

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

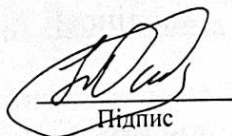
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка дахової сонячної електростанції потужністю 14 кВт

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр, назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр, назва
Освітня програма «Енергетичний менеджмент»

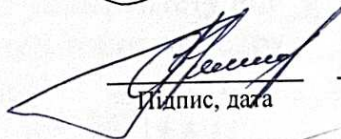
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група ЕМ-21-1


Підпис

Ю. М. Гончарук
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С. Л. Горященко
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С. І. Пузосик
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС
2 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

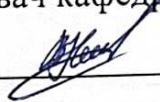
Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



2.06.2025

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гончарук Юрій Михайлович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка дахової сонячної електростанції потужністю 14 кВт

керівник роботи Горященко Сергій Леонідович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання загальної потужності СЕС 14 кВт

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Аналіз існуючих дахових електростанцій. 2. Розробка проекту дахової електростанції. 3. Розрахунки елементів конструкції дахової СЕС. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
1. Схема дахової електростанції (ДО, А1). 2. Модель дахової СЕС (ДП1, А1). 3. Система фісації панелей дахової електростанції (ВЗ, А1). 4. Моделювання роботи дахової електростанції (ДП2, А1). 5. Моделювання фісатора панелей електростанції (РР, А1). 6. Елементи сонячної електростанції (ДП3, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

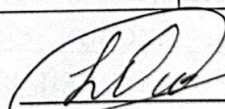
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<u>1. Аналіз існуючих дахових електростанцій</u>		
<u>2. Розробка проекту дахової електростанції</u>		
<u>3. Розрахунки елементів конструкції дахової СЕС</u>		
<u>4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</u>		

Студент


Підпис

Ю.М. Гончарук
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

С. Л. Горященко
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Гончарук Юрій Михайлович

2. Тема магістерської роботи Розробка дахової сонячної електростанції потужністю 14 кВт

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 70

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____

Вступ. 1. Аналіз існуючих дахових електростанцій. 2. Розробка проекту дахової електростанції. 3. Розрахунки елементів конструкції дахової СЕС. Висновки. Перелік джерел посилань.

Підпис студента


" 2 " 06 2025 р.

РІШЕННЯ ЕК:


Протокол 3 від " 19 " 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,0/5

Рекомендації ЕК -

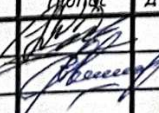


Особливі відмітки -

Технічний секретар


" 19 " 06 2025 р.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Аналіз існуючих дахових електростанцій	8
1.1 Аналіз останніх відомих схем СЕС	8
1.2 Аналіз традиційної схеми автономної сонячної електричної системи	10
1.3 Структура автономної СЕС	16
Висновки до першого розділу	19
2. Розробка проекту дахової електростанції	21
2.1 Вибір фото панелей	22
2.2 Дизайн СЕС	27
2.3 Вибір інвертора	29
2.4 Вибір пристроїв захисту	35
2.5 Вибір з'єднувальних кабелів та систем кріплення	42
Висновки до другого розділу	43
3 Розрахунки елементів конструкції дахової СЕС	45
3.1 Проектування СЕС	45
3.2 Схема підключення та захист СЕС	59
3.2 Моделювання навантаження на дах	61
Висновки до третього розділу	66
Висновки	67
Перелік джерел посилань	60
Додаток	70

БРМА 25.00.00.000 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка дахової сонячної електростанції потужністю 14 кВт.	Літ.	Арк.	Аркушів	
		Гончарук Ю						3	
		Горященко							
		Пундик							
		Неймак							
									гр. ЕМ-21-1

ВСТУП

Виробництво енергії із традиційних джерел, з огляду на дедалі більшу потребу у її кількості, негативно впливає на екологічний баланс планети. Теплові електростанції в процесі роботи виділяють значні обсяги вуглекислого газу, який спричиняє парниковий ефект і прискорює глобальне потепління. Оксиди сірки та азоту, що утворюються під час роботи станцій, потрапляють в атмосферу навіть за умови використання дорогих очисних систем. У поєднанні з атмосферною вологою ці речовини формують кислотні дощі, які руйнують ліси, зменшують рибині запаси та знижують родючість ґрунтів. Крім того, в кислій воді зростає розчинність важких металів та їхніх сполук, що створює ризик потрапляння токсичних речовин у питну воду. Ще більш непередбачуваними та небезпечними є атомні електростанції. Вони щоденно викидають близько 26 тонн радіоактивних відходів в атмосферу, що становить серйозну загрозу для довкілля. Крім цього, аварії на АЕС можуть мати катастрофічні наслідки для людства, що справедливо турбує екологів. На противагу цьому, сонячна енергетика представляє перспективний напрямок нетрадиційної енергетики, який базується на використанні невичерпного сонячного випромінювання для отримання енергії. Вона є екологічно чистою, оскільки не генерує шкідливих відходів і не завдає шкоди природі. В останні роки використання відновлюваних джерел енергії стає все популярнішим. Основними перевагами таких джерел є їхня невичерпність і екологічна безпека. Окрім того, вони допомагають забезпечити енергетичну безпеку держав, зменшити залежність від викопного палива та скоротити обсяги шкідливих викидів у навколишнє середовище. Усе це сприяє стрімкому розвитку відновлюваної енергетики як самостійної й конкурентоспроможної галузі сучасної енергетики. [1].

В умовах глибокої трансформації енергетичної системи України, пошуку шляхів до енергонезалежності, а також глобальної кліматичної кризи, що вимагає скорочення викидів парникових газів, питання широкого впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) набуває особливої ваги. Одним з найбільш

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

перспективних напрямів у цій сфері є використання дахових сонячних електростанцій (СЕС) для домогосподарств, бізнесу та муніципалітетів.

Географічне розташування України забезпечує їй достатній рівень сонячного випромінювання: середньорічне значення становить від 1000 до 1450 кВт·год/м² в залежності від регіону. Найбільший потенціал — на півдні країни, але навіть у північних областях кількість сонячних днів цілком достатня для економічно ефективної генерації.

Карта сонячної інсоляції Європи чітко демонструє, що потенціал України вищий, ніж у багатьох країнах ЄС, де дахові СЕС вже давно стали стандартом (наприклад, Німеччина, Нідерланди).

Повномасштабна війна, атаки на енергетичну інфраструктуру, ризики аварій на централізованих об'єктах та перебої з електропостачанням змусили багатьох українців шукати альтернативні джерела енергії. У такому контексті дахові СЕС виступають:

- гарантією безперебійного енергоживлення в поєднанні з акумуляторами;
- стратегічною інвестицією у власну енергетичну безпеку;
- інструментом децентралізації енергетики, що зменшує залежність від централізованих систем.

Хоча встановлення СЕС вимагає початкових інвестицій, середній термін окупності дахових станцій в Україні складає 5–7 років, а термін служби системи — понад 25 років. Поточна вартість електроенергії для населення постійно зростає, а інфляційні процеси лише посилюють привабливість енергетичної автономії.

Дахова СЕС дозволяє:

- зменшити або повністю нівелювати рахунки за електроенергію;
- генерувати прибуток у випадку підключення до мережі з можливістю продажу надлишкової енергії (зелені тарифи чи Net Billing);
- збільшити ринкову вартість нерухомості.

Дахові СЕС не виробляють викидів CO₂, не потребують палива, не спричиняють шуму чи екологічного забруднення. Перехід на локальні джерела

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

енергії допомагає Україні виконати зобов'язання згідно з Європейським зеленим курсом та угодами щодо скорочення викидів парникових газів.

Кожна 15-кіловатна система щороку зменшує викиди CO₂ на приблизно 10–13 тонн, що еквівалентно висадженню близько 400 дерев.

На відміну від великих інфраструктурних енергетичних проєктів, дахові СЕС:

- швидко монтуються (3–7 днів);
- не потребують земельної ділянки чи дозволів на зміну цільового призначення;
- масштабуються — можна почати з 5 кВт і поступово розширити систему;
- гармонійно інтегруються в міське середовище (освітні установи, лікарні, ОСББ, бізнес-центри).

Технічні переваги та надійність сучасних сонячних панелей є:

- ефективність до 21–23%;
- гарантію до 25 років;
- низькі вимоги до обслуговування (періодичне очищення);
- стійкість до погодних умов (вітер, град, сніг).

Також доступні гібридні рішення з накопиченням енергії (акумулятори), що забезпечують резервне живлення під час аварій.

Хоча програма «зеленого тарифу» поступово згорталася, у 2024–2025 роках активізувались: програми кредитування (єБанк, Energy Loan, ЄС-кредитні інструменти); підтримка ОСББ, громад і лікарень в рамках Європейського зеленого курсу; місцеві ініціативи з Net Metering або компенсації інвестицій.

Дахові сонячні електростанції в Україні — це не лише інновація, а необхідність, продиктована викликами сьогодення. Вони:

- забезпечують енергетичну автономність,
- мають високий економічний ефект,
- роблять реальний внесок у сталий розвиток країни,
- сприяють енергетичній безпеці та децентралізації.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

За умови правильної інсталяції та проектування, вони стають стратегічною інвестицією для приватних, громадських і бізнес-структур.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДАХОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Робота сонячної електростанції (СЕС) відбувається за такою схемою: сонячне світло падає на фотоелектричні модулі, які перетворюють його в електроенергію. У сонячних модулях використовуються матеріали на основі кристалічного кремнію або монокристалів. Модулі з монокристалів мають значно триваліший термін служби, а їхня продуктивність залишається стабільно високою протягом усього часу експлуатації. Кількість отриманої електроенергії залежить від ефективності модулів, їхніх розмірів, а також інтенсивності сонячного світла в місці їхнього встановлення. Після перетворення енергія передається до акумуляторної системи, яка забезпечує заряд накопичувачів енергії.

Детальний аналіз останніх схем та програм розвитку дахових і інших СЕС в Україні (станом на 2024–2025 роки) показав наявність пільгових кредитів та компенсації. А саме “Доступні кредити 5–7–9 %” для домогосподарств: кредити під 0 % на 10 років до 480 000 € для установки сонячних панелей, вітрогенераторів та акумуляторів [3]

Для ОСББ, бізнесу: кредити до 150 млн € під 5–9 % річних [3].

Приклад: установка 50 кВт СЕС приватним підприємцем із кредитом під 1 %. Є Компенсації “Green DIM” та енергоефективних програм а також фінансова підтримка до 70 % для ОСББ або до 1,5 млн € для домогосподарств .

Для багатоквартирних будинків – до 2 млн € за програмою від фонду енергоефективності .

Закон про “Відновлення та зелену трансформацію” впровадив можливість для домогосподарств генерувати для власного споживання та продавати надлишки [3]. Це сприяє децентралізації енергосистеми і забезпечує стимул для малого бізнесу інвестувати в СЕС.

З липня 2024 року скасовано митні збори та ПДВ на імпорт сонячних панелей. Це знизило капітальні витрати на ~10–20 %, зробивши проекти економічно привабливішими.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Запроваджено систему аукціонів на підтримку сонячної енергетики - 33 МВт – літо 2025, з орієнтованою ціною ~€0.08/кВт·год .

Подальші щорічні квоти: зростання до 40–50 МВт на рік до 2029 .
 Це сприяє прозорому залученню інвестицій у малу та середню генерацію.

Парламент та уряд активізували встановлення СЕС та акумуляторних систем у лікарнях, школах, адміністративних будівлях до кінця 2025 року.
 Це дозволяє забезпечити безперервне енергопостачання в критичні моменти (війна, аварії, відключення).

У 2024 році встановлено 800–850 МВт сонячних потужностей, переважно через домогосподарства та бізнес. Це — відображення ефективності заходів: пільг, податкових преференцій, кредитування та аукціонів.

Таблиця 1.1 - Підсумок схем підтримки

Схема / Інструмент	Для кого	Тип підтримки та особливості
Доступні кредити 5–7–9 %	Домогосподарства, бізнес	Пільгові ставки, тривалі терміни
Green DIM, компенсації для ОСББ	ОСББ, житло	70 % компенсацій витрат
Self-generation	Домогосподарства, підприємства	Можливість споживати і продавати
Скасування ПДВ/мита	Всі	Зниження вартості устаткування
Аукціони для сонячних СЕС	Інвестори, девелопери	Квоти та підтримка €0.08/кВт·год
Інфраструктурні проекти	Громадські будівлі	СЕС + накопичення безперебійного живлення
Міжнародне фінансування	Критична інфраструктура	Гранти/інвестиції від ЄС, США

Хоча аукціони запроваджені, на перших етапах інтерес був помірним (частково через нерозвинену інфраструктуру) .

Основна увага бізнесу залишається на самоокупних СЕС з акумулятором, особливо в регіонах з постійними відключеннями. Міжнародна допомога (ЄС, США, Японія) фінансує критичну інфраструктуру та СЕС для систем опалення, водопостачання, лікарень .

Станом на 2024–2025 роки в Україні сформовано комплексну систему стимулів для розвитку дахових і малих сонячних станцій:

Через фінансове стимулювання, податкові пільги, технічне забезпечення інфраструктури та державні та міжнародні програми.

Це спонукало до системного зростання обсягів установок (до 850 МВт у 2024 році).

СЕС стали засобом енергетичної безпеки, економічної мотивації для домогосподарств, інструментом захисту критичної інфраструктури.

1.2 Аналіз традиційної схеми автономної сонячної електричної системи

Розглянемо сучасні схеми компонування традиційних автономних сонячних електричних систем (СЕС), які не підключені до загальної енергомережі (off-grid). Такі системи особливо актуальні в сільській місцевості, при відсутності стабільного енергопостачання або для критичних об'єктів.

Стандартна автономна схема (класична off-grid) має такі складові:

- Сонячні панелі (PV-модулі) – генерують постійний струм.
- Контролер заряду (MPPT або PWM) – регулює подачу струму на батареї.
- Акумуляторна батарея (АКБ) – зберігає енергію.
- Інвертор (off-grid) – перетворює постійний струм у змінний 220/380 В.
- Споживачі електроенергії – освітлення, побутова техніка, насоси тощо.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

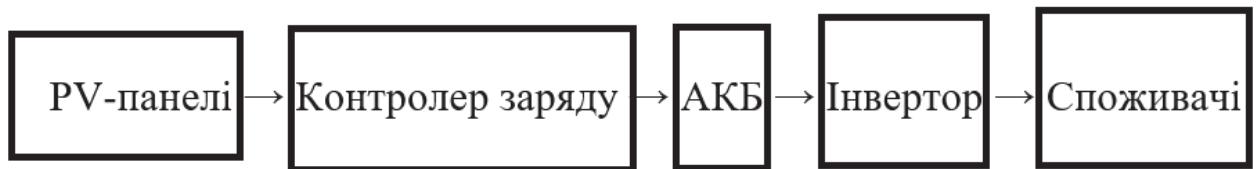


Рисунок 1.1 – Схема off-grid

Автономна система з генератором резервного живлення мають для зимового періоду або аварійного режиму бензо/дизель-генератор.

Крім того є додаткові елементи, як автоматичне реле перемикання (ATS) та зарядний пристрій для АКБ від генератора.

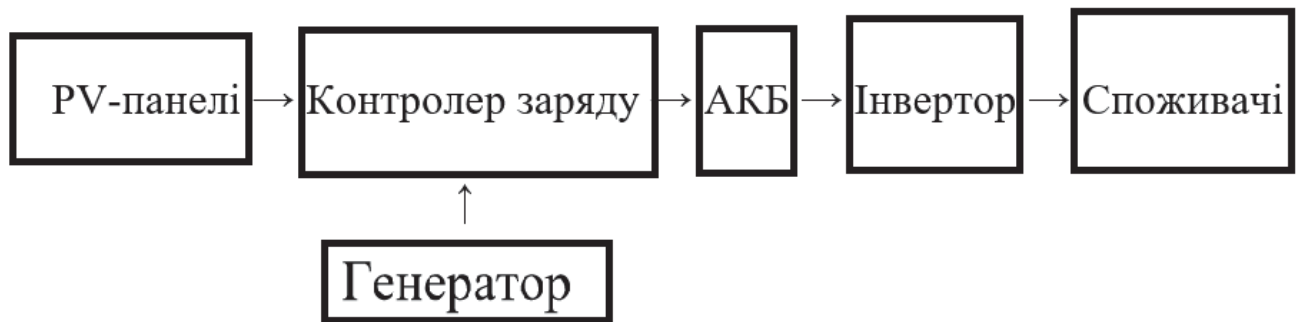


Рисунок 1.2 – Автономна система з генератором

Перевага: система не "вимикається" в разі тривалого похмурого періоду або перевищення навантаження.

Гібридна автономна система (Smart Off-grid) - це автономна система з частковим підключенням до мережі (як резерв або для підзарядки).

Перевага: саморегулююча система, можливість оновлення до on-grid або Net Metering. (табл.1.2)

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

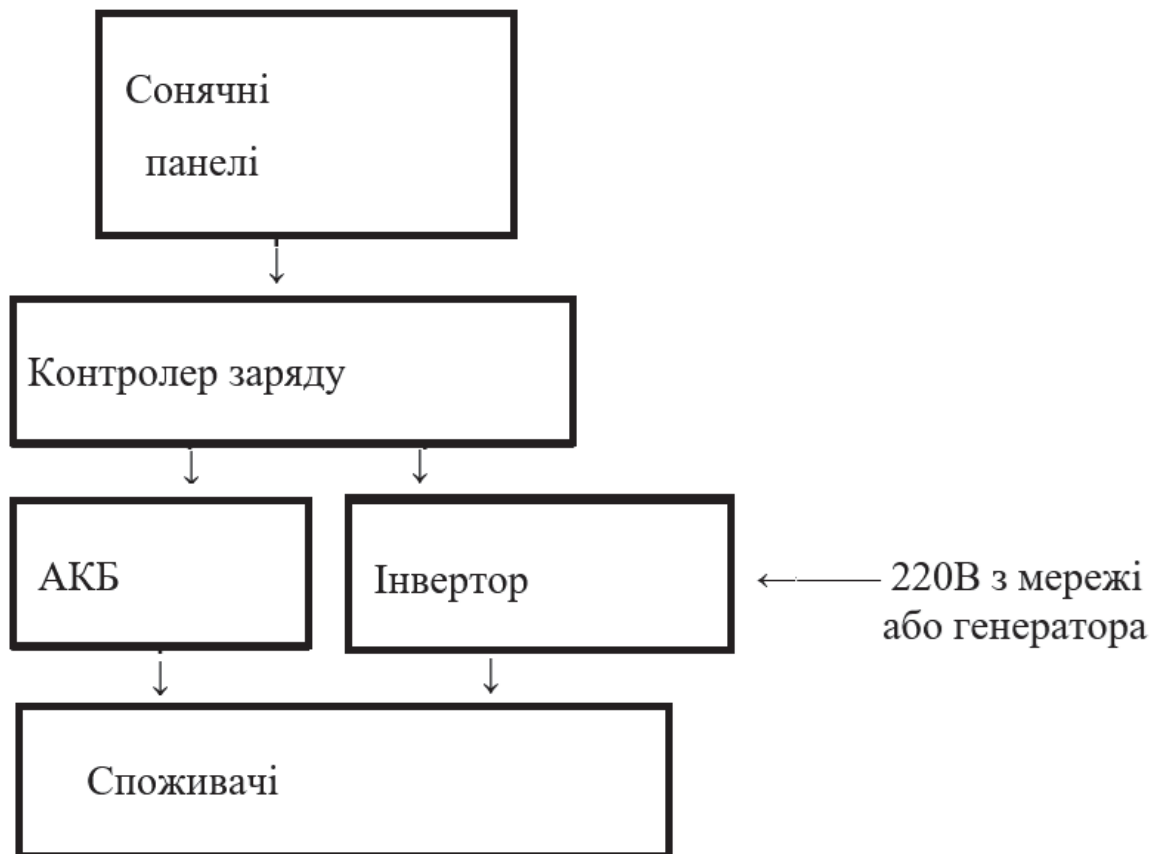


Рисунок 1.3 – Гібридна автономна система

Таблиця 1.2 - Сучасні готові рішення на ринку (модульні комплекти)

