

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська дипломна робота на тему:

ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ФОТОВОЛЬТАІЧНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУДИНКУ

Виконав: студент 4 курсу групи 2ЕЕ-206
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика та
електротехніка »

Кравець Т. Р. _____
Керівник: К.т.н., доцент, доц. каф. ЕСС
Лесько В. О. _____

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент: доц. кафедри ЕСС
Р.Р. Лесько В.О.
« ____ » _____ 2024 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

«17» _____ 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

« 11 » 03 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кравцю Тарасу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. « Проектування сонячної фотовольтаїчної станції для забезпечення резервного електропостачання будинку»

Керівник роботи К.т.н., доцент, доц. каф. ЕСС Лесько В.О.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 11.03.2024 року № 80

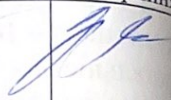
2. Термін подання студентом роботи 06 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи Лежнюк П. Д., Лагутін В. М., Тепля В. В. Однолінійна схема електропостачання розподільних елбурге; існуючі схеми електропостачання споживачів; /

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Загальні відомості про житловий об'єкт 2. Проектування сонячної міні-електростанції для житлового об'єкта. 3. Техніко-економічне обґрунтування використання сонячних панелей для покриття навантажень житлового об'єкту 4. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схеми керування аварійними режимами; Вступ. 1. Загальні відомості про житловий об'єкт 2. Проектування сонячної міні-електростанції для житлового об'єкта. 3. Техніко-економічне обґрунтування використання сонячних панелей для покриття навантажень житлового об'єкту 4. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Лесько В. О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 16 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Примітки
		початок	кінець	
1	Вступ. Огляд літературних джерел	21.01.24	15.02.24	
2	<u>Загальні відомості про житловий об'єкт</u>	16.02.24	15.03.24	
3	Проектування сонячної міні-електростанції для житлового об'єкта	16.03.24	10.04.24	
4	Техніко-економічне обґрунтування використання сонячних панелей для покриття навантажень житлового об'єкту	11.04.24	11.05.24	
5	Охорона праці	12.04.24	19.05.24	
6	Формування висновків по роботі. Оформлення пояснювальної записки	20.05.24	24.05.24	
7	Виконання ілюстративної частини та оформлення презентації	25.05.24	04.06.24	
	Перевірка БДР на плагіат. Попередній захист БДР	05.06.24	07.06.24	
	Рецензування БДР	08.06.24	10.06.24	
	Захист БДР	За графіком		

Студент

(підпис)

Т. Р. Кравець

Керівник роботи

(підпис)

В. О. Лесько

АНОТАЦІЯ

Бібліографічний опис: Кравець Т. Р. Проектування сонячної фотовольтаїчної станції для забезпечення резервного електропостачання будинку: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка с. 79, рис. 28, табл. 24

Ключові слова: електрична мережа, сонячна електростанція, альтернативні джерела енергії, "зелений тариф";

electric network, solar power plant, alternative energy sources, "green tariff".

Короткий огляд – В роботі досліджено проект по встановленню альтернативного джерела енергії для електропостачання приватного будинку. Проведено вибір сонячних панелей, інверторів, акумуляторних батарей, кабелів для ліній електропередачі, комутаційних апаратів, лічильників. Проведено дослідження різних типів сонячних установок, вибір оптимального варіанту. Планування схеми підключення установок до побутового будинку та мережі. Проведено вибір типів та кількості обладнання для організації автоматизованого обліку електричної енергії та висвітлене економічне обґрунтування доцільності встановлення домашньої сонячної електростанції.

ABSTRACT

Bibliographical description: Kravets T. R. Designing a solar photovoltaic station to provide a backup power supply to the house: work on obtaining a bachelor's degree; spec.: 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics p. 79, fig. 28, tab. 24

Keywords: electric grid, solar power plant, alternative energy sources, "green tariff";

electric network, solar power plant, alternative energy sources, "green tariff".

Brief overview - The project on the installation of an alternative energy source for the electricity supply of a private house is investigated in the work. A selection of solar panels, inverters, batteries, cables for power transmission lines, switchgear, and meters was made. A study of various types of solar installations was carried out, the selection of the optimal option was carried out. Planning the scheme of connecting the installations to the household building and the network. The selection of types and quantity of equipment for the organization of automated accounting of electrical energy was carried out, and the economic justification of the feasibility of installing a home solar power plant was highlighted.

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;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

ФЕП – фотоелектричний помножувач.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЖИТЛОВИЙ ОБ'ЄКТ.....	9
1.1 Класифікація і загальна характеристика електроприймачів	9
1.2 Географічне розташування та характеристики місцевості	13
1.3. Типи сонячних панелей та їхня ефективність.....	21
1.4. Загальні вимоги для встановлення фотоелектричних модулів в Україні.....	26
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ МІНІ-ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТА.....	28
2.1 Спрощений розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта	28
2.2 Точний розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта ...	31
2.3 Розрахунок сонячної міні-електростанції для покриття лише внутрішніх потреб	32
2.4 Розрахунок сонячної міні-електростанції для генерації електроенергії в зовнішню мережу.....	46
2.5. Розробка технічних умов для приєднання сонячної міні-електростанції до розподільної електричної мережі.....	53
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОКРИТТЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЖИТЛОВОГО ОБ'ЄКТУ	58
3.1 Визначення терміну окупності для варіанту покриття лише внутрішніх потреб	58
3.2 Визначення терміну окупності для варіанту генерації електроенергії в зовнішню мережу	64
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	69
ВИСНОВОК.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
ДОДАТОК А протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичен	
ДОДАТОК Б ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	

ВСТУП

Актуальність теми. Проектування сонячної фотовольтаїчної станції для забезпечення резервного електропостачання будинку є дуже актуальною темою в контексті сталого розвитку та енергоефективності. За допомогою сонячних панелей можна виробляти електроенергію з безкоштовного джерела - сонячного світла. Це дозволить не тільки зменшити витрати на електроенергію, а й забезпечити надійне резервне електропостачання у разі аварій або відключень звичайної мережі. Розробка такої фотовольтаїчної станції потребує комплексного підходу, включаючи вибір оптимальної потужності панелей, їх монтаж та підключення до системи електропостачання будинку. Також важливо враховувати можливості зберігання надлишкової енергії у батареях для подальшого використання. Застосування сонячних електростанцій для резервного електропостачання вже широко використовується у багатьох країнах світу і дозволяє ефективно використовувати альтернативні джерела енергії для забезпечення житлових будинків та підприємств.

Метою даної роботи є систематизація, закріплення та використання набутих знань з дисциплін професійної підготовки під час розрахунків мережі електропостачання, вибору необхідного електричного обладнання при плануванні схеми електропостачання будинку, перевірки роботи існуючих трансформаторів, комутаційних апаратів на роботу при додатковому навантаженні.

Основними задачами в даній роботі є розрахунок та аналіз сонячної електростанції для задоволення власних потреб приватного будинку в електроенергії та можливості продажу електроенергії в мережу за "зеленим тарифом"; складання приблизного проекту підключення будинку до СЕС та загальної мережі електропостачання.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЖИТЛОВИЙ ОБ'ЄКТ

1.1 Класифікація і загальна характеристика електроприймачів

Згідно ПУЕ п.1.2.7, приймач електричної енергії (електроприймач) – це апарат, агрегат, механізм, призначений для перетворення електричної енергії в інший вид енергії. Електроприймачі за надійністю електропостачання поділяють на такі три категорії:

Електроприймачі I категорії – електроприймачі, переривання електропостачання яких може спричинити: небезпеку для життя людей, значний матеріальний збиток споживачам електричної енергії (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства.

У складі електроприймачів I категорії виокремлюється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких є необхідною для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного основного обладнання, втраті важливої інформації,

Електроприймачі II категорії – електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

Електроприймачі III категорії – решта електроприймачів, що не підпадають під визначення I та II категорій.

Категорії надійності електропостачання визначають залежно від технології основного виробництва споживача електроенергії згідно з вимогами ДБН В.2.5-23:2010 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного

У березні 2021 комісія НКРЕКП внесла зміни, відповідно до яких мінімальним може бути приєднання на рівні 5 кВт. Тобто нові споживачі приєднуватимуться одразу з новою дозволеною потужністю, а всіх приєднаних раніше протягом двох років місцеве обленерго має максимально по можливості перевести на збільшену потужність.

Нажаль, загострення пандемії не пришвидшило перехід, а з початку повномасштабної війни у лютому 2022 року зовсім зупинило процес і відклало його на невизначений термін, оскільки першочерговим є усунення наслідків заподіяної шкоди, тобто відбудова зруйнованих джерел електроенергії та відновлення мереж електропостачання.

Для приватного будинку навіть новий ліміт потужності не завжди задовольняє потреби споживача, особливо якщо в домі немає централізованого опалення. Сучасні котли споживають від 2 до 16 кВт. Споживач може регулювати споживану потужність. Для підтримання комфортної температури у 22-24 °С котлу вистачає близько 4кВт з дозволених п'яти. За орієнтовними розрахунками, будинок , площа якого 90 м², що опалюється за допомогою конвекторів та теплою підлогою витрачає від 5,5 до 9 кВт.

Також додаткові витрати електроенергії в домогосподарстві, окрім освітлення, опалення і інших побутових приладів, можуть забирати електроінструменти (наприклад, циркулярна пила споживає 0,85-1,36 кВт). Тому останніми роками приватні будинки мали тенденцію збільшувати договірну потужність від 7 до 16 кВт, що є платною послугою.

В даній роботі планується провести розрахунок електроспоживання середньостатистичного житлового одноповерхового приватного будинку. Перелік основних електроприймачів з найбільшим споживанням електроенергії наведено в табл. 1.1.1.

Всі значення споживаної потужності взяті з технічних характеристик електроприладів, викладених у вільному доступі.

Таблиця 1.1.1 – Основні електроприймачі та їхня потужність

Електроприймач	Кількість електроприладів, од	Потужність одного електроприладу, кВт	Загальна потужність, кВт
Лампи світлодіодні Emilight	25	0,008	0,2
Кондиціонер HYUNDAI	1	2,3	2,3
Пральна машина з сушкою Whirlpool	1	1,85	1,85
Бойлер Atlantic Steatite Cube Slim	1	1,5	1,5
Варильна поверхня електрична PERFELLI	2	1,2	2,4
Праска Philips	1	2	2
Електрочайник PHILIPS	1	2,2	2,2
Холодильник BOSCH	1	0,4	0,4
Мікрохвильова піч Ardesto	1	0,7	0,7
Пилосос Gorenje	1	0,75	0,75
Телевізор Philips	1	0,031	0,031
Максимум потужності	-	-	≈ 14,3

В таблиці перераховані електроприймачі з найвищою потужністю в будинку. Максимально можлива споживана потужність становить менше 15 кВт. Але одночасно всі ці прилади не працюватимуть, отже знайдене максимальне значення на практиці майже неможливе. В середньому в приватних будинках одночасно споживається не більше 5-7 кВт. Детальніше розглянуто в розд. 2.1.

1.2 Географічне розташування та характеристики місцевості

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні ($1235 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$) є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях [3]. В цілому фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися протягом року.

Основними параметрами зовнішнього середовища, які суттєво впливають на генерацію електричної енергії фотоелементами є:

- інтенсивність сонячного випромінювання;
- температура повітря.

Приватна ділянка, що розглянута в цій роботі, знаходиться в м. Суми, Зарічному районі. Розташування об'єкту показано на рис. 1.2.1 здобутому зі знімків супутника для "Гугл-мап".

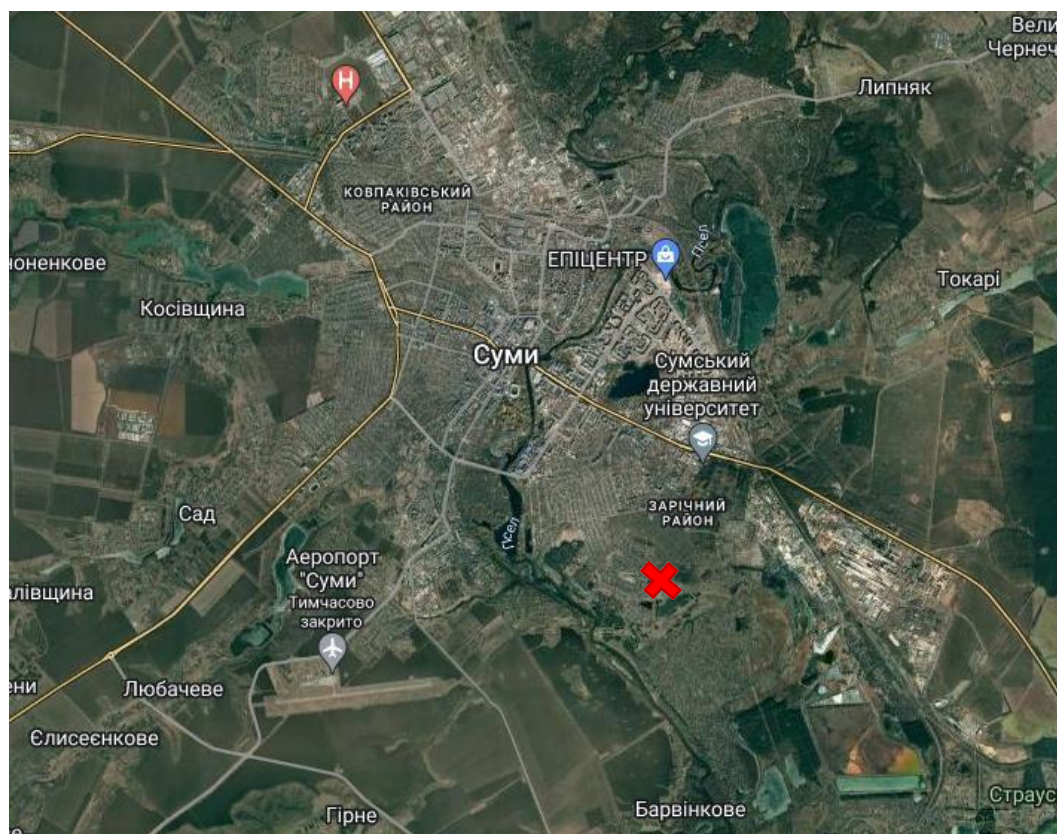


Рисунок 1.2.1 – Місцезнаходження земельної ділянки

Сонячні панелі працюють саме від сонячного світла, а не від сонячного тепла, тому виробіток електроенергії не знизиться при температурі нижче нуля.

Сонячні панелі будуть працювати і взимку, але їх продуктивність може бути нижча в 2-3 рази. Зниження продуктивності може бути зв'язано з такими факторами, як скорочення світового дня (день взимку коротший, а це значить, що і світла електростанція буде отримувати менше), наявність снігу (із сонячних панелей потрібно зчищати сніг).

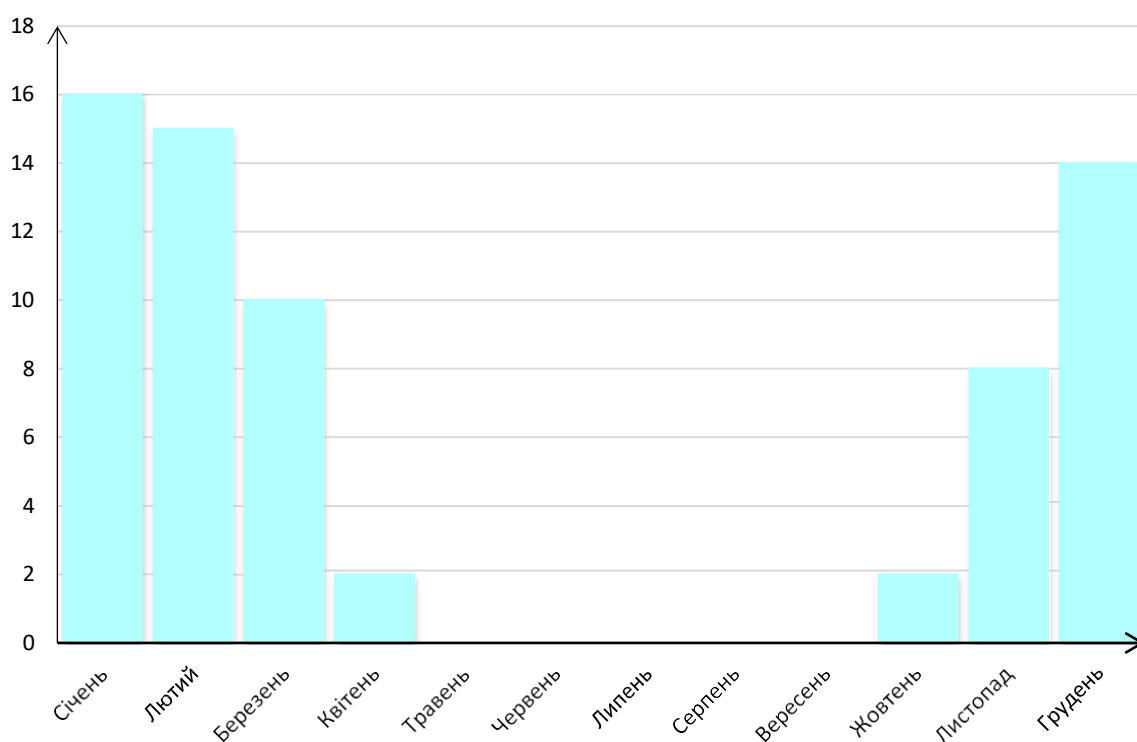


Рисунок 1.2.3 – Кількість днів зі снігом протягом року

В зимовий період також є свої переваги у роботі сонячних панелей. Сніг навкруги має гарну відображаючу здатність, що дозволяє у сонячний сніжний день мати відзеркалення сонячних променів від поверхні які додатково будуть потрапляти на сонячні панелі. Відповідно виробіток електроенергії зростає.

Також при мінусових температурах, немає падіння виробленої електроенергії через перегрів, як наприклад літом. Інколи зимою фотомодулі виробляють електроенергії більше за їхню номінальну потужність. Саме різкий

перепад температур знижує роботу сонячних панелей, коли влітку вдень тримається висока температура, а вночі різко спадає [5].

Крім цього, дуже важливим погоднім фактором є дощ. Стандартна сонячна панель за умов дощу працюватиме досить слабо. Справа в тому, що дощ, який падає на панель, в свою чергу, може заламати промінь, котрий спрямований на панель. Крім того, дощ, падаючи на панель, утворює шар води над склом, який відбиває частину променів. В результаті, генерація сонячної панелі за таких умов є низькою.

