільки її головна мета — не лише забезпечення потреб будинку, а й максимальний продаж електроенергії до мережі. З огляду на це, потужність СЕС встановлюється на рівні 30 кВт, що є максимально дозволеним значенням для побутових споживачів.

Для встановлення обираються сонячні панелі. На основі аналізу, проведеного в розділі 1.3, було обрано монокристалічні фотоелектричні модулі Longi Solar LR5-72HPH-540M, технічні характеристики яких наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Характеристика сонячних панелей для мережевої СЕС

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Тип модуля	Монокристалічний	
Потужність модуля, $P_{\text{MAX}}$	540	Вт
Номінальна напруга, $U_{\text{НОМ}}$	36	В
ККД	21,1	%
Струм при максимальній потужності	12,97	А
Напруга при максимальній потужності	41,65	В
Максимальна напруга в системі	1500	В
Робочі параметри навколишнього середовища для даного фотомодуля	від -40 до + 85	°С
Габарити	2256 x 1133 x 35	мм
Вага	31	кг

Для визначення кількості сонячних модулів, необхідних для досягнення максимально дозволеної потужності 30 кВт, потрібно поділити це значення на потужність однієї панелі, що наведена в технічних характеристиках фотомодуля в таблиці 2.11.

$$N = \frac{30 \text{ кВт}}{W} \quad (2.12)$$

$$N = \frac{30 \cdot 10^3}{540} = 55,6 \approx 56$$

Для оцінки покриття потреб споживання електроенергії будинку буде побудовано графік генерації електроенергії сонячними модулями, який накладається на діаграму споживаної потужності домогосподарства (рис. 2.1). Потужність генерації для кожного місяця обчислюється за формулою (2.5).

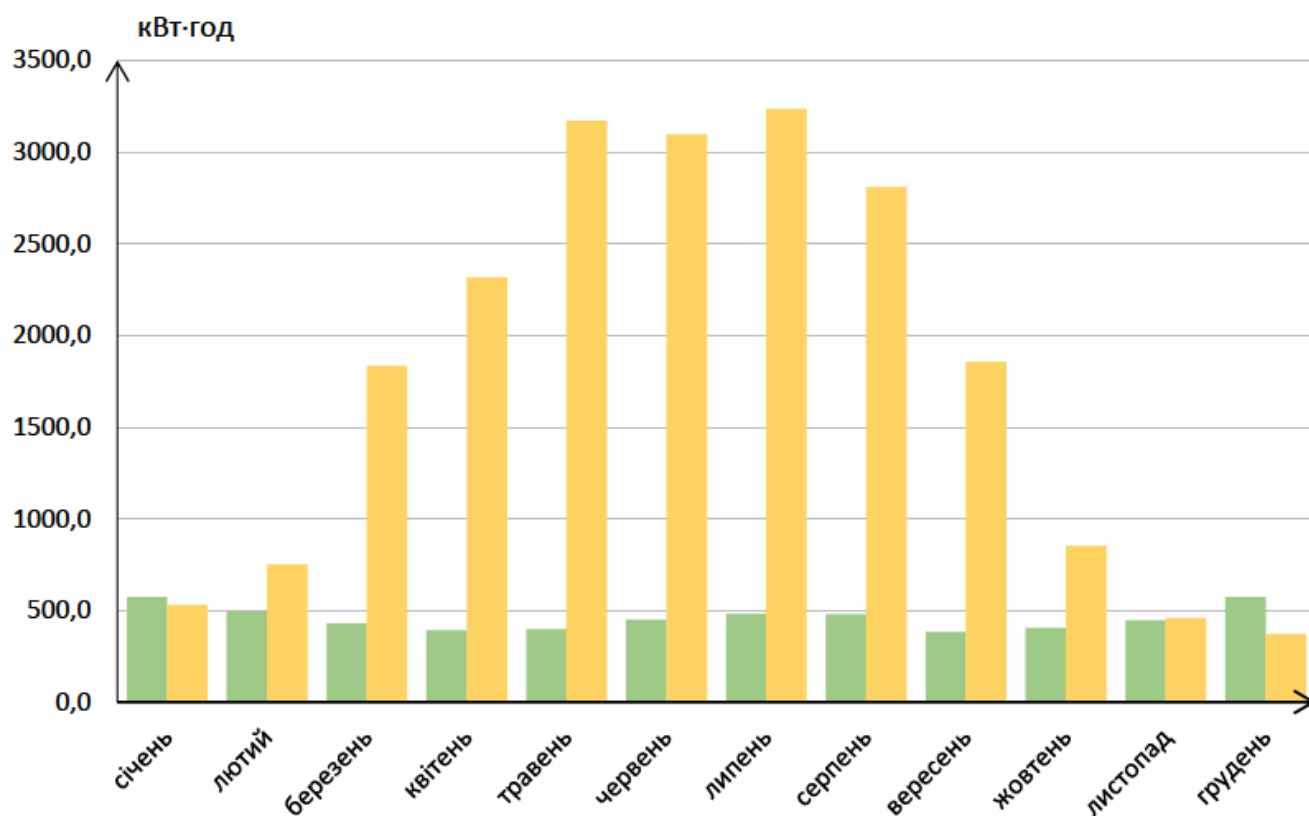


Рисунок 2.9 - Відношення спожитої потужності до згенерованої

Оптимальний кут нахилу сонячних панелей, визначений у розділі 2.2 і рівний  $41,5^\circ$ , залишився без змін, оскільки панелі встановлюються на тому ж місці.

Підбір інвертора для мережевої сонячної електростанції проводиться аналогічно до гібридної системи, але тепер враховується мережевий тип з номінальною потужністю 30 кВт. Обрано мережевий інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M3, технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Характеристика інвертору для мережевої СЕС

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Номінальна потужність	30	кВт
Максимальна потужність	33	кВт
Номінальна напруга масиву фотомодулів	600	В
Максимальна напруга масиву фотомодулів	1100	В
Номінальна вихідна напруга	230/400	В
Максимальний вхідний струм	47,9	А
ККД	98,7	%
Розмір	640 x 530 x 270	мм
Вага	46	кг

Максимальна напруга масиву сонячних панелей для інвертора становить 1100 В, а максимальний вхідний струм — 47,9 А. При послідовному з'єднанні фотомодулів напруга сумується, а струм залишається сталим, тоді як при паралельному з'єднанні — навпаки.

Оскільки при послідовному з'єднанні всіх панелей напруга перевищує допустимі значення, було прийнято рішення додати ще одну сонячну панель та сформувану схему підключення таким чином: всі фотомодулі поділяються на три рівні групи по 19 панелей, з'єднаних послідовно, а самі три групи — паралельно (рис. 2.10).

У результаті максимальна сумарна напруга масиву не перевищуватиме 792 В, а струм — 39 А, що знаходиться в межах допустимих параметрів інвертора. Додаткова панель не суттєво вплине на роботу інвертора, оскільки загальна

потужність збільшиться лише на 780 Вт (при максимально допустимій потужності 33 кВт), до 30,78 кВт.

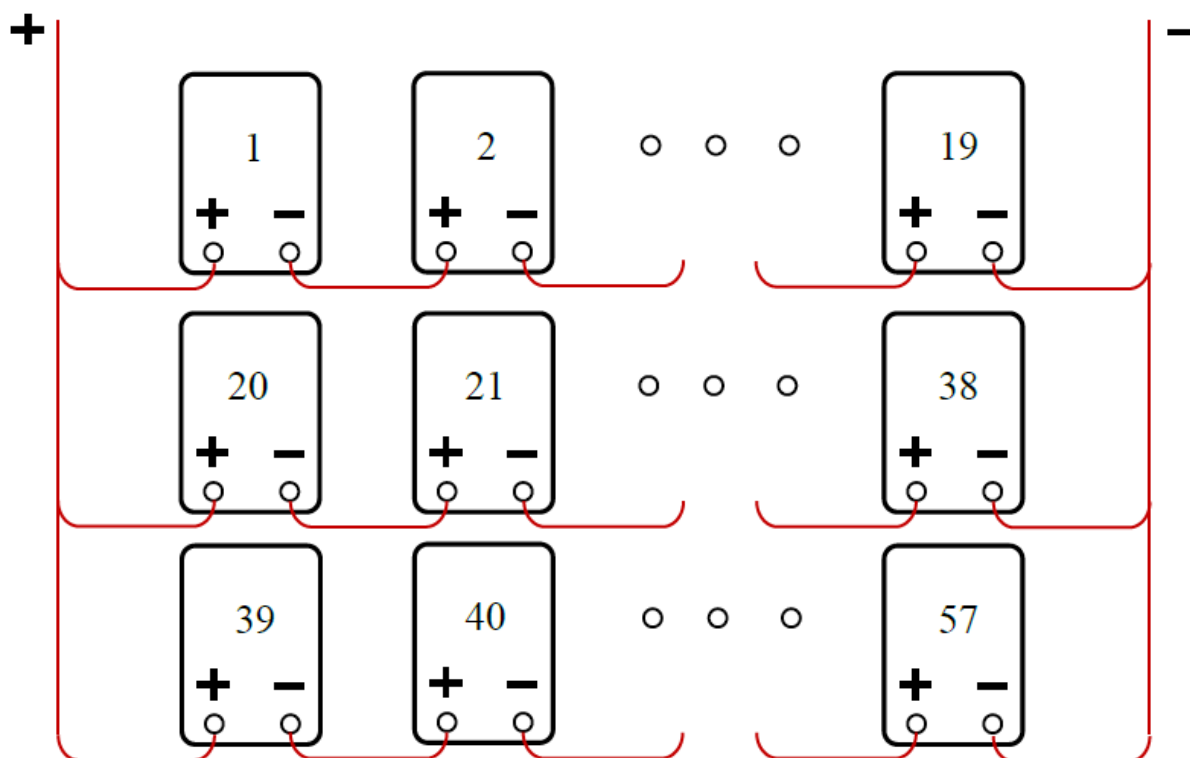


Рисунок 2.10 - Схема підключення сонячних панелей мережевої СЕС

Вибір проводів здійснюється так само, як описано в розділі 2.3. Система електропостачання, зображена на рис. 2.11, майже не відрізняється від попередньої, за винятком відсутності акумуляторних батарей.

Таблиця 2.13 - Вибір кабелів для підключення мережевої СЕС

№	L, м	U, кВ	P, кВт	I <sub>p</sub> , А	Марка	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп.</sub> , А	U, %
L <sub>1</sub>	65	0,792	31	22,6	Н1Z2Z2-К ×6	6	70	3,8
L <sub>2</sub>	10	0,38	31	47,1	АВВГ 4 × 10	10	54	0,7

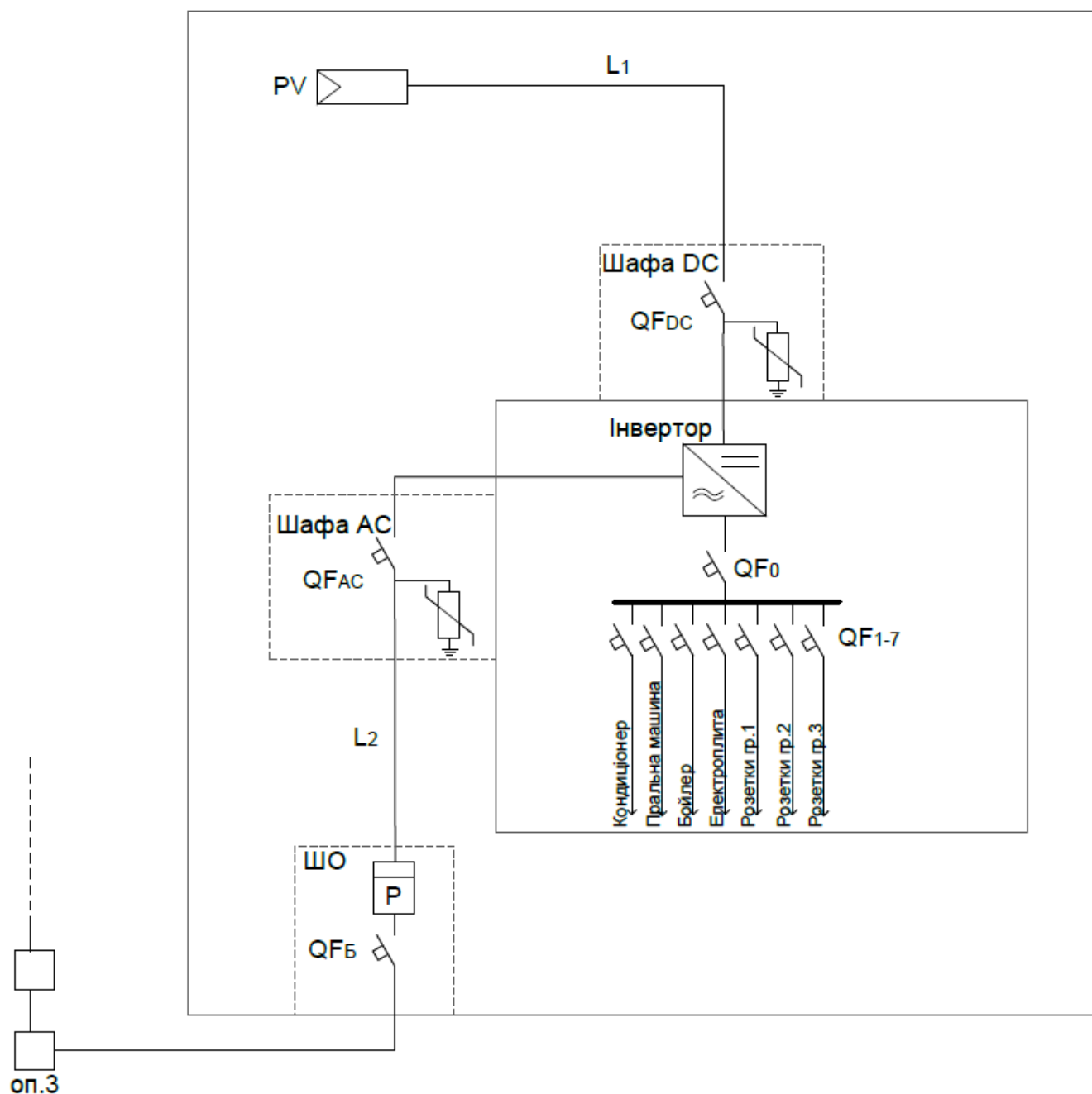


Рисунок 2.11 - Однолінійна схема електропостачання від мережевої СЕС

"Для з'єднання фотомодулів та їх підключення до інвертора було обрано спеціальний кабель TOP CABLE HIZ2Z2-K перетином 6 мм<sup>2</sup>, який призначений для сонячних панелей та відповідає європейському стандарту EN50618 для Solar DC Cable.