Модель	Потужність	Тип АКБ	Особливості
EcoFlow Power Kit	до 5 кВт	LiFePO ₄	Plug-and-play система для будинків і мобільних додатків
Victron Energy Smart System	3–10 кВт	GEL/LiFePO ₄	Гнучка модульна система з Bluetooth-моніторингом
Pylontech + SMA	до 15 кВт	LiFePO ₄	Модульне масштабування, преміум-комплектція
Growatt Off-grid Kit	до 10 кВт	LiFePO ₄ або AGM	Вбудований Wi-Fi, адаптивне перемикання джерел

На рисунку 1.4 показана типова структура СЕС, що складається з джерела струму (PV1), яке зображує сонячну батарею (СБ), акумуляторної батареї (АБ) та

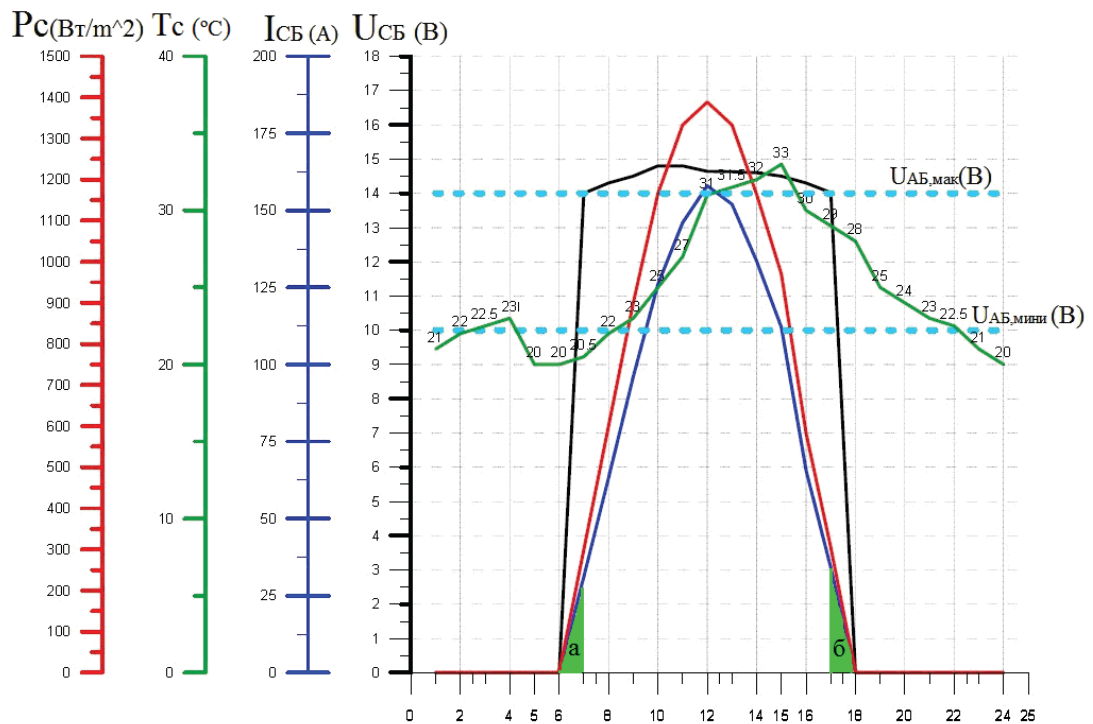


Рисунок 1.5 - Графік узгодження характеристик сонячної батареї (СБ) зі споживанням акумуляторної батареї (АБ) залежно від освітленості сонцем

Давайте розрахуємо максимальний теоретичний заряд, що може бути відданий СБ за час освітленості, використовуючи рівняння (2.23). Максимальний заряд визначається як:

$$Q_{\text{макс, СБ}} = I_{\text{ср, СБ}} * t_{\text{с}} = 70 \text{ А} * 12 \text{ год} = 840 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (1.1)$$

Далі, враховуючи втрати заряду, розберемо ситуацію, коли напруга СБ ($U_{\text{СБ}}$) є меншою за напругу АБ ($U_{\text{АБ}}$). Згідно з рис. 1.6, зазначено, що це відбувається двічі на добу, тривалість кожного разу – одна година. Втрати заряду розраховуються за формулою:

$$\Delta Q = I_{\text{макс, } \Delta} * t_{\Delta}$$

$$\text{де } \Delta Q = 50 \text{ А} * 1 \text{ год} = 25 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Відтак загальні втрати за добу становлять:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.3 Структура автономної СЕС

Для приватного домогосподарства або малого бізнесу), варто розглянути таке, що генерація електроенергії йде для власного споживання і можливість продажу надлишків у мережу.

Тип СЕС: мережеві (on-grid), автономні (off-grid), гібридні.

Розміщення СЕС: на даху будинку, гаража, господарських споруд.

Стандартна площа даху для 15 кВт: приблизно 75–90 м² (залежно від ефективності панелей).

Таблиця 1.3 - Типи дахових станцій

Тип	Характеристика	Переваги	Недоліки
Мережева (On-grid)	Працює з мережею, без акумуляторів	Найдешевший варіант, простота, можливість "зеленого тарифу"	Відсутність живлення при відключенні мережі
Автономна (Off-grid)	Має акумулятори, не підключена до мережі	Повна автономність	Дорога, потребує обслуговування батарей
Гібридна	Комбінує on-grid та off-grid	Безперебійне живлення + можливість продажу надлишків	Висока вартість обладнання

Сонячні панелі бувають монокристалічні або полікристалічні, зазвичай 400–550 Вт. Інвертор: однофазний або трифазний (Fronius, Huawei, Solis, GoodWe). Кріплення: до шиферу, металочерепиці, плоского даху. Моніторинг: Wi-Fi модуль, онлайн додатки. Батареї: LiFePO₄ або гелеві (для автономних чи гібридних).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Типові характеристики систем СЕС потужністю до 15 кВт зведені до таблиць 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4 - Типові характеристики СЕС потужністю до 15 кВт

Характеристика	Значення
Кількість панелей	25–35 шт по 400–550 Вт
Площа даху	~75–90 м ²
Орієнтація	Південь або південний схід/захід
Кут нахилу	25–35° (оптимально для України)
Річна генерація	~15 000–18 000 кВт·год/рік
Окупність	5–7 років (залежно від тарифу та споживання)

Таблиця 1.5 - Приклади готових рішень в Україні (станом на 2024–2025 р.)

Назва комплекта	Потужність	Інвертор	Панелі	Ціна (орієнтовно)
SetkaSolar 15 кВт	15 кВт	Solis 15K	Longi 450 Вт	~7 000–9 000 \$
Тепло-Group Hybrid	10–15 кВт	Huawei Hybrid	Jinko 550 Вт	~10 000–13 000 \$
UASolar Eco	12–15 кВт	Fronius	JA Solar	~8 000–10 000 \$

Зелений тариф (якщо доступний): близько 0.16–0.18 €/кВт·год для фізичних осіб. Економія на електроенергії: 2 000–3 000 \$/рік.

Термін служби панелей: 25+ років, деградація 0.5-1%/рік.

Обслуговування: мінімальне (перевірка, миття панелей 1–2 рази на рік).

У 2025 р. технології стають дешевшими, а ефективність панелей зростає, що скорочує термін окупності.

Попередній розрахунок річної генерації для дахової сонячної електростанції потужністю до 15 кВт може бути наступний.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Основна формула розрахунку річної генерації електроенергії (E , кВт·год) розраховується за формулою:

$$E = P_{\text{системи}} \times H_{\text{регіону}} \times KE$$

де:

- E — річна генерація (кВт·год);
- $P_{\text{системи}}$ — встановлена потужність станції (кВт);
- $H_{\text{регіону}}$ — середня кількість сонячних годин на рік у регіоні (кВт·год/кВт);
- KE — коефіцієнт ефективності системи (з урахуванням втрат), зазвичай 0.75–0.85.

Таблиця 1.6 - Приблизні сонячні години на рік в Україні

Регіон	Сонячна генерація регіону, кВт·год/кВт
Південь (Одеса, Херсон)	1 350–1 450
Центр (Київ, Вінниця, Дніпро)	1 200–1 300
Захід (Львів, Ужгород)	1 100–1 200
Північ (Чернігів, Суми)	1 000–1 150

Отже $E = 15 \text{ кВт} \times 1250 \text{ кВт} \times 0.8 = 15\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$

Таблиця 1.7 - Розрахунки по регіонах (таблиця)

Регіон	Регіону кВт·год/кВт	Річна генерація EE , кВт·год
Одеса	1 400	$15 \times 1\,400 \times 0.8 = 16\,800$
Київ	1 250	$15 \times 1\,250 \times 0.8 = 15\,000$
Львів	1 150	$15 \times 1\,150 \times 0.8 = 13\,800$
Чернігів	1 100	$15 \times 1\,100 \times 0.8 = 13\,200$

1.4 Висновки до першого розділу

1) Проведено аналіз основних компонентів СЕС.

Традиційні автономні СЕС все частіше:

- поєднують сонячну генерацію з накопиченням енергії та резервним генератором;
- використовують розумні інвертори для ефективного керування живленням;
- модульні системи дозволяють легко масштабувати потужність;
- все частіше застосовуються в Україні в умовах нестабільного електропостачання.

На що звернути увагу при компопуванні автономної системи:

- Добове споживання енергії (кВт·год): потрібно для підбору батарей та кількості панелей.
- Тип і ємність АКБ: LiFePO₄ – довговічна, гелева – дешевша.
- Контролер заряду: МРРТ має ефективність до 98% (краще за PWM).
- Запас енергії в батареях: не менше 2–3 днів середнього споживання.

Перенавантаження: інвертор має витримувати пікові навантаження (наприклад, запуск насоса чи холодильника).

2) Обрано структуру СЕС із найпростішим рішенням для захисту та управління акумуляторною батареєю (АБ) без використання перетворювача напруги між сонячною батареєю (СБ) і АБ. Попри оптимальний кут нахилу СБ до сонячного випромінювання в $\beta=23^\circ$, який забезпечує річний прихід сонячної енергії 1977 кВт·год/м², вибір встановлення СБ на даху з кутом нахилу $\beta=40^\circ$ призводить до трохи меншого показника — 1906 кВт·год/м², однак такий варіант гарантує кращий захист від атмосферних опадів. Встановлення СБ на дахах підходить для застосування у віддалених регіонах М'янми. 2. Підтверджено можливість створення СЕС без проміжного перетворювача напруги між СБ і АБ, що є актуальним для умов тропічного клімату. 3. На основі статистичного аналізу

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

обрано гелеву АБ серед семи типів за такими критеріями: мінімальні вимоги до обслуговування та максимальна енергетична щільність до 180 Вт/кг. Також розроблено метод захисту АБ від перенапруги шляхом короткого замикання СБ.

3) Фактори, що впливають на К (ефективність системи):

- Кут нахилу панелей (оптимум $\sim 30^\circ$);
- Орієнтація на південь;
- Затінення (дерева, димарі тощо);
- Якість інвертора та ефективність перетворення;
- Пил і сніг (регулярне очищення підвищує продуктивність).

4) Обрано річний графік навантаження для нашого регіону, що представлено на рис.1.8

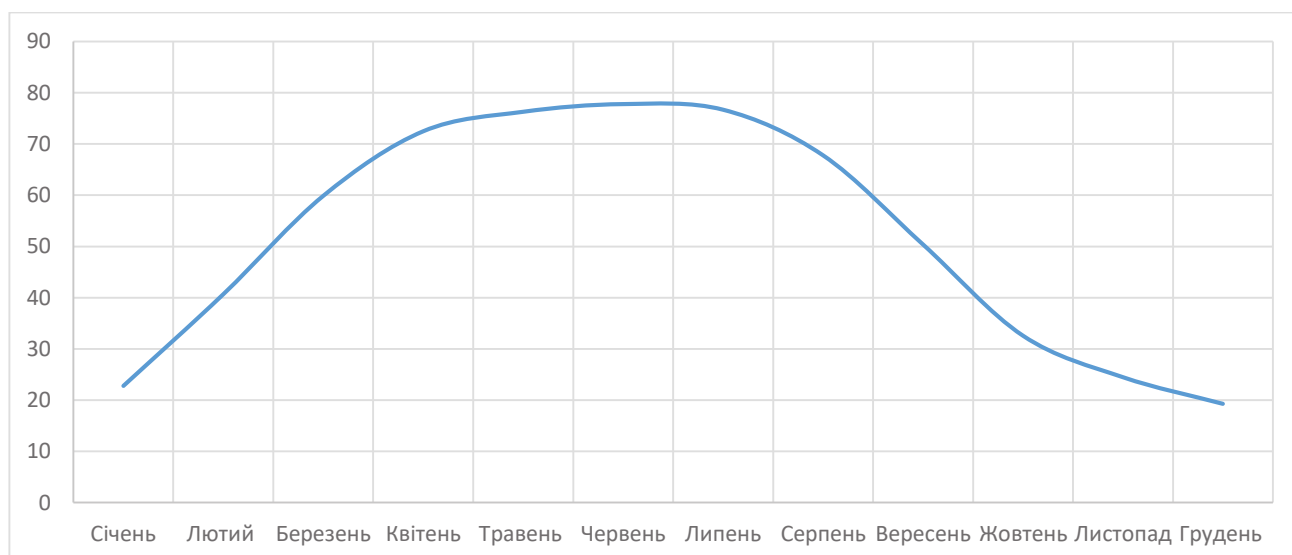


Рисунок 1.8 – Графік Сонячного випромінювання для регіону м. Хмельницький

2. РОЗРОБКА ПРОЕКТУ ДАХОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Сонячна електростанція являє собою інженерну споруду, яка слугує для перетворення енергії сонця в електричну. Особливості цього процесу залежать від застосованої технології, що визначає специфіку побудови такої електростанції. Залежно від принципів роботи, сонячні електростанції поділяються на два основні види: 1. Фотоелектричні — перетворюють сонячну енергію безпосередньо в електричну за допомогою фотоелектричних панелей. 2. Термодинамічні — спочатку акумулюють сонячну енергію у вигляді теплової, а потім перетворюють її в електричну. Основними компонентами сонячної електростанції є:

- 1) Фотоелектричні панелі або сонячні модулі, які здійснюють перетворення сонячної енергії в електричну.
- 2) Контролер управління, що запобігає перевантаженню системи та зворотному потоку струму в нічний час.
- 3) Акумулятор, який зберігає вироблену енергію для подальшого використання.
- 4) Інвертор, що перетворює постійний струм від сонячних панелей на змінний струм для живлення побутових приладів.
- 5) Електричний лічильник, який фіксує обсяг виробленої енергії для загальної мережі або для використання за необхідності.

Дахова сонячна електростанція на 14 кВт, здатна виробляти до 70 кВт*год на добу, призначена для використання спільно з міською електромережею. Вона не потребує акумуляторних батарей, що забезпечує швидку окупність системи. Принцип дії мережевих електростанцій базується на інтеграції енергії, яку виробляють сонячні панелі, в вашу мережу, забезпечуючи додаткове навантаження або економію електроенергії. Принцип роботи мережевої електростанції Система працює паралельно з існуючою мережею (однофазною або трифазною). У процесі роботи енергія від сонячних панелей відразу додається до вашої лінії живлення від міської мережі. Пріоритет завжди отримує

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

енергія від сонця. Якщо її недостатньо для живлення побутових приладів, використовується енергія з міської мережі. Наприклад, якщо ваше навантаження становить 5 кВт, а сонячні панелі генерують до 3 кВт, то 3 кВт забезпечує сонце, а 2 кВт – міська мережа. Якщо споживання становить 1 кВт, а панелі генерують до 3 кВт, то 1 кВт йде від сонця, решту 2 кВт інвертор розсіює завдяки спеціальному трифазному лічильнику контролера надлишків. Після підключення електростанції за законом про мікрогенерацію ці надлишки можна продавати назад в міську мережу.

Виробництво електроенергії мережева сонячна електростанція потужністю 14 кВт демонструє наступні показники: у літній період, за статистичними даними, згенерована потужність може досягати до 70 кВт·год на добу. У зимовий період – до 18 кВт·год на добу. Середньорічне вироблення становить приблизно 50 кВт·год на добу, а загальний річний обсяг виробленої енергії складає до 16000 кВт·год. За умови тарифу 4.6 грн/кВт, термін окупності сонячної електростанції становить близько 5-6 років. Гарантований термін служби системи складає 20 років. Показники є приблизними та варіюються в залежності від географічного положення станції. Наведені дані передбачають розташування панелей строго на південь під зенітним кутом 37 градусів для місцевості. Важливо враховувати, що зазначені значення дійсні лише за умови повного споживання виробленої енергії. Ефективність системи залежить також від метеорологічних умов, зокрема інсоляції в конкретному регіоні та конкретному періоді року. У зимовий час оптимальна робота системи можлива лише за регулярного очищення панелей від снігу.

Монтаж мережевої сонячної електростанції вимагає правильного розташування панелей на південній стороні під відповідним кутом. Установку слід уникати в місцях із частковим чи повним затіненням, оскільки це суттєво впливає на денну генерацію електроенергії. Панелі можуть бути встановлені на даху будівель. Для монтажу вам знадобиться комплект кріплень для 10 сонячних панелей у кількості 4 шт.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.1 Вибір фото панелей

Полікристалічні сонячні панелі (рис. 2.1), виготовлені з пресованих кристалів різноманітної форми, іноді називають багатокристалічними фотоелементами. Їх виробництво є значно дешевшим порівняно з іншими типами. Втім, ефективність цих панелей, яка визначається перетворенням світлової енергії в електричну, становить лише 10-16 %. У полікристалічному кремнії кристали мають агрегатну структуру, проте вони відрізняються орієнтацією та формою. На відміну від темних матеріалів монокристалічних панелей, полікристалічні елементи вирізняються яскраво-синім забарвленням. Завдяки вдосконаленому виробничому процесу, електричні характеристики цих панелей лише незначно поступаються монокристалічним аналогам [3, 6].

HPBC cells

ККД до **23,3%**



Рисунок 2.1 – Приклад сонячної панелі

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Основним матеріалом для виготовлення сонячних панелей є кристалічний кремній. Монокристалічні панелі створюються з максимально очищеного кремнію, через що їхня технологія виробництва є дорожчою, а вартість відповідно вищою в порівнянні з полікристалічними. Проте їх коефіцієнт корисної дії (ККД) також суттєво більший, становлячи 17-22% проти 15-18% у полікристалічних аналогів. Крім того, розрізняються швидкістю деградації матеріалів. Хоча монокристалічні модулі й деградують трохи швидше (3% проти 2% за перший рік і близько 0,71% проти 0,67% у наступні роки), ця різниця не є критичною. Тому, попри вищу ціну та рівень деградації, вибір монокристалічних панелей обґрунтований їхньою вищою продуктивністю. Остаточний вибір фотомодулів також залежатиме від їх типорозміру. Зазвичай виділяють два основні типорозміри сонячних панелей:

- Перший типорозмір: складається з 60 фотокомірок (розміри 1650 мм x 991 мм)

- Другий типорозмір: складається з 72 фотокомірок (розміри 1950 мм x 991 мм)

Розрахуємо максимальну кількість модулів, які здатні поміститися на ділянках даху для досягнення оптимальної потужності. Наприклад, дах із розмірами 10,0 м x 4,07 м дає можливість встановити 24 фотомодулі першого типорозміру або 20 фотомодулів другого. Відповідно, розрахунок загальної потужності здійснюється за спеціальною формулою 2.1:

$$P_{\text{макс}} = P \cdot n, \quad (2.1)$$

де P – одинична потужність фотомодуля;

n – кількість фотомодулів;

$$P_{\text{макс}} = 495 \cdot 30 = 14800 \text{ Вт.}$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Обираємо панелі II типорозміру. З огляду на все вище сказане обираємо фото панелі JA SOLAR 495 Wp, Mono, технічні характеристики яких наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики сонячної панелі JA Solar JAM54D40-450/LB 495Wp

Максимальна потужність (фільтр), Вт:	400
Тип кристалу:	Монокристалічні
Тип установки:	Стаціонарна
Виконання:	Фіксовані
Конструкція:	Двосторонні (Bifacial)
Максимальна потужність (точний), Вт:	490
Напруга відкритого ланцюга, В:	39,3
Макс. робоча напруга, В:	32.82
Струм короткого замикання, А:	14,48
ККД фотомодуля, %:	22,5
Кількість елементів, шт:	108
Перетин кабелю, мм ² :	4
Ступінь захисту:	IP 68
Тип роз'єму:	QC 4.10-351/MC4-EVO2A
Робоча температура, ° С:	-40...+85
Висота, мм:	2094
Ширина, мм:	1134
Глибина, мм:	30
Маса, кг:	24
Гарантія, міс:	144 (12 років)

Орієнтація сонячних панелей безпосередньо залежить від вашого географічного розташування, тобто від того, чи проживаєте ви в північній чи південній півкулі. У північній півкулі загальноприйняте правило рекомендує

спрямовувати панелі на географічний південь, у той час як у південній півкулі їх варто спрямовувати на географічний північ. Це пояснюється тим, що саме ці напрямки дозволяють максимально ефективно вловлювати пряме сонячне світло протягом дня. Важливо враховувати різницю між магнітним і географічним (справжнім) півднем, щоб уникнути помилок. Компас завжди вказує на магнітний південь, який орієнтований на магнітний полюс Землі. Проте для встановлення сонячних панелей необхідно орієнтуватися саме на географічний південь або, іншими словами, в напрямку Південного полюса. Те саме правило діє щодо магнітної та географічної півночі.