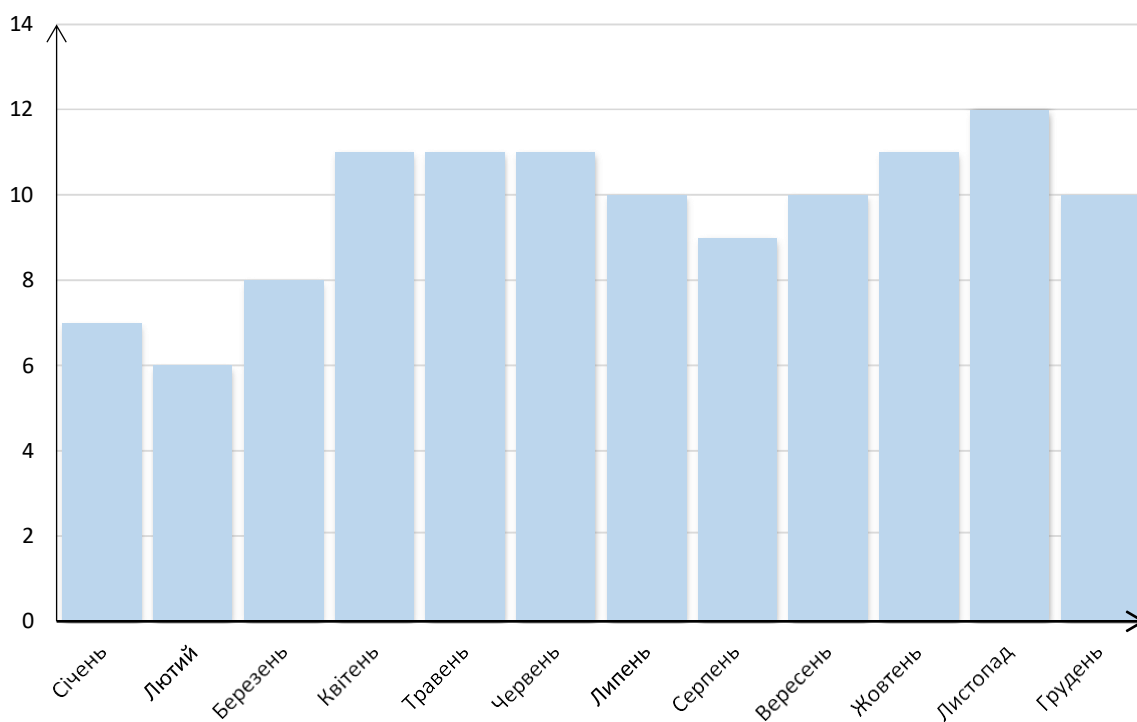


Рисунок 1.2.4 – Кількість днів з дощем протягом року

У похмурну погоду полікристали, завдяки своїй зернистій структурі, краще "отримують" заломлені від хмар промені, і відповідно, перетворюють більше електроенергії. Монокристали, завдяки їх однорідній структурі, краще використовувати за прямих сонячних променів під час безхмарної ясної погоди.

Принцип роботи панелі під час хмарності є доволі схожим до того, як працюють сонячні панелі взимку. Робота сонячних панелей в похмурну погоду напряду залежить від ступеня хмарності, їх перемінності, температури повітря.

При тумані принцип роботи дещо схожий на те, як працює сонячна панель під час дощу. Скупчений конденсат водяної пари може заломлювати сонячні промені, спрямовані на поверхню сонячної панелі.

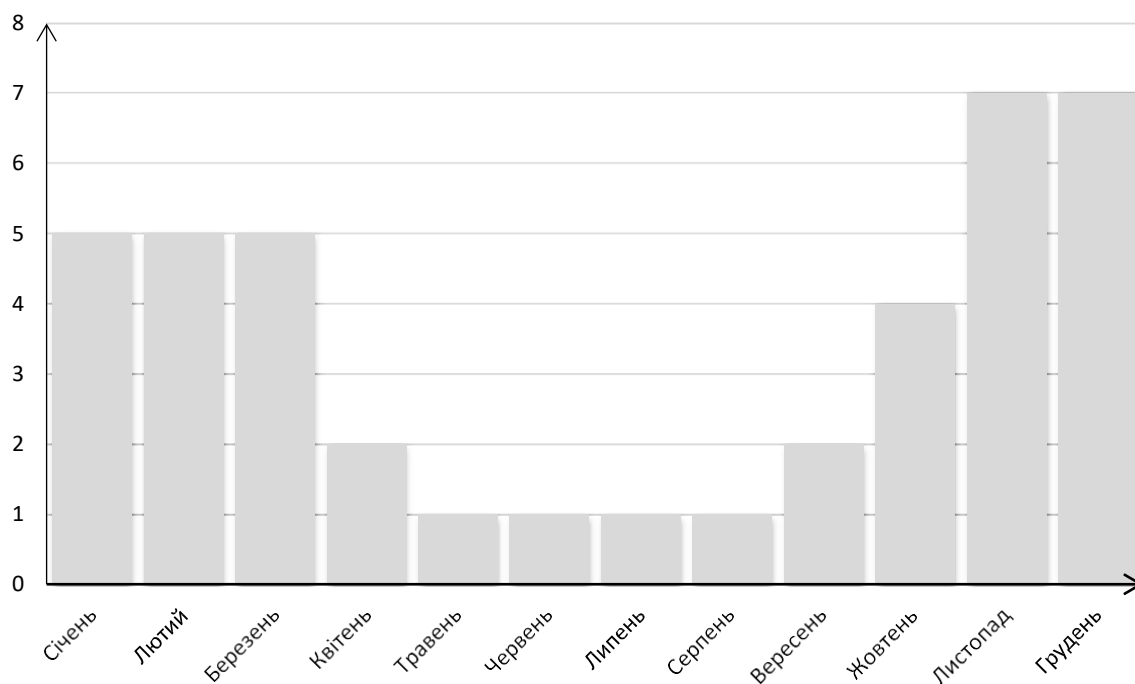


Рисунок 1.2.5 – Кількість днів з туманом протягом року

Вибране місце встановлення сонячних панелей максимально позбавлене будь-яких об'єктів, що можуть перешкодити потраплянню променів на встановлені сонячні панелі. Воно немає затінь, навколо відсутні дерева, високі будівлі, паркани, тощо. Зі сторони будинку знаходиться приватний сектор з одноповерховими будівлями, зі сторони міста в усіх напрямках споруд немає, і не прогнозується у найближчі роки. Також ділянка розташована далеко від доріг, через що на сонячні панелі не осідатиме додатковий пил. Знімок земельної ділянки зображено на рис. 1.2.6. Всі позначення вулиць та номерів будинків приховані, оскільки не мають особливого значення.

Для проектування системи електропостачання приватного будинку обрану земельну ділянку вважаємо вже приватизованою. Тому при розрахунку витрат на встановлення сонячної фотоелектричної установки витрати на купівлю / оренду, переоформлення та приватизування не враховуються.



Рисунок 1.2.6 – Супутниковий знімок земельної ділянки

Перевагами ділянки також є квадратна форма і простий рельєф, тому що складності в даних параметрах тягнуть за собою додаткові труднощі і витрати. Враховано також орієнтацію земельної ділянки, оскільки краще розташування фотопанелей буде по південному схилу.

Підсумовуючи вище наведене, на генерацію СЕС впливає рівень інсоляції в регіоні. Це показник кількості сонячної радіації. Чим він вищий, тим більше може генерувати станція. За даними НАСА [6] складена карта випромінювання і потенціалу сонячної енергії в Україні (рис. 1.2.7).

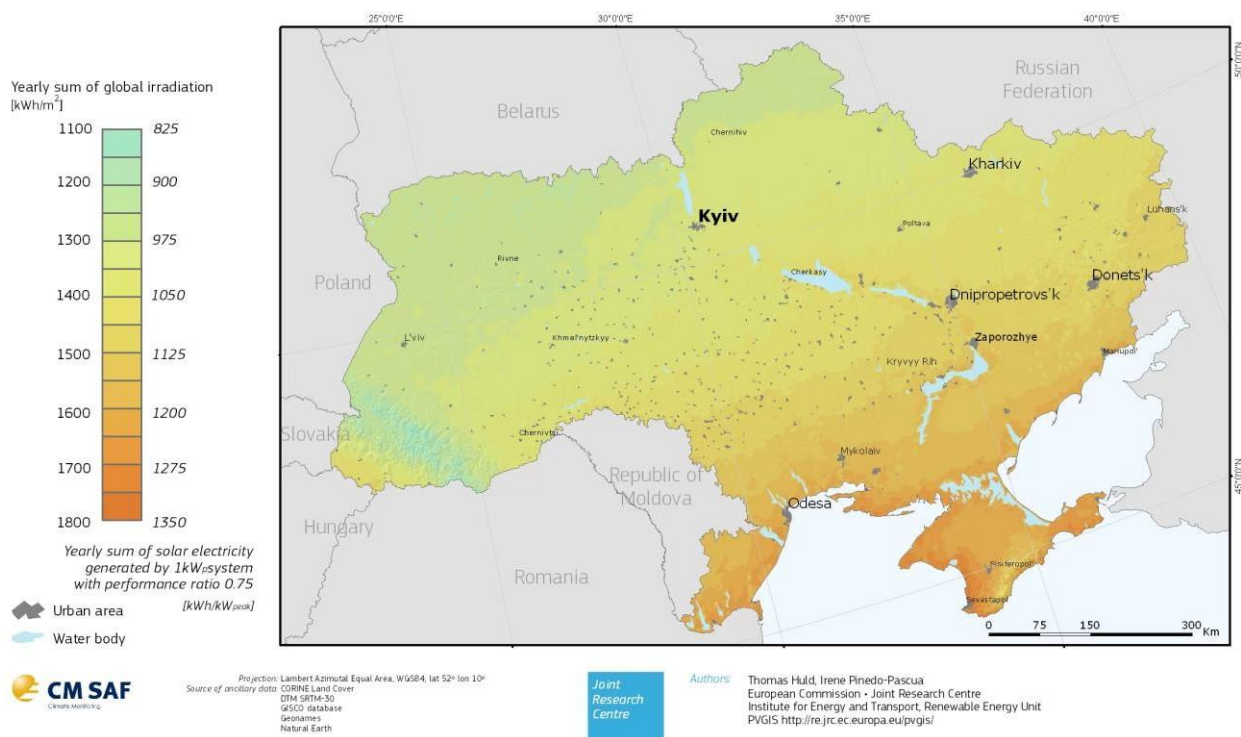


Рисунок 1.2.7 – Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні

Географічно територія України має показники від 1400 кВт на рік на 1 кв.м в Херсонській обл. до 1180 кВт на рік на 1 кв.м у Львівській та інших західних областях.

На рисунку 1.2.8 наведена середньомісячна величина сонячної інсоляції (сонячної постійної) в українських містах для кожного місяця у кВт·год /м²/день. Це середні показники за спостереженнями НАСА за останні 22 роки.

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

Рисунок 1.2.8 – Таблиця рівнів сонячної інсоляції міст України, кВт·год /м²/ день

Тривалість світлового дня коливається у різні пори року. При сприятливих погодних умовах влітку генерується більше електроенергії за рахунок раннього сходу сонця і пізнього заходу за горизонт, взимку робота сонячних електроустановок зменшується через короткий світловий день (рис. 1.2.9).

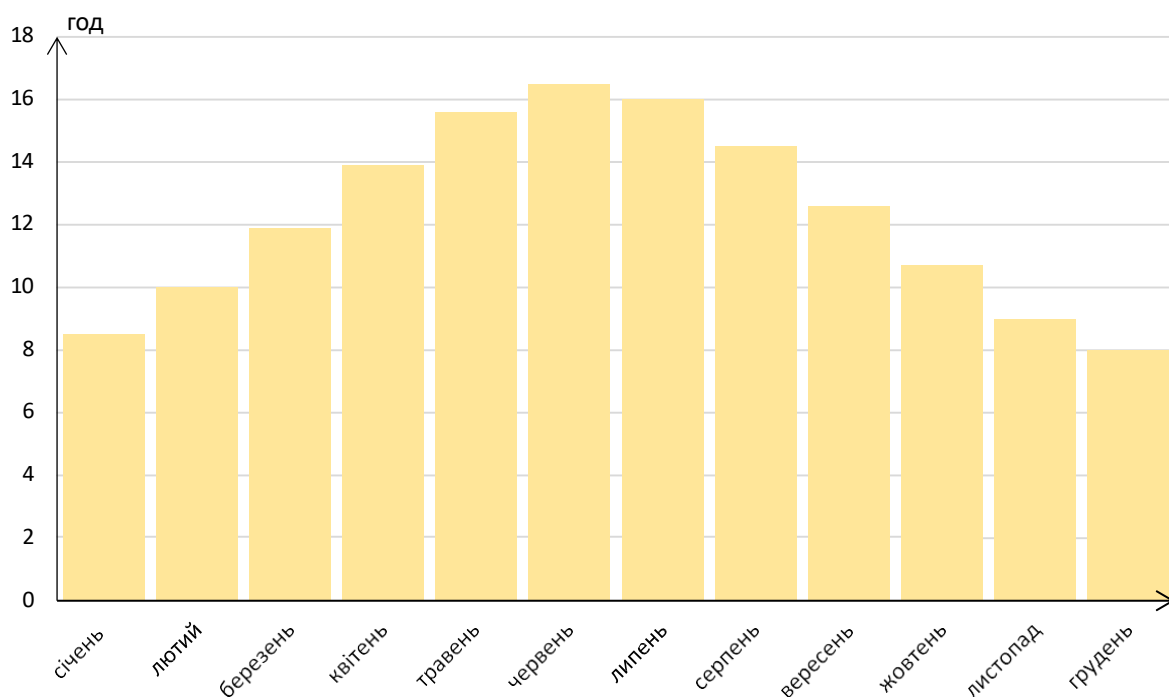


Рисунок 1.2.9 – Довжина світлового дня протягом року

Графік рис. 1.2.9 показує середню кількість годин за день у м. Суми, протягом яких сонце знаходиться вище лінії горизонту.

Значного впливу на терміни окупності і ефективність СЕС різниця в інсоляції у різних регіонах мати не буде, тому що ККД можна збільшити правильним вибором фотоелектричних модулів, інверторів, грамотним проектним рішенням.

Яскравим прикладом є Польща, де рівень інсоляції в самих південних областях дорівнює мінімальному в Україні і при цьому країна рівномірно забудована ефективними об'єктами сонячної енергетики [7].

1.3. Типи сонячних панелей та їхня ефективність

"Всі сонячні батареї складаються з фотоелектричних перетворювачів, які, власне, перетворюють сонячну енергію на електричну. Всього існує 3 типи фотоелементів, за якими сонячні модулі розділяють на наступні види: монокристалічні, полікристалічні та гнучкі (плівкові)" [8].

Монокристалічний модуль.

Монокристалічні сонячні модулі мають скручену форму з обрізаними краями, як ще зображено на рис. 1.3.1. Вони мають найвищу енергоефективність серед розглянутих фотомодулів, яка має значення близько 22%. Висока ефективність досягається ступенем очистки сировини (99,999%) для виготовлення конструкцій.

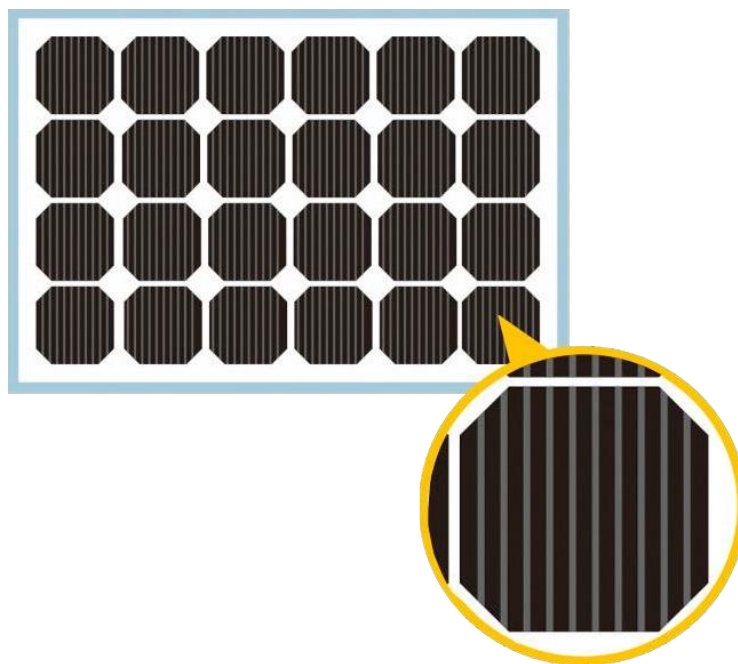


Рисунок 1.3.1 – Монокристалічна сонячна панель

Монокристалічна панель складається з: десятків силіконових модулів та склопластикового корпусу, який захищає від пилу та вологості.

До переваг монокристалічних модулів є невеликі розміри, достатня гнучкість для розширення можливостей встановлення, порівняно висока ефективність у похмурі дні, а також довговічність (термін експлуатації таких панелей складає в середньому більше 30 років).

Полікристалічні сонячні панелі.

Полікристалічні модулі мають квадратну форму та яскравий синій колір, як показано на рис. 1.3.2. Ще декілька років тому полікристалічні панелі були найпоширенішими на ринку. Вони мають нижчу ціну, за монокристалічні, але і багато програють у ефективності, яка досягає лише 12-14%. Тому цей вид панелей (через їх фінансову досяжність) був обраний при встановленні автономної сонячної електростанції на 10 кВт в домогосподарстві, що розглядається.

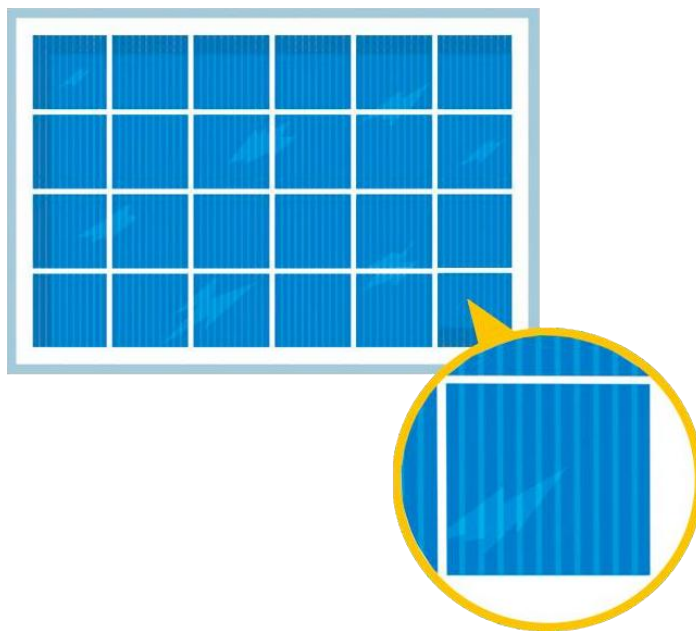


Рисунок 1.3.2 – Полікристалічна сонячна панель

Причиною низької ефективності стали дефекти через використання сировини не вищого ступеня, як при розробці монокристалічних панелей. Окрім кремнію не найвищого ступеня також використовують вторинну використану сировину. Це стало також причиною низької вартості.