Проводи від інвертора до електроприладів залишаються без змін, а автоматичні вимикачі вже були підібрані в розділі 2.3."

Захисне та комутаційне обладнання наведене у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Захисна автоматика для мережевої СЕС

Захист	Назва
<b>Шафа AC</b>	
Автоматичний вимикач	ETIMAT 10 3p+N C 50A (6 kA)
Обмежувач перенапруг	ETITEC M T12 300/7 (4+0, 4p, TNC-S)
<b>Шафа DC</b>	
Автоматичний вимикач	ETIMAT 10 DC 2p C 40A (6kA)
Обмежувач перенапруг	ETITEC M T12 300/7 (4+0, 4p, TNC-S)

Для обліку електроенергії слід використовувати трифазний електронний лічильник активної енергії прямого і зворотного напрямку (клас точності не нижче 1.0), що підключається без трансформаторів і розрахований на відповідний струм навантаження. Такий лічильник має відповідати вимогам комерційного обліку електроенергії.

Прикладом є двонаправлений лічильник ACE 6000 від Itron (Actaris) із струмом 5 (100) А і вбудованим модемом Sparklet. Він відповідає вимогам автоматизованої системи обліку та рекомендований Обленерго для виробників електроенергії з відновлюваних джерел.

Таблиця 2.15 - Характеристика лічильника для мережевої СЕС

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Номінальна напруга	100-480	В
Номінальний струм	5	А
Максимальний струм	100	А

## 2.5. Розробка технічних умов для приєднання сонячної міні-електростанції до розподільної електричної мережі

Необхідно перевірити існуючу схему живлення та її здатність витримати додаткове навантаження у 3 кВт, оскільки договірне навантаження планується збільшити з 7 кВт до 10 кВт.

Проводиться перевірка діючого обладнання у КТП, до якого підключено будинок, з урахуванням додаткового навантаження: для першого випадку — до 10 кВт, для другого — до 31 кВт.

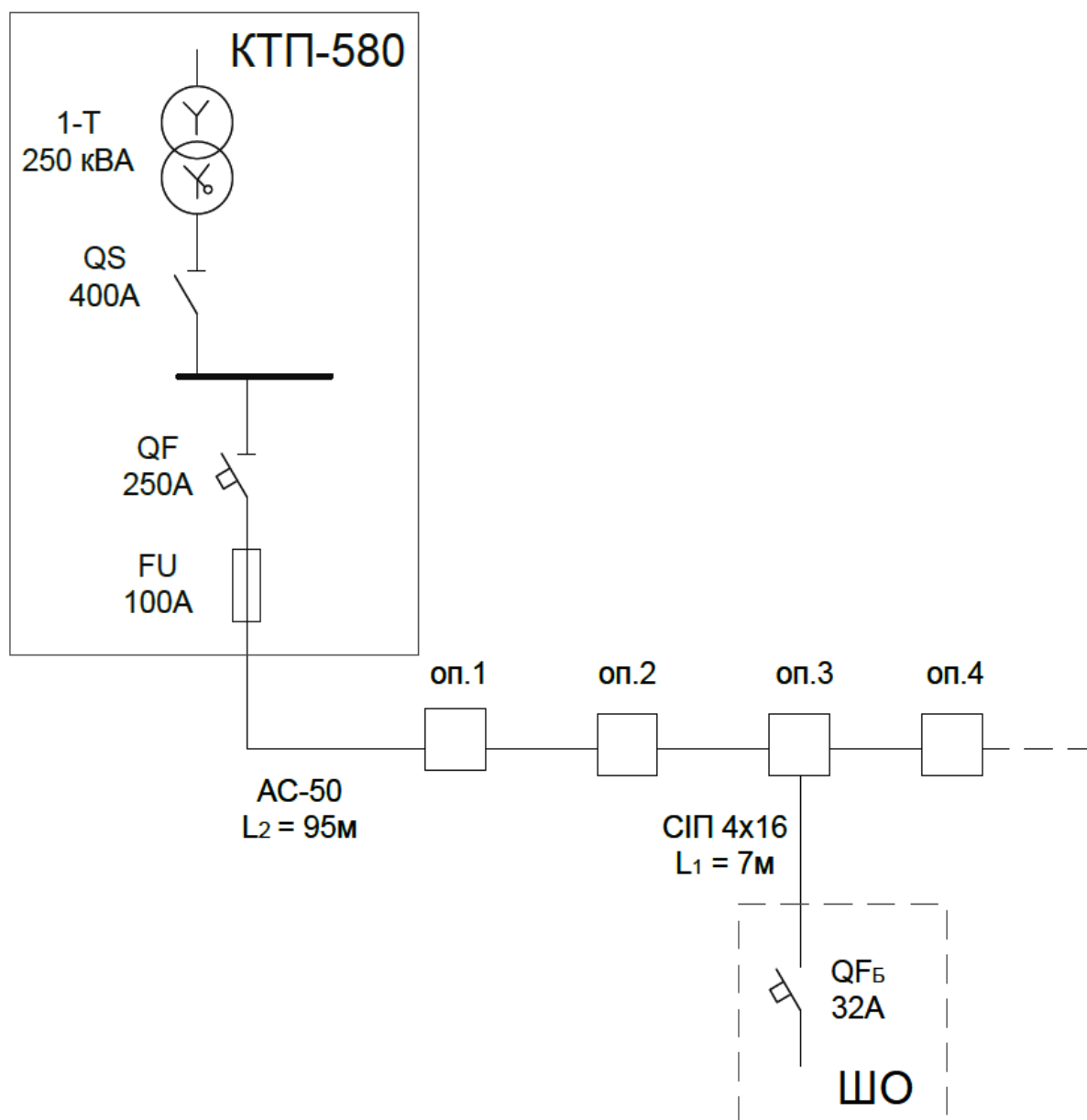


Рисунок 2.12 - Існуюча схема живлення від КТП

де ШО — шафа обліку

КТП — комплексна трансформаторна підстанція

СПП — самонесучий ізольований провід.

Перевірка трансформатора ТР-250кВА, до якого буде підключатися сонячна електростанція здійснюється за допомогою формули (2.13):

$$S_{\text{ТР}} = S_{\text{І}} + S_{\text{Д}} \quad (2.13)$$

де  $S_{\text{І}}$  - вже існуюча підключена потужність,  $S_{\text{І}} = 205$  кВА.

$S_{\text{Д}}$  - додаткова потужність, ВА;

Підставляючи всі відомі значення у формулу (2.13) для обох варіантів, отримано результати, які не перевищують потужність трансформатора. Це означає, що трансформатор здатен витримати додаткове навантаження.

Далі проведемо перевірку комутаційних апаратів: рубильника QS, вимикача QF та запобіжника FU, що використовуються для підключення вулиці, а також вимикача QF5, який встановлений у шафі обліку.

Додатковий струм визначається за формулою (2.10).

$$I_{\text{Д1}} = \frac{P_{\text{Д}}}{U_{\text{Н}}} = \frac{3}{0,22} = 13,64 \text{ А}$$

Всі допустимі і розраховані струми наведено у табл. 2.16.

Таблиця 2.16 - Перевірка комутаційних апаратів

Позначення на схемі	Існуючий струм, А	Розрахований струм, А	Допустимий струм, А
QF <sub>Б</sub>	31,82	45,5	32
QF	45	58,64	250
FU	45	58,64	100
QS	315	328,64	400

Всі апарати, окрім вимикача QF5, будуть працювати з урахуванням додаткового навантаження. Перед лічильником необхідно замінити автоматичний вимикач на пристрій, вибраний відповідно до допустимого струму — АВ 1р 50 SZ201.

Також проведемо перевірку існуючої повітряної лінії з урахуванням додаткового навантаження потужністю 3 кВт. Для цього розрахуємо втрати напруги на провідниках за формулою (2.11). Результати всіх перевірок наведені в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 - Перевірка кабелів електропостачання будинку

Позначення на схемі	Марка кабелю	Довжина лінії, м	Розрахунковий струм, А	Допустимий струм, А	Втрата напруги, %
L <sub>1</sub>	СПП 4x16	7	45,5	100	0,3
L <sub>2</sub>	АС – 50	95	58,64	210	1,64

Розрахунковий струм з урахуванням додаткового навантаження не перевищує допустимий, а сумарні втрати напруги на лінії становлять 1,67 %, що значно менше за допустимі 5 %. Отже, заміна проводів не є необхідною.

Таким чином, для першого варіанту виконання робіт потрібно лише замінити автоматичний вимикач у шафі обліку.

Для другого варіанту слід розрахувати окремий вивід від КТП. Схема живлення будинку в цьому випадку наведена на рисунку 2.13.

Існуючий рубильник QS залишається без змін, оскільки він витримує додаткове навантаження. Проектування та вибір інших комутаційних апаратів здійснюється на основі номінального струму, розрахованого за формулою (2.9). Вибрані апарати наведені в таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 - Вибір комутаційних апаратів нової схеми живлення

Позначення на схемі	Марка	Розрахований струм, А	Допустимий струм, А
QF <sub>Б</sub>	PR123 SEZ 3H C50A 10kA	47,1	50
QF	PR123 SEZ 3H D50A 10kA	47,1	50

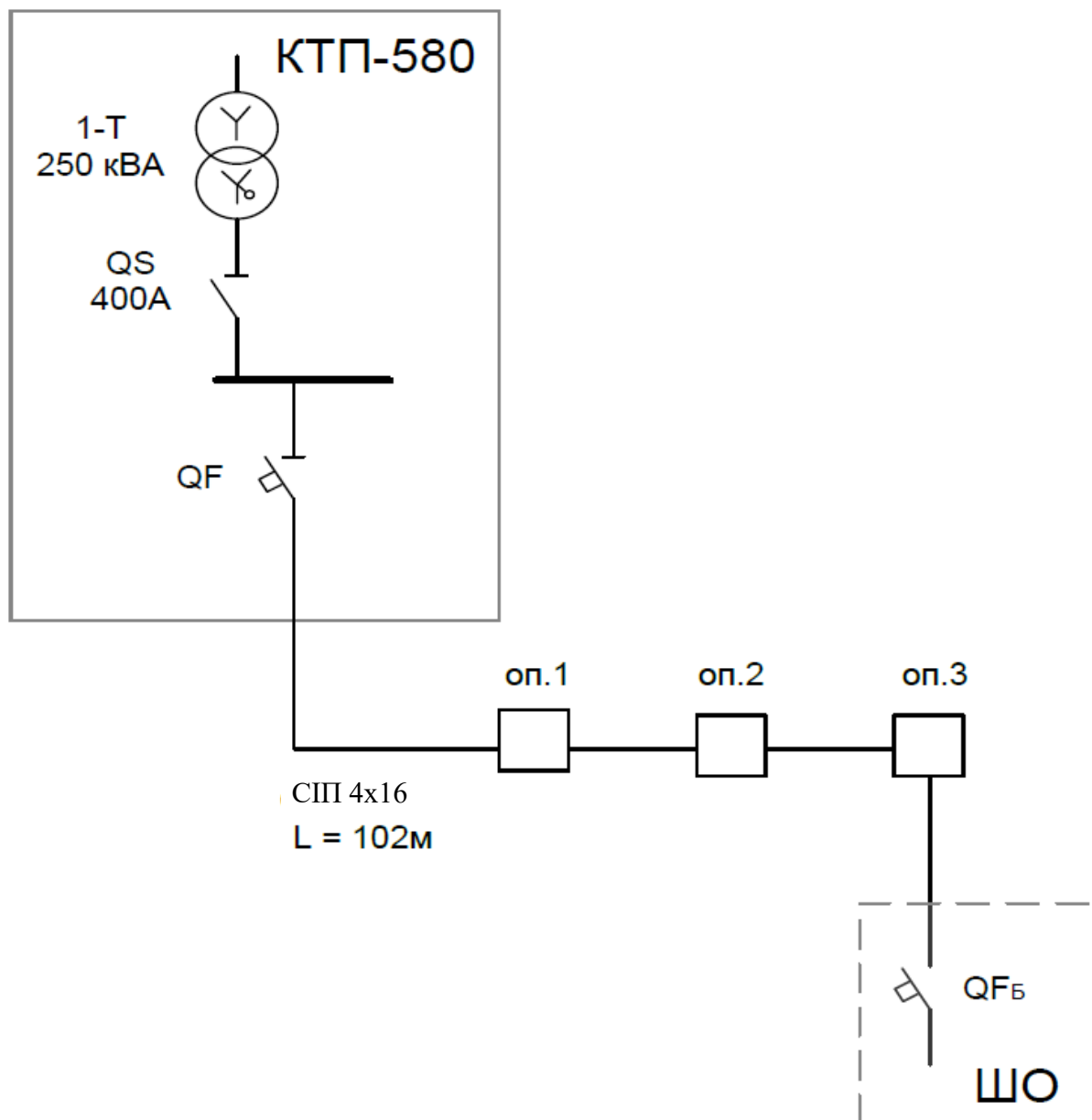


Рисунок 2.13 - Нова схема живлення будинку при встановленні мережевої СЕС

Вибір кабелю виконується за формулою (2.9). При підключенні потужністю 31 кВт розрахунковий струм становить 47,1 А. Враховуючи це, обираємо кабель СПП 4х16, який прокладається від автоматичного вимикача в КТП-580 до шафи обліку. Довжина прокладеної лінії становить  $L = 102$  м.