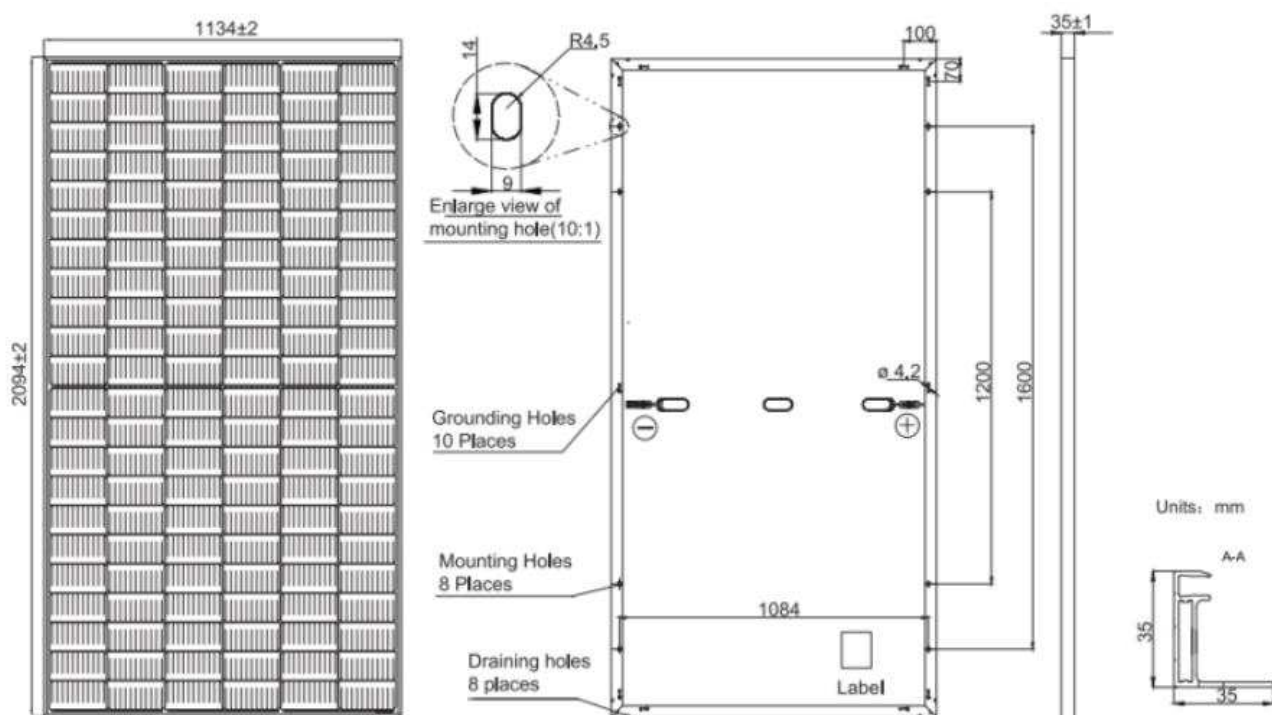


Рисунок 2.1 – Панелі JA SOLAR 495 Wp, Монокристалічний сонячний модуль JAM66S30-495/MR

Залежно від цілей використання сонячних панелей, їх орієнтацію можна корегувати. Наприклад, в деяких випадках доцільно повертати їх від строго південного напрямку до південного заходу. У той час як орієнтація строго на південь дозволяє зібрати більше сонячної енергії загалом, зміщення в бік може бути вигідним для генерації максимальної енергії в потрібні періоди доби.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для максимального виробництва електроенергії слід встановлювати сонячні батареї під кутом. Рекомендовано широту, що вашого місця розташування. Якщо широта становить 40 градусів, то і кут нахилу панелей має бути 40 градусів. Чим ближче до екватора, тим більш вертикальними повинні бути сонячні панелі. В регіонах ближче до полюсів панелі слід нахилити в бік екватора. На кут нахилу також можуть впливати погодні умови та навколишнє середовище. У районах з рясним снігопадом сонячні промені можуть відбиватися або блокуватися, через що панелі з меншим нахилом отримують менше світла.

Основною метою правильного налаштування кута нахилу сонячної панелі є максимізація вироблення енергії, щоб забезпечити роботу всіх побутових приладів на сонячній енергії. Оскільки положення сонця змінюється протягом дня, визначити оптимальний кут нахилу панелей може бути непросто. Для досягнення максимальної ефективності рекомендується встановити панелі під кутом 60 градусів, що дозволить отримувати більше енергії. Оптимальний кут змінюється залежно від сезону: навесні найкраще підходить кут у 45 градусів, а влітку варто знижувати його до 20 градусів для забезпечення максимальної продуктивності.

2.2 Дизайн СЕС

Багато спеціалістів, які займаються самостійними проектами, часто стикаються із питанням змішування сонячних панелей, що відрізняються за напругою, потужністю чи виробником. Хоча не рекомендується поєднувати різні сонячні батареї, це все ж можливо, якщо ретельно розглянути електричні характеристики кожної панелі, зокрема напругу, потужність та струм. Якщо плануєте з'єднати панелі від різних виробників, самі постачальники не становлять проблеми. Основною проблемою є різниця в електричних характеристиках панелей та їхнє погіршення продуктивності. Зазвичай сонячні панелі об'єднують для збільшення виробленої енергії. Підключення кількох сонячних панелей в послідовному, паралельному чи комбінованому режимах є ефективним і

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

доступним способом створити економічно вигідну систему, яка згодом дозволить додати більше панелей для задоволення щоденних електричних потреб.

Для розташування панелей СЕС маємо на даху будинку певні ділянки. Панелі на них будуть розміщуватися горизонтально. Але є 2 ряди по 10 панелей і 2 ряди по 5 панелей в 1 ряд. На рис. 2.2 зображена схема послідовного з'єднання 30 панелей – 2 ряди по 10 та 2 по 5 панелей.

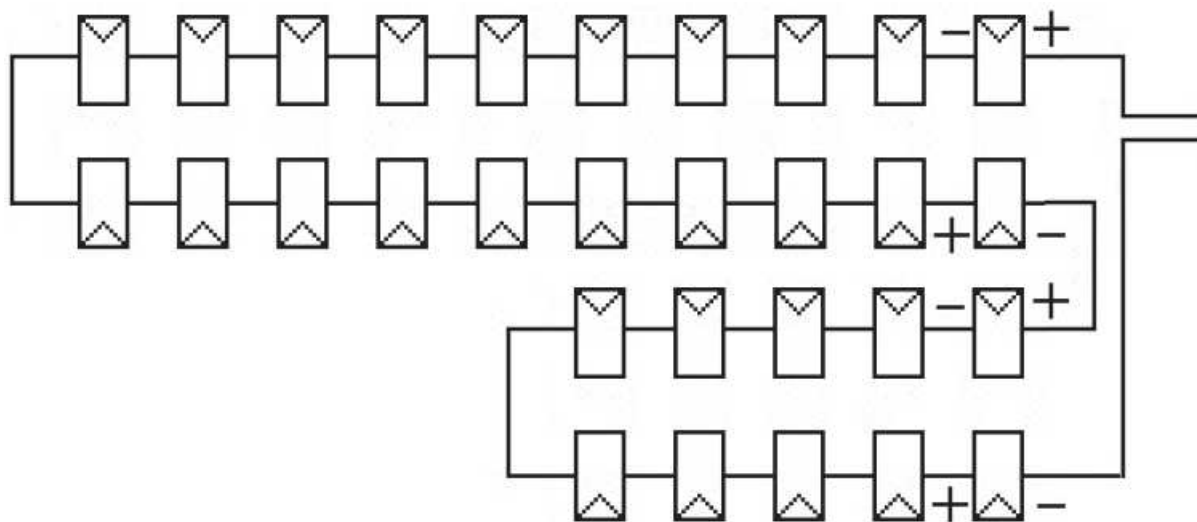


Рисунок 2.2 – Зібрані 30 електричних панелей

Модель будинку була розроблена у програмному середовищі SolidWorks з розміщеними на даху розташованими панелями зображена на рис. 2.2

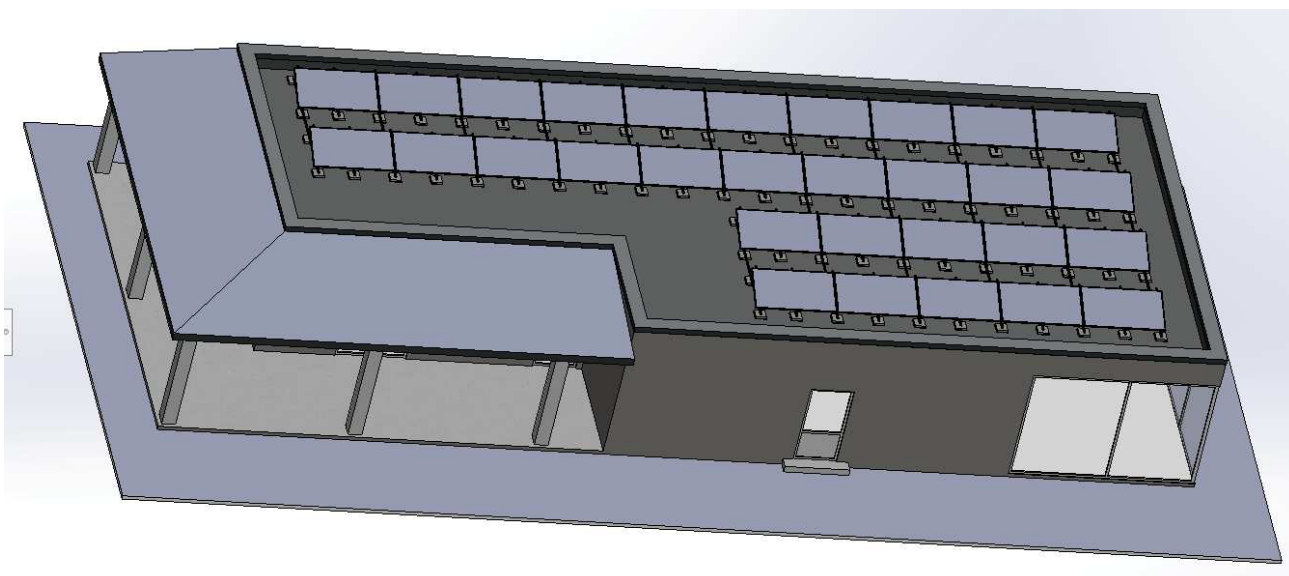


Рисунок 2.2 – Модель будинку з розміщеними на даху панелями

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

27

2.3 Вибір інвертора

Інвертор перетворює постійний струм (DC) з панелей у змінний струм (AC), який може використовуватись у побуті або передаватися в електромережу. Відомі типи інверторів можна звести до таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Основні типи інверторів

Тип	Для кого	Особливості
Мережевий (On-grid)	Стандарт для СЕС, підключених до мережі	Висока ефективність, дешевший, не працює при відключенні мережі
Гібридний (Hybrid)	Для споживачів з нестабільною мережею	Працює як з мережею, так і з акумуляторами
Автономний (Off-grid)	Для повної незалежності від мережі	Потрібні батареї, не може продавати в мережу

Критерії вибору інвертора для СЕС до 15 кВт показані у таблиці 2.3, а найбільш популярні у таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 - Критерії вибору інвертора для СЕС

Критерій	Що врахувати
Потужність інвертора	Має відповідати або бути трохи меншою за загальну потужність панелей (наприклад, 13–15 кВт на 15 кВт панелей)
Кількість МРРТ трекерів	2 і більше для оптимізації роботи різних масивів панелей (схід–захід, часткове затінення)
Фазність	1-фазний або 3-фазний залежно від підключення
Ефективність (η)	Бажано $> 97\%$
Моніторинг	Наявність Wi-Fi або Ethernet, мобільний додаток

Сумісність акумуляторами	з	Якщо планується гібридна система
Гарантія підтримка	та	Оптимально 5–10 років, локальний сервіс

Таблиця 2.4 - Популярні моделі інверторів для 14 кВт систем

Модель	Тип	MPPT	Фаза	Ефективність	Ціна (USD)	Особливості
Huawei SUN2000- 15KTL-M2	Гібрид	2	3	98.6%	~1 400–1 700	Smart Logger, Wi-Fi, сумісність з батареями
Fronius Symo 15.0- 3-M	Мережевий	2	3	97.8%	~1 600–1 900	Надійний, підтримка в Україні
Solis 15K 3G	Мережевий	2	3	97.5%	~1 000–1 300	Економічний, стабільний
GoodWe GW15KT- DT	Гібрид	2	3	98%	~1 300–1 600	Працює з LiFePO ₄ , моніторинг
Victron MultiPlus + SmartSolar MPPT	Автономний	1–2	1 або 3	96–97%	2 000+	Для автономних і резервних систем

Рекомендації залежно від задачі: Максимальна окупність+ підключення до мережі = On-grid (Solis, Fronius), Енергонезалежність + акумулятори = Гібрид (Huawei, GoodWe); Повна автономність, без мережі = Off-grid (Victron, Growatt); Високотехнологічний моніторинг = Huawei, Fronius, Victron.

										Арк.
										29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА 25.00.00.000 ПЗ					

Підсумок:

Найкращим вибором для універсального застосування є гібридний інвертор потужністю 13–15 кВт, з Wi-Fi та MPPT 2+.

Щодо кількості фаз, враховуючи особливості українських електромереж, потужність однофазного інвертора не повинна перевищувати 7 кВт. З огляду на те, що обрана конфігурація панелей забезпечує номінальну потужність станції до 15 кВт, оптимальним варіантом буде трифазний інвертор. Також важлива кількість MPPT трекерів. Так як планується розмістити на двох частинах даху 4 ряди панелей, то інвертор повинен мати щонайменше два трекери.

У нашому випадку потужність змінного та постійного струму не має особливого значення, оскільки сумарна потужність станції не перевищує номінальних 15 кВт, які підтримують інвертори. Серед додаткових критеріїв вибору варто виділити комунікативні функції, наприклад, доступ до онлайн-ресурсів для швидкої діагностики, аналізу та порівняння даних у реальному часі, а також представлення цих даних у зручному форматі. Крім того, важливим аспектом є наявність вбудованих систем електрозахисту. Однак, цей параметр не можна вважати вирішальним, оскільки вихід із ладу захисту, інтегрованого в інвертор, часто потребує його відправлення до спеціалізованих сервісних центрів. Це пов'язано з тим, що споживачі не мають доступу до внутрішніх компонентів інвертора і не можуть самостійно замінити пошкоджені деталі.

Зважаючи на всі ці аспекти, одним із доцільних варіантів є інвертор Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2, HV, 160-700В, АС-15 кВт, PV-19,5 кВт, 3 фази. Deye зарекомендувала себе як виробник надійної техніки.

Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 – це трифазний гібридний високовольтний інвертор, спеціально розроблений для роботи у сонячних електростанціях. Призначений для перетворенні постійного струму (DC), який генерують сонячні панелі, у змінний струм (AC) - 230 В, 50 Гц, що потрібно для живлення побутових електроприладів. Крім того такий інвертор поєднує можливості звичайного мережевого інвертора із додатковими функціями, зокрема зарядкою акумуляторів та підтримкою автономної роботи без доступу до

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

мережі. Таким чином, він здатний забезпечити стабільне живлення обладнання навіть при відсутності зовнішнього джерела електроенергії. Сфери застосування Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 є досить широкими, оскільки пристрій здатний забезпечувати високу потужність і ефективність енергоперетворення. Найбільш характерні галузі використання:

- Сонячна енергетика: за допомогою інвертора здійснюється підключення сонячних панелей до загальної електромережі.

- Медична апаратура: живлення обладнання, такого як лазери або апарати МРТ, із потребою в якісному та стабільному струмі.

- Інфраструктура: обслуговування систем освітлення, сигналізації, транспорту, вентиляції та кондиціонування.

- Промисловість: живлення високопотужних двигунів, що використовуються на виробництвах.

- Інформаційні технології: забезпечення роботи серверних центрів та інших великих ІТ-систем.

- Електричні мережі: балансування навантаження та зниження енергетичних втрат у системах.

- Будівельна сфера: постачання енергії для будівельних інструментів і установок.

Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 має потужність 15 кВт і підтримує використання високовольтової технології, що має наступні переваги у порівнянні з низьковольтними:

1. Збільшена ємність акумуляторів – можливість зберігати більше енергії для тривалішого забезпечення пристроїв безперебійним живленням.

2. Менший струм заряду й розряду – сприяє зниженню теплового навантаження на батареї та продовженню їхнього терміну служби. Додатково це дозволяє скоротити втрати енергії й знизити вартість підключення через використання тонших кабелів. Цей інвертор має наступні особливості та функції:

- Трифазне з'єднання з чистою синусоїдою (380-400 В), що гарантує стабільну роботу чутливого обладнання.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- Автоматичне заряджання батарей та подача надлишків енергії в мережу. Завдяки цьому система підтримує постійне живлення навіть при перебоях з електропостачанням.

- Автоматичне перезавантаження після відновлення електрики.

- Гнучке налаштування пріоритету джерела енергії – можна обрати між батареєю або мережею для економії ресурсів.

- Підтримка різних режимів роботи: від мережі, автономно чи у складі джерела безперебійного живлення (ДБЖ).

- Можливість програмування напруги та струму зарядки акумуляторів через додаток або РК-дисплей.

- Сумісність як із електромережею, так і з генераторами для гарантування безперебійного переключення.

- Захист від перевантажень, перегріву і коротких замикань для безпечної експлуатації пристрою.

Функція обмеження потужності запобігає надмірному потраплянню енергії в мережу: Інвертор обладнаний системою обмеження потужності, яка не допускає переливу надлишкової енергії в електромережу. Це значно знижує ризик пошкодження обладнання. Підтримка WIFI-моніторингу та інтегровані струни для MPPT-трекерів: Інвертор підтримує підключення до мережі через WIFI-модуль, що дозволяє здійснювати дистанційний контроль за його роботою. Крім того, пристрій має вбудовані 2 канали для одного MPP-трекера та ще один для іншого MPP-трекера, що забезпечує ефективне підключення сонячних панелей і максимальну продуктивність.

Розумна триетапна зарядка MPPT для оптимізації батареї: Завдяки технології максимального відстеження точки потужності (MPPT), інвертор Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 гарантує ефективну зарядку акумуляторів. Система автоматично визначає максимальну потужність сонячних панелей і динамічно коригує параметри напруги та струму, щоб досягнути найкращої ефективності зарядки.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Функція обліку часу роботи інвертора дозволяє відслідковувати тривалість роботи пристрою, кількість виробленої енергії та обсяги споживання. Завдяки такому обліку користувач отримує детальний аналіз енергоспоживання й продуктивності інвертора. Це допомагає оптимально керувати використанням електроенергії та зменшувати витрати.

Система розумного навантаження у інверторі Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 обладнана функцією автоматичного управління енергоспоживанням від підключених пристроїв. Наприклад, у разі виникнення надлишків енергії, інвертор забезпечує її розподіл між різними підключеними навантаженнями. Пристрій також має спеціальний GEN-порт для підключення таких зовнішніх приладів, як бойлер. Робота функції розумного навантаження дозволяє підтримувати баланс між виробництвом та споживанням енергії. У разі наявності додаткової енергії вона може бути спрямована на бойлер, тим самим підвищуючи ефективність використання ресурсу та скорочуючи залежність від централізованої мережі.