Але існують багато проектів, де реалізують полікристалічні панелі: це, переважно, великі сонячні електростанції, для будинку, або для невеликого міста. За даними в США та Європі полікристалічні панелі за 20 років неперервної роботи втрачають свою потужність приблизно на 10 %.

Гнучкі сонячні батареї.

Перевагами таких сонячних панелей є гнучка структура, завдяки якій їх можна розміщувати майже на будь-якій поверхні. На відміну від попередніх типів, це – напilenня напівпровідника на тонкоплівковій підкладці, тому цей тип не може конкурувати з кремнієвими панелями.



Рисунок 1.3.3 – Тонкоплівкова панель

Перевагами є ефективна роботи при високих температурах, при розсіяному світлі, або низькій освітленості, затіненості, простота виготовлення, низький рівень дефектів. Але все ж основною перевагою залишається гнучкість та зручність встановлення будь-де, наприклад, замість вікон, чи засклення стін. [9].

Коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячної батареї – це міра кількості сонячного світла (випромінювання), яке падає на поверхню сонячної батареї та перетворюється на електроенергію.

Ефективність сонячних елементів (або фотоелектричних перетворювачів (ФЕП)) визначається їхньою структурою та типом використовуваної підкладки, якою зазвичай є кремній р-типу або n-типу. Ефективність сонячної панелі вимірюється за стандартних умов випробування (STC) при температурі 25°C, сонячному випромінюванні 1000 Вт/м² і для спектральної характеристики АМ 1,5. Ефективність сонячної панелі фактично обчислюється шляхом ділення її максимальної номінальної потужності ($P_{\max}$, Вт) на загальну площу панелі, виміряну в квадратних метрах.

Ефективність роботи сонячної панелі залежить від багатьох зовнішніх факторів. Залежно від місцевих умов навколишнього середовища ці різні фактори можуть знизити ефективність панелі та загальну продуктивність системи. Основні фактори, які впливають на ефективність сонячної панелі, були згадані в розд. 1.2, а саме:

- інсоляція, або щільність сонячного опромінення;
- затінення поверхні сонячних батарей;
- орієнтація панелей;
- діапазон робочих температур;
- географічне розташування (широта);
- пора року;
- пил і бруд.

Найефективніші сонячні панелі на ринку зазвичай використовують монокристалічні кремнієві елементи n-типу. Поки що більшість виробників, здебільшого, пропонують більш поширені ФЕП за технологією моно-PERC р-типу, поступово починаючи перехід на більш ефективні елементи n-типу. Типова ефективність різних типів сонячних фотоелементів наведена нижче [10].

- Полікристалічні сонячні елементи – від 15 до 18%.
- Монокристалічні сонячні елементи – від 16,5 до 19%.
- Полікристалічні PERC сонячні елементи – від 17 до 19,5%.
- Монокристалічні PERC сонячні елементи – від 17,5 до 20%.
- Монокристалічні сонячні елементи n-типу – від 19 до 20,5%.
- Монокристалічні HJT сонячні елементи n-типу – від 19 до 21,7%.
- Монокристалічні IBC сонячні елементи n-типу – від 20 до 22,8%.

Отже, попри більшу ціну, краще купувати і встановлювати монокристалічні панелі. Адже вони виграють у полікристалічних фотомодулів за своїми технічними характеристиками, такими як: коефіцієнт корисної дії, висока ступень очищення кемнію, компактність. Завдяки високому показнику ККД та

компактності монокристалічних панелей, не тільки втрачається менше коштів на СЕС, а й отримується більша потужність, порівняно з полікристалічними панелями. Станом на 2021-2022 рік полікристалічні батареї стають не актуальними.

1.4. Загальні вимоги для встановлення фотоелектричних модулів в Україні

Обов'язковими вимогами, для встановлення фотоелектричних модулів в Україні і надалі – оформлення їх по "зеленому тарифу", є:

- наявність житлового будинку, введенного в експлуатацію;
- право власності на будинок та земельну ділянку (якщо панелі розміщуватимуться на наземну металоконструкцію);

- наявність в будинку підведених технічних умов.

План дій включатиме в себе наступні етапи:

- придбання та монтаж сонячної установки потужністю до 30 кВт;
- подання заяви-повідомлення та схеми підключення до місцевої районної електричної мережі (РЕМ) або обленерго – це етап формування технічних умов. Наприклад, якщо у клієнта на будинку 1 фаза та 5 кВт, а він планує встановити 30-кіловатну СЕС, йому варто подати заяву на проведення 3 фаз та 30 кВт;

- для проведення розрахунків відкривається поточний рахунок у банку, реквізити якого зазначаються у заяві-повідомленні;

- узгодження енергопостачальником схеми підключення генеруючої установки, надання рахунку від обленерго на оплату послуг з облаштування вузла обліку, встановлення вузла обліку електричної енергії (приїжджають працівники обленерго, встановлюють двонаправлений лічильник, опломбовують його, перевіряють станцію та запускають її);

- подання в обленерго для оформлення договору "купівлі-продажу" документів на обладнання (однолінійна схема, сертифікати, техпаспорт), документів на права власності та технічних умов.

Оператор системи розподілу на підставі закону не може відмовити у підключенні сонячної установки до мережі, за умови якісного виконання всіх попередньо перелічених пунктів.

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

2.1 Спрощений розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта

Для приватного будинку, що призначений для проживання в ньому людей і забезпечення їхніх потреб, використовують однофазну або трифазну електричну мережу. Для визначення кількості енергії, яка потрібна від системи для забезпечення потреб будинку, необхідно визначити пікову миттєву потужність, а також розрахувати дві величини очікуваного добового енергоспоживання – його максимальне і середнє значення.

Пікова миттєва потужність визначається сумарною потужністю всіх енергоспоживачів, які можуть бути включені одночасно, тобто найгіршим випадком з точки зору навантаження на мережу.

Однак це не означає, що необхідно просто підсумувати потужність всіх електроприладів в будинку. Деякі з них принципово не будуть працювати одночасно (наприклад, снігоприбирач і газонокосарка використовуються в різні сезони, також одна людина не зможе працювати відразу і перфоратором, і болгаркою). Більшість інших електроприладів теж включається по черзі.

Для того, щоб не витратися на зайву надмірну потужність, що може знадобитися лише декілька разів на рік, краще слідкувати за кількістю увімкнених електроприладів. Наприклад, перед включенням праски перевірити, чи не включений вже електричний чайник, дочекатися дві хвилини, поки останній "закипить", і увімкнути замість нього потрібний прилад.

Натомість мають бути враховані всі потужні споживачі, які автоматично включаються (наприклад, електричні теплі підлоги або підігрів води в бойлері) і

споживачі, що працюють в тривалому режимі (освітлення, комп'ютер, телевізор) – ймовірність їх одночасної роботи висока [11].

В результаті вимоги до максимальної миттєвої потужності знижуються у багато разів, і замість десятків кіловат, необхідних при одночасному включенні всієї наявної електротехніки, звичайно в середньому цілком достатньо 3-6 кВт.

В будинку, що розглядається, основними споживачами електроенергії є: електрична плита, бойлер, електричні побутові пристрої. Максимально можливе одночасне навантаження при включенні одразу всіх побутових приладів та освітлення було розраховано у п. 1.1 і становило менше 15 кВт.

Визначимо питоме навантаження на ввіді даного будинку за формулою:

$$P_{п.б} = P_{уст} \cdot K_{поп} \quad (2.1.1)$$

де $P_{уст}$ – це заявлена потужність електроспоживачів, яка визначається сумою номінальних потужностей електричних побутових приладів і приладів освітлення, вже знайдена в п.1.1, кВт.

$K_{поп}$ – коефіцієнт попиту, який вказує на можливість одночасного ввімкнення всіх приладів лінії.

Під час одночасного ввімкнення всіх приладів $K_{поп} = 1$. На практиці це відбувається рідко, тому згідно ДБН В.2.5-23 для житлових приміщень коефіцієнт попиту прийнятий на рівні 0,8 для двох споживачів, 0,75 – для трьох та 0,7 – для п'яти і більше. Згідно Правил роздрібного ринку електричної енергії коефіцієнт використання (попиту) для одного споживача знаходиться за табл. 2.1.1.

Знаходимо розрахункове активне навантаження всього будинку за формулою (2.1.1) для найбільш завантаженого зимнього періоду.

$$P_{б} = 14,3 \cdot 0,6 = 8,58 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.1.1 – Коефіцієнти використання потужності

Тип помешкання	К _{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:

$$Q_B = P_B \cdot \tan \varphi \quad (2.1.2)$$

Значення розрахункових коефіцієнтів потужності $\cos \varphi$ і реактивного навантаження $\tan \varphi$ житлових будинків слід приймати за загальноприйнятою таблицею коефіцієнтів [12]. Для приміщень з електричними плитами і побутовими кондиціонерами повітря коефіцієнти матимуть наступні значення:

- коефіцієнтів потужності – $\cos \varphi = 0,93$;
- коефіцієнт реактивного навантаження – $\tan \varphi = 0,40$.

Підставляючи прийняті значення коефіцієнтів у формулу (2.1.2) маємо:

$$Q_B = 8,58 \cdot 0,4 = 3,43 \text{ кВар}$$

В середньому за день	18,46	17,60	13,81	13,02	12,78	14,90	15,50	15,45	12,70	12,99	14,83	18,46
----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Після того, як були обчислені споживані потужності всіх електроприладів, складаємо разом всі показники, щоб отримати загальні витрати споживаної енергії домогосподарства за місяць. Такі дії повторюються для кожного місяця окремо, оскільки результати різнитимуться (наприклад, кондиціонер працюватиме більше влітку на охолодження, взимку – на обігрів, а в інші місяці їм майже не користуватимуться).

В розрахунок не включено освітлення, оскільки воно відбувається за допомогою світлодіодних ламп малої потужності, що майже не впливатимуть на кінцевий результат і їх складніше відстежити, оскільки вони вмикаються по чергово за необхідністю.

Аналізуючи отримані результати з табл. 2.2.1, відзначаємо, що найбільше електроенергії використовується у зимні місяці, що становить близько 572 кВт·год за місяць, середнє споживання за рік – 457 кВт·год. Оскільки це реально існуюче домогосподарство, яке повноцінно функціонує, можемо порівняти реальні об'єми споживання з розрахунковими.

Максимальне значення місячної споживаної потужності за останні п'ять років становить – 591 кВт·год, в середньому за місяць – 448 кВт·год. Це досить невеликі значення, порівнюючи з іншими приватними будинками по місту. Наприклад, в домівках з газовими плитами потужність менша, а там, де встановлена тепла підлога – споживання в зимній період майже вдвічі більше.

Максимальне добове споживання встановлюється у грудні та січні і становить близько 18,46 кВт·год. Щоб знайти середнє значення споживання електроенергії за добу протягом року, річне споживання ділиться на кількість днів у році, в результаті отримано – 15,04 кВт·год.

Для більшої показовості створено діаграму споживання будинку за місяцями. За допомогою цих даних буде вибиратися сонячна електростанція.

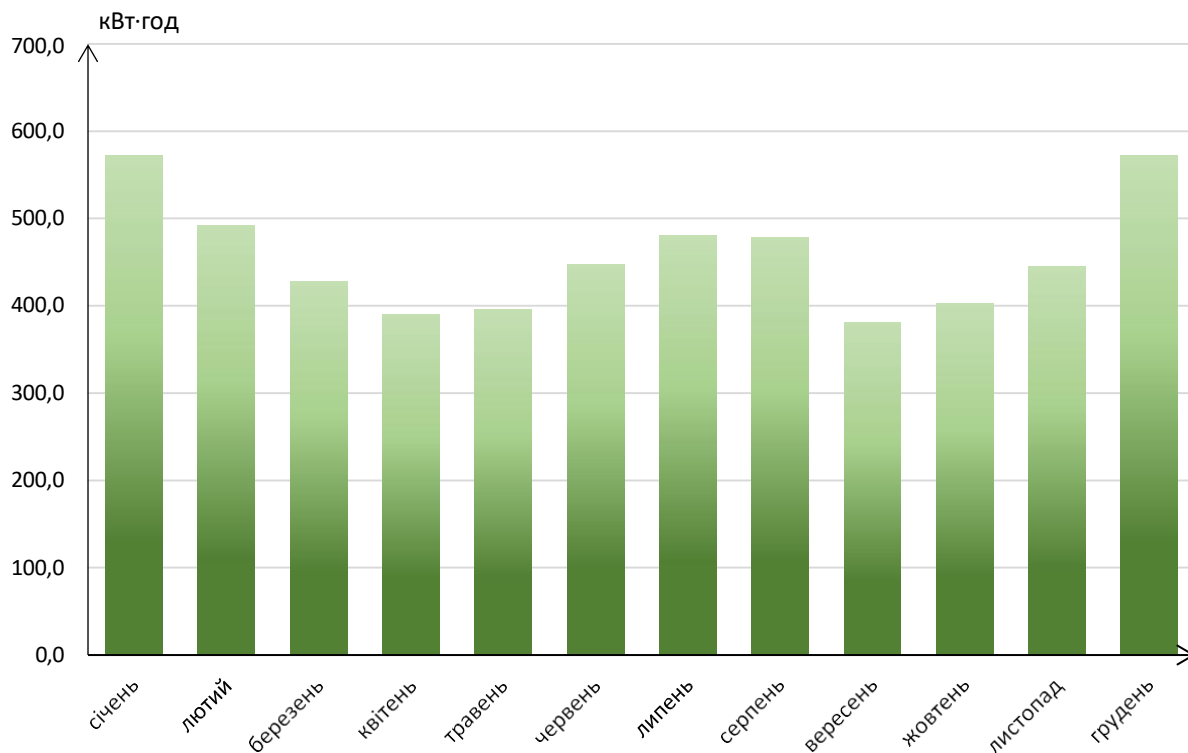


Рисунок 2.2.1 – Споживана потужність помісячно

2.3 Розрахунок сонячної міні-електростанції для покриття лише внутрішніх потреб

СЕС під власне споживання – це та сама "домашня" СЕС мережевого типу, але без під'єднання до "зеленого тарифу". Smart Meter або "розумний лічильник" у моменти, коли сонячні батареї виробляють надмірні обсяги енергії, перемикається у режим 0% Feed in Mode (нуль експорту). Тобто вироблена електростанцією енергія не потрапляє у загальну мережу, накопичуючись в акумуляторних батареях. Коли ж сонця недостатньо, отримується струм із РЕМ.

Такий тип СЕС має сенс встановлювати для кількох цілей. Насамперед для резервного живлення, якщо місцеві енергомережі не здатні забезпечити потрібні вхідні потужності. Або, як для нашого випадку, для економії електроенергії та забезпечення безперебійної роботи електроприладів [13]. Схема роботи і перелік головних складових зображено на рисунку 2.3.1.

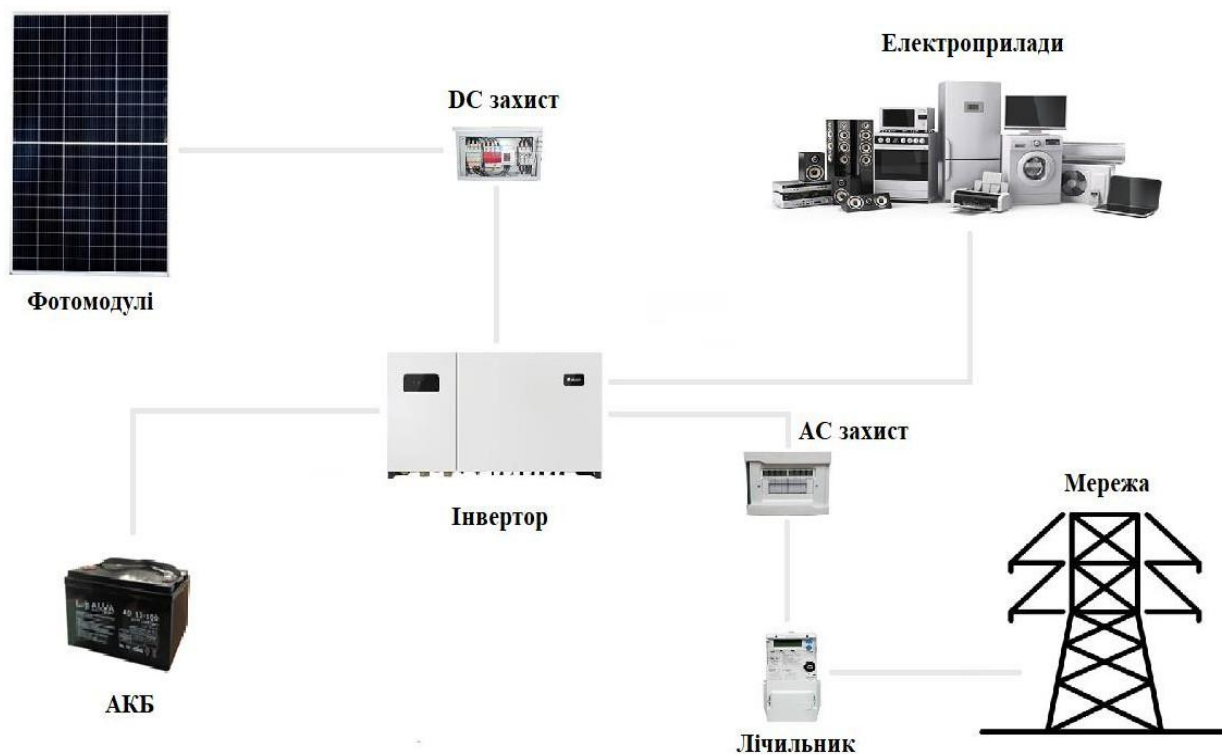


Рисунок 2.3.1 – Схематичне зображення системи гібридної СЕС

Спершу обираються сонячні панелі. У процесі вибору обладнання необхідно враховувати два показники. Один із них – необхідна потужність навантаження, другий – номінальна потужність панелі.

Для визначення потужності навантаження в табл. 2.3.1 розраховано дві величини очікуваного добового енергоспоживання – його максимальне та середнє значення.

На основі аналізу в розд. 1.3 вибирається для встановлення сонячний фотоелектричний монокристалічний модуль Risen Energy RSM110-8-540M, технічні характеристики якого наведені в табл. 2.3.1.

Характеристика Таблиця 2.3.1 – Технічні характеристики	Значення сонячної панелі гібридний СБС	Одиниці
Тип модуля	Монокристалічний	
Потужність модуля, P_{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

Необхідно дізнатися скільки таких модулів необхідно, щоб забезпечити дім необхідною потужністю. Найбільше добове споживання виникає у зимові місяці.

Формула розрахунку потужності сонячної панелі виглядає наступним чином:

$$W = k \cdot P \cdot E \quad (2.3.1)$$

де k – фіксоване значення. Коефіцієнт k дорівнює 0,5 в літній період та 0,7 – в зимовий.

P – потужність панелі, кВт;

E – значення інсоляції за обраний період, рис. 1.2.8, кВт·год/м²/день.