За формулою (2.11) розраховуємо втрати напруги, які становлять 2,25 %. Це значення є прийнятним, отже обраний кабель підходить для використання.

### 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОКРИТТЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТУ

#### 3.1 Визначення терміну окупності для варіанту покриття лише внутрішніх потреб

"Загальні витрати складаються з капітальних та поточних витрат. Капітальні витрати — це одноразові інвестиції, які підприємство здійснює для збільшення обсягу основних засобів. До капітальних витрат належать вартість сонячної електростанції, витрати на транспортування обладнання, будівельні роботи, роботи та обладнання з приєднання до мереж енергосистеми, а також плата за землю" [4].

Загальні капіталовкладення можна розрахувати за формулою:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{вст} + K_{обл} \quad (3.1)$$

Складова формули (3.1), що відображає вартість сонячної установки та її основних компонентів (інвертор, лічильник, акумуляторні батареї), наведена у таблиці 3.1. Ціни на обладнання є середніми по Україні і взяті з офіційних сайтів виробників або онлайн-магазинів.

Таблиця 3.1 — Розрахунок вартості головних компонентів СЕС

Обладнання	Кількість од.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна панель Risen Energy RSM110-8-540M	18	9374	168 732
Інвертор Solis RHI-3P10K-HVES-5G	1	117 250	117 250
Акумуляторні батареї Challenger LF48-100	4	69 200	276 800
Лічильник SmartMeter Huawei	1	10 250	10 250
Разом $K_{уст}$ , грн	–	–	573 032

Вартість підключення до мереж оператора системи розподілу визначається залежно від замовленої потужності. Щороку НКРЕКП встановлює нові тарифи для міських і сільських споживачів. Для міста у 2022 році діє ставка 0,897 грн/кВт. До існуючої договірної потужності необхідно додати ще 3 кВт. Таким чином, вартість приєднання електроустановки до мереж АТ «ПОЛТАВАОБЛЕНЕРГО» становитиме:

$$K_{вст} - P_{заявлена} * 0,897 + ПДВ (20\%) = 3229 \text{ грн}$$

Вартість додаткового обладнання наведена в таблиці 3.2. Довжина кабелів вказана або в необхідній кількості, або у мінімальній упаковці для замовлення.

Таблиця 3.2 — Розрахунок вартості додаткового обладнання для СЕС

Обладнання	Кількість/довжина од/м	Ціна за 1 од/м, грн	Загальна вартість, грн
Кабелі :			
Н1Z2Z2-К ×4	50	28	1400
АВВГ 4х10	10	37,63	376,3
ПВ 4× 40	1	18,19	18,19
Комутаційні апарати :			
ЕТИМАТ 10 1Р 80А	1	1248	1248
АВВ 1р 16 SZ201	5	145	725
АВ 1р 10 SZ201	2	167	334
Шафа захисту АС:			
Пластиковий щит	1	-	-
Автоматичний вимикач	1	-	-
Обмежувач перенапруг	1	-	-
Шафа захисту DC:			
Пластиковий щит	1	-	-
Автоматичний вимикач	1	-	-
Обмежувач перенапруг	1	-	-
Заземлення	1	-	-
Разом	-	-	12 813
Разом К <sub>обл</sub> , грн	—	—	16914,5

Підставивши знайдені витрати у формулу (3.1), отримаємо загальні капіталовкладення:  $K = 589\,946$  грн.

Поточними витратами називають короткочасні витрати, що виникають у звітному періоді. Річні витрати включають технічне обслуговування, ремонт сонячних установок, амортизаційні відрахування, заробітну плату обслуговуючого персоналу та визначаються за формулою:

$$B = B_{AM} + B_{ЗП} \quad (3.2)$$

Оскільки для обслуговування даної сонячної установки персонал не потрібен, поточні витрати складатимуться лише з амортизаційних витрат. Їх прийнято оцінювати у розмірі 1% від вартості всієї установки (до якої, окрім фотомодулів, входять також акумуляторні батареї та інвертор).

Тоді амортизаційні витрати розраховуються за формулою:

$$V_{AM} = K_{уст} \cdot 1\% \quad (3.3)$$

Підставляючи вже знайдене значення  $K_{уст} = 573\,032$  грн в формулу (3.3) отримуємо  $V_{AM} = 5730$  грн. Це приблизна середня річна сума, яка необхідна для підтримання установки в робочому стані.

Розрахунок зведених річних витрат на 1 кВт встановленої потужності проводиться за формулою:

$$Z = \frac{P_n \cdot K + B}{P} \quad (3.4)$$

де  $P_n$  — нормативний коефіцієнт рентабельності:

$$P_n = \frac{1}{T} \quad (3.5)$$

де  $T$  — економічний термін служби обладнання, років.

Загальний термін експлуатації обраних фотомодулів за даними виробника — більше 30 років, отже нормативний коефіцієнт приймаємо рівним  $P_n = 0,033$ .

$$Z = \frac{0,033 \cdot 589\,946 + 5\,730}{10} = 2\,520 \text{ грн}$$

Ефективність роботи сонячної електростанції показує коефіцієнт використання встановленої потужності, який визначається відношенням:

$$K_{ввп} = \frac{P_d}{P_{пл}} \quad (3.6)$$

де  $K_{\text{ВВП}}$  — коефіцієнт використання потужності;

$P_{\text{д}}$  — дійсне вироблення електроенергії за певний період, кВт·год;

$P_{\text{ПЛ}}$  — планова електроенергія, яка могла бути вироблена, якщо генератори працювали весь час на 100% потужності, кВт·год.

За формулою (2.5) було визначено місячну генерацію СЕС, сума яких дає річне вироблення електроенергії. Враховуючи термін експлуатації понад 30 років, розрахуємо фактичне вироблення електроенергії на кожен рік, коригуючи на втрати потужності за формулою:

$$P_{\text{д}} = \sum_i^n (P \cdot (1 - 0,06 \cdot (n - 1))) \quad (3.7)$$

де  $n$  — кількість років роботи;

$P$  — розрахована потужність всіх фотомодулів за рік, кВт\*год.

Дійсна генерація електроенергії гібридної сонячної електростанції потужністю 10 кВт протягом 30 років з урахуванням зношення обладнання наведена на рисунку 3.1.

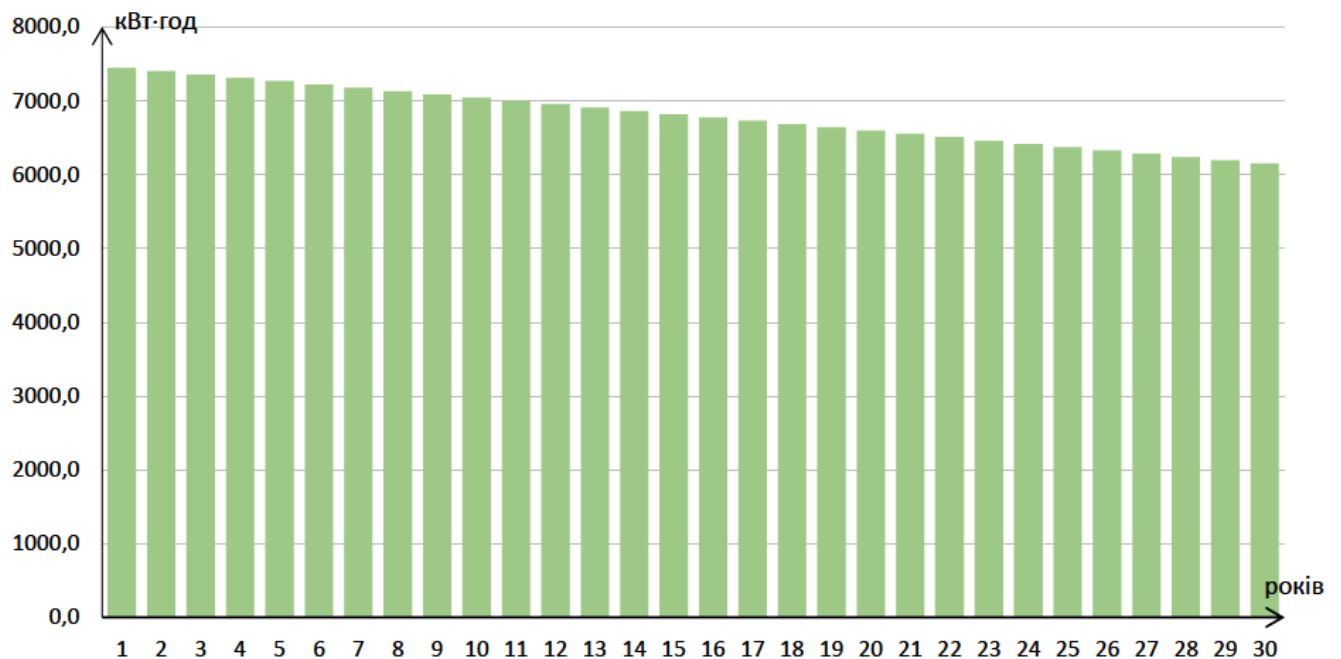


Рисунок 3.1 — Дійсна генерація СЕС протягом тридцяти років

Дійсна генерація протягом тридцяти років гібридної сонячної електростанції на 10 кВт з урахуванням втрат потужності через зношення устаткування показана на рисунку 3.1.

$$K_{\text{ВВП}} = \frac{203\,926}{336\,332} = 0,61$$

Щоб визначити термін окупності сонячної електростанції (СЕС), скористаємося формулою: (3.8).

$$T_{\text{ок}} = \frac{K + B}{E} \quad (3.8)$$

де:  $T_{\text{ок}}$  — термін окупності СЕС, років;

$K$  — загальні капіталовкладення, грн;

$E$  — річна економія, грн.

Річна економія визначається як добуток тарифу за електроенергію та кількості електроенергії, яку довелося б купувати без встановлення СЕС. Тариф для споживання понад 250 кВт·год на місяць становить 1,68 грн/кВт·год. Річне споживання електроенергії, яке покривається сонячною установкою, приблизно дорівнює 4034 кВт·год.

Термін окупності за формулою (3.8) складатиме 87 років. Однак цей розрахунок суттєво завищує реальний термін окупності, оскільки вартість електроенергії з часом зростатиме значно швидше. Втім, встановлення гібридної сонячної електростанції потужністю 10 кВт без можливості продажу електроенергії у мережу є економічно недоцільним, оскільки окупність перевищує термін служби установки.

### **3.2 Визначення терміну окупності для варіанту генерації електроенергії в зовнішню мережу**

Вартість електроенергії, виробленої сонячною електростанцією (СЕС), залежить насамперед від кількості виробленої електроенергії, що, у свою чергу, визначається величиною інсоляції, витратами на обслуговування та експлуатацію, терміном служби сонячної установки, а також величиною капітальних вкладень. Для стимулювання населення до виробництва електроенергії з альтернативних джерел в Україні запроваджено механізм "зеленого тарифу".

Під "зеленим тарифом" розуміють фіксовану ціну, за якою оптовий ринок електроенергії України (енергопостачальники) зобов'язаний купувати електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел енергії. Встановивши СЕС, власник має можливість продавати місцевому обленерго надлишок виробленої електроенергії, що не був спожитий для власних потреб будинку, відповідно до Постанови Національної комісії з регулювання енергетики України.

Методика розрахунку витрат у цьому варіанті аналогічна описаній в розділі 3.1 — загальні витрати складаються з капітальних та поточних витрат.

Вартість мережевої сонячної установки та її основних елементів (інвертор, лічильник, фотомодулі) наведена у таблиці 3.3. Ціни на обладнання взяті як усереднені значення по Україні з офіційних сайтів виробників та онлайн-магазинів.

Таблиця 3.3 — Розрахунок вартості головних компонентів мережевої СЕС

Обладнання	Кількість од.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна панель Longi Solar LR5-72HPH-54	57	8904	507 528
Інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M3	1	97 750	97 750
Лічильник ACE6000 5-100A	1	10 120	10 120
Разом $K_{уст}$ , грн	–	–	615 398

Вартість підключення до мереж оператора системи розподілу визначається залежно від замовленої потужності. Для міських і сільських споживачів Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), щорічно встановлює відповідні тарифи.

У 2025 році для міста діє ставка у розмірі 0,897 грн за 1 кВт замовленої потужності. Враховуючи, що до існуючої договірної потужності необхідно додати ще 24 кВт, загальна сума за підключення електроустановки до мереж АТ «ПОЛТАВАОБЛЕНЕРГО» становитиме:

$$K_{вст} = P_{заявлена} * 0,897 + ПДВ (20\%) = 25\,834 \text{ грн}$$

Вартість додаткового обладнання (апарати захисту, комутації, кабелі) наведена в таблиці 3.4. Довжина кабелів вказана або у необхідній кількості, або у мінімальній кількості для замовлення.