Таблиця 2.5 – Основні характеристики Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2

Кількість фаз	3
Номінальна потужність	15000 Вт
Пікова потужність	22500 Вт
Номінальна вхідна напруга	600 В
Струм заряджання АС, А	37
Максимальна потужність панелей, Вт	19500 Вт
ККД	97.6 %
Тип охолодження	Активне
Тип підтримуваних акумуляторів	LiFePO4, Li-ion
Температура експлуатації	-40...+60

Значення змінної та постійної напруги показані у таблицях 2.6 та 2.7.

Орієнтовна вартість – 72 000 грн.

Таблиця 2.6 – Характеристики змінної напруги

Повна потужність	15000 ВА
Номінальна напруга	380/220 В
Мінімальна робоча напруга	150 В
Максимальна робоча напруга	600 В
Мінімальна частота мережі	45 Гц
Максимальна частота мережі	65 Гц
Номінальна частота мережі	50 Гц

Таблиця 2.7 – Характеристики постійної напруги

Максимальна потужність фотомодулів	22500 Вт
Максимальна вхідна напруга	850 В
Номінальна робоча напруга	400 В
Максимальний струм заряджання АС + PV, А	39
Кількість MPPT трекерів	2
Максимальна потужність на MPPT трекер	11250 Вт
Максимальний струм на MPPT трекер	37 А

2.4 Вибір пристроїв захисту

Система захисту сонячної електростанції (СЕС) зазвичай включає два основних компоненти: щити захисту для постійного струму (DC) та змінного

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

струму (АС), а також заземлюючий контур.

Пристрої захисту є не менш важливою частиною сонячної електростанції, ніж інвертор чи панелі. Вони забезпечують безпеку людей, обладнання та системи в цілому, особливо при стрибках напруги, коротких замиканнях, ударах блискавки чи зворотному струмі. У таблиці 2.8 наведено структурований огляд необхідних пристроїв захисту, критерії вибору та приклади.

Роз'єднувач постійного струму (DC Disconnect / Load Break Switch) розриває ланцюг між панелями та інвертором та забезпечує безпеку при обслуговуванні.

Приклад: Eaton DC switch, АВВ OTDC 32 А, Schneider.

Застосування запобіжників зведено до таблиці 2.9.

Таблиця 2.8 - Основні зони встановлення пристроїв захисту

Зона	Напруга	Пристрої
DC-зона	до 1000–1500 В	Захист від перенапруги (SPD), запобіжники, роз'єднувач
АС-зона	220/380 В	Автомати, УЗО, SPD
Заземлення	—	Контур, блискавкозахист, провідник РЕ

Таблиця 2.9 - Запобіжники та автоматичні вимикачі (DC та АС)

Тип	Де ставиться	Призначення
DC запобіжники	між панелями та інвертором	захист від струмів короткого замикання
АС автомати	між інвертором та мережею/споживачем	захист мережі/інвертора

Параметри підбору:

Напруга: DC — до 1000 В, АС — 230/400 В;

Номінальний струм: 10–32 А для СЕС до 15 кВт;

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Крива спрацювання (тип C або D для інверторів).

Приклади: Eaton, ETI, Hager, Schneider, Siemens.

Захист від перенапруги (SPD – Surge Protection Device) є такий:

- DC SPD (до інвертора) захищає від перенапруги через блискавку або стрибки. Він обов'язковий для зовнішніх масивів на відкритих дахах.
- AC SPD (після інвертора) захищає споживчу мережу від перенапруг з боку мережі.

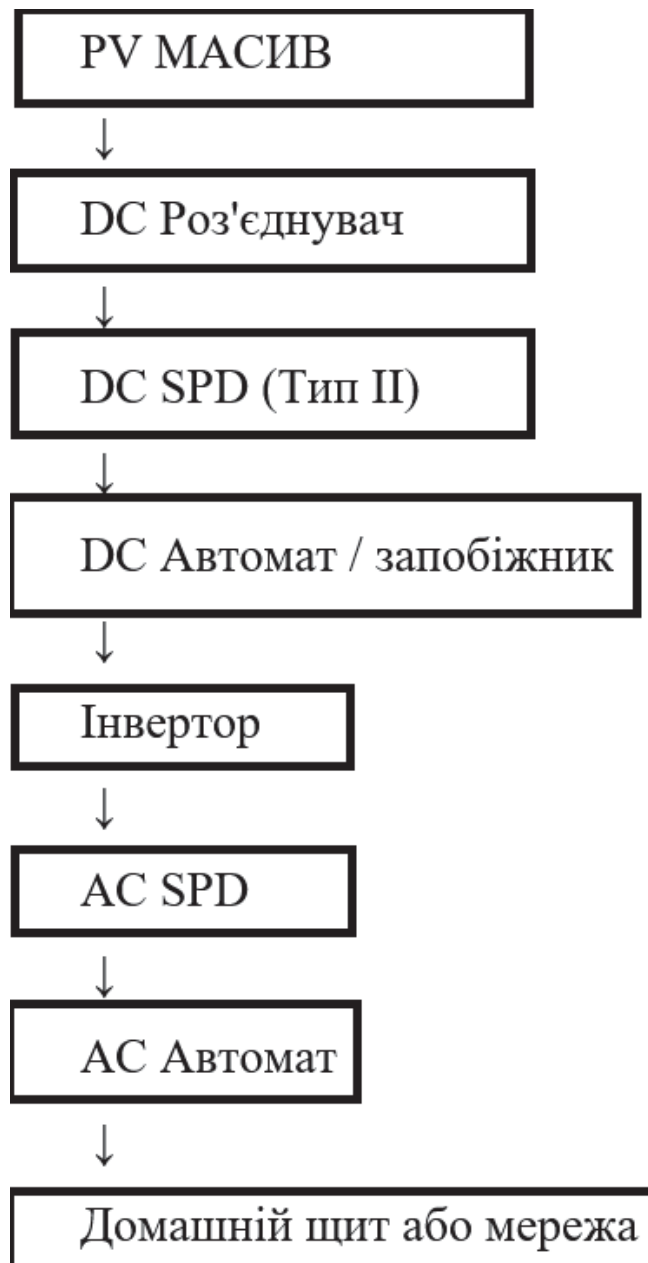


Рисунок 2.3 - Однолінійна схема з урахуванням захисту

Клас захисту:

Тип I – для прямого удару блискавки (високий ризик);

Тип II – для вторинної перенапруги (стандарт для СЕС);

Тип III – для локальних пристроїв (менш актуально).

Приклади: OBO Bettermann, Phoenix Contact, DEHN, Legrand.

Контур заземлення (PE): обов'язковий! Опір < 10 Ом;

Блискавкоприймач (глиба/стріла) – для високих будівель, ферм;

Провідник: мідь/оцинкована сталь не менше 16 мм² (для PE);

Панелі обов'язково з'єднуються з контуром (євростандарт).

Вибір і правильна установка захисту забезпечує довговічність інвертора та панелей, безпеку користувачів, відповідність нормативам (ДСТУ, ІЕС, TUV).

Таблиця 2.10 - Комплект захисту для СЕС 15 кВт

Компонент	Кількість	Ціна (орієнт.)
DC SPD (Тип II, 2 полюси, 1000 В)	1	~50–80 \$
DC автомат 20–32 А	2	~15–25 \$/шт
DC роз'єднувач	1	~30–50 \$
AC SPD (Тип II, 3 полюси, 400 В)	1	~60–90 \$
AC автомат 3 фази, 25–40 А	1	~20–40 \$
Блок УЗО (опціонально)	1	~25–50 \$
Заземлення (комплект, 10 Ом)	1	~100–150 \$

Захист AC передбачає автоматичні вимикачі для запобігання коротким замиканням та перевантаженням, диференційний захист (єдиний елемент, який безпосередньо забезпечує безпеку людини), а також ОПН.

Обираємо: ОПН типу ETITEC S C-PV 1200/20, характеристики приведені в табл. 2.11

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики ЕТІТЕС S C-PV 1200/20 [11].

Тип	ЕТІТЕС S C-PV 1200/20
Напруга тривалої роботи, В	1200
Номінальний струм розряду, кА	20
Максимальний струм розряду, кА	40
Час спрацювання, <u>нс</u>	25
Робочий діапазон температур	-40 °С ... +80 °С
Ступінь захисту ІР	20
Матеріал корпусу	термопластик

Плавкі запобіжники циліндричні: типу СН 10x85 PV, розраховані на номінальну напругу $U_{\text{ном}} = 1200 \text{ В DC}$ та $I_{\text{н}} = 16 \text{ А}$. [11]. Зовнішній вигляд та розміри циліндричних запобіжників типу СН 10x85 показано на рис. 2.4 [11].

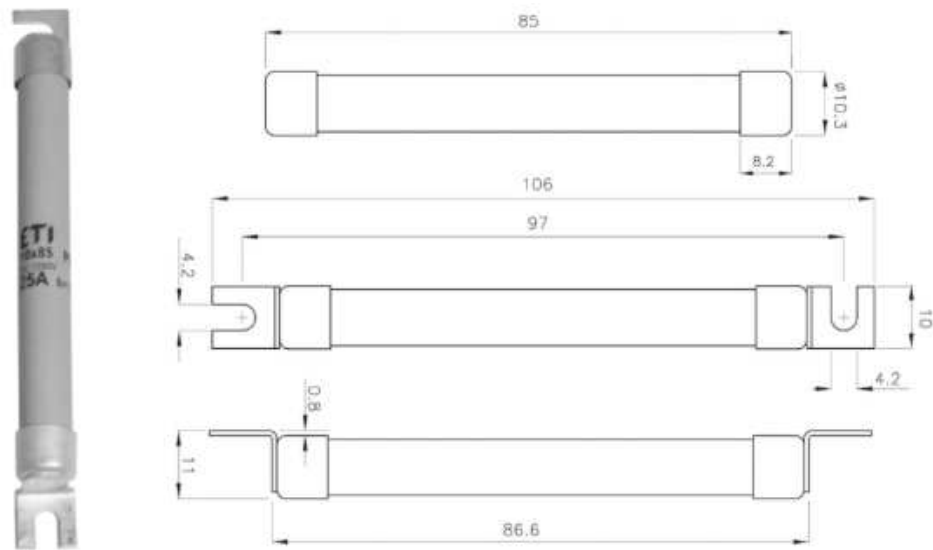


Рисунок - 2.4 Зовнішній вигляд та розміри циліндричних запобіжників типу СН 10x85

Обираємо роз'єднувачі для циліндричних запобіжників типу 10x38 типу EFH 10 DC, технічні характеристики яких наведено в табл. 2.7 [11].

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики роз'єднувачів типу EFH 10 DC

Тип	EFH 10 DC
Номінальна напруга, В	1000
Номінальний струм, А	25
Тип навантаження	DC-20В
Максимальні втрати потужності, Вт	3
Переріз провідників, мм ²	1,5 - 25
Ширина модуля	17,5
Кількість полюсів, шт	1
Наявність LED індикації	+

На рис. 2.5 зовнішній вигляд та розміри роз'єднувачів типу EFH 10 DC показано [12]

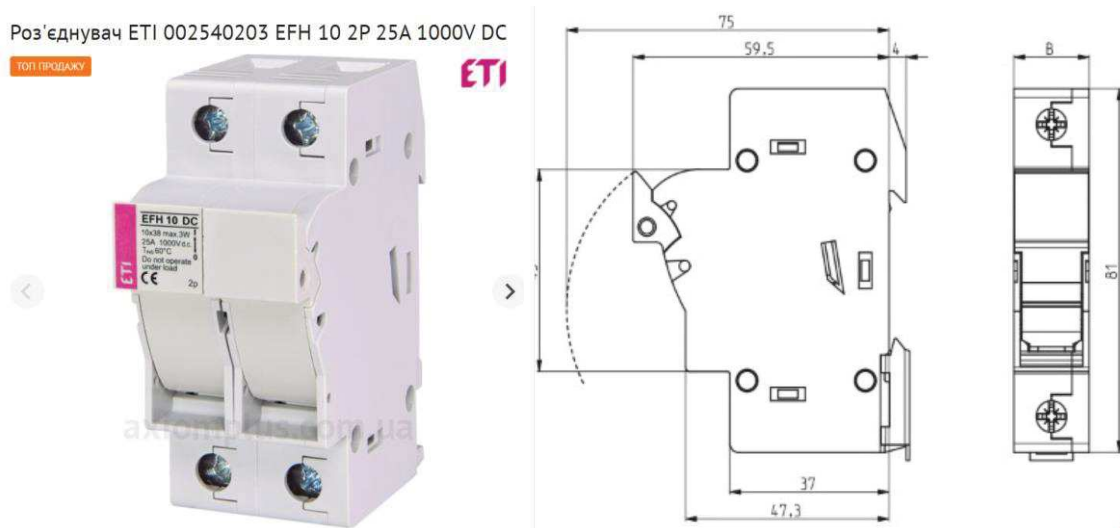


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд та розміри роз'єднувачів типу EFH 10 DC

Вимикачі навантаження типу LS16 SMA мають наступні характеристики, сказані в табл. 2.8 [13].

Таблиця 2.13 – Технічні характеристики вимикачів навантаження типу LS 16 SMA

Тип	LS 16 SMA
Номінальна напруга, В	1200
Номінальний струм, А	16
Номінальна імпульсна напруга, кВ	8
Стійкість до струму КЗ, А	800
Робочий діапазон температур	-40 °С ... +80 °С
Максимальний переріз провідників, мм ² :	
одножильних	4 – 16
багатожильних	4 – 10
багатожильних з наконечником	4 – 10
Механічний ресурс, кількість циклів	10 · 10 ³

Схема підключення до вимикачів типу LS16 SMA зображена на рис. 2.6

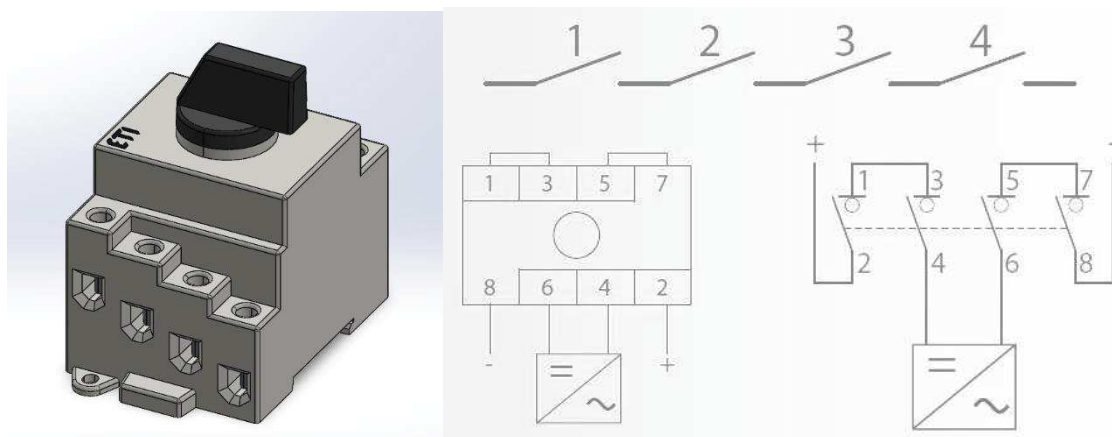


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд та Схема підключення навантаження до с вимикачів типу LS16 SMA

Електрична схема підключення СЕС до мережі з вказаними апаратами захисту показана на рис. 2.7 [14].

Рекомендовано, з урахуванням правила падіння напруги $< 1.5\%$ на довжину:

4 мм² — довжина до 10 м, струм до 25 А;

6 мм² — довжина до 20 м, струм до 35 А;

10 мм² — довжина до 30 м, струм до 50 А.

Обрано: Кабель H1Z2Z2-K, 6 мм², чорний/червоний, 1000 V DC, ціна ~2.5–3.5 €/м

Кабелі змінного струму (від інвертора до щитка) теж мають вимоги:

- ПВХ або нейлонова оболонка, клас ПВС або H07RN-F;
- Залежить від фази інвертора: 1-ф або 3-ф;
- Переріз — згідно з номінальним струмом інвертора.

Рекомендовано: 5×6 мм² або 5×10 мм²;

Бажано використовувати мідні кабелі.

З'єднання панелей має конектори MC4 з захистом IP67. Мають сумісність із кабелем PV1-F. Бажано встановлювати тільки оригінальні MC4 або TUV-сертифіковані. Заборонено скручування кабелів вручну — обтискний інструмент обов'язковий.

Таблиця 2.14 - Системи кріплення панелей в залежності від типу даху

Тип даху	Система кріплення
Скатний металевий	Крюки, L-профілі, рейки
Черепиця	Крюки через черепицю
Плоский дах	Алюмінієві трикутники або бетонні блоки
Фальцева покрівля	Кляммери без свердління

Складові системи:

- Профілі (алюмінієві рейки) – основа;
- Крюки або кріплення до даху – залежно від покриття;
- Затискачі (енд та мід-клеми) – фіксація панелей;

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- Заземлення (гвинти, провідники) – для панелей та профілю;
- Гвинти/болти з нержавіючої сталі А2-А4

Обрані для 14 кВт (30 панелей по 495 Вт) матеріали зведені до таблиці 2.14, Кабелі та кріплення — це не ті місця, де варто економити. Неправильний переріз або погані з'єднання можуть викликати перегрів, втрати потужності або пожежу. Отже вартість зведено до табл.2.15

Таблиця 2.14 – Компоненти кріплення

Компонент	Кількість	Примітки
Алюмінієві рейки 40×40	~100 м	по 3 м/панель
Крюки або гакоподібні кріплення	72+	по 2/панель
Затискачі (енд і мід)	~108	по 3/панель
Гвинти, болти, шайби	>200	з нерж. сталі
Заземлюючі клеми	36	по одній на панель
Кабель-канали або трубки	за потребою	для естетики/захисту

Таблиця 2.15 – Вартість кріплення

Категорія	Вартість (євро)
Кабелі DC + AC (100–200 м)	300–600 €
MC4 конектори (20 пар)	40–70 €
Кріплення (14 кВт)	800–1200 €
Інструмент (обтиск, ключі)	50–100 € (одноразово)

2.6 Висновки до другого розділу

Дахові електростанції 14 кВт — ефективне рішення для приватних осіб та малого бізнесу. Найкращі результати досягаються при правильному орієнтуванні даху, виборі якісного інвертора та наявності стабільної мережі.

При середньому тарифі для домогосподарства 4.6 грн/кВт·год:

Економія=15 000×4,6=69 000 грн/рік

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ДАХОВОЇ СЕС

3.1 Проектування СЕС

Проектування сонячних електростанцій (СЕС) здійснюватиметься на основі заданих вимог, викладених у вихідних умовах, із використанням програмного забезпечення PVsyst. PVsyst — це спеціалізоване програмне рішення, розроблене для проектування і моделювання фотоелектричних систем. Воно пропонує широкий набір функцій, які допомагають інженерам, архітекторам і дослідникам створювати енергоефективні та економічно привабливі проекти. Основні можливості цього програмного забезпечення включають: - Проектування систем. PVsyst дозволяє оперативно виконувати проекти підключених до мережі, автономних або насосних фотоелектричних систем. Це забезпечує вибір компонентів у відповідності до розмірів і потреб проекту. - Моделювання та симулювання. Програмне забезпечення проводить детальні погодинні симуляції, що дозволяє аналізувати різні варіанти систем. Завдяки точним метеорологічним даним, PVsyst може оцінювати річний енергетичний потенціал, рівень втрат і очікувані прибутки.

- Економічний аналіз. Інструмент дає змогу здійснити оцінку вартості проекту (CAPEX, OPEX), а також його інвестиційної привабливості через показники NPV, LCOE і ROI.

- Інтеграція з базами даних. PVsyst забезпечує доступ до оновлюваних баз даних фотоелектричних модулів, інверторів, акумуляторів та інших компонентів системи.

- 3D-моделювання та аналіз затемнень. Програма підтримує створення тривимірних моделей і моделювання затемнень, що дозволяє точніше оцінити енергетичні втрати.

Порівнюючи PVsyst із такими програмами, як HelioScore, PV*SOL і SAM, можна виділити значні переваги. Серед них — ретельніше пропрацьовані

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

метеорологічні дані й бази компонентів, що сприяє створенню більш точних і реалістичних моделей систем.