Підставляючи всі відомі значення в формулу (2.3.1) виходить наступне значення потужності, що видає одна панель в зимовий період:

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

Розрахункова кількість панелей визначається за формулою:

$$N = \frac{P_{\text{доб}}}{W} \quad (2.3.2)$$

$P_{\text{доб}}$ – максимальне добове споживання, кВт·год;

W – розрахована потужність однієї сонячної панелі, кВт·год.

Щоб знайти необхідну максимальну кількість панелей, ділимо максимальну добову потужність, на знайдену за формулою (2.3.1) однієї панелі, та округляємо у більшу сторону за формулою (2.3.2).

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

Аналогічно, підрахуємо скільки панелей необхідно для забезпечення будівлі в середньому протягом року, підставляючи замість максимального добового споживання, середнє добове значення. Значення інсоляції береться середнє за рік вказане в табл. 1.2.8, тобто 3,16 кВт·год /м²/ день. Коефіцієнт приймається рівним 0,5, оскільки використовується для більшості місяців.

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

Необхідно визначити який саме рівень електропостачання необхідний:

- повне – повна заміна мережевого електропостачання на автономне;
- комфортне – що забезпечує побут повністю, але без пральної машини, духовки тощо, які залишаються від мережі – постійно;
- помірне – забезпечує побут без необов'язкових надмірностей – завжди, а решта від мережі;
- базове – лише найнеобхідніше – постійно, а решта від районної електричної мережі (РЕМ);
- аварійне – забезпечує побут без необов'язкових надмірностей, але короткий час, доки з'явиться живлення від мережі.

Для наочності, побудуємо графік генерування електроенергії сонячними панелями (у кількості 18 та 56 одиниць) та накладемо на діаграму споживаної потужності домогосподарством, що зображена на рис. 2.2.1. Потужність генерування СЕС знаходиться аналогічно для всіх місяців за формулою (2.3.1).

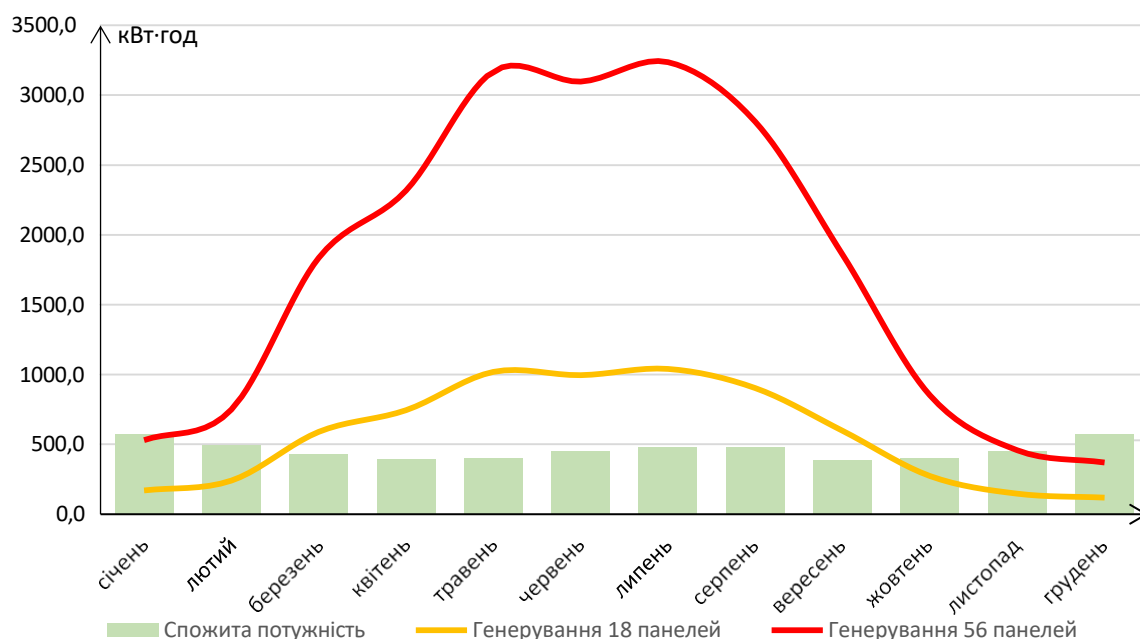


Рисунок 2.3.2 – Відношення спожитої потужності до згенерованої гібридною СЕС

Як бачимо з графіків на рис. 2.3.2, згенерована потужність влітку у декілька разів перевищує зимову, через різницю рівня інсоляції. Через це виникає надмірна невикористана потужність в теплі місяці. Тому, обираючи помірний режим електропостачання від СЕС, доцільно встановити не більше 18 панелей. Вони забезпечать необхідною потужністю більшу частину року, а в зимові місяці недостатню кількість електроенергії буде взято з районної електричної мережі.

Оптимальний кут нахилу панелей в Україні прийнято вважати $35-45^\circ$, проте щоб розрахувати ідеальний кут саме для заданої місцевості, треба підставити її географічну широту в формулу (2.3.3).

$$\alpha = \text{географічна широта}^\circ \cdot 0,76 + 3,1^\circ \quad (2.3.3)$$

Географічна широта м. Суми – $50^\circ 55' 17''$. Отже, фотомодулі слід установити під нахилом:

$$\alpha = 50,55^\circ \cdot 0,76 + 3,1^\circ = 41,5^\circ$$

За даними параметрами також необхідно підібрати інвертор, який підходив би під потужність встановленої гібридної СЕС. Серед запропонованих був вибраний гібридний інвертор Solis RHI-3P10K-HVES-5G, який підходить автономним та гібридним сонячним електростанціям. Його технічні характеристики наведені в табл. 2.3.2.

Оскільки номінальна напруга масиву сонячних панелей для інвертора 600 В, то всі вісімнадцять фотомодулів можна з'єднати послідовно. Схема підключення системи фотомодулів зображена на рис. 2.3.3. Тоді загальна номінальна напруга системи складатиме 432 В, а при максимальній потужності – 566,3 В. Струм фотомодулів залишається незмінним і не перевищує максимально допустимий вхідний струм інвертора.

Таблиця 2.3.2 – Характеристика інвертору для гібридної 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

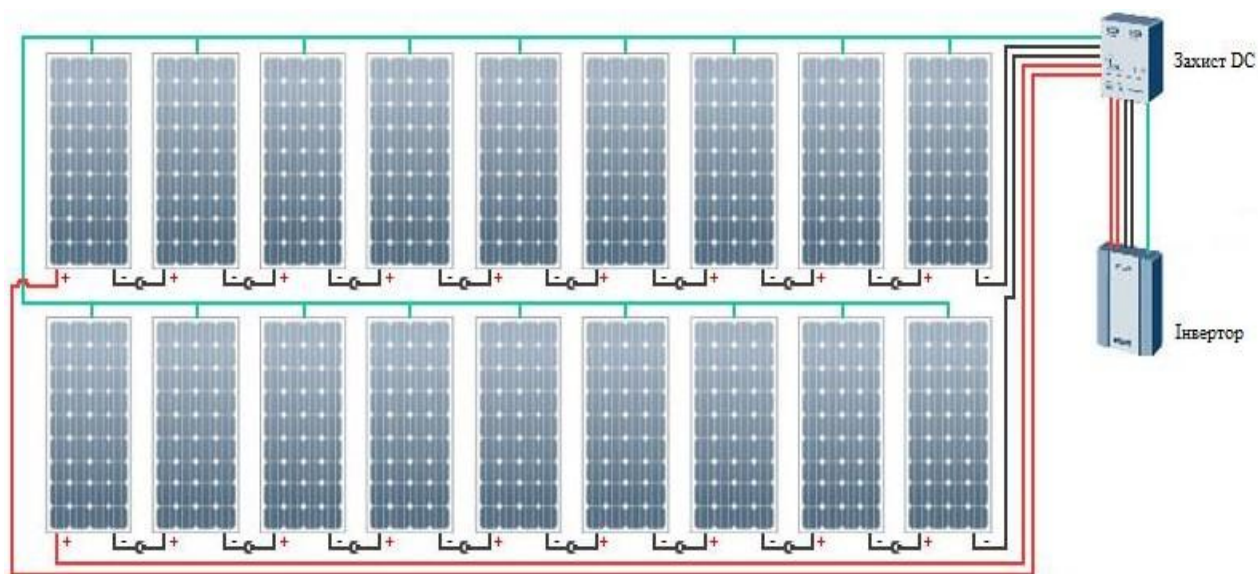


Рисунок 2.3.3 – Схема підключення сонячних панелей до гібридного інвертора

Такі інвертори можуть працювати при повній відсутності зовнішньої мережі, а джерелом заряду акумуляторів служать сонячні панелі. Автономні інвертори – накопичують сонячну енергію в акумуляторах і потім передають її в навантаження будинку.

Акумулюючи електроенергію тоді, коли вона є і віддаючи її, коли вона потрібна, системи електроживлення здатні забезпечити автономне та стабільне електроживлення навіть за умови повної відсутності зовнішньої електромережі, зберігаючи власну генерацію. Саме через проблему постійних відключень електроенергії в Україні, "домашні" СЕС з невеликою потужністю генерування стали актуальними.

Енергетична незалежність із допомогою безперебійного живлення об'єкта силами сонячної електростанції. У режимі 24/7 буде можливе енергопостачання будинку. Вдень струм через інвертор надходитиме з сонячних батарей до точок забору. А вночі та в похмурий день енергія надходитиме з акумуляторного модуля.

Оскільки фотоелектричні панелі виробляють електроенергію вдень, акумулятори для гібридної СЕС повинні мати достатній заряд, що запасається, щоб зберігати енергію для подальшого використання. При надмірно великій ємності, пристрій може бути хронічно недозарядженим, що згубно позначається на його стані та тривалості служби. При надто малій ємності - не забезпечить вимоги навантаження і може створювати глибокий розряд батареї, що також може погіршити її працездатність [16].

Найбільш розповсюджені робочі напруги акумуляторних батарей в сонячних електростанціях: 12, 24, 48 В. Напруга акумуляторів та їхня кількість залежить від параметрів інвертора та потрібної ємності АКБ для будинку. За табл. 2.2.1 знайдено, що в середньому в день використовується 15,04 кВт·год. Розрахунок проведемо для одного дня повної автономності. Щоб вибрати АКБ, необхідно розрахувати його струм, за формулою (2.3.4).

$$I_{\text{роз}} = \frac{P_{\text{доб}}}{U_{\text{ном}}} \quad (2.3.4)$$

де $I_{\text{роз}}$ – розрахункове значення струму АКБ, А;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна робоча напруга АКБ, В.

Необхідно також враховувати, що для довшої роботи АКБ їх можна розряджати до 20-30%. Підставимо у формулу (2.3.4) номінальну робочу напругу АКБ – 48 В:

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

Візьмемо АКБ з запасом – 400 А·год, тоді, щоб забезпечити перелічені електроприлади автономною електроенергією протягом доби потрібно чотири акумулятори 48 В по 100 А·год. Було вибрано акумуляторну батарею літій-залізофосфатного типу Challenger LF48-100, що зображена на рис. 2.3.4.



Рисунок 2.3.4 – Акумуляторна батарея Challenger LF48-100

АКБ потрібно з'єднати паралельно, щоб зберегти підтримувану інвертором напругу, а ємності при такому підключенні сумуються. Для візуально сприйняття наведена схема (рис. 2.2.5) підключення таких акумуляторних батарей.

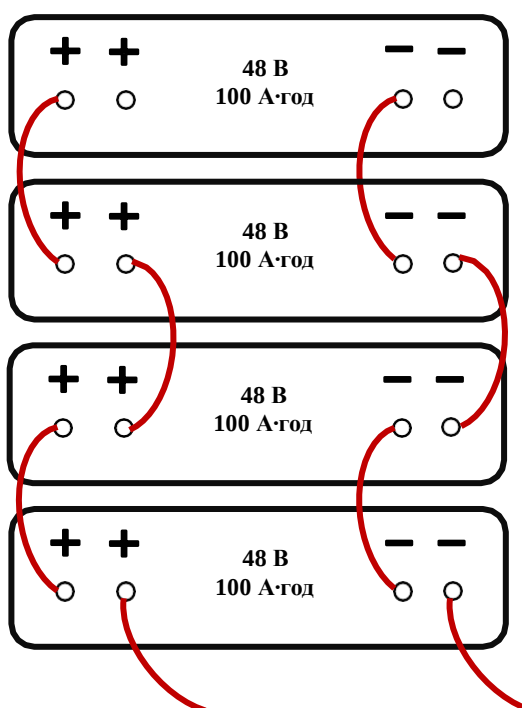


Рисунок 2.2.5 – Схема підключення акумуляторних батарей

Вибрані АКБ мають вбудовану систему управління BMS, підходять для створення автономних систем зберігання енергії, автономних та гібридних сонячних станцій. До переваг можна віднести: пришвидшений заряд, стабільну

роботу при низьких та високих температурах, великий циклічний ресурс (більше 2000 циклів при розряді глибиною 100%, і ще більше циклів при меншому розряді в 70-80%), вбудований інтелектуальний автоматичний захист від перезаряду, глибокого розряду і критичних температур, низька швидкість саморозрядження (менше 1,5% в місяць).

Щоб сполучити між собою всі елементи схеми необхідно вибрати кабелі. Від правильності вибору перетину кабелів залежить надійність, ефективність і безпеки роботи всієї системи електропостачання від встановленої гібридної сонячної електростанції, що зображена на рис. 2.3.6

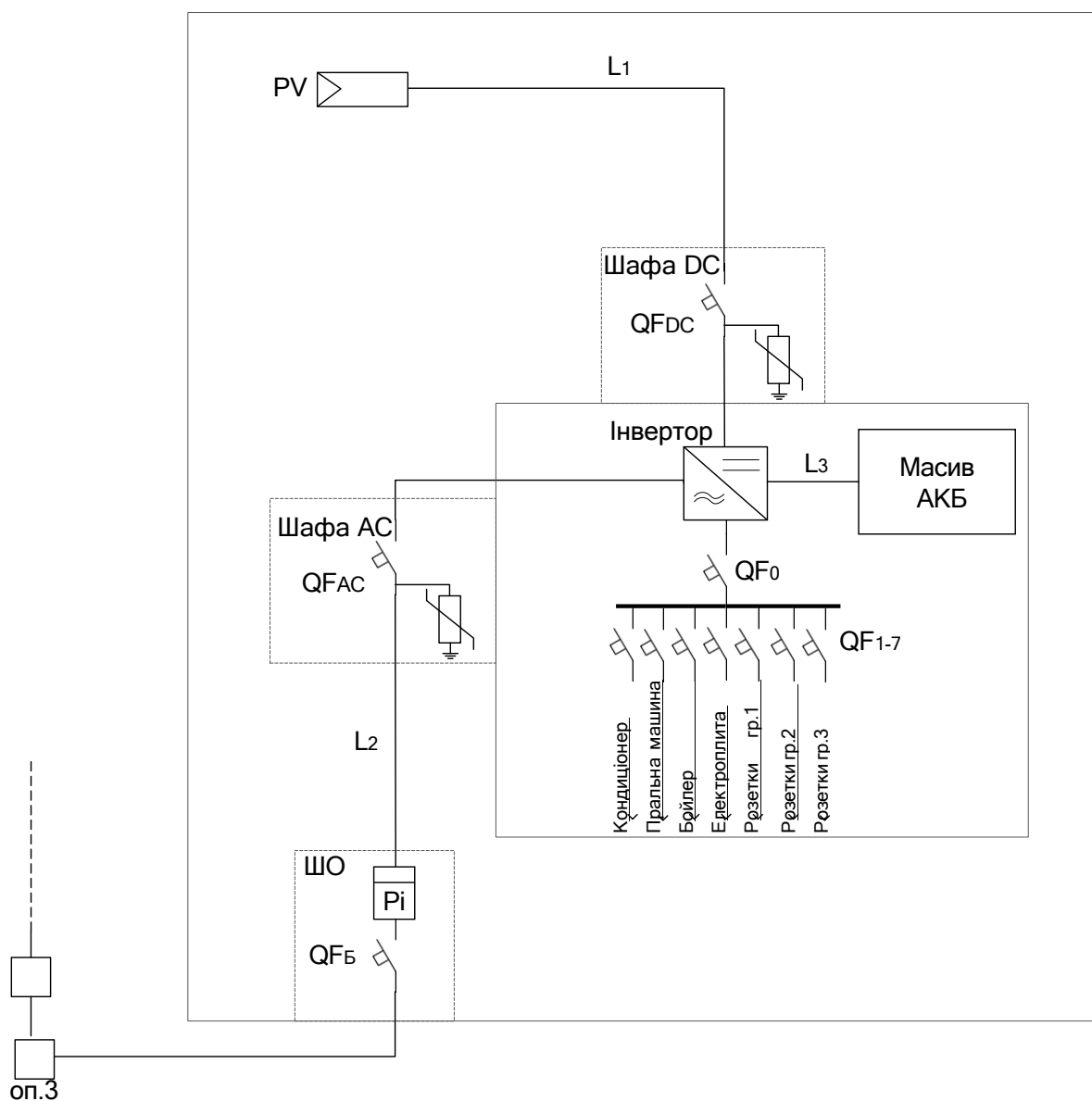


Рисунок 2.3.6 – Однолінійна схема електропостачання від гібридної СЕС

Вибір електричних кабелів, тобто їхніх перерізів, буде виконуватися за допустимим тривалим струмом. Визначимо струми в лініях за формулою (2.3.5) та (2.3.6), і занесемо знайдені дані в табл. 2.3.4.

- для трифазної мережі

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.3.5)$$

- для однофазної мережі

$$I = \frac{S}{U_H} \quad (2.3.6)$$

Перевіримо існуючу систему електропостачання в будинку, порівнявши номінальні струми кабелів з розрахованими. Результати занесені в табл. 2.2.5.

Також для всіх кабелів знайдемо втрати напруги за формулою:

$$\Delta U = \frac{\kappa \cdot P \cdot L}{C \cdot S} \quad (2.3.7)$$

де, ΔU – втрати напруги в провіднику, %;

C – коефіцієнт, який обирається з таблиці 2.2.3;

S – переріз провідника, мм²;

P – підключена потужність, кВт;

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

L – довжина провідника, м.

Таблиця 2.3.3 – 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. 2.3.4 - 2.3.5.

Таблиця 2.3.4 – Вибір кабелів для підключення гібридної СЕС

№	L, м	U, кВ	P, кВт	I _p , А	Марка	S, мм ²	I _{доп} , А	ΔU, %
L ₁	50	0,566	9,8	17,6	H1Z2Z2-K ×4	4	55	3,4
L ₂	10	0,22	10	45,5	АВВГ 3× 10	10	58	0,83
L ₃	1	0,048	5	104,2	ПВ 3× 25	25	154	0,02

Для з'єднання фотомодулів та підключення їх до інвертора, був вибраний спеціальний кабель Solar Energy H1Z2Z2-K перетином 4 мм², що спеціально призначений для сонячних панелей і відповідає європейському стандарту EN50618 для Solar DC Cable.