Таблиця 3.4 — Розрахунок вартості додаткового обладнання для мережевої СЕС

Обладнання	Кількість/довжина од/м	Ціна за 1 од/м, грн	Загальна вартість, грн
Кабелі :			
Н1Z2Z2-К ×6	65	34	2 210
АВВГ 4 × 10	10	26,40	264
Комутаційні апарати :			
ЕТИМАТ 10 1Р 80А	1	1248	1248
АВВ 1р 16 SZ201	5	145	725
АВ 1р 10 SZ201	2	167	334
Шафа захисту АС:			
Пластиковий щит	1	-	-
Автоматичний вимикач	1	-	-
Обмежувач перенапруг	1	-	-
Шафа захисту DC:			
Пластиковий щит	1	-	-
Автоматичний вимикач	1	-	-
Обмежувач перенапруг	1	-	-
Заземлення	1	-	-
Разом	-	-	21 300
Разом $K_{обл}$ , грн	—	—	26 081

Підставивши знайдені елементи капітальних витрат у формулу (3.1) отримаємо  $K = 667\,313$  грн.

Поточні витрати до варіанту гібридної СЕС:

$$B = K_{уст} * 1\% = 6\,154 \text{ грн}$$

Це приблизна середня річна сума, необхідна для підтримання установки в робочому стані.

Розрахунок зведених річних витрат на 1 кВт встановленої потужності виконується за формулою (3.4).

$$З = \frac{0,033 \cdot 667\,313 + 6\,154}{30} = 939 \text{ грн}$$

Нормативний коефіцієнт рентабельності, який розраховується за формулою (3.5), становить 0,033, оскільки термін експлуатації установки перевищує 30 років. Ефективність роботи визначається через коефіцієнт використання встановленої потужності за формулою (3.6).

Гарантійний термін на сонячні панелі Longi Solar LR5-72HPH-540 становить 12 років. При цьому через 25 років їх ефективність має бути не меншою за 84,2% від початкового значення, що відповідає щорічному зниженню потужності приблизно на 0,63%.

За формулою (2.5) розраховано щомісячну генерацію мережної сонячної електростанції. Сума цих значень дає річний обсяг виробленої електроенергії. Враховуючи загальний термін експлуатації понад 30 років, вироблену кількість електроенергії на найближчі 30 років розраховано з урахуванням щорічного зниження потужності на 0,63% за формулою (3.7).

Дійсна генерація мережної сонячної електростанції потужністю 30 кВт з урахуванням втрат потужності через зношення обладнання наведена на рис. 3.3.

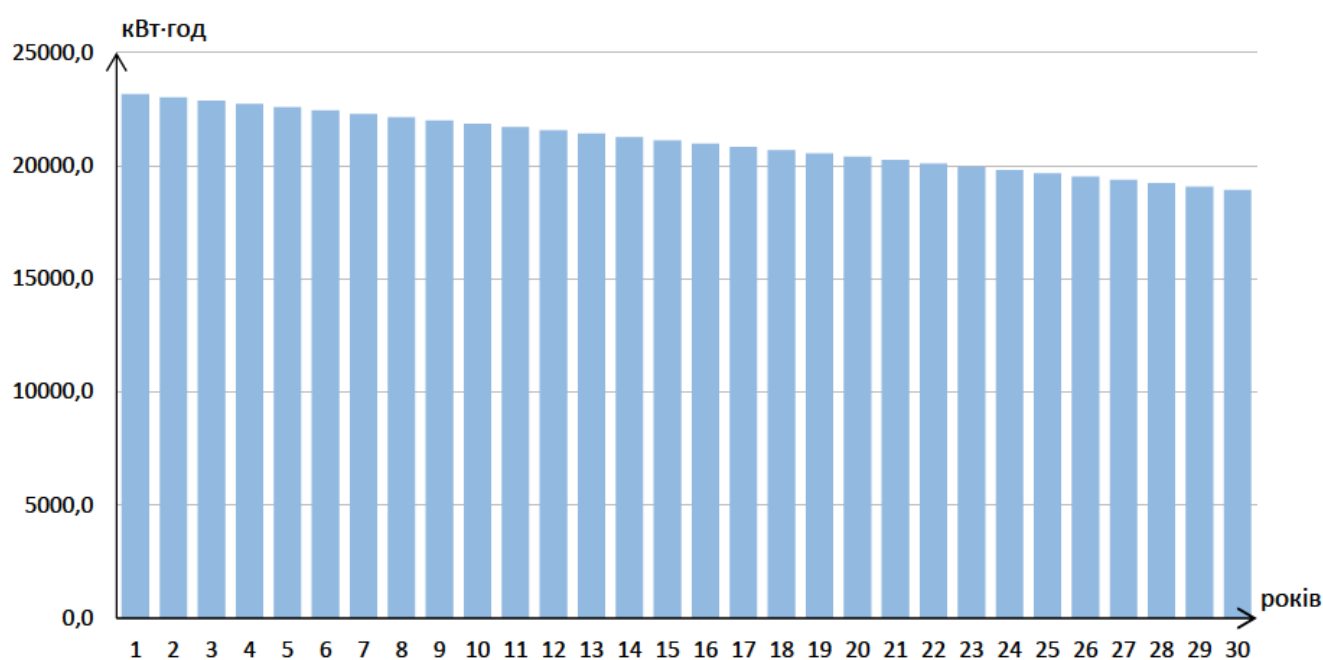


Рисунок 3.2 — Дійсна генерація протягом тридцяти років мережевої СЕС

$P_{пл}$  розраховується як добуток максимальної потужності панелей, їх кількості та терміну роботи. Відповідно, ефективність роботи мережевої сонячної електростанції (СЕС) визначається через коефіцієнт використання встановленої потужності.

$$K_{ввп} = \frac{631\,414}{1\,046\,365} = 0,6$$

Для визначення терміну окупності установки при продажу електроенергії в мережу використовується формула (3.9):

$$T_{ок} = \frac{K}{D - B + E} \quad (3.9)$$

Визначення доходу від продажу електроенергії доцільно представити у вигляді таблиці. У таблиці 3.5 наведені дані за перший рік для приблизного розрахунку. Слід зазначити, що не в усі місяці буде дохід від електростанції, що детально ілюструється на рисунку 3.3.

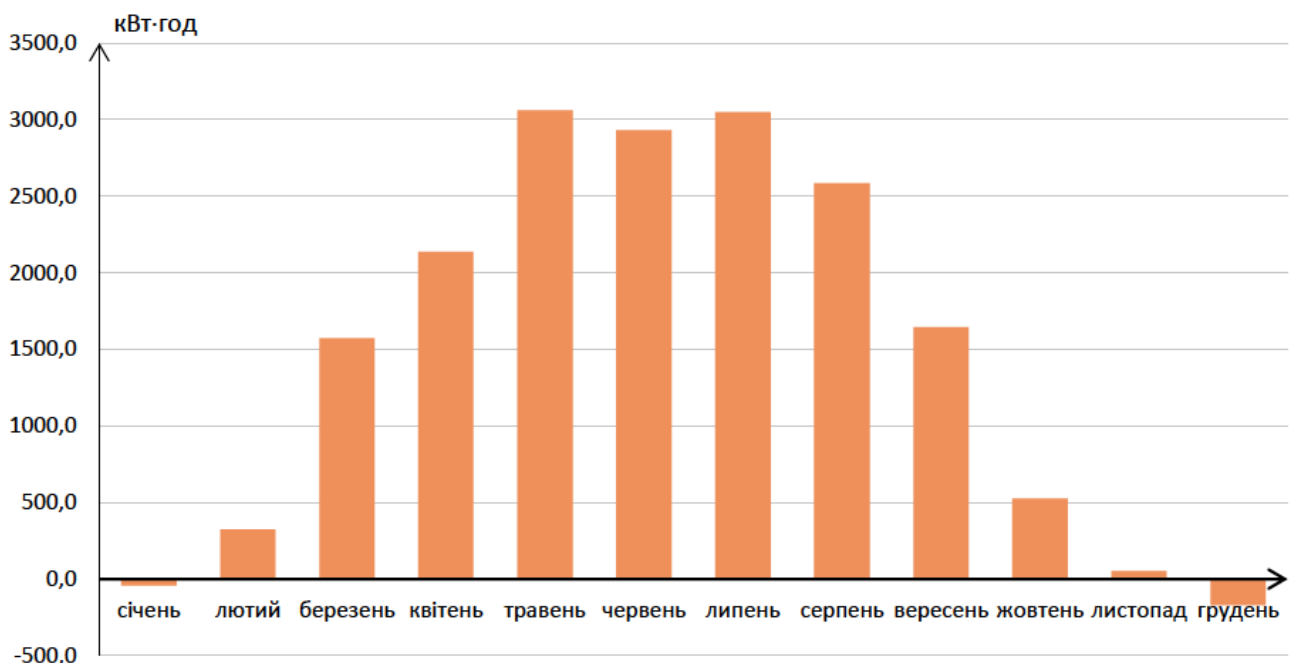


Рисунок 3.3 — Кількість проданої електроенергії протягом року

Таблиця 3.5 — Дохід від продажу електроенергії за рік

Згенерована дійсна електроенергія за рік, кВт·год	23 163
Власне середнє енергоспоживання в рік, кВт·год	5 488
Надлишок електроенергії, переданий в мережу, проданий за "зеленим тарифом", кВт·год	17 675
Показник "зеленого тарифу" з 1 січня 2020 року по 31 грудня 2024 без врахування ПДВ, грн/кВт·год	6,3
Сумарний дохід за рік, грн	111 353

В середньому за рік на покупку електроенергії для власних потреб довелося б витратити кошти за тарифом 1,68 грн/кВт·год, що складає приблизно  $E = 9\,220$  грн економії на рік.

Підставивши всі розраховані раніше значення у формулу (3.9), отримали, що термін окупності мережної сонячної електростанції потужністю 30 кВт становить 5,5 років.

## ВИСНОВОК

Встановлення гібридної сонячної електростанції для забезпечення лише власних потреб є економічно недоцільним. Генерація електроенергії фотомодулями нерівномірна впродовж року через сезонні зміни інсоляції. Взимку, коли споживання електроенергії зростає, її виробництво суттєво знижується.

Збільшення кількості панелей частково вирішує проблему, але призводить до перевиробництва влітку, який не компенсується фінансово. Термін окупності гібридної системи часто перевищує строк служби обладнання.

Ефективнішою є мережева СЕС потужністю 30 кВт, яка покриває власні потреби та дозволяє продавати надлишок електроенергії. Її окупність — близько 5,5 років, після чого вона приносить понад 100 тис. грн прибутку щорічно. За умови зростання тарифів цей термін може зменшитися.

Наразі через воєнний стан «зелений тариф» призупинено. НКРЕКП встановила нові тарифи (в середньому 1,68 грн/кВт·год), а виплати за договорами обіцяють здійснити протягом 45 днів після завершення воєнного стану. Отримати техумови на продаж електроенергії можуть лише ті, хто подав заявки до 24.02.2022, решта — після завершення бойових дій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х: Видавництво "Форт", 2017. – 760 с.
2. Договірна потужність: споживачі мають право на 5 кВт.: <https://ua-energy.org/uk/posts/dohovirna-potuzhnist-i-prava-spozhyvachiv>
3. Возняк О. Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О. Т. Возняк, М. Є. Янів // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. Політехніка". Теорія і практика буд-ва. 2010. № 664.
4. Екологічний паспорт полтавської міської громади станом на 2023 рік: <https://drive.google.com/file/d/1yFRZfvD9THGOocvZN17rhXiQh3OsuaIo/view>
5. Які нюанси роботи сонячної електростанції в зимовий період: <https://prel.prom.ua/n234221-yaki-nyuansi-roboti.html>
6. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018.: <https://strategy-council.com/files/research/en/38.pdf>
7. Як вибрати земельну ділянку під СЕС: ТОП-5 рекомендацій від ЕДС-Девелопмент: <https://eds-development.com/yak-vibrati-zemelnu-dilyanku-pid-ses-top-5-rekomendacij-vid-eds-development/>
8. Види сонячних батареї: <https://sunsayenergy.com/technology/hto-krutishiy-vidi-sonyachnih-batarey>
9. Сонячні батареї: типи та принцип роботи: <https://comfortsellers.com.ua/sonyachni-batareyi-typu-ta-pryntsyp-roboty/>
10. Ефективність сонячних модулів у 2022 році: <https://avenston.com/articles/solar-panels-2022/>
11. Розрахунок геліосистеми з фотоелектричними перетворювачами: метод. рек. до викон. розрахункової роботи для студ. спеціальності 144 "Теплоенергетика" /Уклад: В.І Шкляр. В.В. Дубровська, К.: НТУУ "КПІ", 2015. -52 с
12. ДБН В.2.5-23:2010. "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення"

13. Сонячна домашня електростанція для приватного будинку:  
<https://sunsayenergy.com/technology/sonyachna-domashnya-elektrostantsiya-dlya-privatnogo-budinku>

14. Як вибрати акумулятор для сонячної електростанції:  
<https://www.solargarden.com.ua/yak-vybraty-akumulyator-dlya-sonyachnoi-elektrostantsii/>

15. Цикл статей "Сонячні панелі та АКБ для інверторів". Частина 1.:  
<https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/solnechn-e-panely-y-akb-dlya-unvertorov/>

16. Сонячні батареї В Україні [Режим доступу:  
<http://ukrenerho.com/sonyachni-batareyi-kupiti-v-ukrayini/>].