Програмне забезпечення пропонує ширший набір інструментів для аналізу економічної ефективності та проектування. Одним із найбільш поширених інструментів для розрахунків сонячних електростанцій (СЕС) є PVsyst. Ця програма стала популярною серед комерційних організацій завдяки своїй здатності допомагати інженерам і підприємцям у розробці, аналізі та оптимізації проектів СЕС. Основні функції PVsyst включають:

1) Розрахунок енергії. Програма дозволяє визначити прогнозований річний обсяг електроенергії, який може виробляти СЕС.

2) Аналіз ефективності. За допомогою PVsyst можна оцінити продуктивність основні компоненти системи, такі як сонячні панелі, інвертори та батареї.

3) Оптимізація розташування. Інструмент дає змогу планувати найефективніше розміщення панелей на ділянці.

4) Фінансовий аналіз. Програма розраховує витрати й потенційні прибутки, допомагаючи визначити економічну ефективність проекту.

Комерційні компанії активно залучають PVsyst до створення проектів СЕС, щоб підвищити ефективність та рентабельність таких систем. Завдяки високій точності та деталізації моделювання PVsyst здобув провідні позиції на ринку програмного забезпечення для СЕС. Популярність продукту також пояснюється активною спільнотою користувачів, яка забезпечує підтримку та обмін досвідом, що робить його незамінним інструментом для спеціалістів різного рівня. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та гнучкі налаштування програми підійдуть як початківцям, так і досвідченим фахівцям. Поєднання функціональності, точності та якісної підтримки користувачів зробило PVsyst лідером у галузі проектування сонячних енергетичних систем. PVsyst придатний для роботи над гібридними системами, адже підтримує моделювання автономних і мережевих установок. Програма враховує всі можливі втрати енергії та дозволяє досягти оптимального

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

використання сонячного ресурсу, сприяючи створенню економічно виправданих і продуктивних проектів.

Загальний вигляд програми показано на рис.3.1.

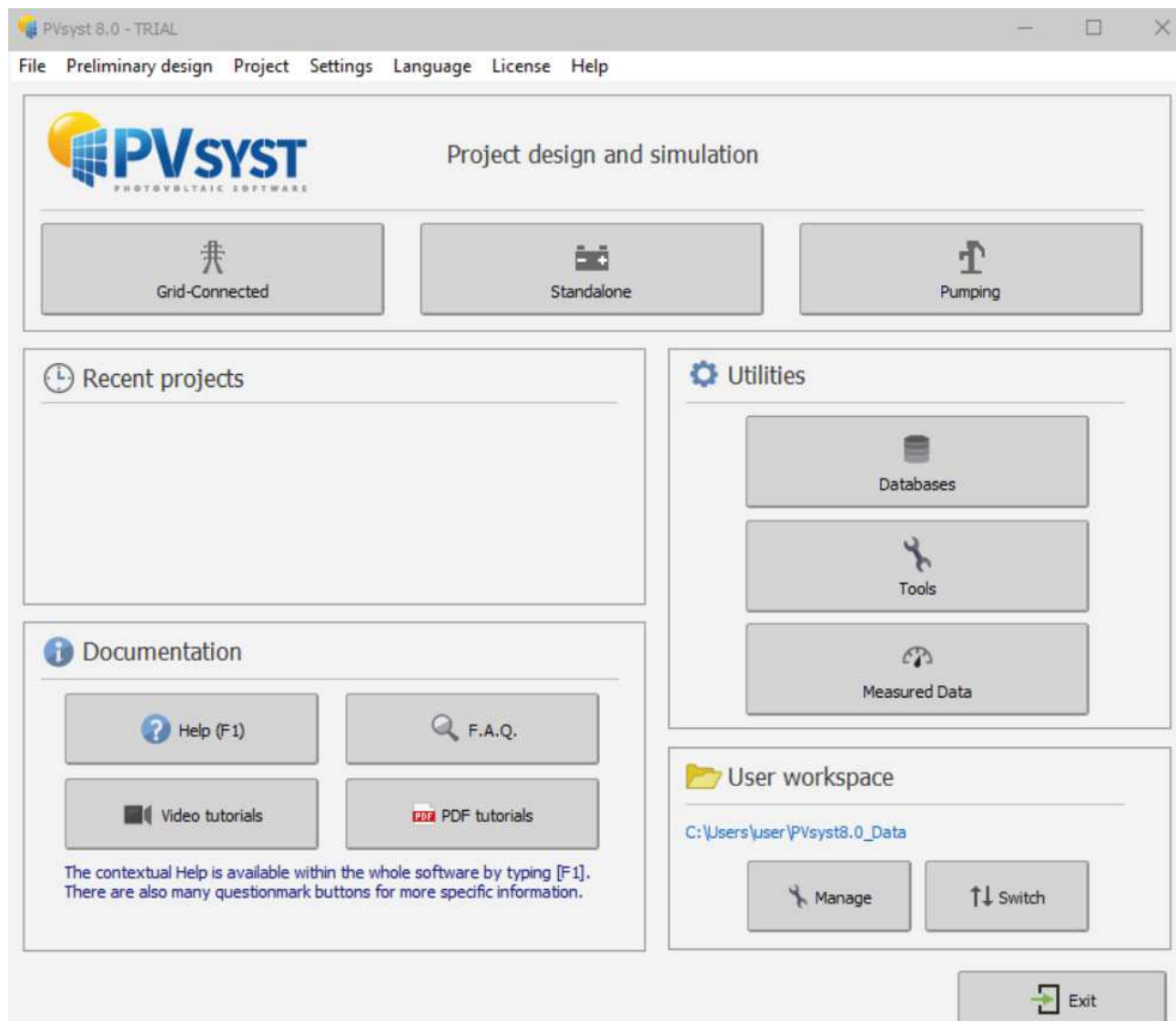


Рис 3.1 – Загальний вигляд програми PVstat

Для розрахунку сонячної електростанції за допомогою PVsyst потрібно ввести низку вхідних даних, які дозволяють створити детальну та ефективну модель системи:

- Метеорологічні дані. А саме інформація про сонячну радіацію, температуру, вологість та швидкість вітру для конкретного місця. Дані можна отримати з бази Meteonorm або інших джерел.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- Географічне положення. Координати об'єкта (широта, довгота), висота над рівнем моря, орієнтація панелей (азимут і кут нахилу).
- Параметри панелей. Технічні характеристики панелей: потужність (W_p), коефіцієнт корисної дії, температурний коефіцієнт тощо.
- Інвертори. Параметри, як-от номінальна потужність, ефективність, тип (string, центральний чи мікроінвертори).
- Система кріплення. Інформація про тип кріплень (фіксовані чи слідкувальні) та відстань між панелями, щоб уникнути затінення.
- Електричні параметри мережі. Напруга та частота системи, до якої буде підключено станцію.
- Витрати й фінансові дані. Капітальні витрати

Отже дл початку оберемо локацію та розташування. (рис.3.2). Визначення географічних координат м. Хмельницький показано на рис.3.3. Розподіл сонячного випромінювання дл я даних координат показано на рис.3.4. та 3.5

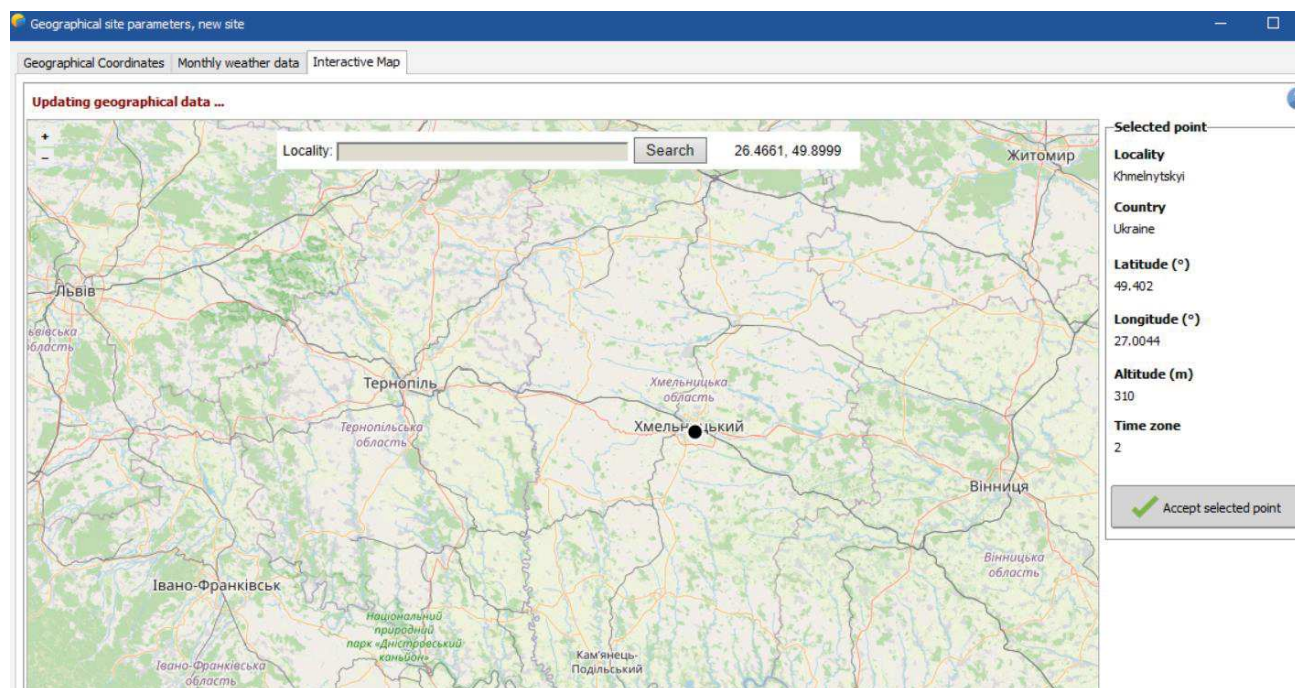


Рисунок 3.2 – Вибір міста Хмельницького на карті в програмі.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Geographical Coordinates Monthly weather data Interactive Map

Location

Site name

Country Region

Geographical Coordinates

Geographical data have been imported with success from the map.

Latitude [°] (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude [°] (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude M above sea level

Time zone Corresponding to an average difference
Legal Time - Solar Time = 0h 12m

Рисунок 3.3 – Визначення географічних координат м. Хмельницький

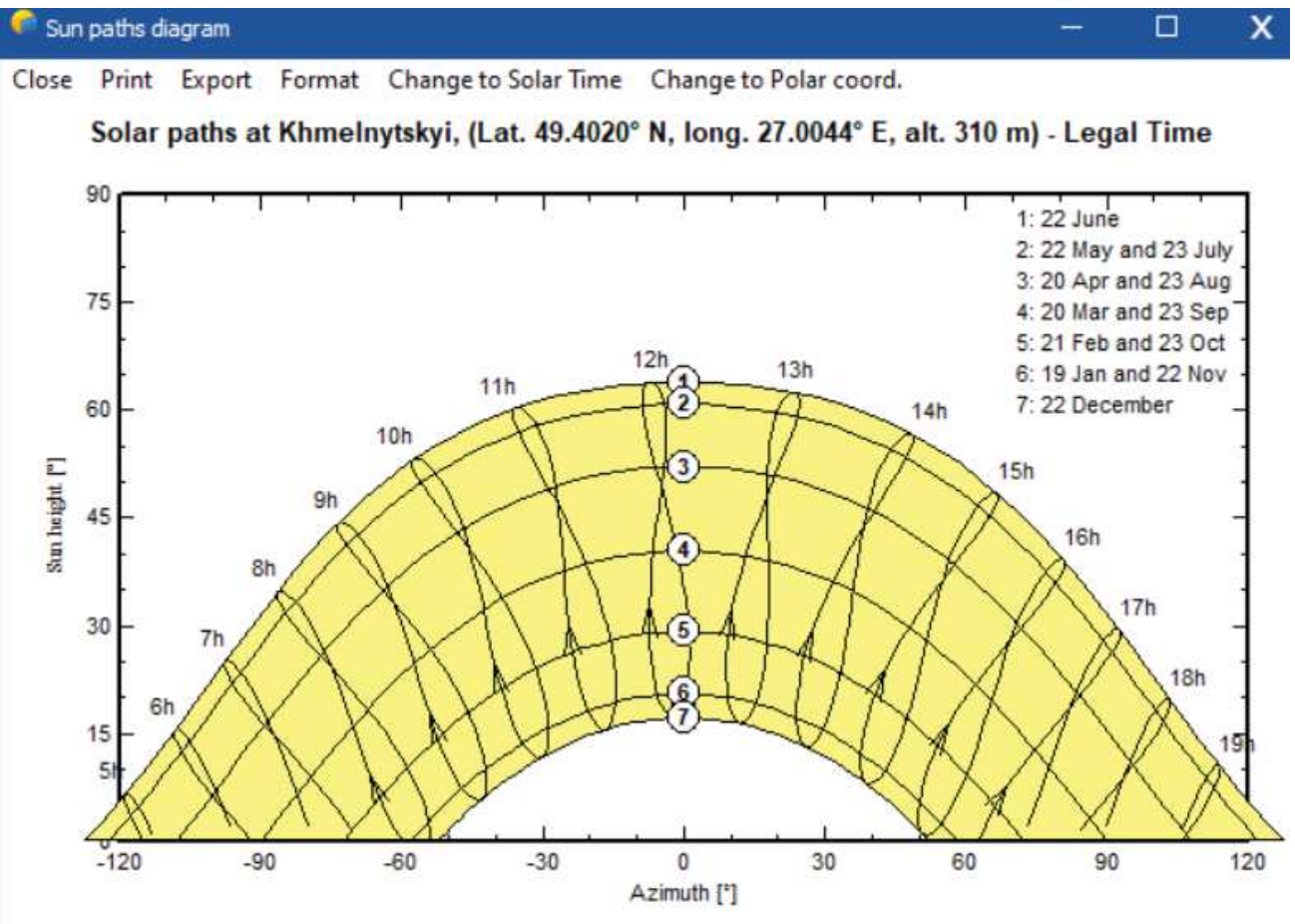


Рисунок 3.4 – Сонячна активність для м. Хмельницький

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Site **Khmelnitskyi (Ukraine)**Data source

	Global horizontal irradiation kWh/m ² /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	28.2	17.0	-3.8	4.39	2.763	83.9
February	43.7	27.4	-2.8	4.39	3.030	84.2
March	91.5	47.9	2.0	4.59	3.365	74.5
April	129.2	63.0	9.1	4.20	4.085	65.9
May	168.9	79.9	14.9	3.80	3.557	66.7
June	180.0	82.1	17.5	3.50	3.401	71.8
July	183.0	80.9	19.6	3.40	3.593	72.6
August	158.4	74.7	19.2	3.30	3.607	68.4
September	105.1	55.1	13.8	3.50	3.302	73.8
October	66.9	35.2	8.0	3.80	3.047	79.5
November	29.5	17.1	3.2	4.29	2.925	86.7
December	22.3	13.9	-1.6	4.39	2.718	85.3
Year ?	1206.6	594.1	8.3	4.0	3.283	76.1

Global horizontal irradiation year-to-year variability 6.5%

Рисунок 3.5 – Середньомісячна погода на території м.Хмельницький

Сонячні панелі обирають, враховуючи необхідну потужність і доступний бюджет. Доцільно віддавати перевагу модулям середньої або високої потужності з коефіцієнтом корисної дії (ККД) не менше 16%. Монокристалічні фотоелектричні модулі демонструють високу ефективність завдяки використанню комірок з однорідними кремнієвими кристалами. Завдяки цьому такі модулі можуть виробляти стільки ж енергії, як і полікристалічні, але мають значно компактніші розміри. Проте варто враховувати, що монокристалічні панелі коштують дорожче. Зважаючи на низький рівень сонячної інсоляції з листопада по лютий, оптимальним вибором будуть монокристалічні ФЕМ.

В другому розділі були обрані панелі від JP Solar. На рис.3.6 представлено каталог панелей від цієї компанії. На рис.3.7 – показано вибір акумуляторної батареї.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Choosing a PV module

Sort by: Manufacturer, Technology, Nominal power

Manufacturer: JP Solar Availability: All modules

Pnom	Technol.	Model	Availability	Specifications
100 Wp 20V	HIT	HDT-20FH-100	Since 2022	Manufacturer 2022
105 Wp 21V	HIT	HDT-20FH-105	Since 2022	Manufacturer 2022
110 Wp 21V	HIT	HDT-20FH-110	Since 2022	Manufacturer 2022
115 Wp 21V	HIT	HDT-20FH-115	Since 2022	Manufacturer 2022
120 Wp 22V	HIT	HDT-20FH-120	Since 2022	Manufacturer 2022
205 Wp 20V	HIT	HDT-40FH-205	Since 2022	Manufacturer 2022
210 Wp 20V	HIT	HDT-40FH-210	Since 2022	Manufacturer 2022
215 Wp 21V	HIT	HDT-40FH-215	Since 2022	Manufacturer 2022
220 Wp 21V	HIT	HDT-40FH-220	Since 2022	Manufacturer 2022
225 Wp 21V	HIT	HDT-40FH-225	Since 2022	Manufacturer 2022
320 Wp 21V	HIT	HDT-60FH-320	Since 2022	Manufacturer 2022
325 Wp 21V	HIT	HDT-60FH-325	Since 2022	Manufacturer 2022
330 Wp 21V	HIT	HDT-60FH-330	Since 2022	Manufacturer 2022
335 Wp 31V	HIT	HDT-60GHF-335	Since 2021	Manufacturer 2022
335 Wp 21V	HIT	HDT-60FH-335	Since 2022	Manufacturer 2022
340 Wp 31V	HIT	HDT-60GHF-340	Since 2021	Manufacturer 2022
340 Wp 21V	HIT	HDT-60FH-340	Since 2022	Manufacturer 2022
345 Wp 32V	HIT	HDT-60GHF-345	Since 2021	Manufacturer 2022
350 Wp 32V	HIT	HDT-60GHF-350	Since 2021	Manufacturer 2022
355 Wp 32V	HIT	HDT-60GHF-355	Since 2021	Manufacturer 2022
410 Wp 38V	HIT	HDT-72GHF-410	Since 2021	Manufacturer 2022
415 Wp 38V	HIT	HDT-72GHF-415	Since 2021	Manufacturer 2022

Рисунок 3.6 - Каталог панелей від компанії JP Solar

Definitions for a battery

Basic data | Detailed model parameters | Graphs | Sizes and Technology | Commercial data

Model: BOS-G 3 - 15.36 kWh Manufacturer: Deye
 File name: Deye_BOS_G_3_15_36_kWh.BTR Data source: Datasheet 2023
 Original PVsyst database Prod. Since 2023

Technology: Lithium-ion, LFP Whole battery Per element
 Category: Rack

Nb. blocks in series, in parallel: 3 1

Basic parameters

Nb of cells in Series/in parallel: 16 1
 Nominal voltage: 153.6 V
 Capacity at C10: 100.00 Ah
 Internal resistance @ ref. temp.: 76.80 mΩ
 Reference temperature: 20.0 °C
 Coulombic efficiency: 96.0 %

Behaviour at limits

Charge Cut-Off Voltage: 177.6 V
 Discharge Cut-Off Voltage: 124.8 V
 Maximum charging current: 100 A
 Maximum discharging current: 100 A
 Minimum charging temperature: 0 °C
 Minimum discharging temperature: -20 °C

Full battery Indicators

Stored energy at DOD: 95 % 14.8 kWh
 Total stored energy (4172 cycles): 61.7 MWh
 Specific energy: 57 Wh/kg
 Specific weight: 17 kg/kWh

Info: Renormalization to C10

Datasheet Nominal Capacity: 0.0 Ah
 Defined for a discharging rate of: 0.00 Hours
 =>Corresp. C10 acc. to Peukert model: N/A

Copy to table | Print | Cancel | OK

Рисунок 3.7 – Вибір акумуляторної батареї

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

50

Інвертор – серце сонячної енергетичної системи, який перетворює її енергію у змінний струм напругою 230 або 380 В. Сучасні моделі інверторів забезпечують оптимізацію роботи станції навіть у похмурі дні, а також здійснюють моніторинг її функціонування. Перетворення постійного струму в змінний є необхідним для передачі виробленої сонячної енергії в електромережу та її використання побутовими споживачами. Основними критеріями вибору інвертора виступають його потужність і тип станції. У залежності від особливостей системи обирається автономний, мережевий або гібридний інвертор, здатний забезпечити найбільшу ефективність у конкретному сценарії. Важливо враховувати коефіцієнт навантаження DC/AC, який визначається співвідношенням потужності сонячних панелей до номінальної потужності інвертора. Задля підвищення економічної доцільності й ефективності часто рекомендується збільшення потужності сонячного масиву таким чином, щоб коефіцієнт навантаження перевищував одиницю. Це дозволяє збільшити вироблення енергії у періоди, коли продуктивність панелей нижча за номінальну потужність інвертора. Deye SUN-50k-SG01HP3-EU-BM4 — це високотехнологічний трифазний гібридний інвертор, призначений для інтеграції в сонячні електростанції. Основні характеристики цього пристрою включають:

1. Потужність і технічні можливості: - Номінальна потужність 50 кВт забезпечує високу ефективність роботи.