Між АКБ та інвертором вибрано мідний кабель з полівінілохлоридною ізоляцією. Для більшої ефективності кабель обрався короткий і товстий.

Таблиця 2.3.5 – Перевірка існуючих проводів електропроводки будинку

№	Марка	L, м	P, кВт	S, мм ²	I _{доп} , А	I _p , А	ΔU, %
l ₁	ВВГ 3х1,5	8	2,3	1,5	21	10,5	1,02
l ₂	ВВГ 3х1,5	12	1,85	1,5	21	8,4	1,23
l ₃	ВВГ 3х1,5	15	1,5	1,5	21	6,8	1,25
l ₄	ВВГ 3х2,5	17	2,4	2,5	27	10,9	1,36
l ₅	ВВГ 3х2,5	5	3	2,5	27	13,6	0,5
l ₆	ВВГ 3х2,5	11	3	2,5	27	13,6	1,1
l ₇	ВВГ 3х2,5	16	3	2,5	27	13,6	1,6

Всі існуючі кабелі в проводці будинку пройшли перевірку, оскільки розрахункові струми не перевищують допустимі, а втрати напруги менше 5%.

Для надійного захисту встановимо на кожен ліній автоматичний вимикач, як показано на рис. 2.3.6. Вибираємо їх за номінальним струмом, що розрахований за формулою (2.3.6). Вибрані автоматичні вимикачі для кожної лінії зведені до табл. 2.3.6.

Таблиця 2.3.6 – 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 вимикачі задовольняють умову $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роз}}$.

Правильно підібрана захисна автоматика дозволить не відправити основне обладнання на ремонт у випадку перегріву, перевантаження, імпульсних стрибків напруги, зворотного струму, блискавки тощо. Вибрані компоненти для захисних шаф постійного (DC) та змінного (AC) струму наведені в табл. 2.3.7.

Для даної гібридної електростанції був підібраний комплект захисту на основі гібридного інвертора Solis для гібридної електростанції потужністю 10кВт.

Таблиця 2.3.7 – Захисна автоматика для гібридної 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)

SmartMeter (TAMP) – розумний лічильник SmartMeter, який не тільки виконує функції звичайного лічильника, а й запобігає перетоку електроенергії в центральну мережу. Для нашого випадку був вибраний розумний лічильник DTSU666-H 250A/50mA від компанії Huawei, що встановлюватиметься в існуючій шафі обліку на границі земельної ділянки. Пристрій працює у трифазній мережі. Його характеристика наведена в таблиці 2.3.8.

Таблиця 2.3.8 – Характеристика лічильника для гібридної СЕС

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Діапазон вхідної напруги (фазова)	від 176 до 288	В
Значення вхідного струму	до 250	А
Точність вимірювань напруги	± 0.5	%
Точність вимірювань струму	± 1	%

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

Мережеві сонячні електростанції – найдоступніший за вартістю варіант, оскільки до комплекту не входять акумуляторні батареї. А їхня ціна, разом із системою безперебійного живлення — це 40-50% від загальної вартості.

Система мережної сонячної електростанції відрізняється від гібридної, і зображена на рисунку 2.4.1. Головна відмінність – у відсутності АКБ. Коли світить сонце, фотоелектричні модулі виробляють достатньо енергії для задоволення потреб домогосподарства. А надмірні кіловати продаються до центральної мережі за умовами програми "зеленого тарифу". Вночі і протягом похмурих днів електроенергія у будинок надходить із РЕМ.

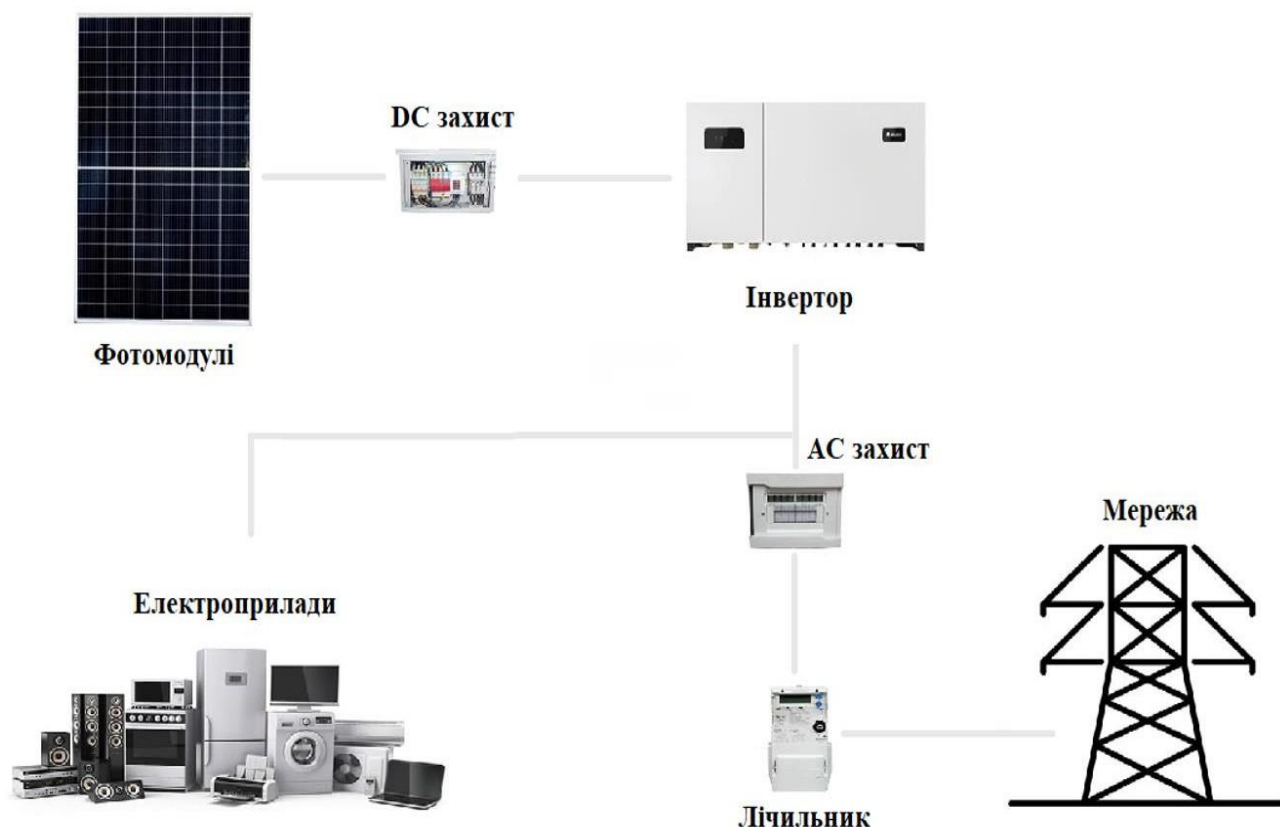


Рисунок 2.4.1 – Схематичне зображення системи мережної СЕС

Розрахунок мережної електростанції відрізняється, оскільки її головною задачею є не стільки задоволення потреб будинку, скільки максимальний продаж електроенергії в мережу. Тому встановлюємо СЕС на 30 кВт, оскільки це максимально дозволена потужність для побутових споживачів.

Спершу обираються сонячні панелі. На основі аналізу, проведеного в розд. 1.3, вибираються для встановлення сонячні фотоелектричні монокристалічні модулі Longi Solar LR5-72HPH-54, технічні характеристики яких наведені в таблиці 2.4.1.

Необхідно дізнатися скільки таких модулів необхідно, щоб набрати максимальну дозволена потужність у 30 кВт. Для цього необхідно розділити потрібне значення на потужність однієї панелі, вказаній у технічних характеристиках фотомодуля в табл. 2.4.1.

Таблиця 2.4.1 – Характеристики сонячних панелей для мережевої СЕС

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Тип модуля	Монокристалічний	
Потужність модуля, P_{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

$$N = \frac{30 \text{ кВт}}{W} \quad (2.4.1)$$

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

Для визначення перекривання потреб електроспоживання будинку, складемо графік генерування електроенергії фотомодулями та накладемо на діаграму споживаної потужності домогосподарством, на рис. 2.2.1. Потужність генерування знаходиться аналогічно для всіх місяців за формулою (2.3.1).

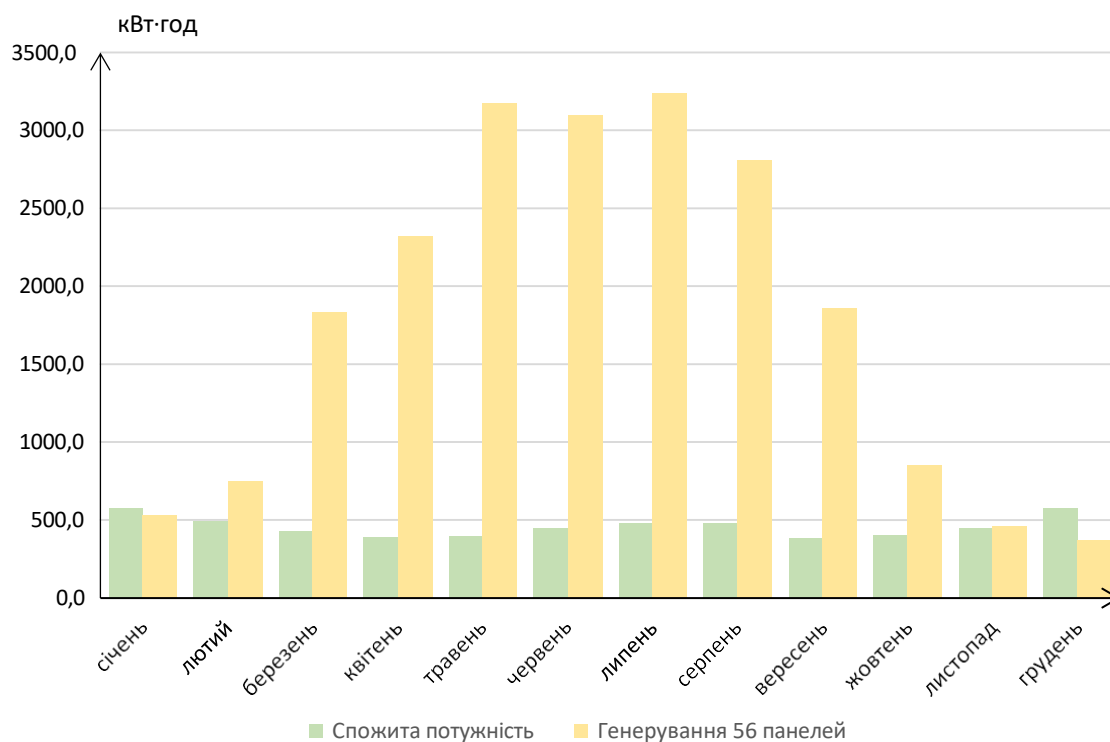


Рисунок 2.4.2 – Відношення спожитої потужності до згенерованої

Як бачимо з графіків на рисунку 2.4.2, згенерована потужність взимку у декілька разів нижча за літню, але і її майже вистачає забезпечити споживання будинку. В інші місяці невикористана згенерована електроенергія (що у декілька разів перевищує споживану) передаватиметься в мережу на продаж за "зеленим тарифом".

Оптимальний кут нахилу панелей ($41,5^\circ$), знайдений в розд. 2.2, не змінився, бо панелі встановлюються на тому ж місці.

Підбір інвертору, який підходив би під потужність мережної СЕС, проводять аналогічно, як і для гібридної електростанції, але тепер її тип буде мережевий з номінальною потужністю 30 кВт. Серед можливих варіантів був вибраний мережевий інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M3. Його технічні характеристики наведені в таблиці 2.4.2.

Таблиця 2.4.2 – 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

Оскільки максимальною напругою масиву сонячних панелей для інвертора є 1100 В, а максимальний вхідний струм лише 47,9 А, то з'єднати панелі послідовно, як у першому випадку, не вийде. При послідовному з'єднанні напруга фотомодулів додається, а струм залишається незмінним. При паралельному з'єднанні – все навпаки.

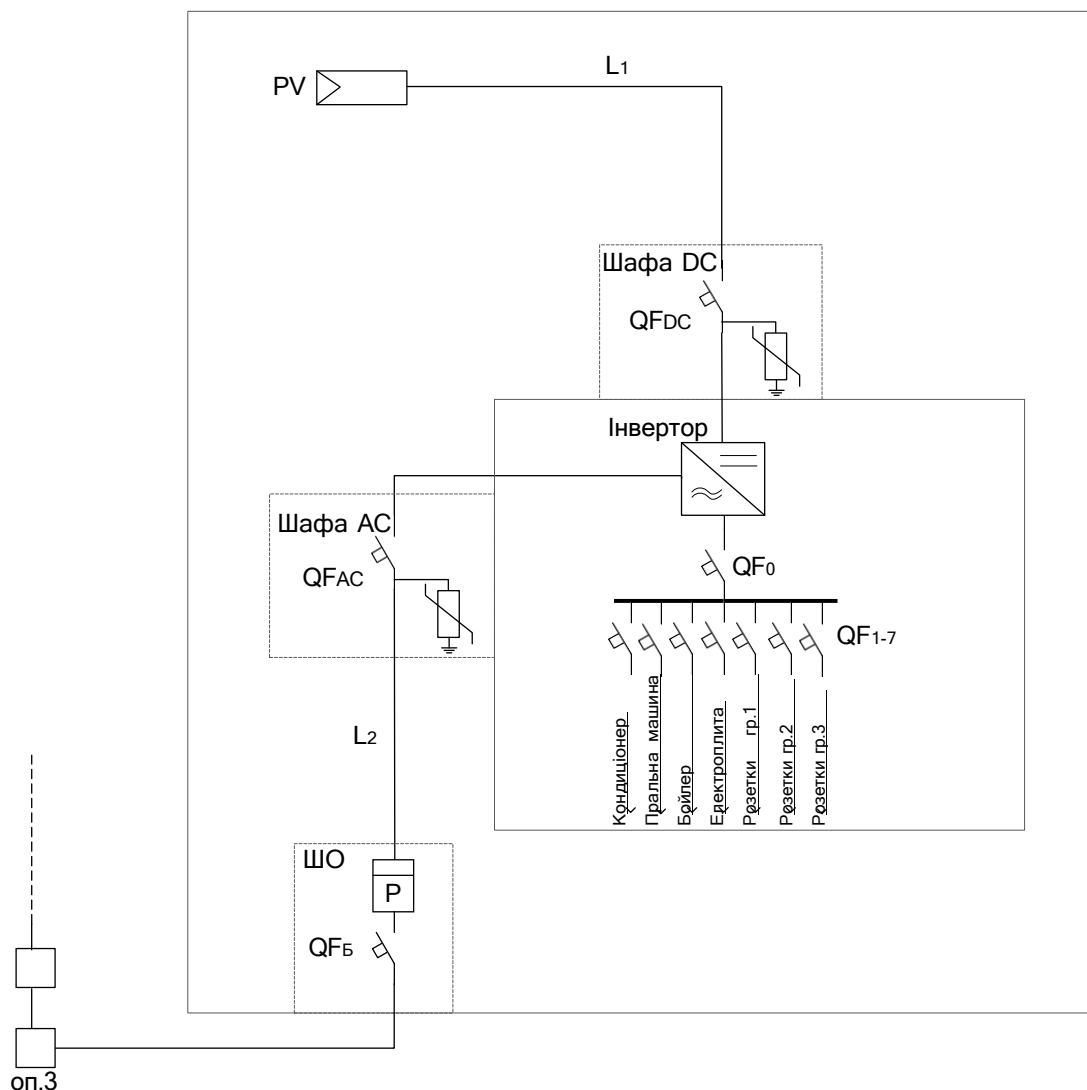


Рисунок 2.4.4 – Однолінійна схема електропостачання від мережної СЕС

Таблиця 2.4.3 – Вибір кабелів для підключення мережової СЕС

№	L, м	U, кВ	P, кВт	I _p , А	Марка	S, мм ²	I _{доп} , А	U, %
L ₁	65	0,792	31	22,6	H1Z2Z2-K ×6	6	70	3,8
L ₂	10	0,38	31	47,1	ABBG 4 × 10	10	54	0,7

Для з'єднання фотомодулів та підключення їх до інвертора, був вибраний спеціальний кабель TOP CABLE H1Z2Z2-K 6 мм², що призначений для сонячних панелей і відповідає європейському стандарту EN50618 для Solar DC Cable.

Проводи від інвертора до електроприладів залишаються незмінними, автоматичні вимикачі вже були вибрані в розд. 2.3.

Вибраний комплект захисного та комутаційного обладнання, встановленого в шафі змінного (АС) та постійного струму (DC), для мережевої сонячної електростанції потужністю 30 кВт на базі інвертора Huawei наведений в табл. 2.4.4.

Таблиця 2.4.4 – Захисна автоматика для мережевої СЕС

Захист	Назва
Шафа АС	
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 40A (6kA)
Обмежувач перенапруг	ETITEC M T12 300/7 (4+0, 4p, TNC-S)

Для обліку електричної енергії необхідно використовувати трифазний електронний лічильник прямого і зворотнього напрямку активної (класу точності не нижче 1,0) енергії прямого підключення на розрахунковий струм навантаження, що відповідають технічним характеристикам засобів комерційного обліку електричної енергії, рекомендованим для застосування на території ліцензованої діяльності оператора системи розподілу.

Двонаправлений лічильник ACE 6000 Itron (Actaris) 5 (100) А із вбудованим модемом Sparklet відповідає вимогам АСКОВЕ і рекомендований Обленерго до застосування для виробників з відновлювальних джерел енергії.

Таблиця 2.4.5 – 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

Розробленням технічних умов для приєднання споживача до розподільної електричної мережі займається оператор системи розподілу. Межа балансової належності та експлуатаційної відповідальності між споживачем і оператором системи розподілу встановлюється на вихідних контактах ввідного автоматичного вимикача або запобіжника.

Для першого випадку перевіряємо існуючу схему живлення і її здатність витримати додаткове навантаження 3 кВт (оскільки існуюче договірне навантаження у 7 кВт необхідно збільшити до 10 кВт). Схема існуючої лінії електропостачання наведена на рис. 2.5.1.

Проведемо перевірку діючого обладнання у КТП, до якого підключено даний будинок, з додатковим навантаженням (для першого випадку потужність збільшилася до 10 кВт, для другого – до 31 кВт).