17. Як працюють сонячні батареї в дощ, вночі та взимку: <https://sun-energy.com.ua/articles/paneli-v-doshch-snih-vzymku>

18. НАОП 1.1.10-1.07-82 "Правила використання та перевірки засобів захисту, що використовуються в електроустановках"

19. Шефер О.В., Єрмілова Н.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» (141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»). – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.

# ДОДАТКИ

## **1. GENERAL INFORMATION ABOUT THE RESIDENTIAL FACILITY**

### **1.1. Classification and general characteristics of electrical receivers**

According to EIR clause 1.2.7, an electrical receiver (electrical receiver) is a device, unit, mechanism designed to convert electrical energy into another type of energy. Electrical receivers are divided into the following three categories according to the reliability of power supply:

Electrical receivers of category I - electrical receivers, the interruption of which may cause: danger to human life, significant material damage to consumers of electrical energy (damage to expensive basic equipment, mass shortage of products), disruption of a complex technological process, disruption of the functioning of particularly important elements of the utility system.

Among the electrical receivers of category I, a special group of electrical receivers is distinguished, the uninterrupted operation of which is necessary for the safe shutdown of production in order to prevent threats to human life, explosions, fires and damage to high-value basic equipment, loss of important information.

Electrical receivers of category II - electrical receivers, the interruption of power supply of which leads to mass undersupply of products, mass downtime of workers, mechanisms and industrial transport, disruption of the normal activities of a significant number of urban and rural residents.

Electrical receivers of category III - the rest of the electrical receivers that do not fall under the definition of categories I and II - the rest of the electrical receivers that do not

The categories of reliability of power supply are determined depending on the BLI technology of the main production of electricity consumer in accordance with the requirements of DBN V.2.5-23:2010 "Design of electrical equipment of objects of civil purpose" [1].

Household consumers belong to the III reliability category. Since the power outage does not pose a danger to people's lives or production.

For electrical receivers of category III, power supply can be carried out from one power source, provided that the time of interruption of power supply, necessary for repair or replacement of a damaged element of the power supply system, does not exceed one day.

In multi-storey buildings, that is, in apartments, low-power electrical receivers are used. This is lighting, all electrical appliances, which include household appliances, electronic devices. Two years ago, the contractual power of household consumers was 3 kW, but an increasing share of the population can afford not only the minimum set of equipment, so such a power limitation has become catastrophically insufficient for the average family in an apartment.

After all, an on-off vacuum cleaner consumes an average of 2 kW of electricity, a dishwasher 1.8 kW, a microwave oven, a hair dryer, an electric heater 1.5 kW each, an iron 1-2.4 kW, a washing machine about 1 kW, a boiler 1.5-2.5 kW. an air conditioner 2.2-3.37 kW, an electric kettle 2.2-2.4 kW. heaters (oil and air) 1.5-2 kW, a two-chamber refrigerator 0.77-0.90 kW. a TV, a computer 0.014-0.95 kW.

So, in order to turn on the toaster, you need to make sure that together with other turned-on appliances, it will not exceed the limit, and the consumer will not be left without light, since the owners may "knock out" the circuit breakers and the light will disappear. Also, exceeding the permissible power may reduce the voltage in the network. This will affect both the person who exceeded the permitted capacity and his neighbors. Exceeding the contractual capacity distorts the parameters of the quality of electricity in the network for other consumers, that is, voltage "jumps" occur, power outages, etc.

In March 2021, the NEURC commission made changes, according to which the minimum connection can be at the level of 5 kW. That is, new consumers will be connected immediately with the new permitted capacity, and all those connected earlier within two years must be transferred to increased capacity by the local regional power company as much as possible.

Unfortunately, the pandemic slowed down the transition process, and the beginning of a full-scale war in February 2022 completely stopped it and postponed it indefinitely, since the first priority is to eliminate the consequences of the damage caused, that is, to restore destroyed electricity sources and restore power supply networks.

For a private house, even the new power limit does not always satisfy the needs of the consumer, especially if the house does not have centralized heating. Modern boilers consume from 2 to 16 kW. The consumer can regulate the power consumption. To maintain a comfortable temperature of 22-24 ° C, the boiler needs about 4 kW out of the allowed five. According to approximate calculations, a house with an area of 90 m<sup>2</sup>, heated by convectors and underfloor heating, consumes from 5.5 to 9 kW.

Also, additional electricity costs in the household, in addition to lighting, heating and other household appliances, can be taken by power tools (for example, a circular saw consumes 0.85-1.36 kW). Therefore, in recent years, private houses have tended to increase the contractual power from 7 to 16 kW, which is a paid service.

In this work, it is planned to calculate the electricity consumption of an average residential one-story private house. The list of main electrical appliances with the highest electricity consumption is given in Table 1.1.1.

All values of power consumption are taken from the technical characteristics of electrical appliances, published in the public domain.

Table 1.1 — Main electrical receivers and their power

Electric receiver	Number of electrical appliances, units	Power of one electrical appliance, kW	Total power, kW
Ecolight LED lamps	25	0.008	0.2
Indesit refrigerator	1	0.4	0.4
Samsung washing machine	1	1.85	1.85

Atlantic boiler	1	1.5	1.5
Samsung TV	1	0.031	0.031
Electric hob	2	1.2	2.4
Philips iron	1	2	2
Microwave oven Gorenje	1	0.7	0.7
Rowenta vacuum cleaner	1	1.75	1.75
Elenberg electric kettle	1	2.2	2.2
Air conditioning	1	2.3	2.3
Maximum power	-	-	14.3

The table lists the electrical appliances with the highest power in the house. The maximum possible power consumption is less than 15 kW. But at the same time, all these devices will not work, so the maximum value found is almost impossible in practice. On average, no more than 5-7 kW is consumed at the same time in private houses.

## 1.2. Geographical location and characteristics of the area

The average annual potential of solar energy in Ukraine (1235 kWh/m<sup>2</sup>) is high enough for the widespread implementation of both thermal and photovoltaic equipment in almost all regions. In general, photovoltaic equipment can be operated quite effectively throughout the year.

The main parameters of the external environment that significantly affect the generation of electrical energy by photovoltaic cells are:

- solar radiation intensity;
- air temperature.

The private plot considered in this work is located in the city of Poltava, Shevchenkivskyi district. The location of the object is shown in Fig. 1.1 obtained from satellite images for Google Maps.

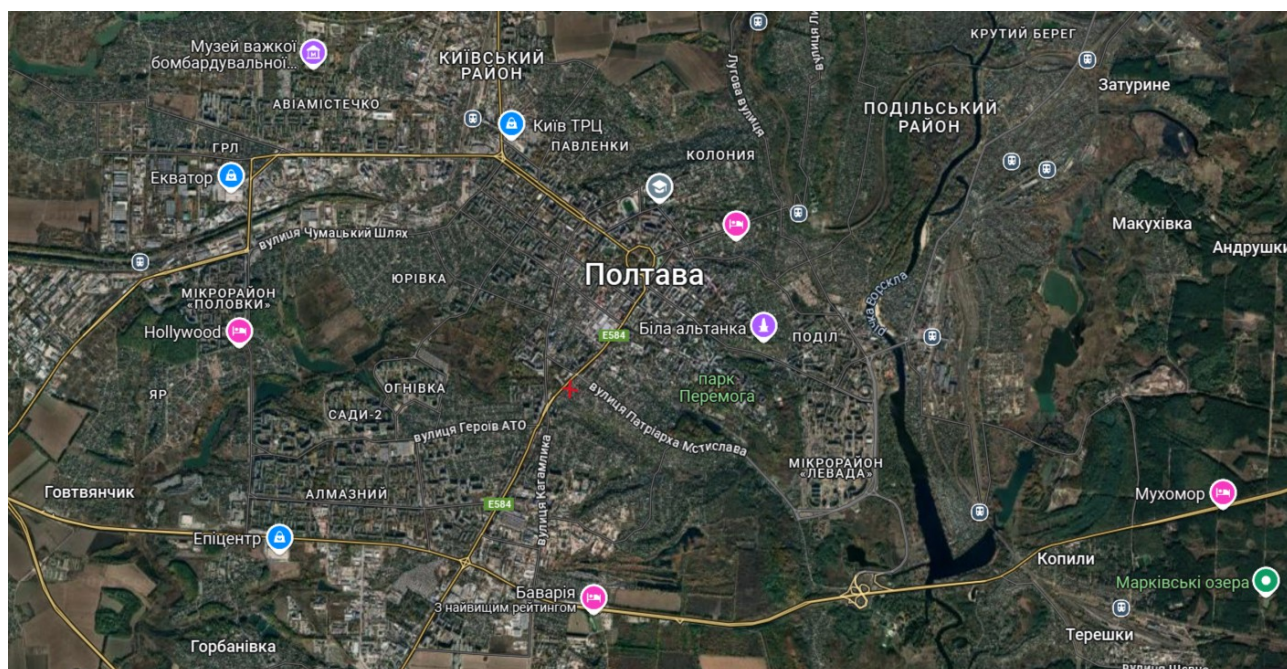


Figure 1.1 — Location of the land plot

The city of Poltava is located in the central part of Ukraine, on the banks of the Vorskla River, on a flat area. Most of the territory of the Poltava region is located in the forest-steppe natural zone, the rest is in the steppe. The hydrographic network of the region, which all belongs to the Dnipro River basin, is relatively dense: 1 km of rivers per 5 km<sup>2</sup> of area. The total area of forests of the forest fund of the region is 278 thousand hectares.

The climate of the region is temperate continental with mild winters and warm summers, formed under the influence of air temperature, precipitation, solar radiation, air masses, atmospheric circulation, underlying surface, relief. The flat nature of the surface of the region contributes to the free movement of Atlantic, Arctic and continental air masses.

The following diagrams (Fig. 1.2-1.5) show some climatic norms of the city. Poltava, calculated as the average value of parameters over the last five years that affect electricity generation by solar panels.

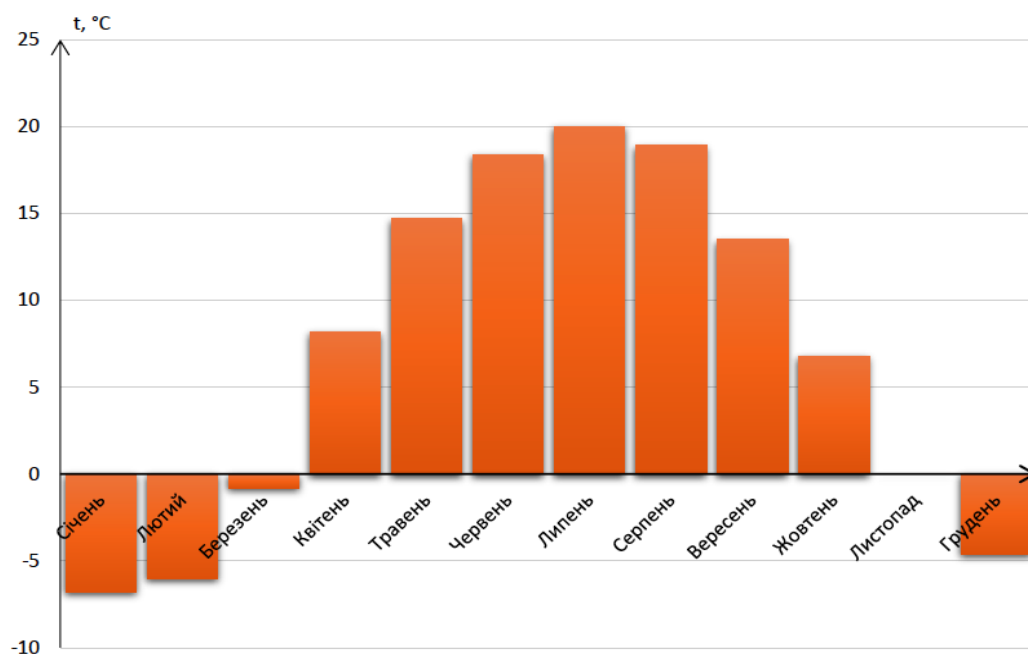


Figure 1.2 — Average temperature during the year

Solar panels work from sunlight, not from solar heat, so electricity production will not decrease at temperatures below zero.

Solar panels will also work in winter, but their performance may be 2-3 times lower. The decrease in performance may be due to factors such as shorter daylight hours (daylight is shorter in winter, which means that the power plant will receive less light), the presence of snow (snow needs to be cleared from solar panels).

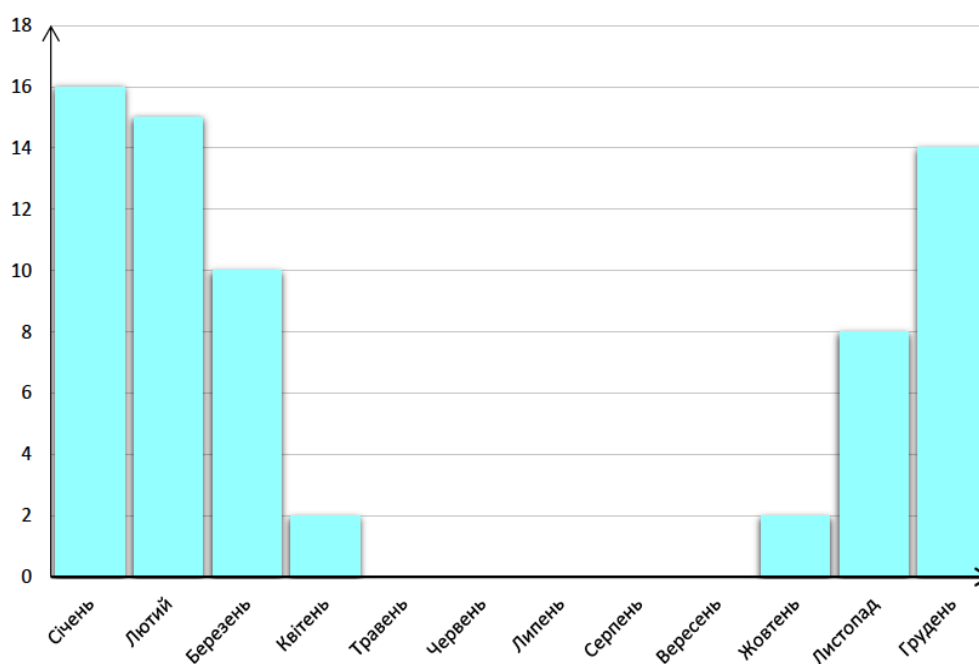


Figure 1.3 — Number of days with snow during the year

In winter, there are also advantages in the operation of solar panels. The snow around has good reflective properties, which allows for the reflection of sunlight from the surface on a sunny snowy day, which will additionally fall on the solar panels. Accordingly, the electricity production will increase.