- Технологія високої напруги дозволяє використовувати акумулятори великої ємності, зменшуючи втрати енергії і зарядного струму, що підвищує ефективність.

2. Електричні показники:

- Чиста синусоїдальна форма змінного струму забезпечує стабільну роботу обладнання.

- Підтримується трифазна напруга (380–400 В).

- Сумісний з різними джерелами живлення, такими як генератори та енергомережа.

3. Гнучкість роботи і автоматизація:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- Програмовані режими функціонування: від мережі, автономно чи як джерело безперебійного живлення.

- Пріоритетне керування джерелами енергії (сонячні панелі, мережа чи акумулятори).

- Автоматичний перезапуск у разі відновлення електропостачання. 4.

Управління акумуляторами:

- Технологія MPPT максимізує продуктивність панелей.

- Можливість налаштування процесу заряджання через мобільний додаток.

- Використовується триступенева зарядка для забезпечення тривалої ефективної роботи батарей.

5. Моніторинг та керування:

- Інтегрована підтримка Wi-Fi для дистанційного спостереження та управління.

- Високоякісний LCD-дисплей зручно відображає інформацію в реальному часі.

- Функція обліку часу дозволяє ефективно регулювати споживання та виробництво енергії.

6. Рівень безпеки:

- Захист від перевантажень, перегріву та коротких замикань.

- Можливість обмеження потужності для уникнення навантаження на мережу.

7. Розподіл енергії: Розумна інтеграція функціональних навантажень,

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Grid inverter definition

Main parameters | Efficiency curve | Additional parameters | Output parameters | Sizes and Technology | Commercial data

Model: SUN-14K-SG01LP1-EU | Manufacturer: Deye
 File name: Deye_SUN_14K_SG01LP1_EU.OND | Data source: Datasheet 2024
 Original PVsyst database | Prod. Since 2024

Input side (DC PV field)

Minimum MPP Voltage: 150 V
 Min. Voltage for PNom: 370 V
 Maximum current per MPPT: 13.0 A
 Nominal MPP Voltage: N/A V
 Maximum MPP Voltage: 425 V
 Absolute max. PV Voltage: 500 V
 Power Threshold: 70 W Default

Contractual specifications, without real physical meaning: Required

Nominal PV Power: 18.2 kW
 Maximum PV Power: N/A kW
 Maximum PV Current: 132.0 A

Output side (AC grid)

Monophased | Triphased | Biphased
 Frequency: 50 Hz | 60 Hz
 Grid voltage: 230 V
 Nominal AC Power: 14.0 kVA
 Maximum AC Power: 14.0 kVA
 Nominal AC current: 60.9 A
 Maximum AC current: 60.9 A

Efficiency

Maximum efficiency: 97.60%
 EURO efficiency: 96.50%
 Efficiency defined for 3 voltages

Copy to table | Print | Cancel | OK

Рисунок 3.8 – Вибір Інвертора

Standalone systems :battery charging/discharging controller definitions

General data | Thresholds | MPPT converter | Efficiency profile | Other data / Sizes | Commercial data

Model: Conext_MPPT_60_150 - 24V | Manufacturer: Schneider Electric
 File name: Schneider_Conext_MPPT_60_150_24V.RLT | Data source: Datasheets 2016
 Original PVsyst database | Prod. Since 2016

Device general features

Technology: MPPT converter
 Data display: LCD
 External controls: Load management, Back-up gen. control, Back-up effectively used
 Control mode: Battery voltage, SOC based

Battery control

Manages Lead-Acid batteries
 Manages Lithium batteries

Battery Temperature compensation

Type: External sensor (Default)
 Correction coefficient: -5.0 mV/°C
 Reference temperature: 20 °C

Electrical characteristics

Max. charging current: 60.0 A Conv P/V Out
 Max. discharging current: 60.0 A
 Converter nom. power: 1440 W
 Self-consumption: 0.0 mA
 Night consumption: 104.0 mA

Associated Battery Pack

Technol.: Lead-acid, sealed, Gel
 Battery pack voltage: 24 V
 Switchable 2nd voltage

The max. charging current should be the converter P_{nom} / V_{outMax} where V_{outMax} = battery voltage when charging, i.e. about 51.1 A

Copy to table | Print | Cancel | OK

Рисунок 3.9 – Вибір MPPT контролера

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

53

Сонячні панелі підбираються залежно від необхідної потужності та бюджету. Рекомендується звертати увагу на моделі середньої або високої потужності, з коефіцієнтом корисної дії (ККД) не меншим за 16%. Монокристалічні фотоелектричні модулі вирізняються високою ефективністю завдяки тому, що для їх виготовлення використовуються однорідні за структурою кристали кремнію. Завдяки такій структурі модуль може генерувати енергію в обсягах, аналогічних полікристалічним модулям, але при цьому розміри панелей є значно меншими. Проте монокристалічні панелі мають вищу вартість. Зважаючи на низький рівень сонячного випромінювання в період з листопада по лютий, доцільно зупинити вибір на монокристалічних фотоелектричних модулях.

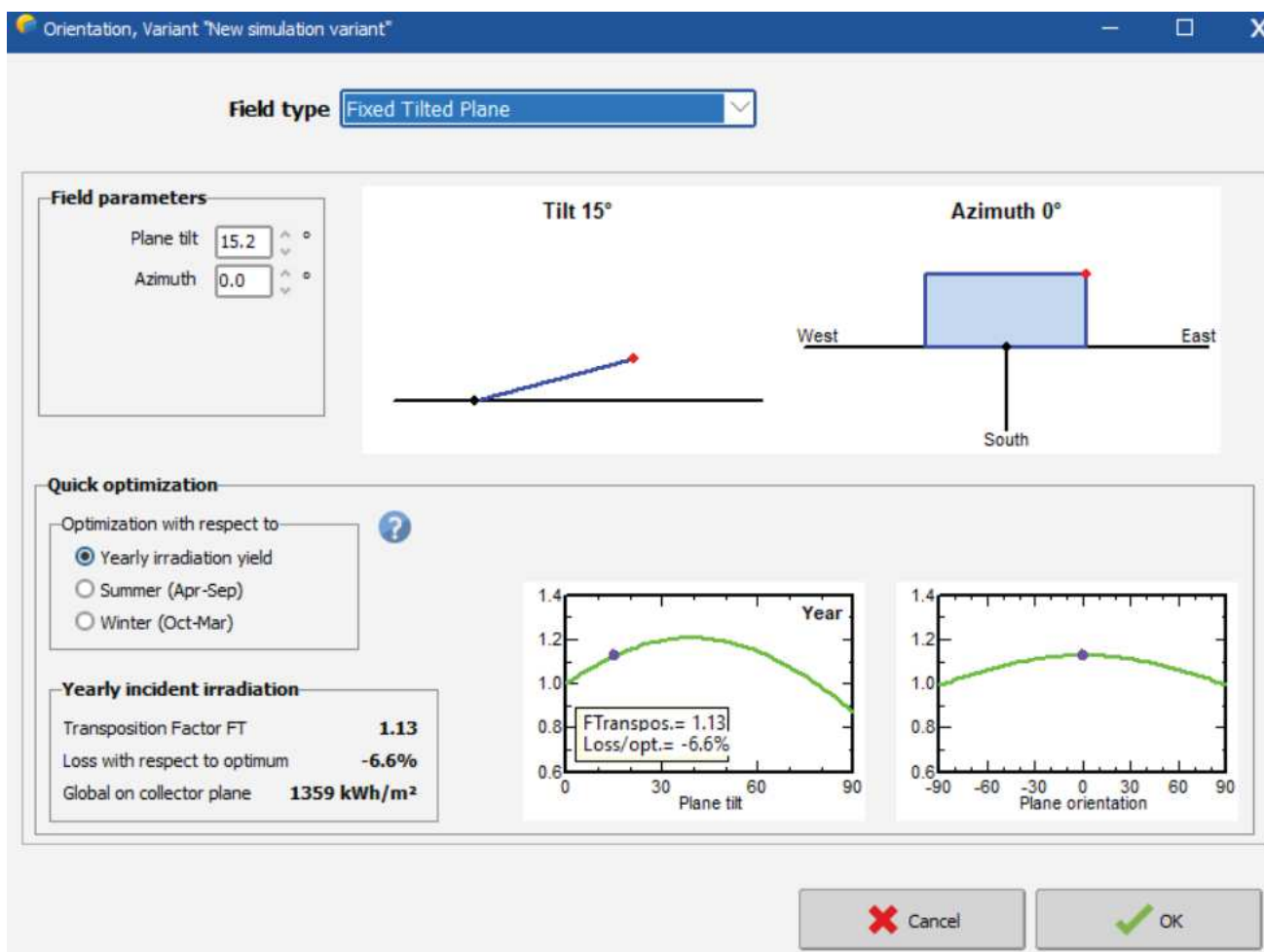


Рисунок 3.10 –Вибір кута нахилу панелей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

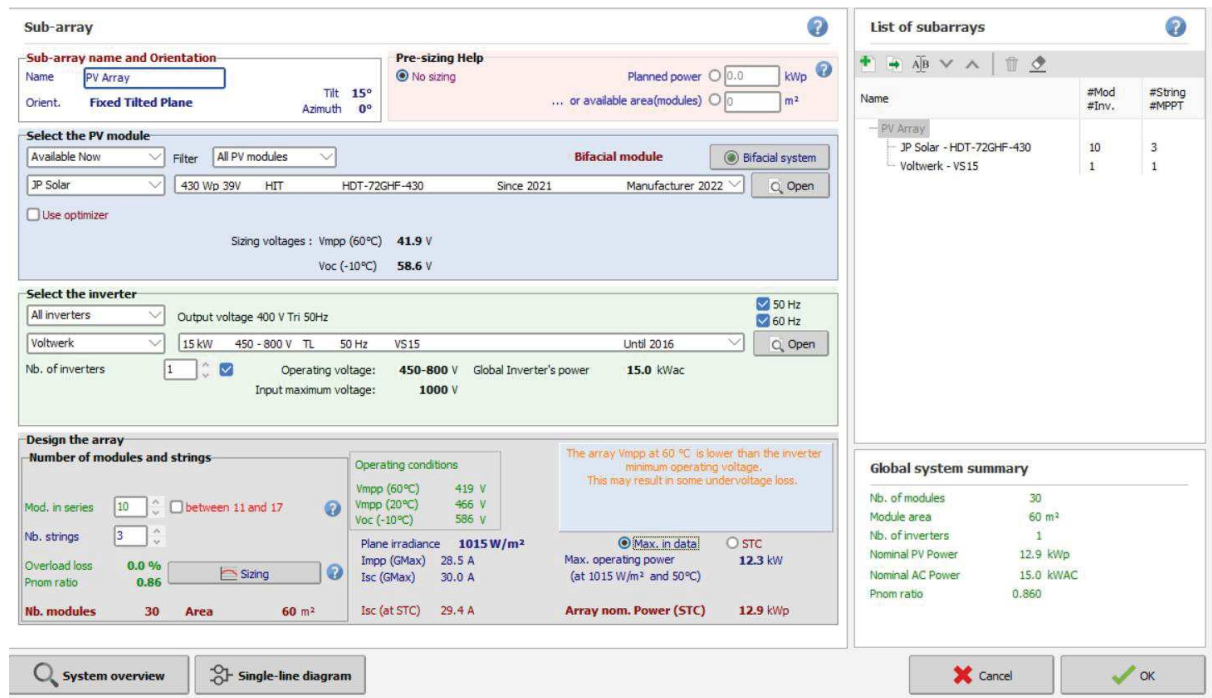


Рисунок 3.11 – Вікно залальних даних для розрахунку

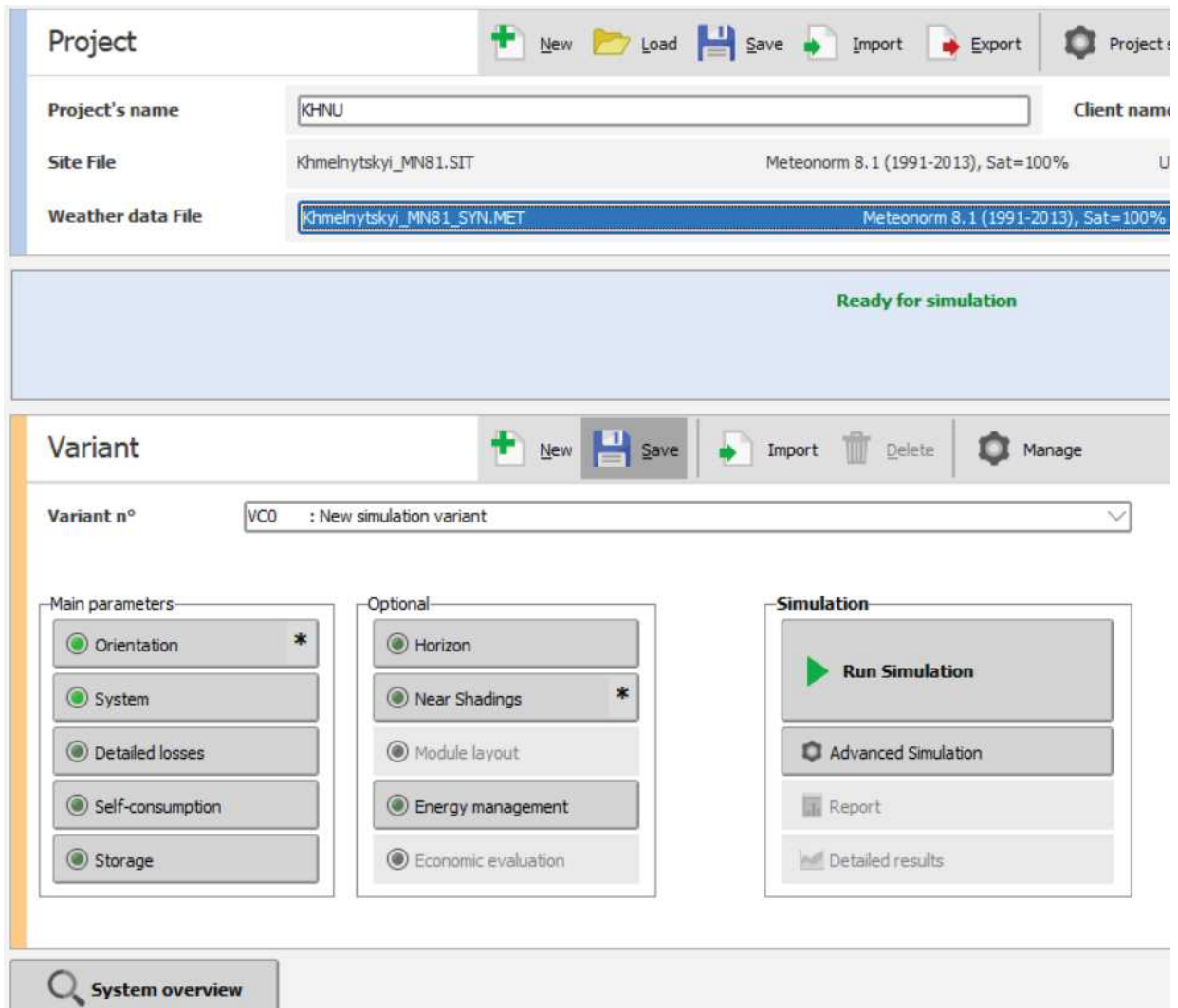


Рисунок 3.12 – Вікно збереження проєкту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

55

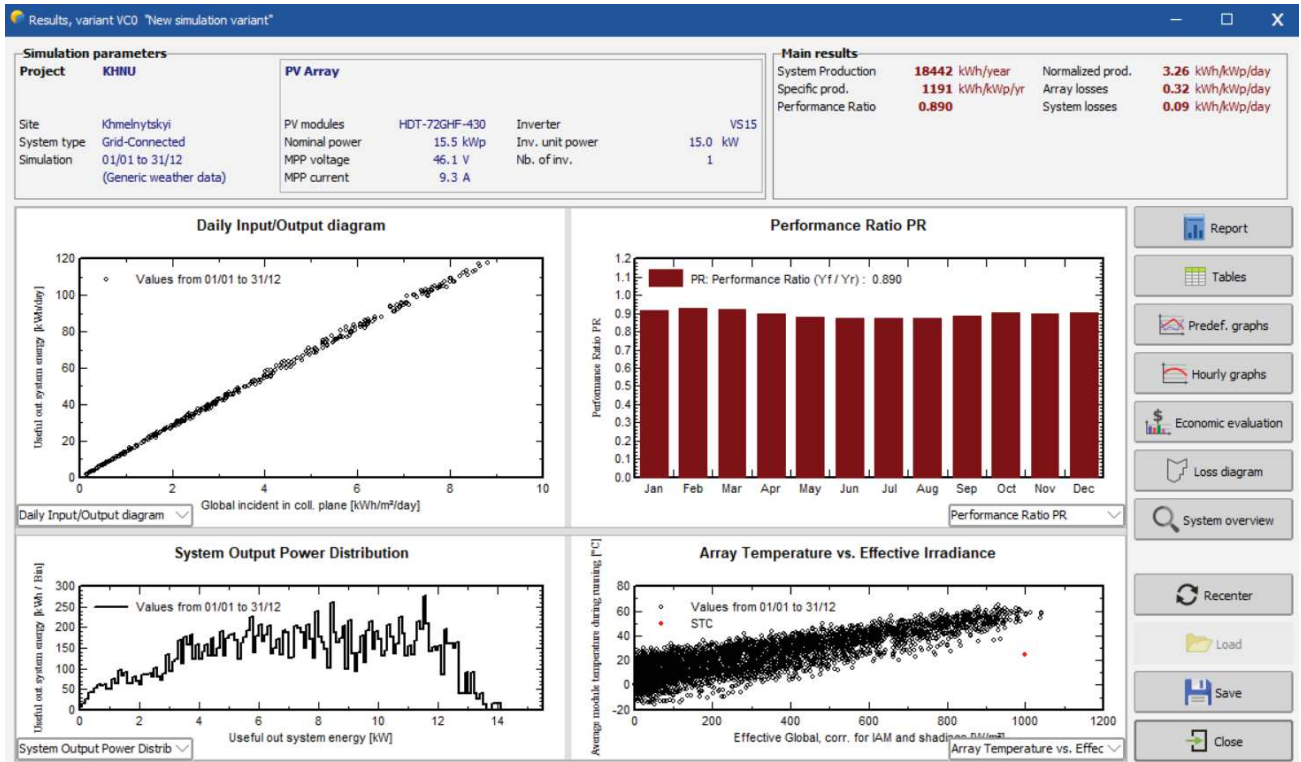


Рисунок 3.13 – Результати розрахунків

Loss diagram for "New simulation variant" - year

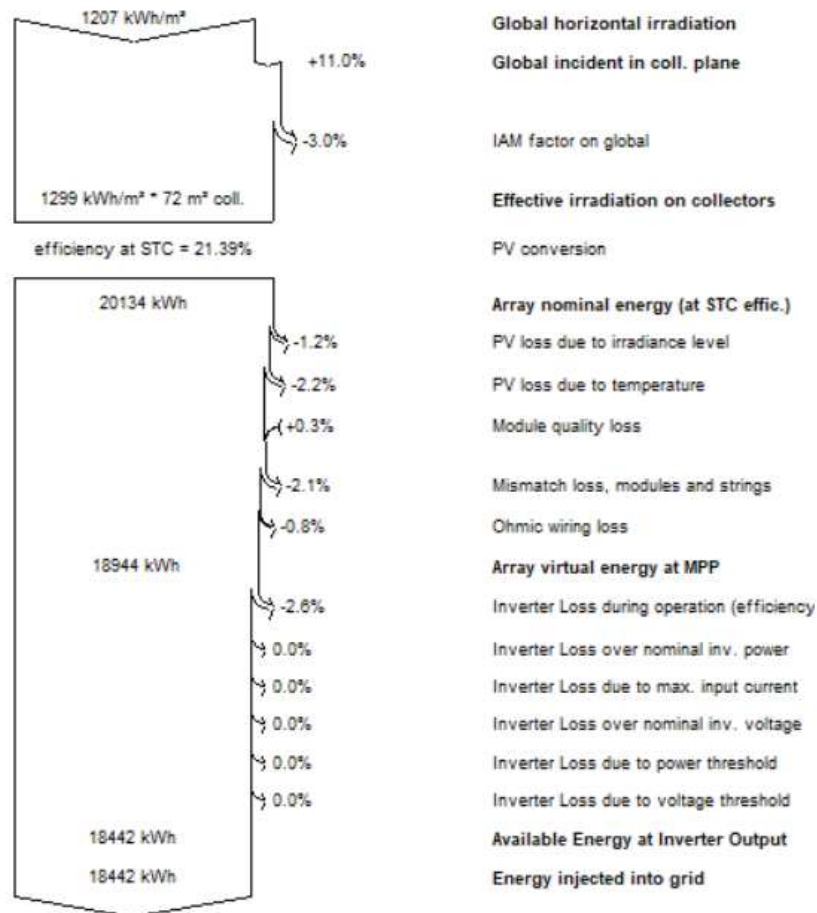


Рисунок 3.14 – Результати розрахунків втрат

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

56

**New simulation variant
Balances and main results**

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	28.2	16.99	-3.78	39.3	37.6	578	558	0.917
February	43.7	27.42	-2.81	55.2	53.2	817	793	0.927
March	91.5	47.90	2.05	108.5	105.0	1587	1546	0.921
April	129.2	63.01	9.08	141.5	137.6	2024	1973	0.900
May	168.9	79.87	14.86	176.0	171.0	2466	2405	0.883
June	180.0	82.07	17.49	183.5	178.4	2549	2485	0.875
July	183.0	80.89	19.62	188.9	183.9	2614	2549	0.871
August	158.4	74.72	19.22	171.0	166.5	2376	2318	0.876
September	105.1	55.12	13.84	120.1	116.4	1695	1652	0.888
October	66.9	35.16	8.03	83.0	80.3	1191	1158	0.901
November	29.5	17.09	3.18	40.1	38.4	579	558	0.898
December	22.3	13.91	-1.61	32.2	30.6	469	450	0.902
Year	1206.6	594.13	8.33	1339.3	1298.8	18944	18442	0.890