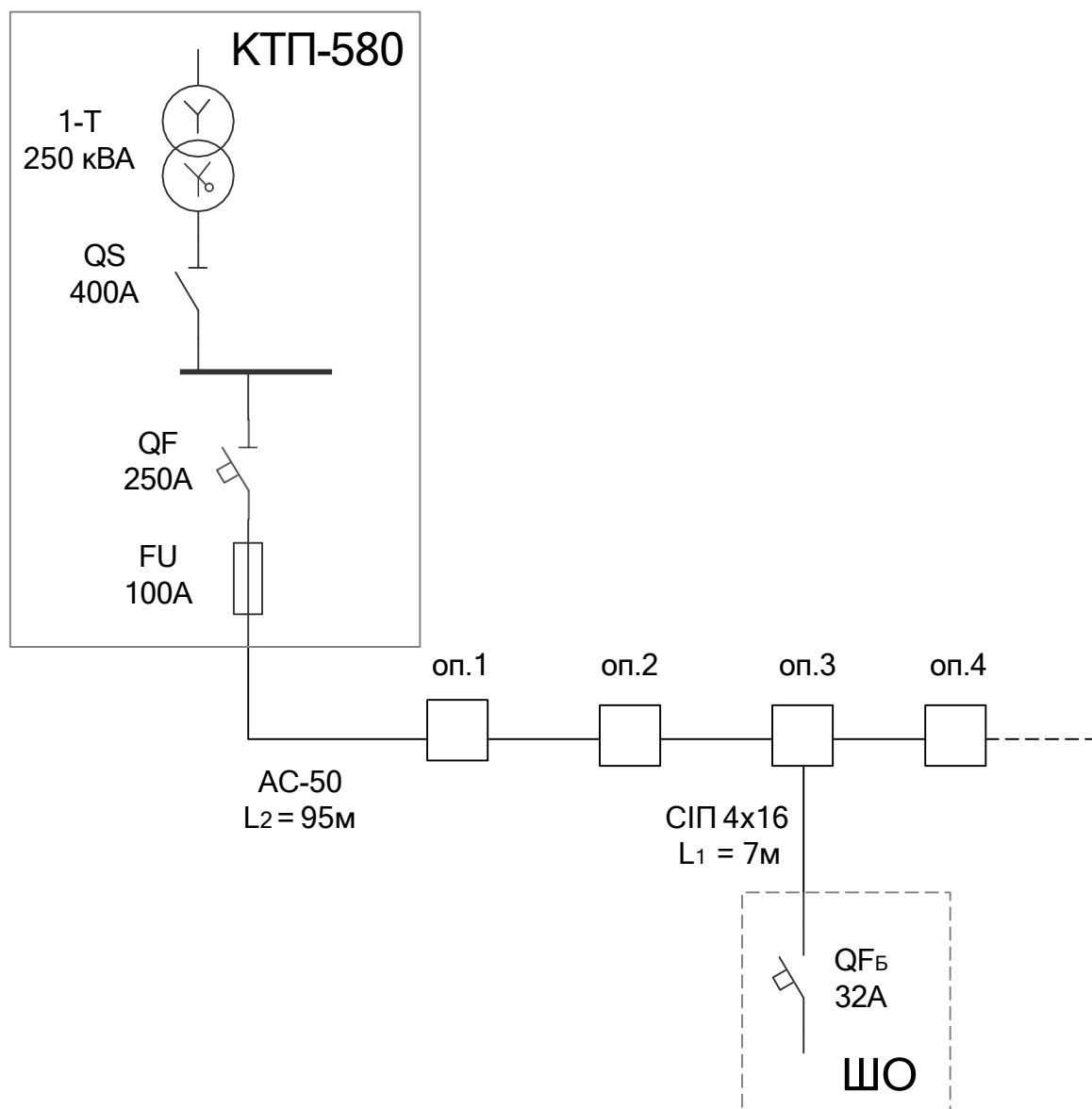


Рисунок 2.5.1 – Існуюча схема живлення будинку від КТП-580

Перевірка діючого трансформатора ТР–250кВА, до якого буде підключатися сонячна електростанція здійснюється за допомогою формули (2.5.1)

$$S_{\text{ТР}} = S_{\text{І}} + S_{\text{Д}} \quad 2.5.1)$$

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

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

Підставляючи всі значення до формули (2.5.1) в обох випадках отримано значення менше за потужність трансформатора, а значить він витримає підключене додаткове навантаження.

Проведемо перевірку комутаційних апаратів: рубильника QS, вимикача QF та запобіжника FU для підключення вулиці, і вимикача QF_Б, встановленого вимикача в шафі обліку.

Додатковий струм визначається за формулою (2.3.6).

$$I_{д1} = \frac{P_{д3}}{U_{н}} = \frac{3}{0,22} = 13,64 \text{ A}$$

Всі допустимі і розраховані нові струми наведені в табл. 2.5.1.

Таблиця 2.5.1 – Перевірка комутаційних апаратів існуючої схеми живлення

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

Всі апарати, окрім QF_Б працюватимуть з додатковим навантаженням. Перед лічильником необхідно замінити автоматичний вимикач на вибраний за допустимим струмом АВ 1р 50 SZ201.

Перевіримо існуючу повітряну лінію з додатковою потужністю 3 кВт за додатковим навантаженням. Розрахуємо також втрату напруги на провідниках за формулою (2.3.7). Всі результати перевірки наведені в таблиці 2.5.2.

Таблиця 2.5.2 – Перевірка існуючих кабелів електропостачання будинку

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

Розрахунковий струм з додатковим навантаженням не перевищує допустимий, а сумарні втрати на лінії становлять 1,67%, що менше допустимих 5 %, отже проводи замінювати не потрібно.

Отже, для першого варіанту ніяких робіт, окрім заміни автоматичного вимикача в шафі обліку, проводити не потрібно.

Для другого варіанту необхідно розрахувати окремий вивід з КТП. Схема живлення будинку виглядатиме як на рисунку 2.5.2.

Існуючий рубильник QS залишається незмінним, оскільки витримує додаткове навантаження. Проектування та вибір інших комутаційних апаратів виконується за номінальним струмом, розрахованим за формулою (2.3.5). Вибрані апарати наведені в таблиці 2.5.3.

Таблиця 2.5.4 – Вибір комутаційних апаратів нової схеми живлення

Позначення на схемі	Марка	Розрахований струм, А	Допустимий струм, А
QF _Б	PR123 SEZ 3H C50A 10kA	47,1	50
QF	PR123 SEZ 3H D50A 10kA	47,1	50

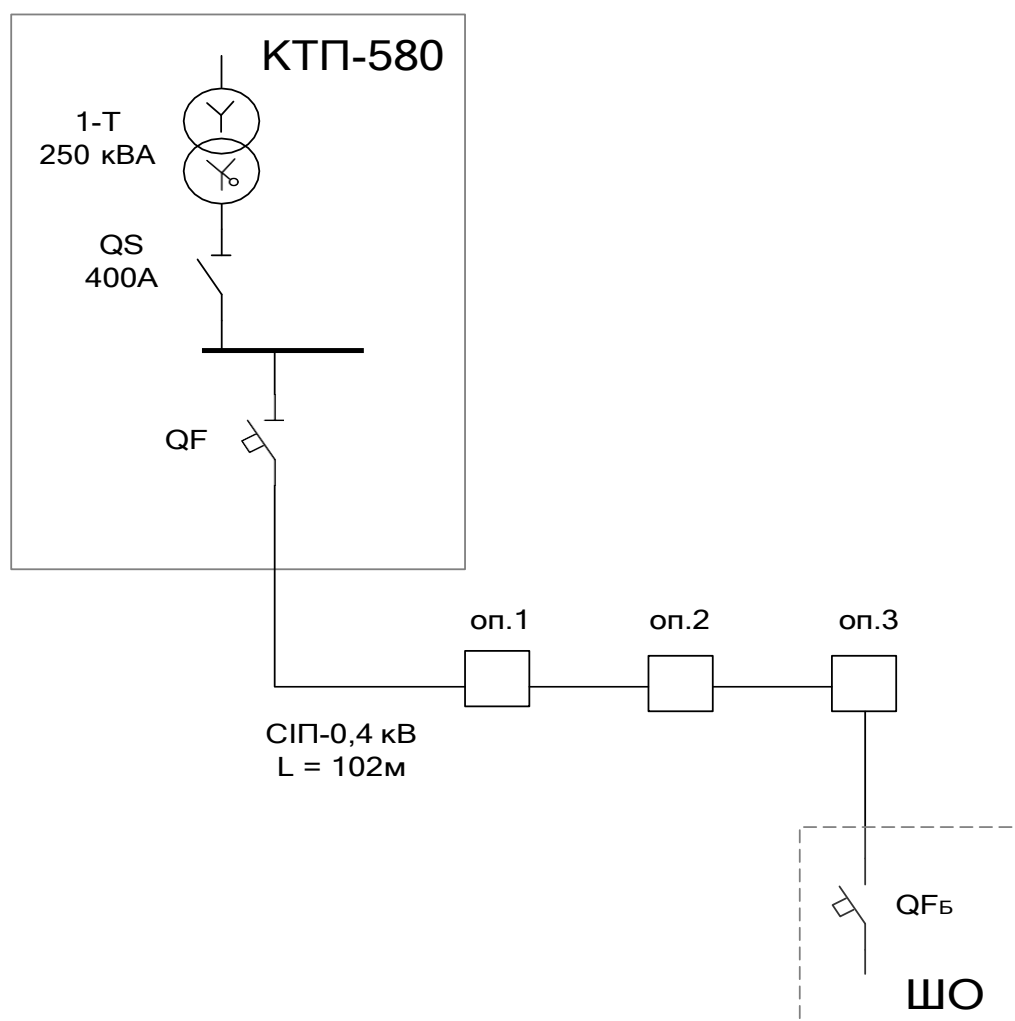


Рисунок 2.5.2 – Нова схема живлення будинку при встановленні мережної СЕС

Вибір кабелю виконується за формулою (2.3.5). При підключенні до 31 кВт розрахунковий струм дорівнюватиме 47,1 А. Отже вибираємо СІП 4х16, який прокладається від автоматичного вимикача в КТП-580 до шафи обліку. Довжина лінії, що прокладається, $L = 102$ м. За формулою (2.3.7) розраховуємо втрати напруги, що складатимуть 2,25%. Отже кабель підходить для використання.

РОЗДІЛ 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.

Капітальними витратами є одноразові вкладення, за допомогою яких підприємство збільшує обсяг основних засобів. Капітальні витрати включають в себе вартість сонячної електростанції, витрати на транспортування обладнання, будівельні роботи, роботи та обладнання по приєднанню до мереж енергосистеми, плату за землю [4]

Загальні капіталовкладення можна розрахувати за формулою:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{вст} + K_{обл} \quad (3.1.1)$$

де K – загальні капіталовкладення, грн;

$K_{уст}$ – вартість сонячної установки, грн;

$K_{пр}$ – вартість проектних робіт по визначенні місця для встановлення сонячних установок, оформлення необхідної документації, грн;

$K_{вст}$ – вартість будівельних та монтажних робіт при встановленні сонячних установок, підключенні їх до електричної мережі та підприємства;

$K_{обл}$ – вартість додаткового обладнання для підключення СЕС.

Така складова формули (3.1.1), як вартість сонячної установки та її основних елементів (інвертор, лічильник та акумуляторні батареї) розрахована в таблиці 3.1.1. Ціни на обладнання наведені опосереднені по Україні з сайтів виробників, або ж онлайн-магазинів.

Таблиця 3.1.1 – Розрахунок вартості головних компонентів гібридної 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

Таблиця 3.1.2 – Розрахунок вартості додаткового обладнання для гібридної СЕС

Обладнання	Кількість/довжина од/м	Ціна за 1 од/м, грн	Загальна вартість, грн
Кабелі :			
H1Z2Z2-K	50	28	1400
×4 АВВГ	10	37,63	376,3
4x10 ПВ 4×40	1	18,19	18,19
Комутаційні апарати :			
ЕТИМАТ 10 1P 80A	1	1248	1248
ABB 1p 16 SZ201	5	145	725
AB 1p 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 $K_{обл}$, грн	—	—	16914,5

Підставивши знайдені елементи капітальних витрат у формулу (3.1.1) отримаємо $K = 589\,946$ грн.

Поточними називають короткочасні витрати у даний звітний період. Річні витрати йдуть на технічне обслуговування, ремонт сонячних установок, амортизаційних відрахувань, заробітну плату обслуговуючому персоналу і визначається за формулою:

$$B = B_{\text{ам}} + B_{\text{зп}} \quad (3.1.2)$$

де B – річні експлуатаційні витрати, грн;

$B_{\text{ам}}$ – амортизаційні витрати, грн;

$B_{\text{зп}}$ – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн.

Оскільки для обслуговування персонал не потрібен, то поточні витрати складатимуться тільки з амортизаційних витрат. Їх прийнято вважати рівними 1% від вартості всієї установки (окрім фотомодулів до неї входять також акумуляторні батареї та інвертор). Тоді амортизаційні витрати розраховуються за формулою:

$$B_{\text{ам}} = K_{\text{уст}} \cdot 1\% \quad (3.1.3)$$

Підставляючи вже знайдене значення $K_{\text{уст}} = 573\,032$ грн в формулу (3.1.3) отримуємо $B_{\text{ам}} = 5\,730$ грн. Це приблизна середня річна сума, яка необхідна для підтримання установки в робочому стані.

Розрахунок зведених річних витрат на кіловат встановленої потужності проводиться за наступною формулою:

$$Z = \frac{P_{\text{н}} \cdot K + B}{P} \quad (3.1.4)$$

де Z – відносні зведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності, грн;

K – загальні капіталовкладення, знайдені за формулою (3.1.1), грн;

B – річні експлуатаційні витрати, знайдені за формулою (3.1.2), грн;

P – встановлена потужність об'єкту електропостачання, кВт;

$P_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт рентабельності що розраховується за допомогою відношення:

$$P_{\text{н}} = \frac{1}{T} \quad (3.1.5)$$

де T – економічний термін служби обладнання, років.

Загальний термін експлуатації вибраних фотомодулів за даними виробника – більше 30 років, отже нормативний коефіцієнт матиме значення 0,033.

$$3 = \frac{0,033 \cdot 589\,946 + 5\,730}{10} = 2\,520 \text{ грн}$$

Ефективність роботи показує коефіцієнт використання встановленої потужності, що визначається за відношенням:

$$K_{\text{ввп}} = \frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{пл}}} \quad (3.1.6)$$

де $P_{\text{д}}$ – дійсне вироблення електроенергії за даний період часу, кВт·год;

$P_{\text{пл}}$ – планова електроенергія, яка може бути вироблена, якщо генератори будуть працювати весь час з 100% потужністю, кВт·год.

Гарантія на сонячні панелі Risen RSM110-8-540M складає 12 років. Після 10 років експлуатації фотомодуль втрачає не більше 6% потужності, після 20 років – не більше 15%. Отже кожного року установка втрачає близько 0,6% потужності.

За формулою (2.3.1) було знайдено генерацію СЕС щомісяця. Сума цих значень – виробіток електроенергії за рік. Загальний термін експлуатації – більше 30 років. Отже розрахуємо вироблену кількість електроенергії на найближчі

30 років, віднімаючи кожного року 0,6% від потужності за формулою (3.1.7).

$$P_{\text{д}} = \sum_{i=1}^n (P \cdot (1 - 0,06 \cdot (n - 1))) \quad (3.1.7)$$

де n – кількість років роботи;

P – розрахована потужність всіх фотомодулів за рік, кВт·год.

Дійсна генерація протягом тридцяти років гібридної сонячної електростанції на 10 кВт з урахуванням втрат потужності через зношення устаткування показана на рисунку 3.1.1.

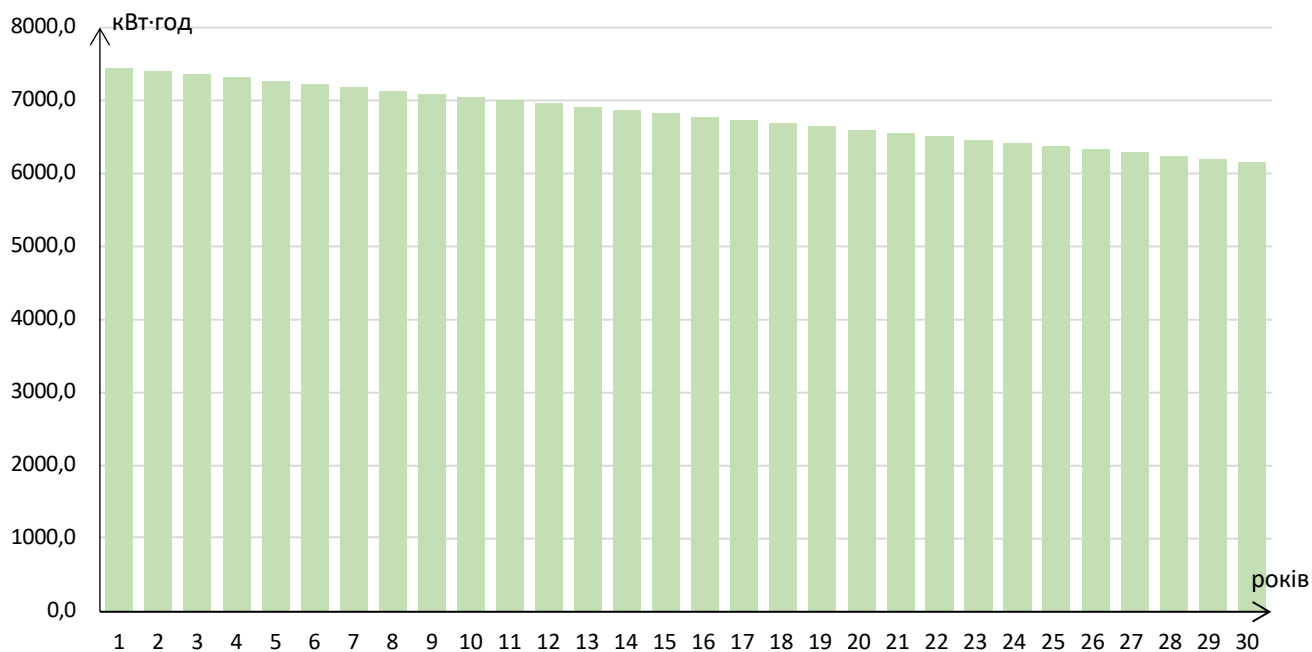


Рисунок 3.1.1 – Дійсна генерація протягом тридцяти років гібридної СЕС

$P_{пл}$ розраховується як добуток максимальної потужності панелей на їх кількість, на термін роботи. Отже ефективність роботи гібридної СЕС:

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

Щоб визначити термін окупності установки використаємо формулу (3.1.8).

$$T_{ок} = \frac{K + B}{E} \quad (3.1.8)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності СЕС, років;

E – економія за рік, грн.

Економія за рік визначається як добуток тарифу за електроенергію та кількості електроенергії, що довелося б купити без встановлення сонячної

електростанції. Тариф, за якою купується електроенергія (при використанні більше 250 кВт·год за місяць) – 1,68 грн. Кількість не купленої електроенергії приблизно 4034 кВт год за рік.

Термін окупності за формулою 20 складатиме 87 років. Але ця цифра є далекою від реальної, оскільки темпи зростання плати за електроенергію збільшуватимуться в рази. Однак встановлення гібридної електростанції на 10 кВт без продажу електроенергії у мережу все-одно є не доцільним, оскільки окупатиметься довше за термін служби установки.