Also, at sub-zero temperatures, there is no drop in the generated electricity due to overheating, as in summer. Sometimes in winter, photovoltaic modules produce electricity more than their nominal power. It is the sharp temperature drop that reduces the operation of solar panels, when in summer the temperature is high during the day, and drops sharply at night.

In addition, rain is a very important weather factor. A standard solar panel will work quite poorly in rainy conditions. The fact is that rain falling on the panel, in turn, can refract the beam directed at the panel. In addition, rain falling on the panel forms a layer of water above the glass, which reflects part of the radiation. As a result, the generation of the solar panel under such conditions is low.

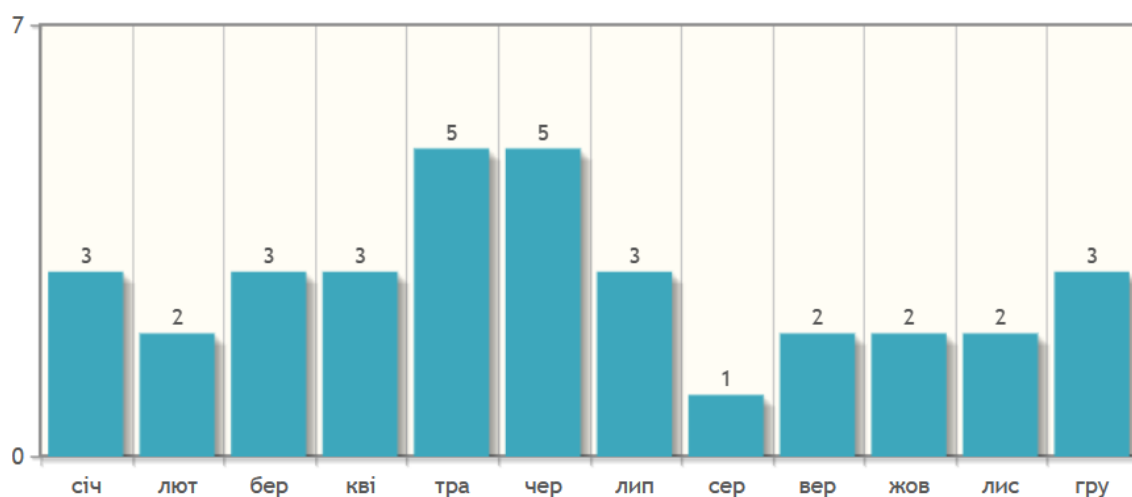


Figure 1.4 — Number of days with rain during the year

In cloudy weather, polycrystals, due to their granular structure, are better able to "receive" rays refracted from clouds, and accordingly, convert more electricity. Monocrystals, due to their homogeneous structure, are better suited for use in direct sunlight during cloudless, clear weather.

The principle of operation of the panel during cloudy weather is quite similar to how solar panels work in winter. The operation of solar panels in cloudy weather directly depends on the degree of cloudiness, their variability, and air temperature.

In fog, the principle of operation is somewhat similar to how a solar panel works during rain. Accumulated water vapor condensate can refract sunlight directed at the surface of the solar panel.

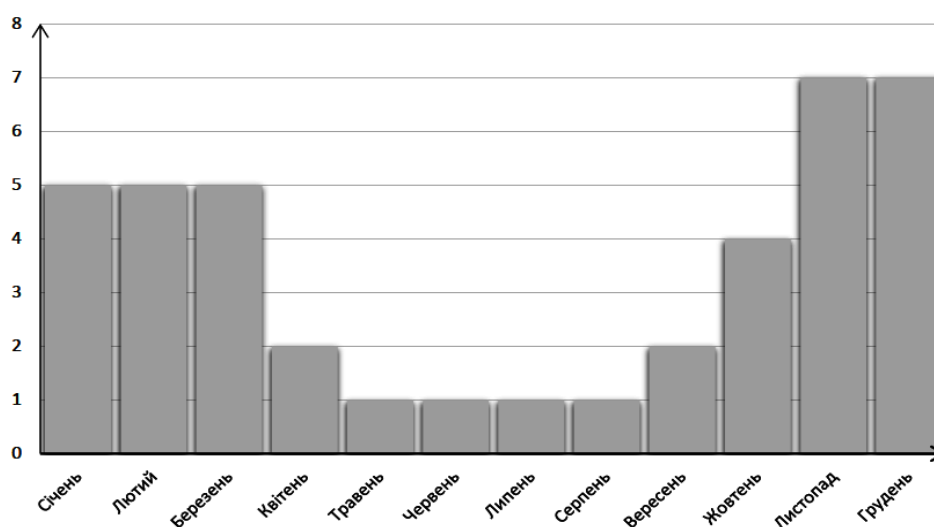


Figure 1.5 — Number of days with fog during the year

The selected location for installing solar panels is among trees and buildings, which will prevent the rays from reaching the installed solar panels. Therefore, they can

be installed on the roof. The site is also located close to roads, which can cause additional dust to settle on the solar panels. A photo of the land plot is shown in Fig. 1.6.

For the design of the power supply system of a private house, the selected land plot is considered already privatized. Therefore, when calculating the costs of installing a solar photovoltaic installation, the costs of purchase/rent, re-registration and privatization are not taken into account.



Figure 1.6 — Satellite image of the land plot

The advantages of the site are also a square shape and a simple relief, so the complexity of these parameters entails additional difficulties and costs. The orientation of the land plot was also taken into account, since the best location of the photovoltaic panels will be on the southern slope.

Summarizing the above, the generation of solar power plants is affected by the level of insolation in the region. This is an indicator of the amount of solar radiation. The higher it is, the more the station can generate. According to NASA [6], a map of radiation and solar energy potential in Ukraine was compiled (Fig. 1.7).

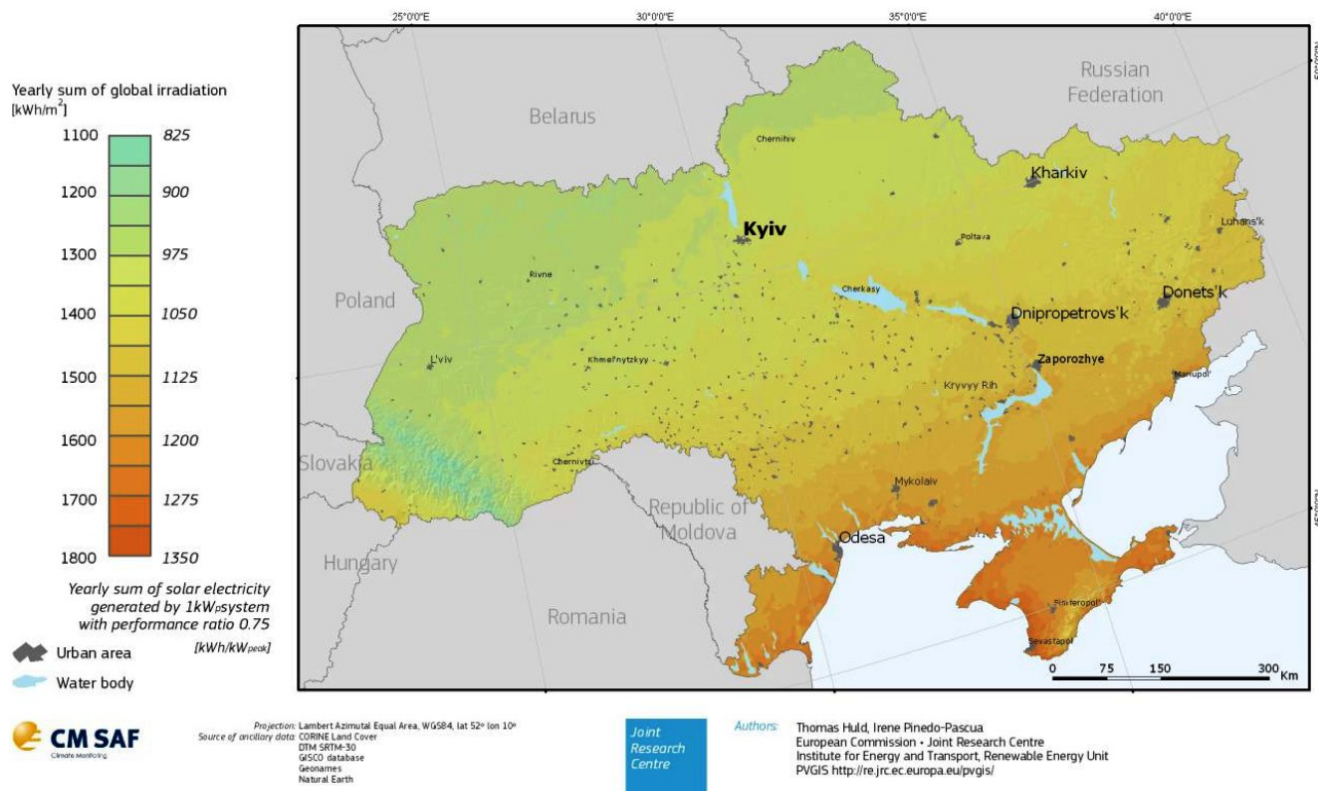


Figure 1.7 — Radiation and potential of solar energy in Ukraine

Geographically, the territory of Ukraine has indicators from 1400 kW per year per 1 sq.m in Kherson region and up to 1180 kW per year per 1 sq.m in Lviv and other western regions.

Figure 1.8 shows the average monthly solar insolation (solar constant) in Ukrainian cities for each month in kWh/m<sup>2</sup>/day. These are average indicators according to NASA observations over the past 25 years.

Міста/Місяці	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Сер.
Вінниця	1.07	1.89	2.94	3.92	5.19	5.30	5.16	4.68	3.21	1.97	1.10	0.90	3.11
Дніпропетровськ	1.21	1.99	2.98	4.05	5.55	5.57	5.70	5.08	3.66	2.27	1.20	0.96	3.36
Донецьк	1.21	1.99	2.94	4.04	5.48	5.55	5.66	5.09	3.67	2.24	1.23	0.96	3.34
Житомир	1.01	1.82	2.87	3.88	5.16	5.19	5.04	4.66	3.06	1.87	1.04	0.83	3.04
Запоріжжя	1.21	2.00	2.91	4.20	5.62	5.72	5.88	5.18	3.87	2.44	1.25	0.95	3.44
Івано-Франківськ	1.19	1.93	2.84	3.68	4.54	4.75	4.76	4.40	3.06	2.00	1.20	0.94	2.94
Київ	1.07	1.87	2.95	3.96	5.25	5.22	5.25	4.67	3.12	1.94	1.02	0.86	3.10
Кропивницький	1.20	1.95	2.96	4.07	5.47	5.49	5.57	4.92	3.57	2.24	1.14	0.96	3.30
Луцьк	1.02	1.77	2.83	3.91	5.05	5.08	4.94	4.55	3.01	1.83	1.05	0.79	2.99
Луганськ	1.23	2.06	3.05	4.05	5.46	5.57	5.65	4.99	3.62	2.23	1.26	0.93	3.34
Львів	1.08	1.83	2.82	3.78	4.67	4.83	4.83	4.45	3.00	1.85	1.06	0.83	2.92
Миколаїв	1.25	2.10	3.07	4.38	5.65	5.85	6.03	5.34	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Одеса	1.25	2.11	3.08	4.38	5.65	5.85	6.04	5.33	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Полтава	1.18	1.96	3.05	4.00	5.40	5.44	5.51	4.87	3.42	2.11	1.15	0.91	3.25
Рівне	1.01	1.81	2.83	3.87	5.08	5.17	4.98	4.58	3.02	1.87	1.04	0.81	3.01
Суми	1.13	1.93	3.05	3.98	5.27	5.32	5.38	4.67	3.19	1.98	1.10	0.86	3.16
Сімферополь	1.27	2.06	3.05	4.30	5.44	5.84	6.20	5.34	4.07	2.67	1.55	1.07	3.58
Тернопіль	1.09	1.86	2.85	3.85	4.84	5.00	4.93	4.51	3.08	1.91	1.09	0.85	2.99
Ужгород	1.13	1.91	3.01	4.03	5.01	5.31	5.25	4.82	3.33	2.02	1.19	0.88	3.16
Харків	1.19	2.02	3.05	3.92	5.38	5.46	5.56	4.88	3.49	2.10	1.19	0.90	3.26
Херсон	1.30	2.13	3.08	4.36	5.68	5.76	6.00	5.29	4.00	2.57	1.36	1.04	3.55
Хмельницький	1.09	1.86	2.87	3.85	5.08	5.21	5.04	4.58	3.14	1.98	1.10	0.87	3.06
Черкаси	1.15	1.91	2.94	3.99	5.44	5.46	5.54	4.87	3.40	2.13	1.09	0.91	3.24
Чернігів	0.99	1.80	2.92	3.96	5.17	5.19	5.12	4.54	3.00	1.86	0.98	0.75	3.03
Чернівці	1.19	1.93	2.84	3.96	4.54	4.75	4.76	4.40	3.06	2.00	1.20	0.94	2.94

Figure 1.8 — Table of solar insolation levels of Ukrainian cities, kWh/m<sup>2</sup>/day

The length of daylight hours varies during the different seasons. Under favorable weather conditions, more electricity is generated in the summer due to early sunrise and late sunset, while in the winter, the operation of solar power plants is reduced due to short daylight hours (Fig. 1.9).