Рисунок 3.15 – Результати розрахунків потужності що місяця

**New simulation variant
Energy use and User's needs**

	E_Grid kWh	PR ratio
January	558	0.917
February	793	0.927
March	1546	0.921
April	1973	0.900
May	2405	0.883
June	2485	0.875
July	2549	0.871
August	2318	0.876
September	1652	0.888
October	1158	0.901
November	558	0.898
December	450	0.902
Year	18442	0.890

Рисунок 3.16 –Результати розрахунків потреб енергії

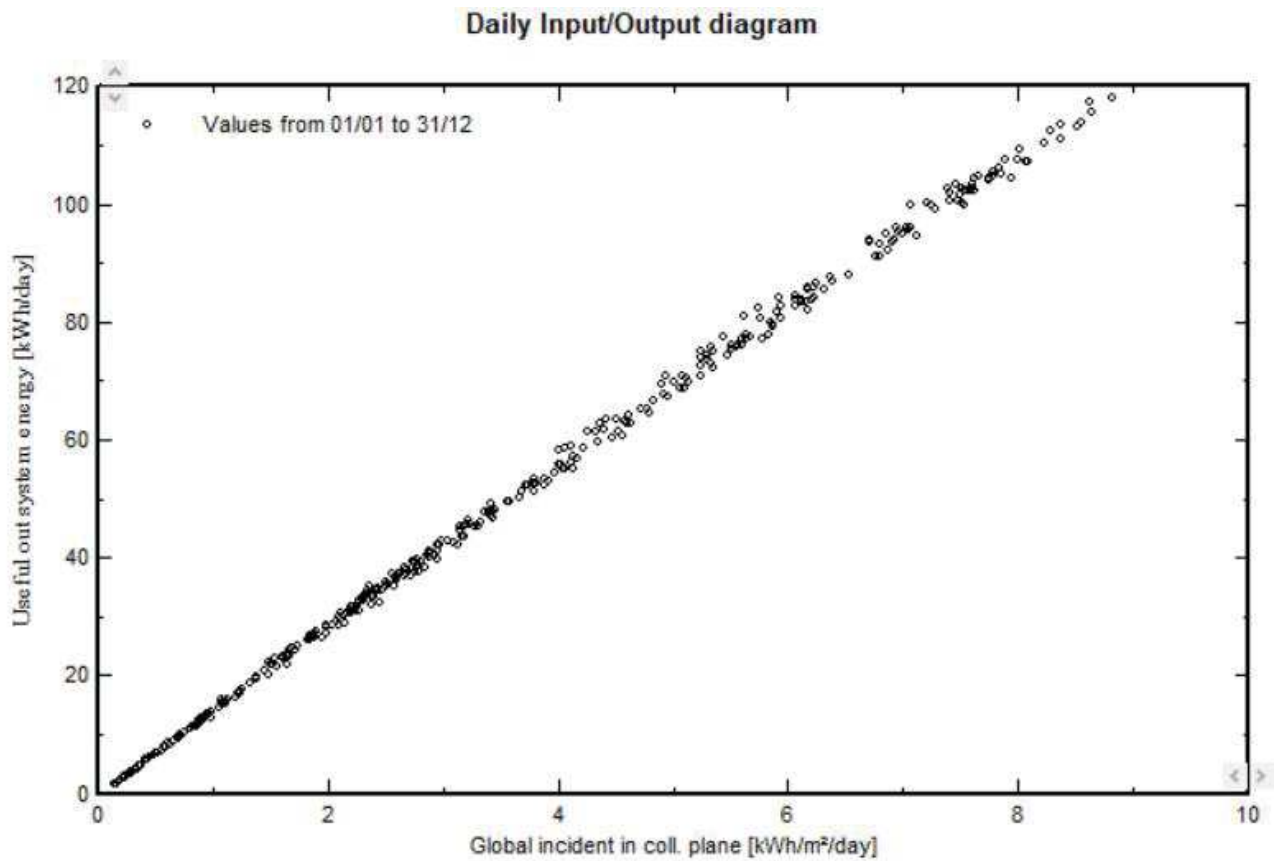


Рисунок 3.17 – Добове споживання електроенергії

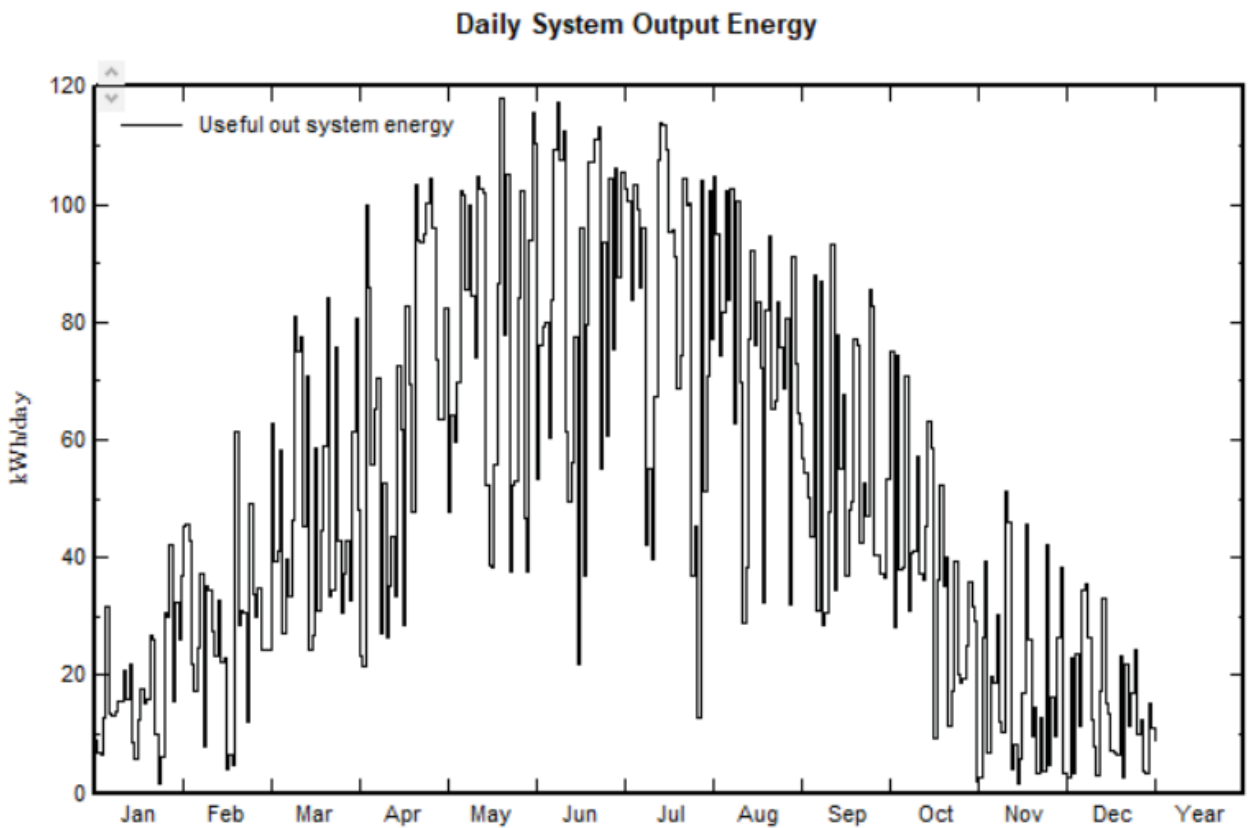


Рисунок 3.18 – Отримана потужність протягом року

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

58

3.2 Моделювання навантаження на дах

Крім того, що сонячна електростанція має певну вагу. Окрім проектування її потужності треба ще врахувати й навантаження на дах будинку.

Розробимо модель у програмному середовищі SolidWorks. Проведемо моделювання будинку з урахування навантаження. Передбачаємо навантаження СЕС у 1000 кг. Розроблена конструкція показана на рис.3.19.

Результати моделювання на рис. 3.20-3.22.

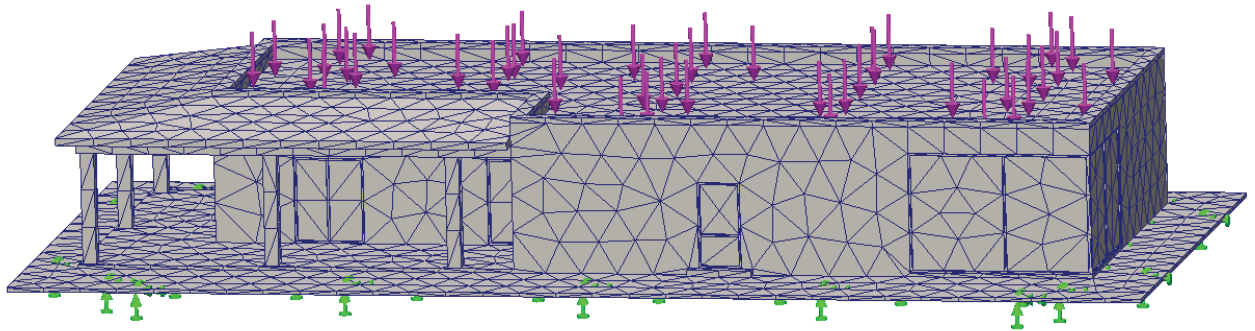


Рисунок 3.19 – 3Д модель будинку

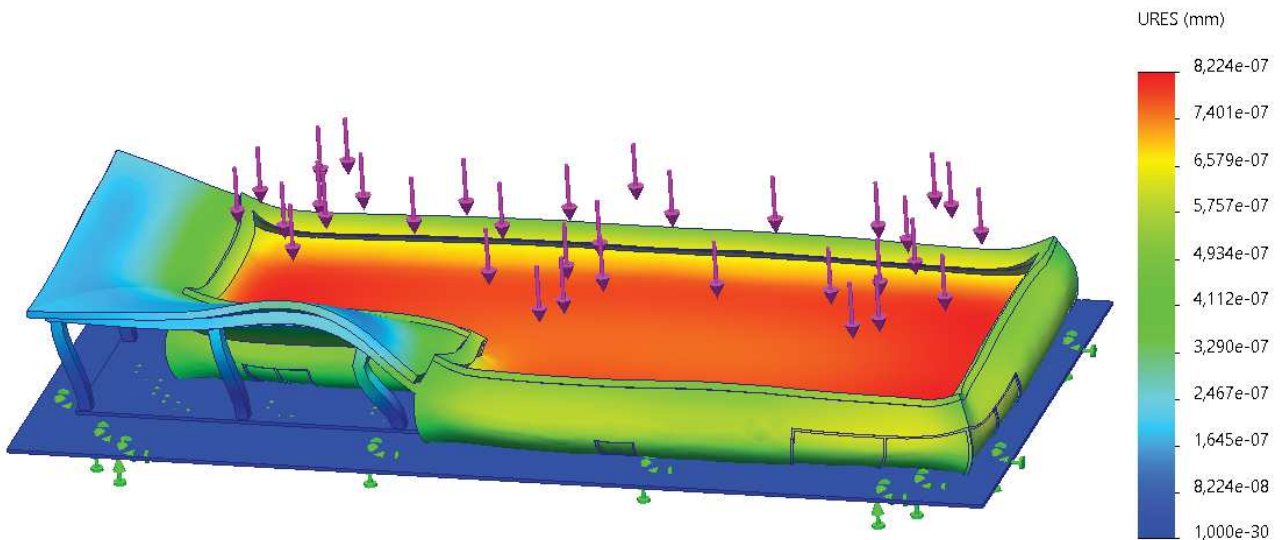


Рисунок 3.20 – Результати розрахунку, значення деформації

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

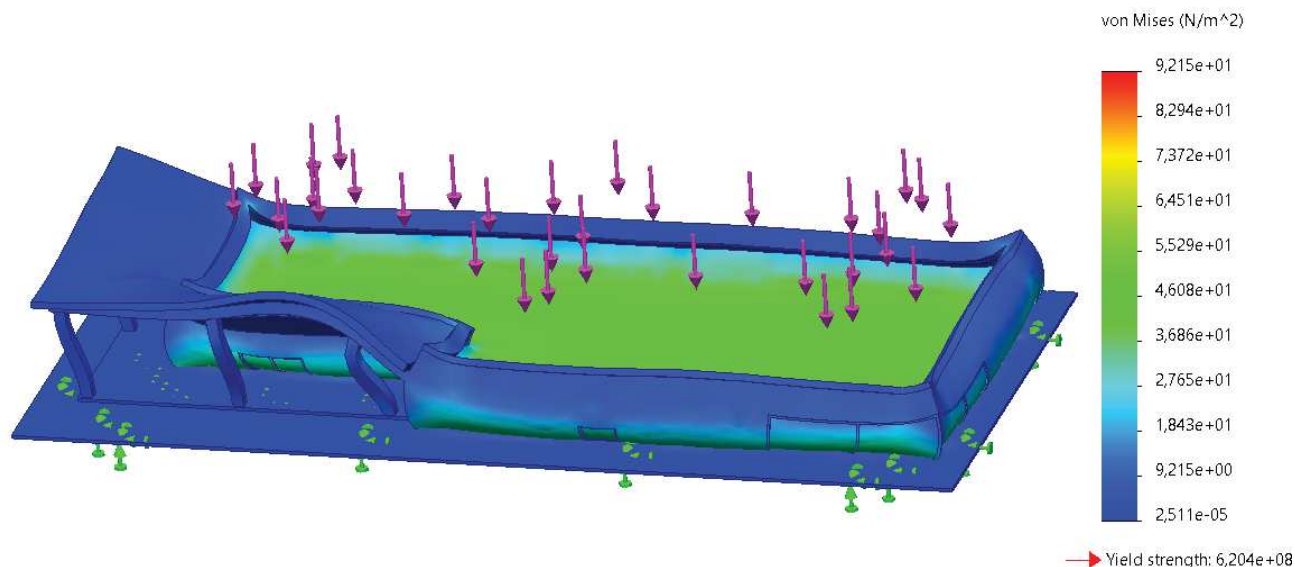


Рисунок 3.20 – Результати розрахунку, напруження по Фон Мезісу
Розробимо контрукції кріплення фотопанелу. Результат показано на риис.3.23

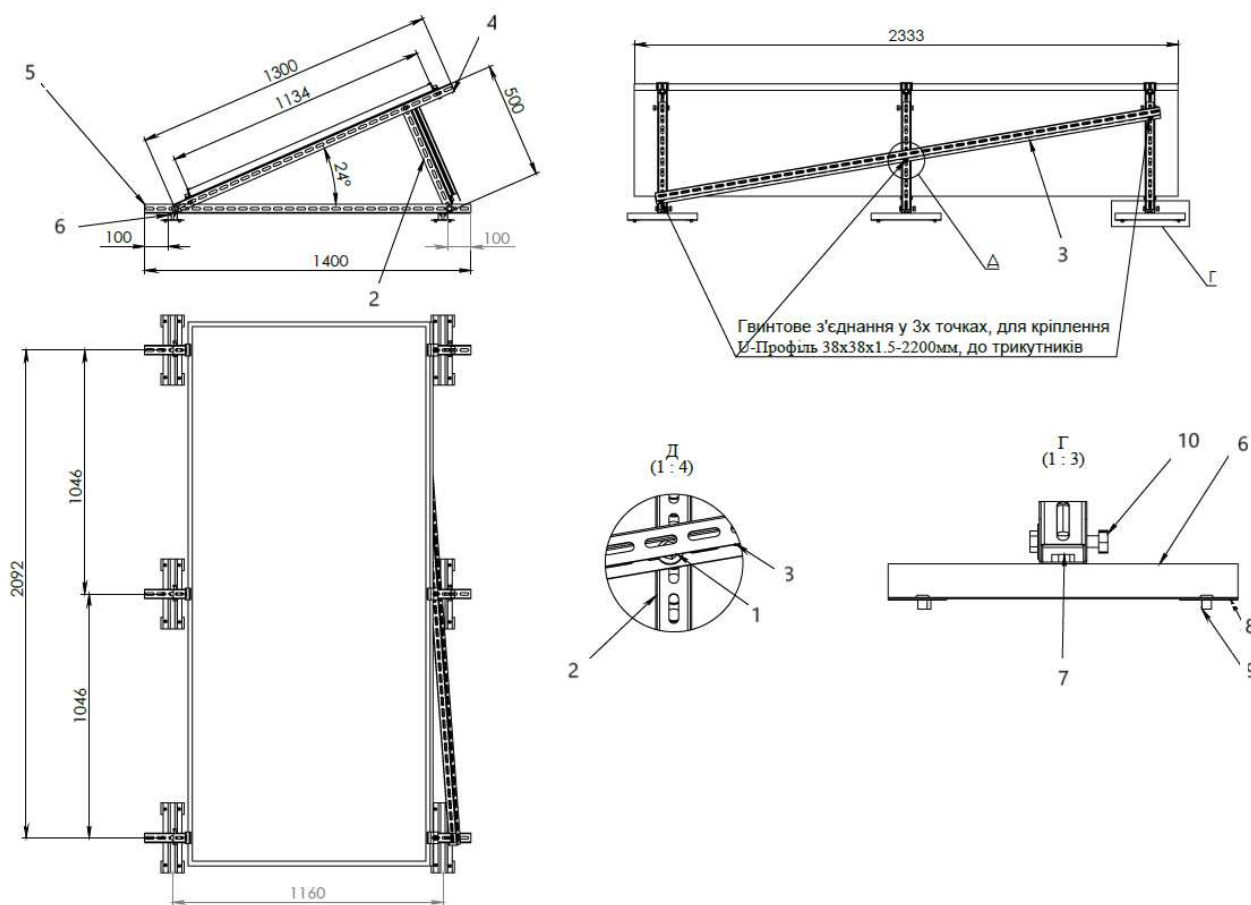


Рисунок 3.23 – Конструкція Кріплення панелей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

60

Проведем моделювання у середовищі SolidWorks.