3.2 Визначення терміну окупності для варіанту генерації електроенергії в зовнішню мережу

Вартість електроенергії від СЕС залежить, насамперед, від обсягу виробленої електроенергії, який, в свою чергу, визначається величиною інсоляції, витратами на обслуговування та експлуатацію, терміном служби сонячної установки, а також залежить від величини капітальних вкладень. Для того, щоб заохотити населення виробляти електроенергію з альтернативних джерел енергії був введений деякий механізм – "зелений тариф".

"Зеленим" називають тариф, за яким оптовий ринок електричної енергії України (енергопостачальники) мусить купувати електроенергію, що була вироблена з альтернативних джерел енергії. Тобто встановивши СЕС є можливість продати місцевому обленерго надлишок електроенергії, що була вироблена, але не спожита на потреби будинку згідно з Постановою Національної комісії України.

Порядок розрахунку витрат аналогічний, що і в розд. 3.1. Загальні витрати складаються з капітальних та поточних витрат.

Вартість мережної сонячної установки та її основних елементів (інвертор, лічильник та фотомодулі) розрахована в таблиці 3.2.1. Ціни на обладнання наведені опосереднені по Україні з сайтів виробників, або ж онлайн-магазинів.

Таблиця 3.2.1 – Розрахунок вартості головних компонентів мережної 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 установки Вартість підключення до мереж оператора системи розподілу виставляється за замовлену потужність. Для міста і села кожного року НКРЕКП виставляє нову ставку. Для міста у 2022 році діє ставка –0,897. До вже існуючої договірної потужності необхідно приєднати ще 24 кВт. Тоді за приєднання електроустановки до мереж АТ "СУМИОБЛЕНЕРГО" необхідно сплатити :

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

Вартість додаткового обладнання (апарати захисту і комутації, кабелі) розрахована в табл. 3.2.2. Довжина кабелів указана або у необхідній кількості, або у мінімальній для замовлення.

Таблиця 3.2.2 – Розрахунок вартості додаткового обладнання для мережної СЕС

Обладнання	Кількість/довжина од/м	Ціна за 1 од/м, грн	Загальна вартість, грн
Кабелі :			
H1Z2Z2-K	65	34	2 210
×6	10	26,40	264
АВВГ 4 × 10			
Комутаційні апарати :			
ЕТИМАТ 10 1P 80A	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 _{обл} , грн	—	—	26 081

Підставивши знайдені елементи капітальних витрат у формулу (3.1.1) отримаємо $K = 667\,313$ грн.

Поточні витрати розраховуються за формулою (3.1.2) та (3.1.3) аналогічно як і для гібридної СЕС.

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

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

Розрахунок зведених річних витрат на кіловат встановленої потужності проводиться за наступною формулою (3.1.4).

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

Нормативний коефіцієнт рентабельності що розраховується за допомогою формули (3.1.5) дорівнює 0,033, оскільки термін експлуатації установки більше 30 років.

Ефективність роботи знаходимо за допомогою коефіцієнту використання встановленої потужності, що визначається за відношенням (3.1.6).

Гарантія на сонячні панелі Longi Solar LR5-72HPH-540 складають 12 років. А через 25 років показники ефективності не повинні бути нижчими за 84,2% від початкового значення. Отже кожного року установка втрачатиме близько 0,63 % потужності.

За формулою (2.3.1) було знайдено генерацію мережної СЕС щомісяця. Сума цих значень – виробіток електроенергії за рік. Загальний термін експлуатації – більше 30 років. Отже розрахуємо вироблену кількість електроенергії на найближчі 30 років, віднімаючи кожного року 0,63% від потужності за формулою (19). Дійсна генерація протягом тридцяти років мережної сонячної електростанції на 30 кВт з урахуванням втрат потужності через зношення устаткування показана на рисунку 3.2.1.

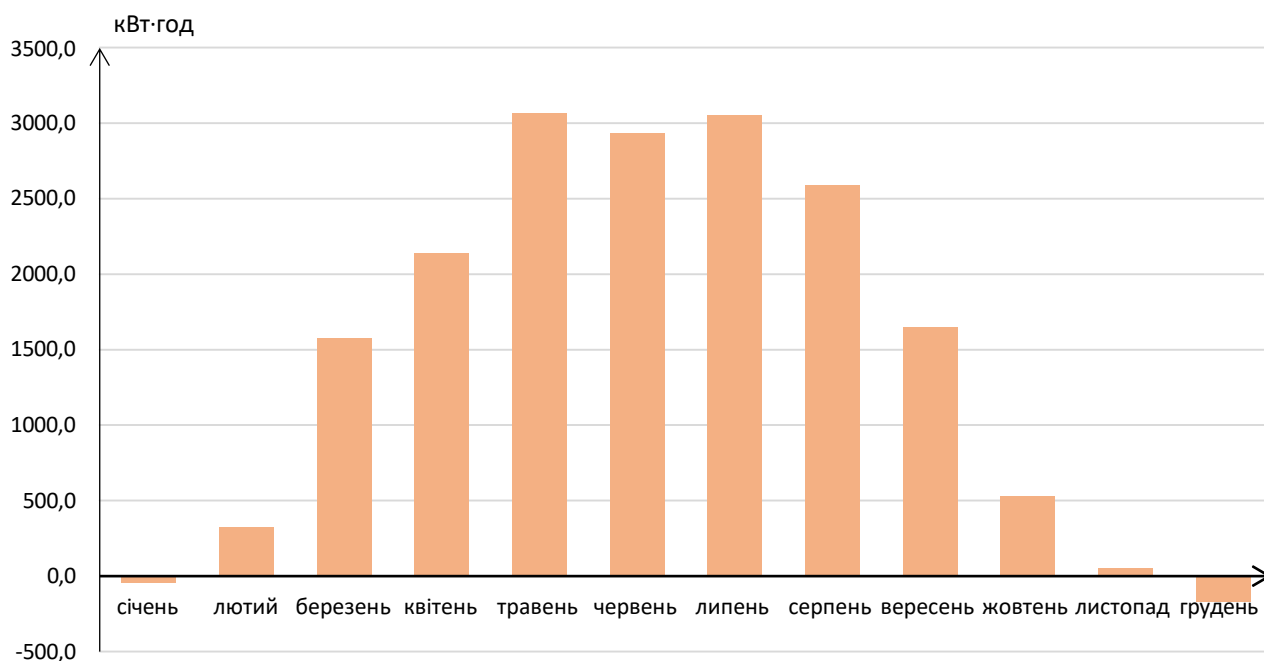


Рисунок 3.2.2 – Кількість проданої електроенергії за рік

Таблиця 3.2.3 – 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

Також в рік в середньому необхідно було б витратити кошти на покупку електроенергії для задоволення своїх потреб за ставкою 1,68 грн, а отже було зекономлено $E = 9\,220$ грн на рік.

Підставивши всі попередньо розраховані значення у формулу (3.2.1) дізналися, що термін окупності встановлення мережної сонячної електростанції на 30 кВт становить 5,5 років.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Впродовж останніх років використання альтернативних джерел енергії для задоволення господарських потреб стало поширеним в багатьох європейських країнах. Варто відзначити, що на сьогоднішній день в Україні немає спеціального законодавства щодо використання сонячних панелей. Більш того, виробники новітніх екопристроїв самі дали відповідь на поставлене запитання – свої вироби вони пропонують прирівнювати до звичайних побутових електроприладів, що автоматично відкидає необхідність отримання будь-яких дозволів.

Відповідно до статті 11 Закону України "Про альтернативні джерела енергії" експлуатація альтернативних джерел енергії на об'єктах альтернативної енергетики провадиться за умов:

- безпечного проведення робіт, здійснення державного нагляду за режимами споживання енергії;
- енергетичної безпеки, що гарантує технічне та економічне задоволення періодичних, поточних і перспективних потреб споживачів енергії;
- виконання технологічних вимог щодо виробництва, акумулювання, передачі, постачання та споживання енергії;
- додержання єдиних державних норм, правил і стандартів усіма суб'єктами відносин;
- додержання правил експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, що регламентуються нормативно-правовими актами, обов'язковими для виконання всіма суб'єктами підприємницької діяльності.

Відповідно до статті 12 Закону України "Про альтернативні джерела енергії" протиаварійний захист та забезпечення екологічної безпеки при використанні альтернативних джерел енергії здійснюються шляхом:

- запобігання аварійним ситуаціям і ліквідації їх наслідків на об'єктах альтернативної енергетики за рахунок додержання вимог та правил, встановлених відповідно до державних стандартів;
- створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та охорони об'єктів альтернативної енергетики згідно із законодавством;
- підтримки необхідного балансу потужності та якості енергії, виробленої з альтернативних джерел, для забезпечення надійного і безаварійного функціонування з об'єднаною енергетичною системою України;
- здійснення нагляду за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики, а також засобів зв'язку і диспетчерського (оперативнотехнологічного) управління з енергетичними мережами України;
- здійснення нагляду за експлуатацією систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики від несанкціонованого втручання.

Державний нагляд у сфері альтернативних джерел енергії здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у відповідній сфері та інші органи у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Щодо сонячних батарей, то для того щоб система з сонячних батарей працювала і подавала енергію у мережу, потрібно встановити ряд додаткових електроприладів, зокрема: інвертор, що перетворює постійний струм у змінний; акумуляторну батарею, яка повинна накопичувати енергію; контролер заряду акумулятора.

Оскільки працездатність системи безумовно залежить від ступеня зарядженості свинцевокислотних батарей, необхідно ознайомитись з "Інструкцією з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей". Оскільки до системи з сонячних панелей входять електроприлади (інвертор, контролер), то слід дотримуватись системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок.

Ізоляція струмовідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, електровимірювальні кліщі, ізолювальні кліщі, покажчики напруги; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги для фазування.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах в електроустановках з напругою понад 1000 В – діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби (щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі проводять роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою.

Отже, за правила охорони праці при використанні сонячних батарей можемо використати такі нормативно-правові документи: Закон України "Про використання альтернативних джерел енергії", "Інструкція з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево-кислотних акумуляторних батарей" та основи охорони праці при експлуатації електроустановок.

Розглянемо потенційність виникнення професіональних захворювань та виробничого травматизму при обслуговуванні підрядною організацією домашньої сонячної електростанції.

Виробничий травматизм – це наслідок впливу на організм працюючого різних зовнішніх небезпечних виробничих факторів.

Травматизм на СЕС можливий у разі:

- ураження електричним струмом – опіки, електричні удари й ін.;
- впливу високої або низької температури (опіки чи обмороження);
- падіння з висоти;
- сполучення декілька з перерахованих факторів;
- та ін.

Виділяють наступні причини виробничого травматизму:

- технічні;
- санітарно-гігієнічні;
- організаційні;
- психофізіологічні.

Невиконання правил безпеки може призвести до нещасних випадків, які поділяють на:

- за кількістю потерпілих – на одиничні (потерпів один працюючий) та груповий (потерпіло два і більше працюючих);
- за тяжкістю – легкі, тяжкі, летальні (смертельний випадок);
- залежно від обставин – пов'язані з виробництвом, не зв'язані з виробництвом, але пов'язані з роботою і нещасний випадок в побуті.

При знаходженні працівників на робочому місці, вони знаходяться під впливом різних негативних факторів. Це можуть бути фактори виробничого походження, чи то психофізіологічний стан працівника. Невиконання правил безпеки може призвести до виробничого травматизму та професійних захворювань.

Вимоги безпеки перед початком обслуговування СЕС.

На початку робочої зміни робоче місце та необхідне обладнання, передбачене для виконання робіт, повинно бути перевірено на предмет відсутності та усунення несправності. В разі виявлення несправності, які працівник не може усунути власними силами, він повинен доповісти про них безпосередньому керівнику.

Оперативно-виробничі працівники повинні ознайомитися з інформацією автоматизованої системи керування СЕС та даними про несправності в роботі устаткування, які були зафіксовані в оперативному журналі попередньою зміною, а саме:

- про несправності в роботі обладнання:
 - найменування обладнання;
 - кількість годин у неробочому стані;
 - дата та час реєстрації виникнення несправності; 4)вжиті заходи;
 - дата та час обслуговування чи ремонту;
 - причина несправності;
 - замінені деталі;
- про аварійні ситуації та вжиті заходи щодо відновлення нормального режиму.

Виробничі працівники, у тому числі ремонтні служби, повинні перед початком робочої зміни отримати наряд-допуск чи розпорядження на проведення робіт з вказанням змісту робіт, місця їх проведення, дати та часу початку та закінчення робіт. Обов'язковим є цільовий інструктаж з правил безпеки під особистий розпис.

Виробничі працівники, що обслуговують електричну частину СЕС, повинні бути забезпечені всіма необхідними засобами захисту для безпечного виконання робіт.

Засоби захисту, прилади, пристрої та інструмент повинні оглядатися і випробуватися згідно з НАОП 1.1.10-1.07-82 "Правила використання та перевірки засобів захисту, що використовуються в електроустановках". Усі

роботи на електрообладнанні, в контрольно-розподільчій шафі дозволяється викопувати тільки після зупинення СЕС та вимкнення комутаційних апаратів, що з'єднують установку з електричною мережею.

Перед початком робіт працівник повинен:

- отримати завдання та пройти повний інструктаж;
- ознайомитись з інформацією про особливості об'єкта та познайомитись з правилами монтажу сес;

- застосувати захисний одяг;
- перевірити наявність необхідних для виконання робіт інструментів, їх технічний стан, а також наявність попереджувальних знаків;

- перевірити наявність засоби індивідуального захисту, оцінити їх технічний стан :

- відсутність будь-яких зовнішніх пошкоджень, будь-то тріщини, проколи, розриви;

- дата наступних випробувань по штампі;

- міцність деталей, їх з'єднання, для подальшої надійної установки.

Експлуатація СЕС проводиться оперативно-виробничими працівниками згідно з документами щодо експлуатації, наданих виробником СЕС, доповненими вимогами, що стосуються конкретних умов на площадці.

Під час виконання робіт на механічній та (або) електричній частині СЕС слід забезпечити цілісність захисного заземлення.

Для визначення технічного етапу заземлюючих пристроїв проводяться:

- зовнішній огляд їх видимої частини;
- огляд з перевіркою цілісності кіл електричної схеми між заземленням і елементами, які заземлюються.

ВИСНОВОК

Встановлення "домашньої" гібридної сонячної електростанції для задоволення лише власних потреб є не доцільною. Фотомодулі працюють за рахунок сонячного світла, яке є нерівномірним протягом року через різницю тривалості світового дня. Рівень інсоляції влітку у рази більший, ніж взимку. Через це генерація також є нерівномірною протягом року.

Споживання електроенергії також є нерівномірним протягом року, через опалення при низьких температурах. Через це кількості виробленої електроенергії взимку не вистачає на задоволення власних потреб. Можна б було збільшити кількість сонячних панелей, але це є економічно недоцільно. Влітку вся зайва електроенергія, вироблена СЕС не продається, тому прибуток від неї не отримується. Через це окупається така електростанція лише за рахунок економії від покупки електроенергії з мережі, але через високу вартість обладнання, термін окупності занадто великий і навіть перевищує термін експлуатації сонячних панелей, не говорячи вже про інвертор та акумуляторні батареї, терміни експлуатації яких менші.

В другому варіанті була розрахована мережна сонячна електростанція на 30 кВт. Окрім майже повного покриття власних потреб, більша частина виробленої за рік електроенергії продається. Окрім того, що установка окупає сама себе, через п'ять з половиною років вона приносить прибуток більше ста тисяч гривень на рік. Термін окупності насправді вийде меншим за розрахований через постійне збільшення тарифу за електроенергію (що є причиною зросту економії від купівлі електроенергії).

Отже, встановлення мережевої "домашньої" сонячної електростанції для задоволення власних потреб та продажу надлишку згенерованої електроенергії є доцільним і рекомендованим, але після закінчення війни.

Нажаль, через воєнний стан дія "зеленого тарифу" призупинена. НКРЕКП 26 квітня на засіданні встановила нові тарифи на електроенергію, вироблену під час воєнного стану з альтернативних джерел енергії. Ціна за один кіловат встановлюється окремо по кожній області, але в середньому значення приймається за величину звичайної ставки 1,68 грн. Всі виплати за договорами обіцяно зробити впродовж 45 днів після завершення військового стану.

Будувати власні сонячні електростанції для будинків можна, але отримати договір на продаж електроенергії по "зеленим тарифам" зможуть лише ті, хто отримав технічні умови до початку війни, тобто до 24 лютого. Всі інші зможуть отримати технічні умови лише після завершення воєнного стану.

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. [Режим доступу]: <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 сумської області станом на 01.01.2022 [Режим доступу]: <https://mepr.gov.ua/news/39661.html>
5. Які нюанси роботи сонячної електростанції в зимовий період [Режим доступу]: <https://prel.prom.ua/n234221-yaki-nyuansi-roboti.html>
6. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018. [Режим доступу]: <https://strategy-council.com/files/research/en/38.pdf>
7. Як вибрати земельну ділянку під СЕС: ТОП-5 рекомендацій від ЕДС-Девелопмент [Режим доступу]: <https://eds-development.com/yak-vibrati-zemelnu-dilyanku-pid-ses-top-5-rekomendacij-vid-eds-development/>
8. Хто крутіший: види сонячних батарей [Режим доступу]: <https://sunsayenergy.com/technology/hto-krutishiy-vidi-sonyachnih-batarey>
9. Сонячні батареї: типи та принцип роботи [Режим доступу]: <https://comfortsellers.com.ua/sonyachni-batareyi-typy-ta-pryntsyyp-roboty/>
10. Ефективність сонячних модулів у 2022 році [Режим доступу]: <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 [Режим доступу]: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachna-domashnya-elektrostantsiya-dlya-privatnogo-budinku>

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

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

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 [Режим доступу]: <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. Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2018. 46 с. 70

20. Положення про кваліфікаційні роботи на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21 / А. О. Семенов, Л. П. Громова, О. В.

ДОДАТОК А ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

назва роботи: Проектування сонячної фотовольтаїчної станції для забезпечення
основного електропостачання будинку

тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

відділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та
електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 91% Схожість 9%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість
викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання
автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в
ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування
недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку
(підпис)

(підпис)

Вишневський С.Я.

(прізвище, ініціали)

Знайомені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо
роботи.