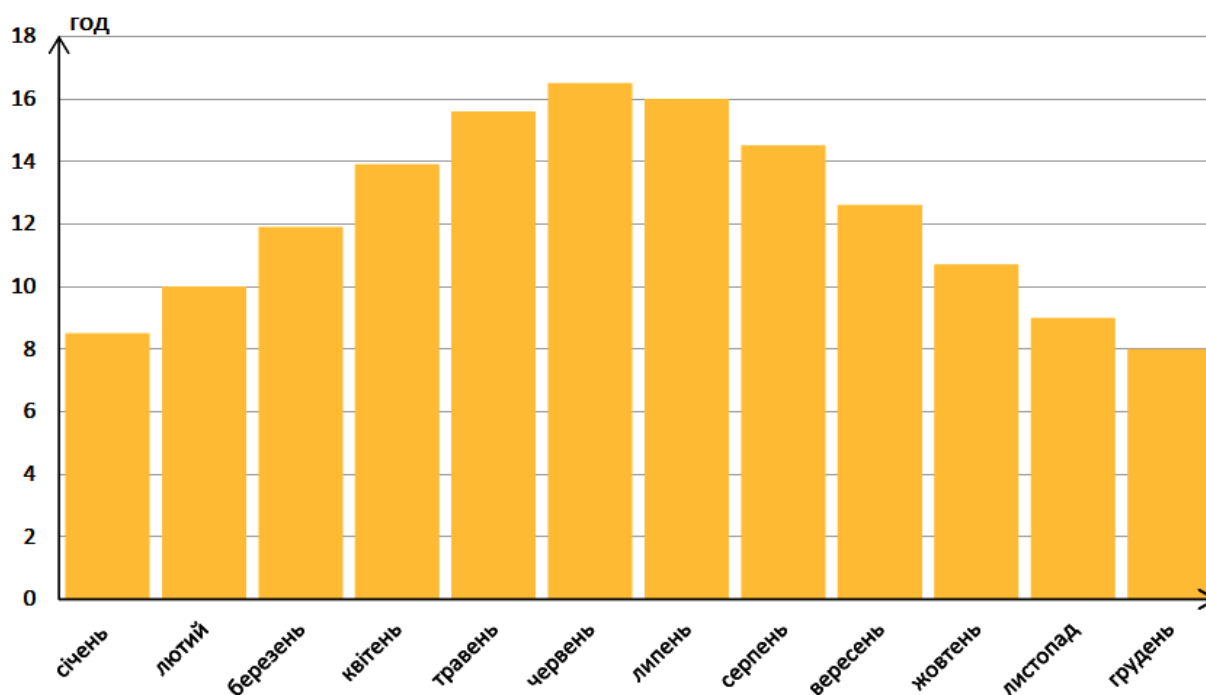


Figure 1.9 — Length of daylight during the year

The graph in Fig. 1.9 shows the average number of hours per day in Poltava during which the sun is above the horizon.

The difference in insolation in different regions will not have a significant impact on the payback period and efficiency of the solar power plant, because the efficiency can be increased by the correct choice of photovoltaic modules, inverters, and competent design solutions.

A vivid example is Poland, where the level of insolation in the southernmost regions is equal to the minimum in Ukraine, and at the same time the country is evenly built up with efficient solar energy facilities.

### 1.3. Types of solar panels and their efficiency

"All solar cells consist of photovoltaic converters, which, in fact, convert solar energy into electricity. There are 3 types of photovoltaic cells in total, according to which solar modules are divided into the following types: monocrystalline, polycrystalline and flexible (film) "[8].

#### **Monocrystalline module.**

Monocrystalline solar modules have a twisted shape with cut edges, as shown in Fig. 1.10. They have the highest energy efficiency among the photovoltaic modules considered, which is about 22%. High efficiency is achieved by the degree of purification of raw materials (99.999%) for the manufacture of structures.

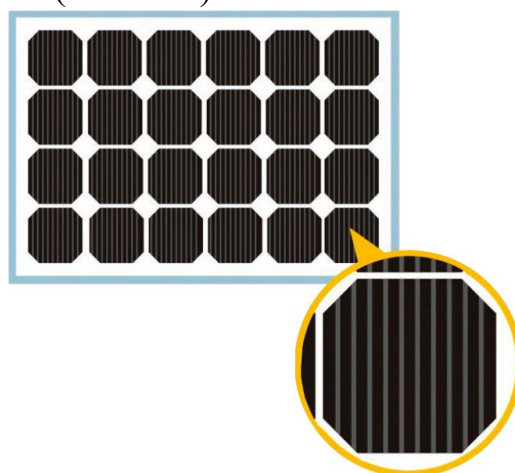


Figure 1.10 — Monocrystalline solar panel

A monocrystalline panel consists of: dozens of silicone modules and a fiberglass housing that protects against dust and moisture.

The advantages of monocrystalline modules include small size, sufficient flexibility to expand installation options, relatively high efficiency on cloudy days, and durability (the service life of such panels is on average more than 30 years).

### **Polycrystalline solar panels.**

Polycrystalline modules have a square shape and a bright blue color, as shown in Fig. 1.11. A few years ago, polycrystalline panels were the most common on the market. They have a lower price than monocrystalline ones, but they also lose a lot in efficiency, which reaches only 12-14%. Therefore, this type of panels (due to their financial affordability) was chosen when installing an autonomous 10 kW solar power plant in the household under consideration.

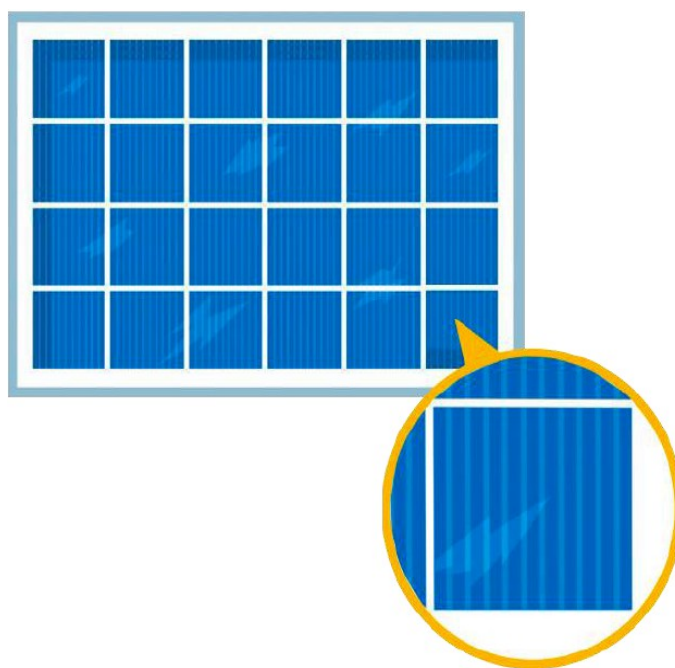


Figure 1.11 — Polycrystalline Isolating panel

The reason for the low efficiency was the defects due to the use of raw materials of a lower grade than in the development of monocrystalline panels. In addition to silicon of a lower grade, secondary raw materials are also used. This also caused the low cost.

But there are many projects where polycrystalline panels are implemented: these are mainly large solar power plants for a house or a small city. According to data in the

USA and Europe, polycrystalline panels lose their power by approximately 10% in 20 years of continuous operation.

### **Flexible solar panels.**

The advantages of such solar panels are a flexible structure, thanks to which they can be placed on almost any surface. Unlike previous types, this is the deposition of a semiconductor on a thin-film substrate, so this type cannot compete with silicon panels.



Figure 1.12 — Thin-film panel

The advantages of efficient operation at high temperatures, in diffuse light, or low light, shading, ease of manufacture, low defect rate. But still the main advantage remains flexibility and ease of installation anywhere, for example, instead of windows, or glazing walls. [9].

The coefficient of performance (COP) of a solar cell is a measure of the amount of sunlight (radiation) that falls on the surface of the solar cell and is converted into electricity.

The efficiency of solar cells (or photovoltaic converters (PVC)) is determined by their structure and the type of substrate used, which is usually p-type or p-type silicon. The efficiency of a solar panel is measured under standard test conditions (STC) at a temperature of 25°C. solar radiation of 1000 W/m<sup>2</sup> and for a spectral characteristic AM 1.5. The efficiency of a solar panel is actually calculated by dividing its maximum rated power (Rmax. W) by the total area of the panel, measured in square meters.

The efficiency of a solar panel depends on many external factors. Depending on local environmental conditions, these various factors can reduce the efficiency of the

panel and the overall performance of the system. The main factors that affect the efficiency of a solar panel were mentioned in section 1.2, namely:

- insolation, or solar radiation density;
- shading of the solar panel surface;
- panel orientation;
- operating temperature range;
- geographical location (latitude);
- season;
- dust and dirt.

The most efficient solar panels on the market usually use monocrystalline p-type silicon cells. So far, most manufacturers, for the most part, offer the more common PEPs using mono-PERC p-type technology, gradually starting the transition to more efficient p-type cells. Typical efficiency of different types of solar photovoltaic cells is given below [10].

- Polycrystalline solar cells from 15 to 18%.
- Monocrystalline solar cells from 16.5 to 19%.
- Polycrystalline PERC solar cells from 17 to 19.5%.
- Monocrystalline PERC solar cells from 17.5 to 20%.
- Monocrystalline n-type solar cells from 19 to 20.5%.
- Monocrystalline NJT n-type solar cells from 19 to 21.7%.
- Monocrystalline IBC p-type solar cells from 20 to 22.8%.

#### **1.4. General requirements for installing photovoltaic modules in Ukraine**

The mandatory requirements for installing photovoltaic modules in Ukraine and subsequently registering them under the "green tariff" are:

- the presence of a residential building put into operation;
- ownership of the house and land plot (if the panels will be placed on a ground metal structure);
- the presence of technical conditions in the house.

The action plan will include the following stages;

- purchase and installation of a solar installation with a capacity of up to 30 kW;
- submission of an application-notification and a connection diagram to the local district electric network (REM) or regional power company is the stage of forming technical conditions. For example, if the client has 1 phase and 5 kW in the house, and he plans to install a 30-kilowatt solar power plant, he should submit an application for 3 phases and 30 kW;

- for payments, a current account is opened in the bank, the details of which are indicated in the application-notification;

- approval by the energy supplier of the connection scheme of the generating plant, provision of an invoice from the regional energy utility for payment for services for the arrangement of the metering unit, installation of the electricity metering unit (regional energy utility employees arrive, install a bidirectional meter, seal it, check the station and start it up);

- submission to the regional energy utility of documents for the equipment (single-line diagram, certificates, technical passport), documents on property rights and technical conditions for the execution of the "purchase and sale" agreement.

The distribution system operator cannot refuse to connect the solar installation to the network on the basis of the law, provided that all the previously listed points are qualitatively fulfilled.

So, despite the higher price, it is better to buy and install monocrystalline panels. After all, they win over polycrystalline photovoltaic modules in terms of their technical characteristics, such as: efficiency, high degree of silicon purification, compactness. Due to the high efficiency and compactness of monocrystalline panels, not only is less money wasted on solar power plants, but more power is also obtained, compared to polycrystalline panels. As of 2024-2025, polycrystalline batteries are becoming irrelevant.

Міністерство освіти та науки України  
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

"Розроблення проекту сонячної міні електростанції  
приватного будинку"

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

Студент групи 401-МЕ

Власко М. Р.

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Трет'як А. В.

Полтава 2025

### **Актуальність:**

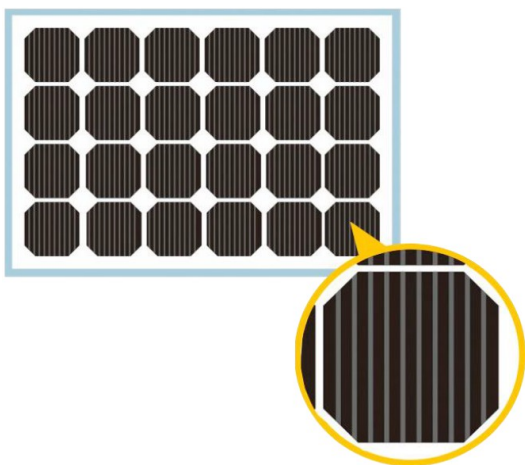
- Зростання тарифів на електроенергію та енергетична нестабільність у країні
- Часті аварії та відключення внаслідок перевантажень або пошкоджень мереж
- Зростаючий попит на незалежність від централізованого електропостачання
- Державна підтримка ВДЕ через "зелений тариф"

**Метою роботи** є розроблення проекту встановлення альтернативного джерела енергії для електропостачання приватного будинку.

### **Поставлені задачі:**

- Вибрати сонячні панелі, інвертори, акумуляторні батареї, кабелі, комутаційні апарати, лічильники.
- Дослідити різні типи фотоелементів для вибору оптимального варіанту.
- Накреслити схему підключення установки до будинку та мережі.
- Вибрати типи та кількість обладнання, обґрунтувати економічну доцільність встановлення домашньої СЕС.