Результати показані на рис. 3.24-3.26.

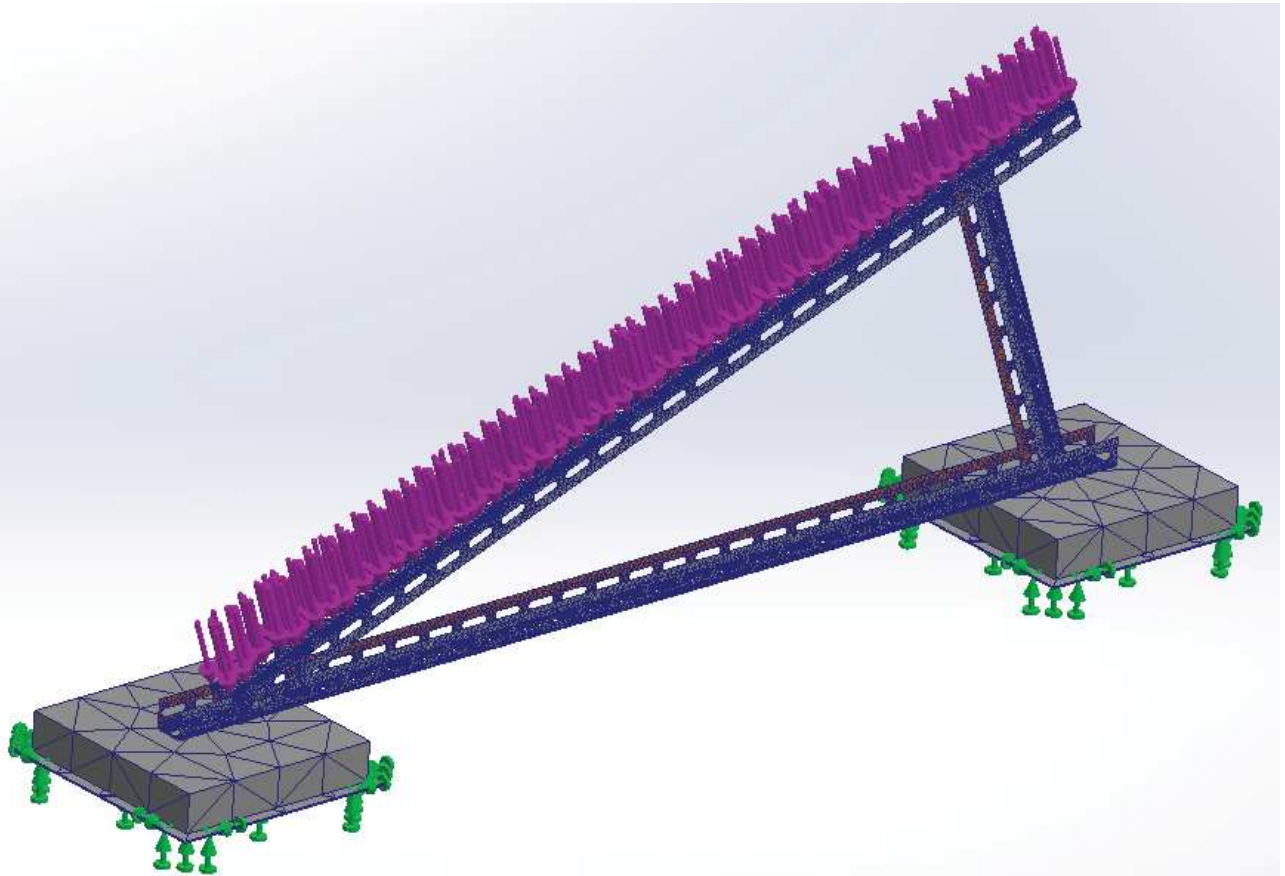


Рисунок 3.24 – Модель конструкції

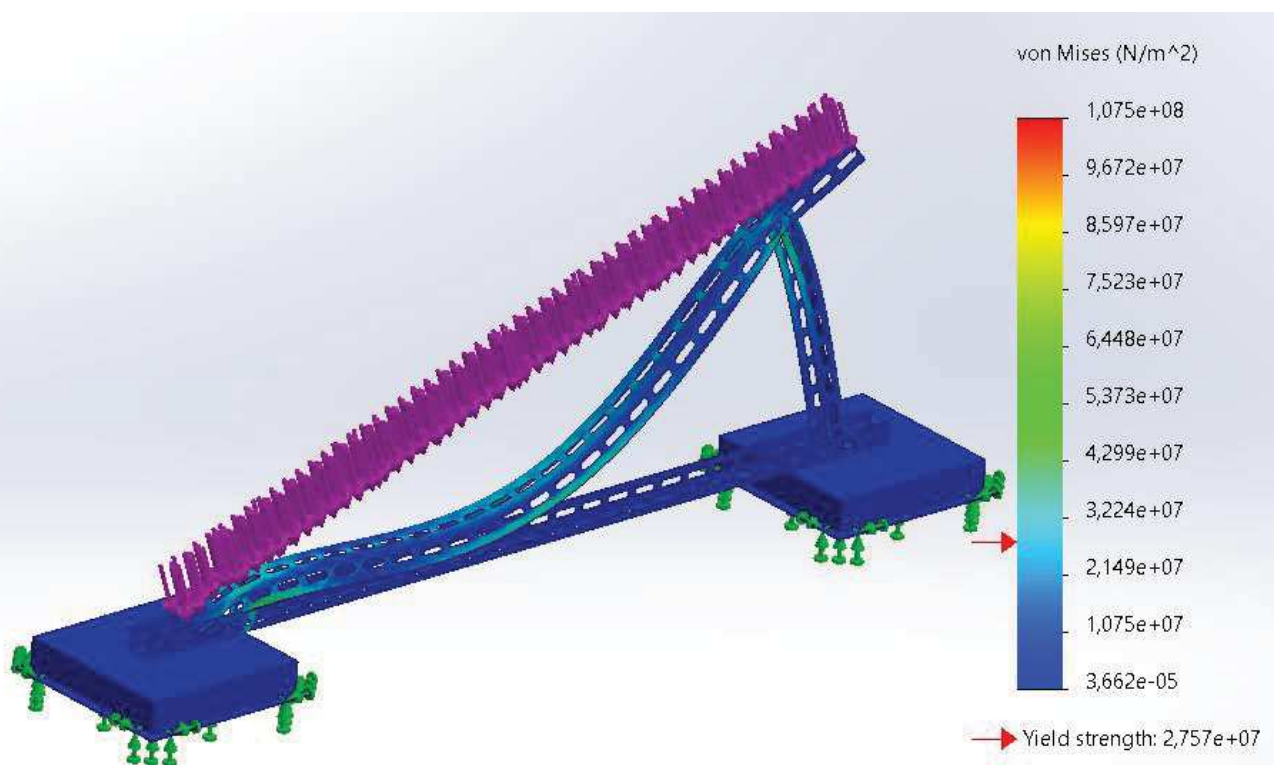


Рисунок 3.25 – Результати розрахунку напруження по Фон Мезісу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

61

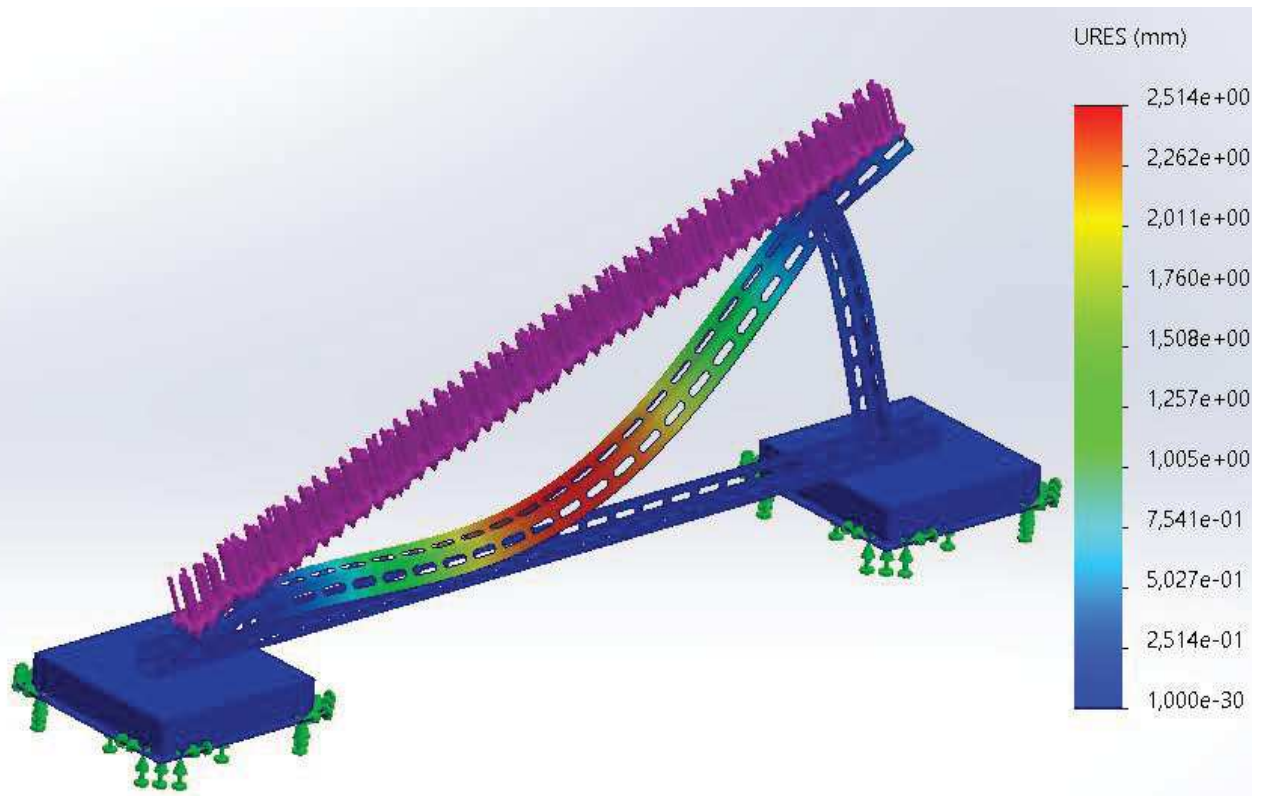


Рисунок 3.26 – Результати розрахунку деформації

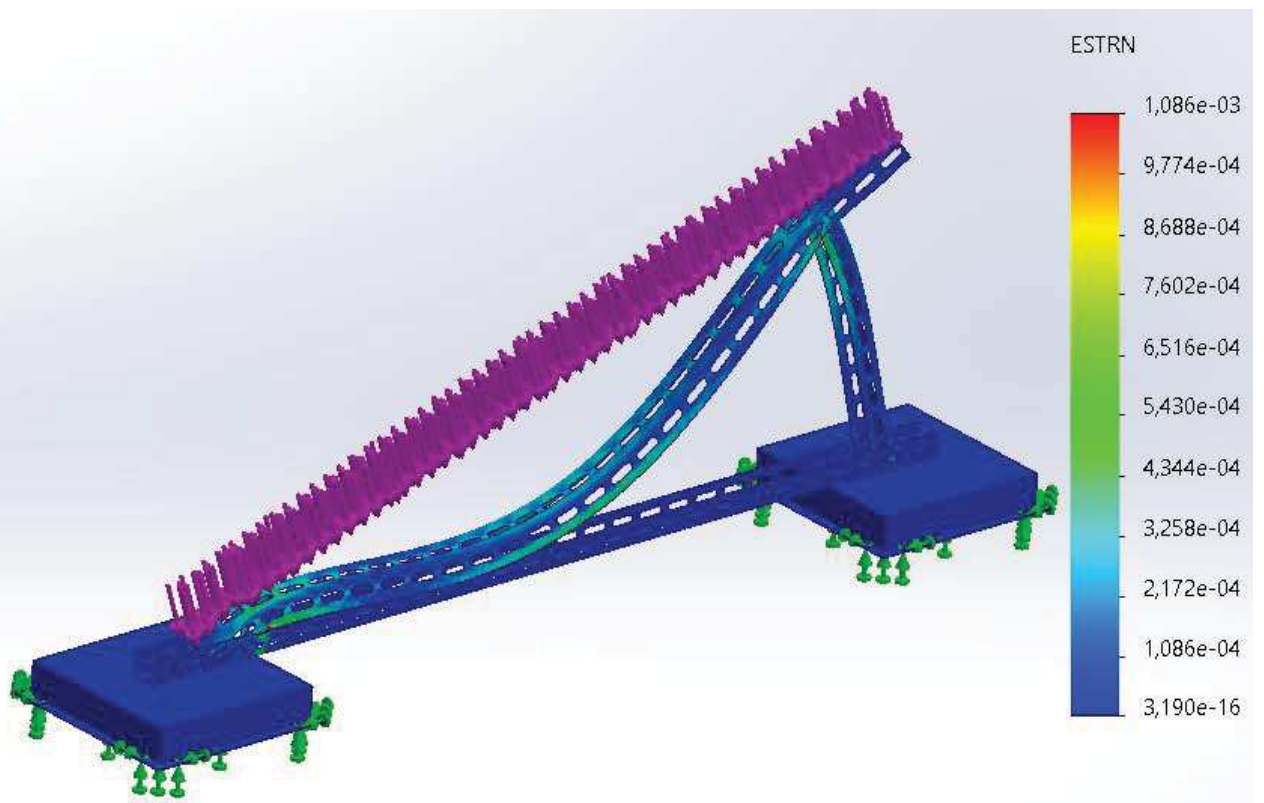


Рисунок 3.27 – Результати розрахунку напружень

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

62

3.3 Висновки по третьому розділу

Проведено розрахунки сонячної електростанції. Виконано моделювання роботи електричної станції. Отримано графіки навантажень щодобово, що річно. Також виконано моделювання навантаження даху будинку та системи кріплення фотопанелі.

Визначено, що конструкція СЕС не пошкоджує дах навіть при сильних вітрових навантаженнях, а конструкція кріплення надійна. Величина деформації кріплення до 2.6 мм, а даху не більше 1 мм.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ВИСНОВКИ

Ретельне проектування дахової сонячної електростанції потужністю 14 кВт включає технічний аналіз, підбір схем і компонентів, якісну реалізацію електромонтажу та механічної фіксації. Такий системний підхід забезпечує:

- Максимальну ефективність перетворення сонячної енергії;
- Безпеку користувачів та обладнання;
- Стійку енергетичну автономність на фоні нестабільного енергоринку.

Підбір якісних з'єднувальних кабелів і надійної системи кріплення є критично важливою складовою успішного проектування та експлуатації дахової сонячної електростанції. Саме ці компоненти забезпечують ефективну передачу енергії, довговічність системи та електробезпеку протягом усього терміну служби.

З'єднувальні кабелі мають відповідати міжнародним стандартам (EN 50618, TÜV), бути стійкими до УФ-випромінювання та погодних умов. Підбір перерізу має враховувати допустимі струми та довжину траси, щоб зменшити втрати потужності.

Конектори типу MC4 повинні бути сертифікованими та правильно обтиснутими — це гарантує герметичність і низький контактний опір.

Кріпильні системи обираються відповідно до типу даху (похилого чи плоского) та матеріалу покриття. Використання антикорозійних компонентів із нержавіючої сталі або анодованого алюмінію забезпечує стабільність конструкції навіть за умов тривалої експлуатації.

Загалом, грамотне проектування та якісний монтаж з урахуванням цих факторів дозволяють забезпечити максимальну надійність, безпеку та ефективність СЕС, знизити ризики відмов, і оптимізувати витрати на обслуговування в довгостроковій перспективі.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Виконано розрахунок сонячної електростанції за допомогою PVsyst забезпечив високу точність прогнозування її продуктивності, що сприяло надійності та ефективності проекту. Завдяки цьому програмному забезпеченню вдалося детально проаналізувати всі аспекти проекту та ухвалити обґрунтовані рішення для створення стійкої та економічно вигідної сонячної електростанції.

Проведено моделювання навантаження на дах та кріплення сонячної фотопанелі.

Проектування дахової сонячної електростанції (СЕС) потужністю 14 кВт в умовах України є технічно виправданим, економічно доцільним та екологічно значущим кроком. Враховуючи стрімке зростання цін на електроенергію, нестабільність енергосистеми та актуальність децентралізованого енергопостачання — такі СЕС стають важливим елементом енергонезалежності для домогосподарств і малого бізнесу.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Закон України від 04.06.2015 № 514-19 Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії: Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2015, N33, ст.324. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/514-19> (дата звернення: 11.09.2024).
2. Основи конструювання електроустановок з відновлювальними джерелами енергії [Текст] : навч посіб. / С.О.Кудря, В.М.Головко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011.
3. Radware Captcha Page. *Radware Captcha Page*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/enerhosvidomi-uriad-rozshyriuie-mozhlyvosti-dlia-hromadian-ta-biznesu-na-vstanovlennia-alternatyvnykh-dzherel-enerhii> (date of access: 12.04.2025).
4. Як мережеву СЕС зробити гібридною?. Статті компанії «ECO TECH UKRAINE». *Сонячні електростанції для дому під ключ, сонячні батареї (панелі) - Eco-Tech.com.ua*. URL: <https://ecotech.com.ua/ua/a474599-kak-setevuyu-ses.html> (дата звернення: 15.04.2025).
5. Види сонячних електростанцій – [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/ SES – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
6. Кліматичні дані по м.Києву – [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: http://cgo-sreznevskyi.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

7. Як обрати сонячні панелі – [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua/blog/yak-vybraty-sonyachni-paneli-top-20-vyrobnykiv-mono-ta-polikrystalu/> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
8. Системи монтажу фотомодулів – [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://www.atmosfera.ua/uk/rishennya/sistemy-montazha-fotomodulej/> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
9. Солнечная панель (батарея) JA Solar 495 Вт JAM66S30-495/MR Mono Half-cell PERC. Экофорс. URL: <https://ecoforce.com.ua/ru/photoelectrics/jam66s30-495-mr/> (дата звернення: 11.05.2025).
10. Трифазний високовольтний гібридний інвертор Deye SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 15KW, EU версія, IP65. *SOLAR MARKETS – це інтернет-магазин обладнання для будівництва сонячних станцій.* URL: <https://solar-markets.com.ua/tryfaznyi-vysokovoltnyi-hibrydnyi-invertor-deye-sun-15k-sg01hp3-eu-am2-15kw-eu-versiia-ip65/> (дата звернення: 10.05.2025).
11. ZE-2625240 Запобіжник CH10x85 gPV 15A 1500V UL. VSE-E.COM - гіпермаркет електротехніки. URL: <https://vse-e.com/ua/predohranitel-ch-su-10x85-gr-pv-4a-1200v-30ka?srsId=AfmBOorsPt64oR6fJo06cCjwUuwsKh9rTjdbVgQSNb3LSmNOgTqMvrc5> (дата звернення: 15.05.2025)
12. ETI EFH 10 (2540203) в інтернет магазині електротехніки || AxiomPlus. *Axiomplus.* URL: <https://axiomplus.com.ua/ua/predohraniteli-i-derzhateli/product-105868/> (дата звернення: 11.05.2025).
13. Вимикач навантаження LS16 SMA A4 4P "0-1" 16A 1000V DC (для сонячних батарей) ETI (004660063). *Електрообладнання ETI в Україні | Інтернет - магазин ETI-SHOP.* URL: <https://eti-shop.com/uk/product/vimikach-navantazhennya-ls16-sma-a4-4p-0-1-16a->

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

1000v-dc-dlya-sonyachnih-batarey-eti-004660063 (дата звернення: 11.05.2025).

14. Як влаштована мережева сонячна електростанція?. *Магазин товарів Solar-Tech*. URL: <https://solar-tech.com.ua/ua/kak-ustroena-setevaya-solnechnaya-stanciya-2018-11-18.html> (дата звернення: 20.04.2025).

15. Комплект кріплень сонячних панелей Kripter StringSetter M05 купити в СвітАКБ. *Світ АКБ*. URL: <https://svitakb.ua/alternativnaya-energetika/kreplenie/dlya-skatnyh-krysh/kripter-stringsetter-m05> (дата звернення: 25.04.2025).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68