Автор роботи

(підпис)

Кравець Т. Р.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Лесько В. О.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Ілюстраційний матеріал

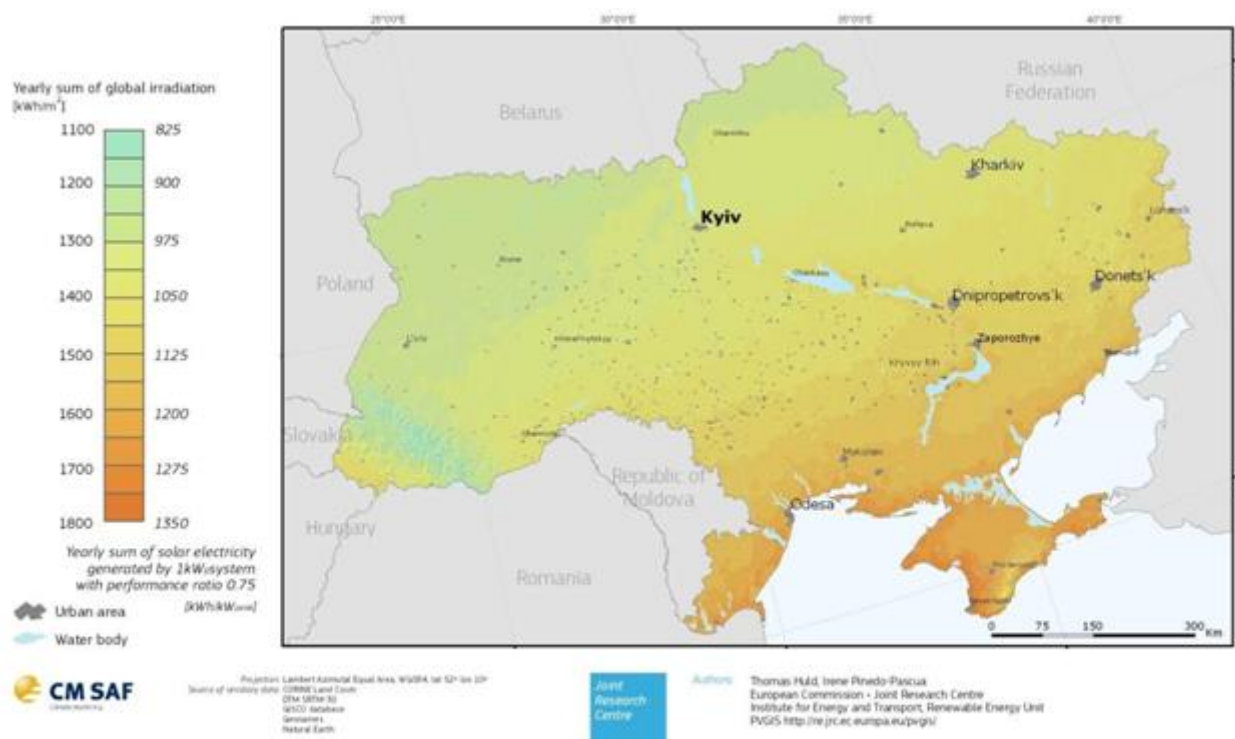


Рисунок 1.2.7 – Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні

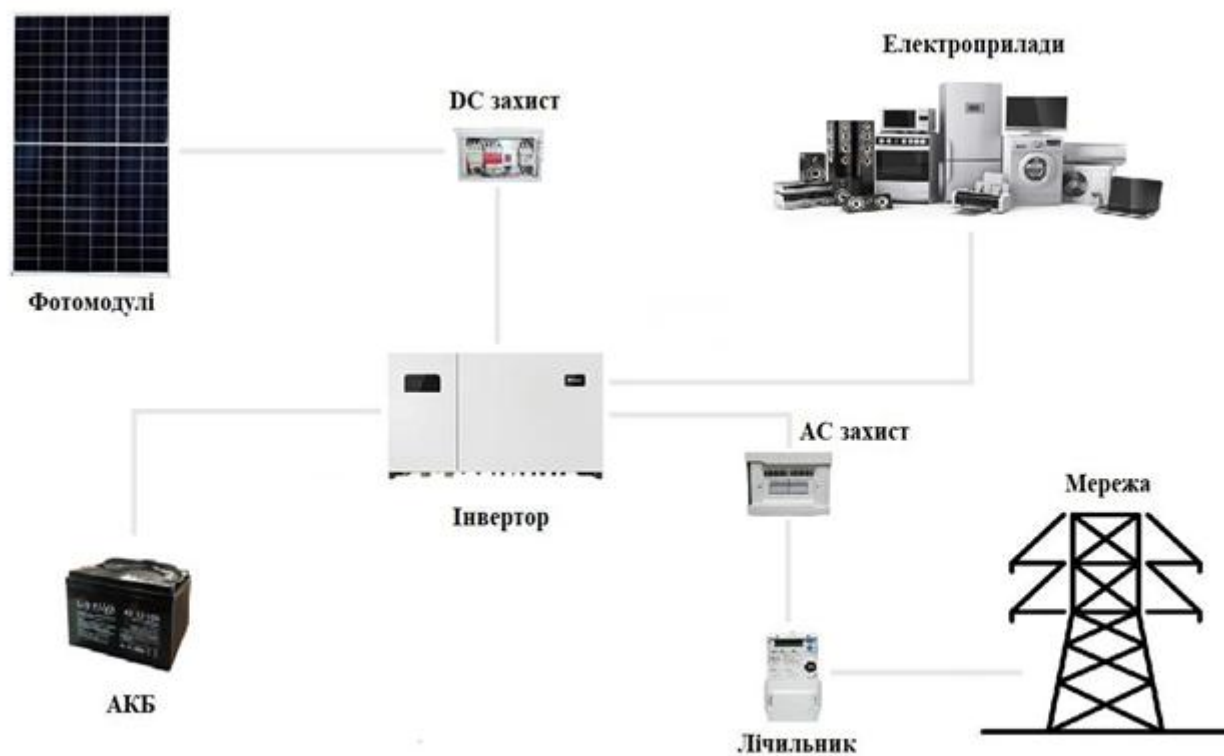


Рисунок 2.3.1 – Схематичне зображення системи гібридної СЕС

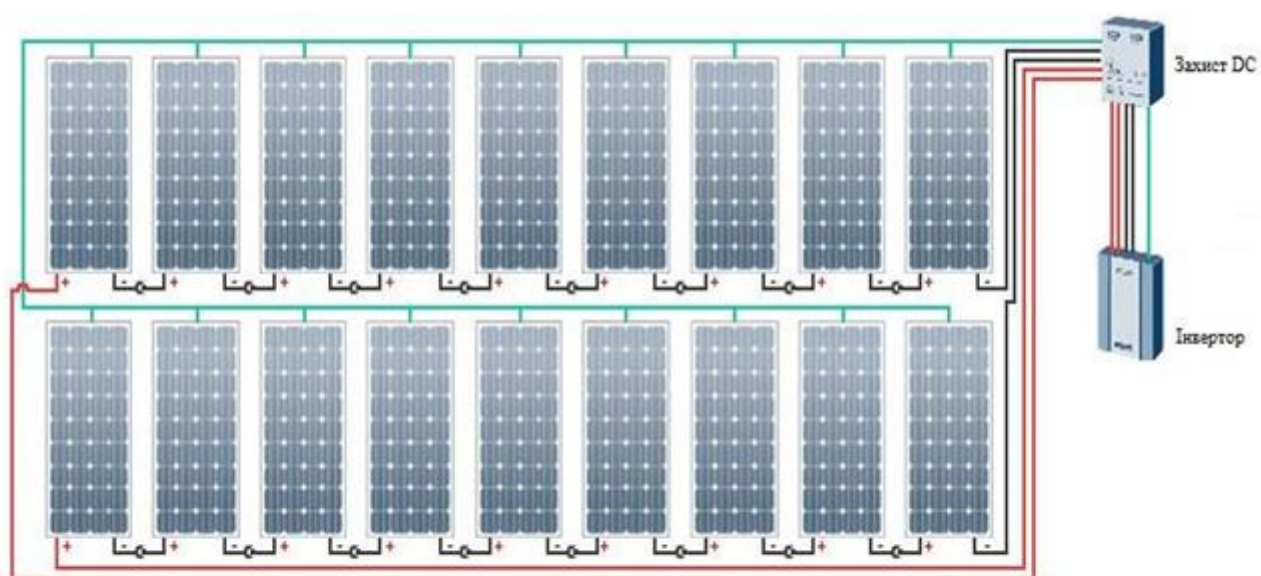


Рисунок 2.3.3 – Схема підключення сонячних панелей до гібридного інвертора

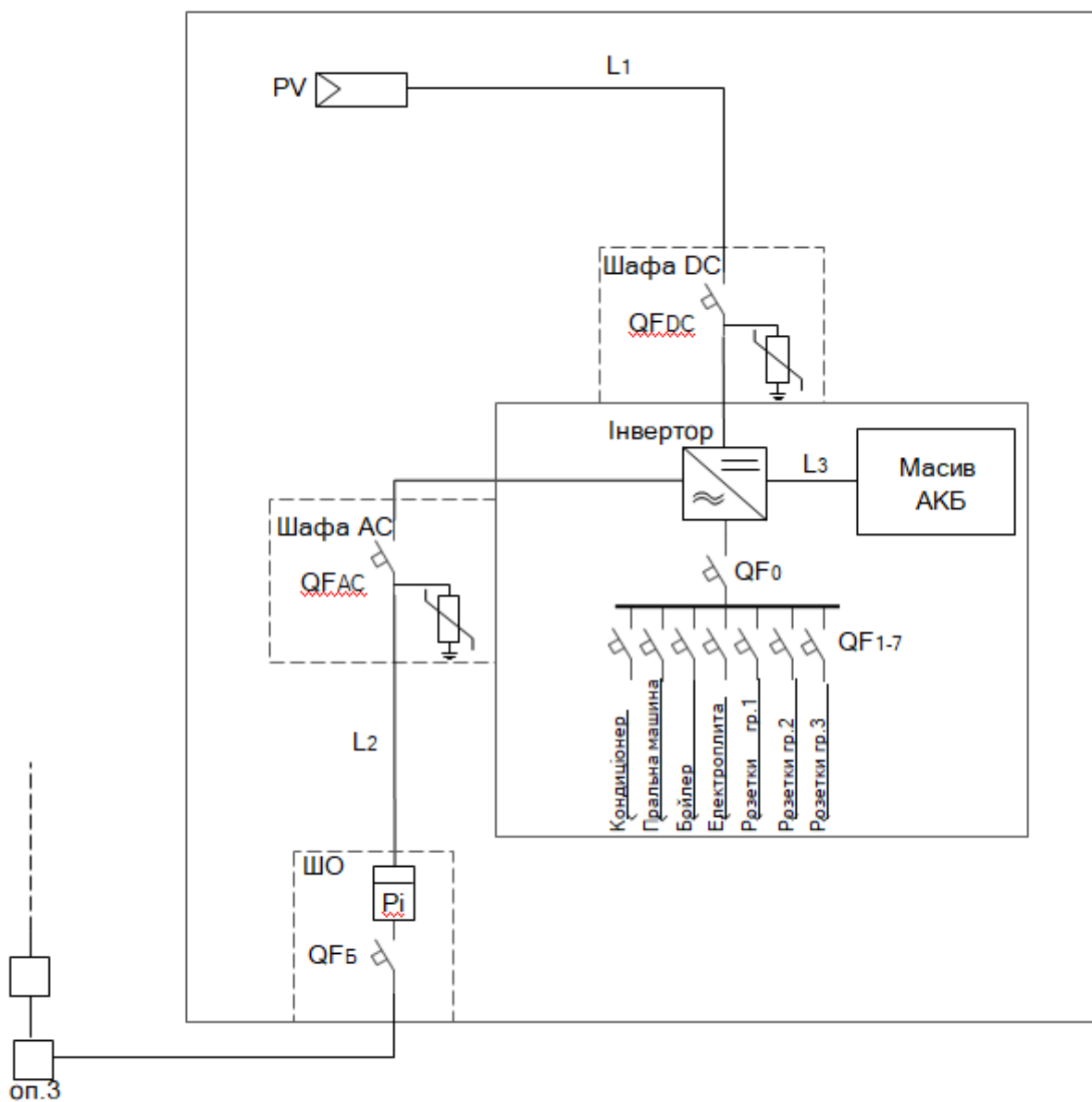


Рисунок 2.3.6 – Однолінійна схема електропостачання від гібридної СЕС

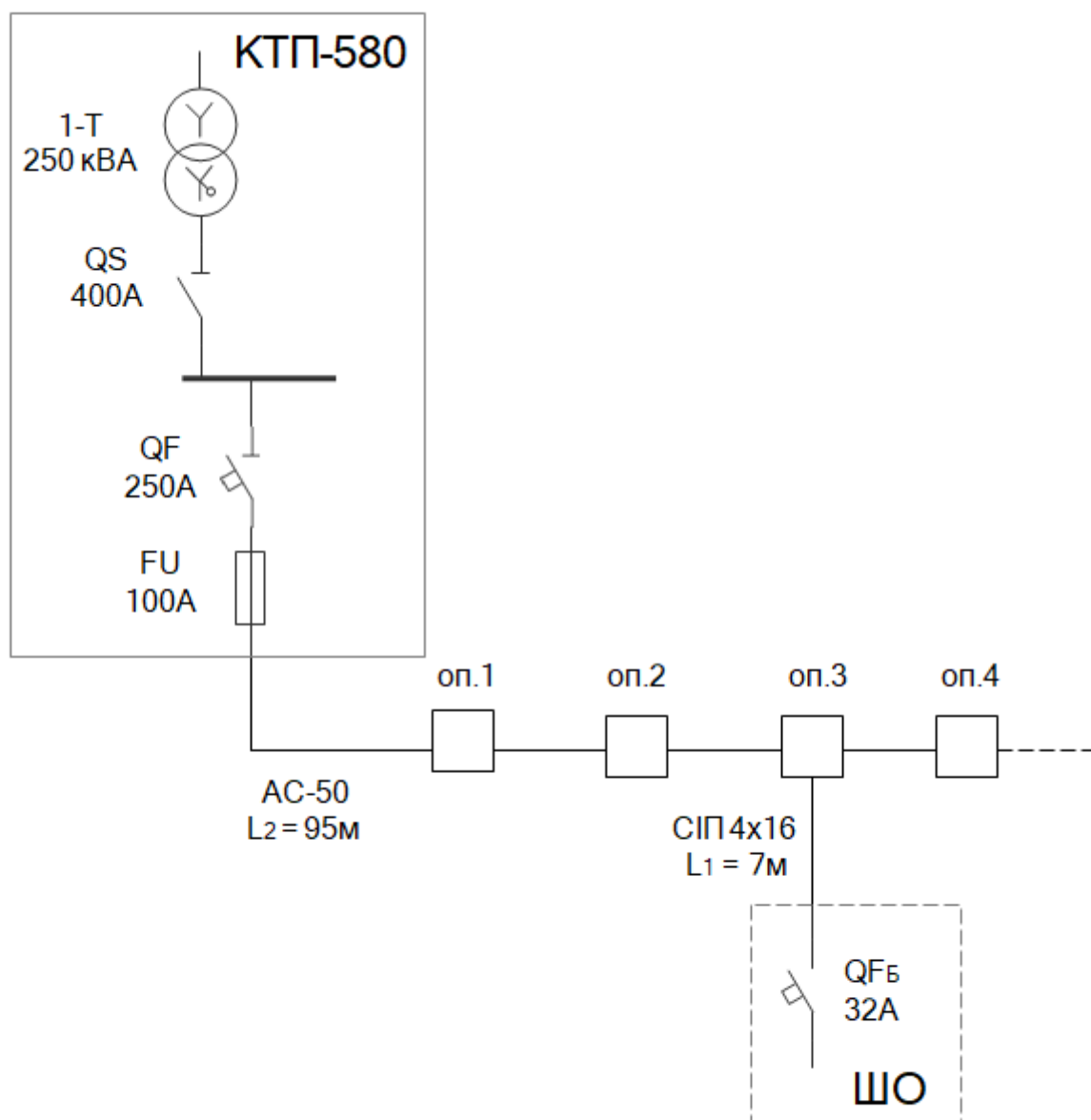


Рисунок 2.5.1 – Існуюча схема живлення будинку від КТП-580

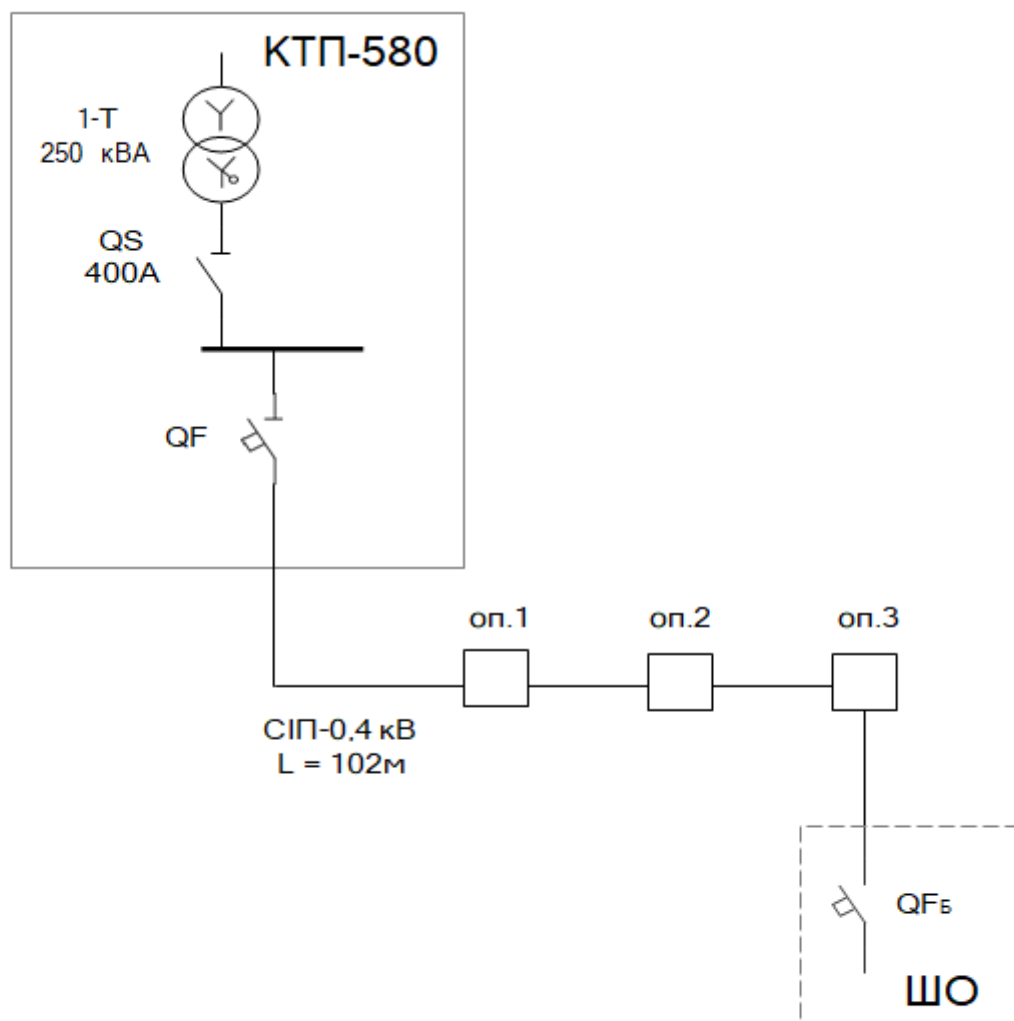


Рисунок 2.5.2 – Нова схема живлення будинку при встановленні мережної СЕС