### Монокристалічна сонячна панель



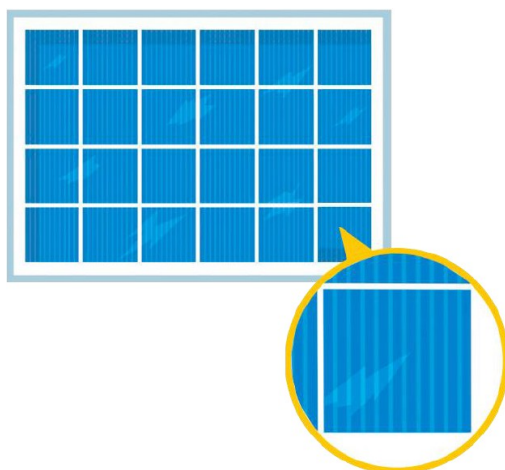
#### Переваги:

- Високий ККД (до 22%).
- Більша потужність на одиницю площі.
- Ефективна робота при високих температурах.
- Довгий термін служби.

#### Недоліки:

- Висока ціна.
- Чутливість до високих температур.
- Чутливість до затінення.

### Полікристалічна сонячна панель



#### Переваги:

- Нижча вартість, ніж у монокристалічних.
- Хороша продуктивність при розсіяному світлі.
- Висока стійкість до зовнішніх умов.

#### Недоліки:

- Нижчий ККД.
- Чутливість до високих температур.
- Більша площа покриття.

### Тонкоплівкова панель



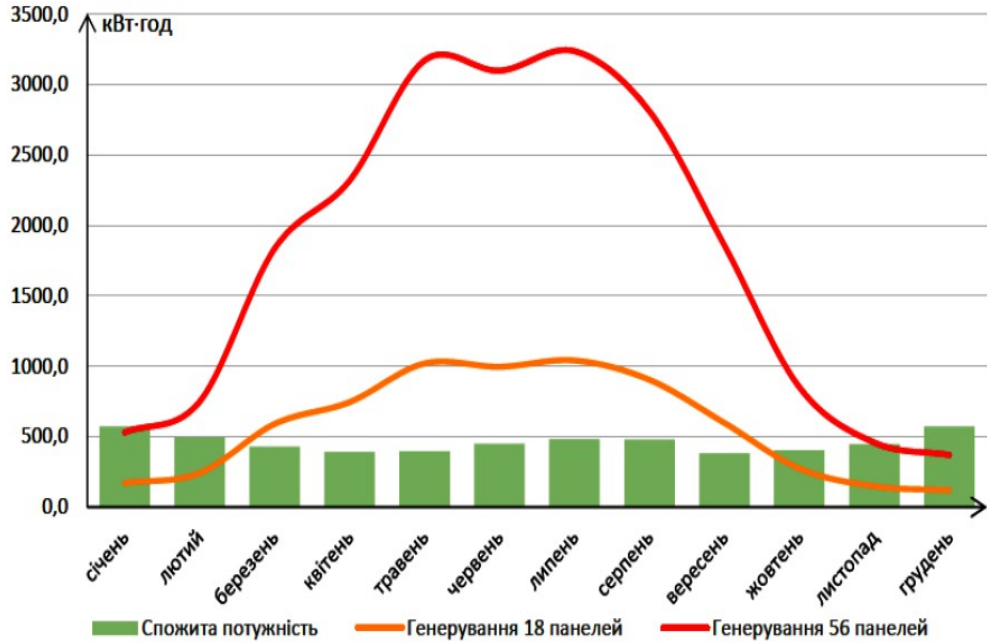
#### Переваги:

- Гнучкість, легка вага.
- Ефективність при слабкому освітленні.
- Потенційна економічна вигода.

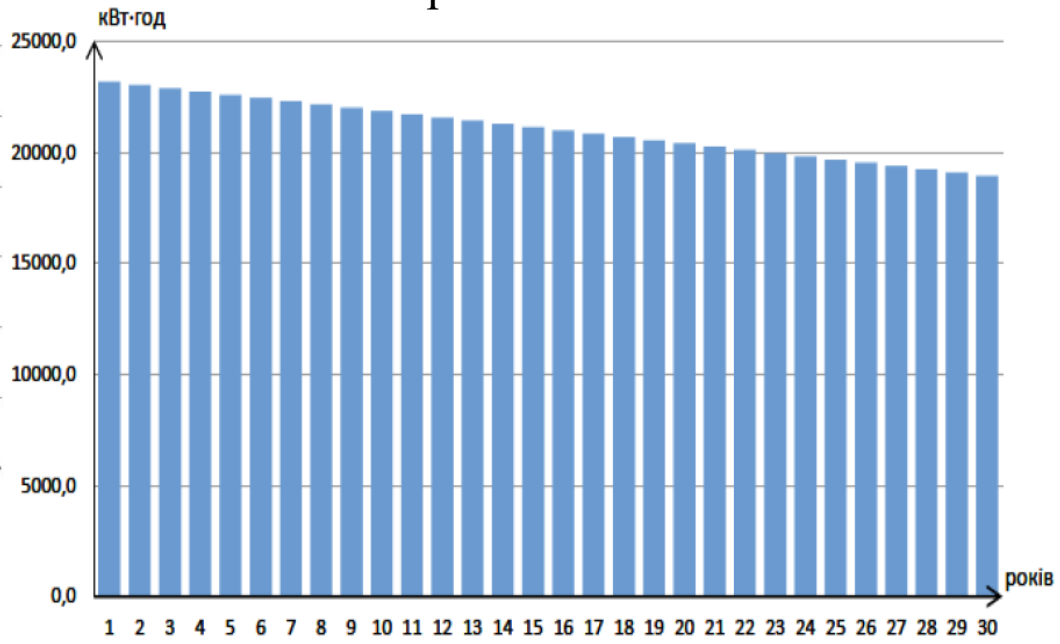
#### Недоліки:

- Найнижча ефективність.
- Коротший термін служби.

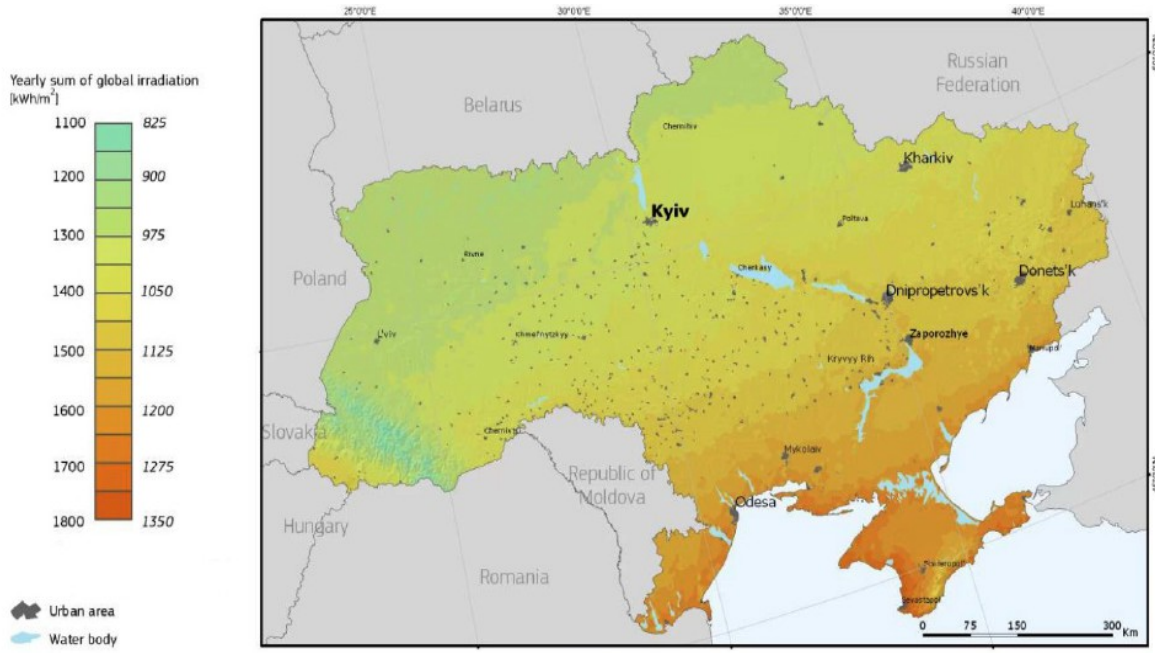
### Генерація електроенергії по місяцям



### Дійсна генерація протягом тридцяти років мережевої СЕС

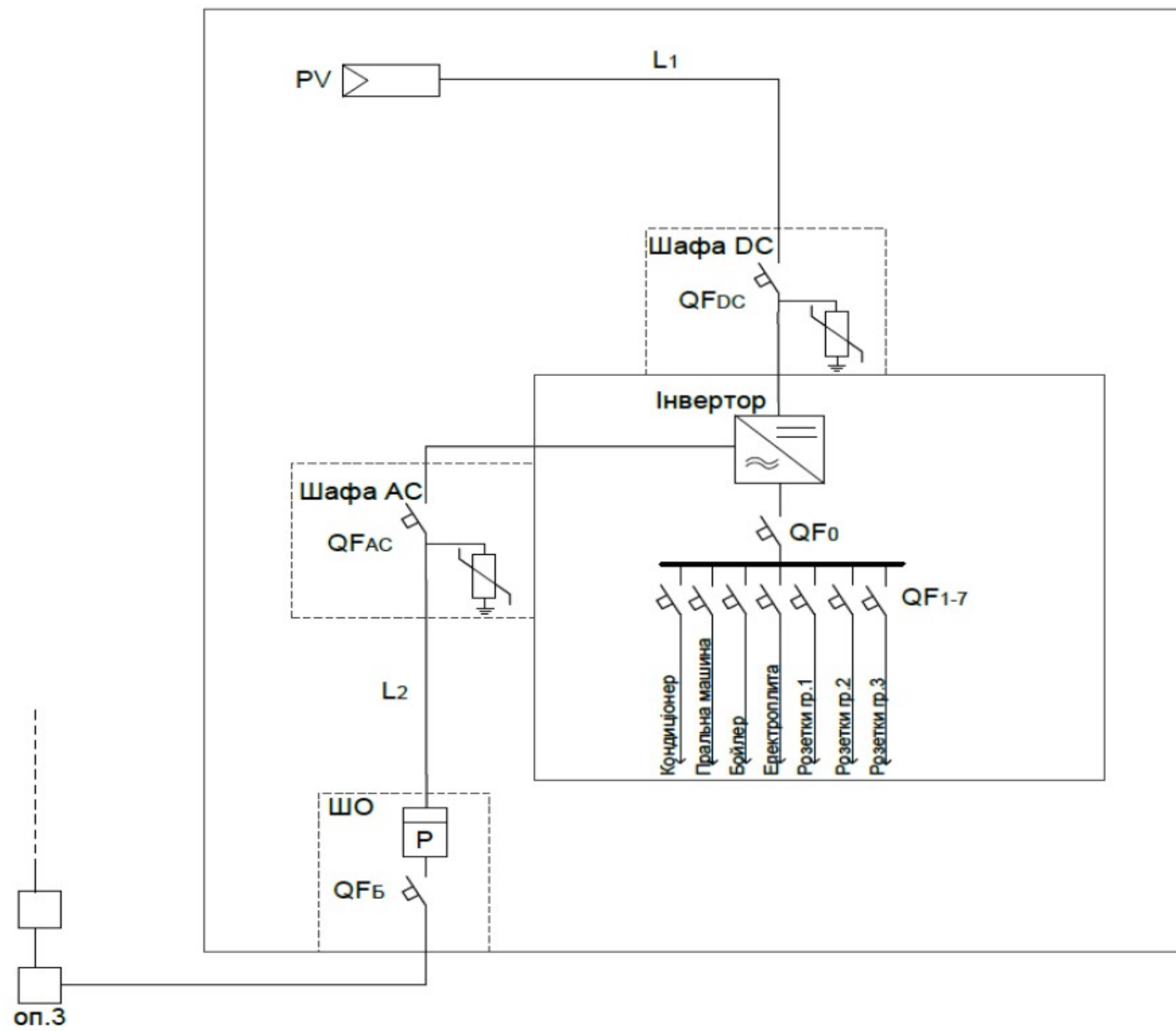


### Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні





# Однолінійна схема електропостачання від мережевої СЕС



## Вартість додаткового обладнання

Обладнання	Кількість/довжина од/м	Ціна за 1 од/м, грн	Загальна вартість, грн
Кабелі :			
Н1Z2Z2-К ×6	65	34	2 210
АВВГ 4 × 10	10	26,40	264
Комутаційні апарати :			
ЕТІМАТ 10 1Р 80А	1	1248	1248
АВВ 1р 16 SZ201	5	145	725
АВ 1р 10 SZ201	2	167	334
Шафа захисту АС:			
Пластиковий щит	1	-	-
Автоматичний вимикач	1	-	-
Обмежувач перенапруг	1	-	-
Шафа захисту DC:			
Пластиковий щит	1	-	-
Автоматичний вимикач	1	-	-
Обмежувач перенапруг	1	-	-
Заземлення	1	-	-
Разом	-	-	21 300
Разом К <sub>обл</sub> , грн	—	—	26 081

## Вартість головних компонентів мережевої СЕС

Обладнання	Кількість од.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна панель Longi Solar LR5-72HPH-54	57	8904	507 528
Інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M3	1	97 750	97 750
Лічильник АСЕ6000 5-100А	1	10 120	10 120
Разом $K_{уст}$ , грн	–	–	615 398

Загалом вся установка буде коштувати 667 313 грн.

**Дякую за увагу!**