

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

**К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А   Р О Б О Т А**

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень

на тему: **„ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ПРИВАТНОГО ЖИТЛОВОГО  
БУДИНКУ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61  
Спеціальності 141 „Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”  
(шифр і назва)

Люшин Вадим Олександрович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доцент Пташник В.В.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
Люшину Вадиму Олександровичу

1. Тема роботи: **"ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ПРИВАТНОГО ЖИТЛОВОГО  
БУДИНКУ"**

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент  
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 08.01.2025 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література.  
Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні основи розрахунку фотоелектричних установок домогосподарств.

4.3. Інженерна реалізація фотоелектричних установок домогосподарств.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	12.09.2024 – 30.09.2024	
2	Теоретичні основи розрахунку фотоелектричних установок домогосподарств	1.10.2024 – 20.10.2024	
3	Інженерна реалізація фотоелектричних установок домогосподарств	21.10.2024 – 30.11.2024	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	1.12.2024 – 15.12.2024	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	16.12.2024 – 31.12.2024	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	1.01.2025 – 5.01.2025	
7	Завершення роботи в цілому	6.01.2025 – 8.01.2025	

Студент \_\_\_\_\_ Люшин В. О.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(підпис)

УДК 621.3

Люшин В. О. "Обґрунтування структури та параметрів фотоелектричної установки приватного житлового будинку". Кваліфікаційна робота. Дубляни. Львівський національний університет природокористування, 2025 р. 73 с. текстової частини, 23 рисунків, 3 таблиці, 25 джерел посилання, 1 додаток.

**Метою** кваліфікаційної роботи є оцінка можливості застосування фотоелектричної установки для живлення домогосподарства з обґрунтованою структурою, з врахуванням необхідних потреб у електричній енергії та наявної матеріальної бази фотоелектричного устаткування. Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі **завдання**: здійснити оцінку споживання електричної енергії; оцінити енергетичний потенціал сонячної енергії; визначити параметри фотоелектричної установки; здійснити обґрунтування структури та параметрів установки; здійснити техніко-економічні розрахунки.

Досліджено глобальний стан розвитку сонячної електроенергетики як за кордоном, так і в Україні. Проаналізовано наявні схеми реалізації сонячних електроенергетичних установок. Виконано оцінку потреб в електроенергії для домогосподарства, енергетичного потенціалу сонячної радіації, параметрів структурних компонентів гібридної фотоелектричної установки. Для розробленої структурної схеми фотоелектричної установки здійснено розрахунок помісячної продуктивності та побудовано енергетичні баланси. Розглянуто питання охорони праці та захисту в надзвичайних ситуаціях. Виконано економічну оцінку застосування гібридної фотоелектричної установки в умовах домогосподарства.

**Ключові слова:** система електрозабезпечення, фотоелектрична установка, обґрунтування структури, гібридна установка.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	7
<b>1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>9</b>
1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження	9
1.2 Структурні схеми фотоелектричних установок домогосподарств	16
1.3 Огляд законодавчої бази відновлюваної енергетики	23
1.4 Мета і завдання роботи	28
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК ДОМОГОСПОДАРСТВ</b>	<b>29</b>
2.1 Методика дослідження витрати електроенергії домогосподарством	29
2.2 Методика дослідження параметрів потенціалу сонячної радіації	32
2.3 Методика розрахунку параметрів фотоелектричних установок домогосподарств	34
<b>3 ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК ДОМОГОСПОДАРСТВ</b>	<b>42</b>
3.1 Результати визначення витрати електроенергії для потреб домогосподарств	42
3.2 Результати дослідження параметрів потенціалу сонячної радіації	44
3.3 Результати розрахунку параметрів фотоелектричних установок домогосподарств	47

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
4.1. Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації фотоелектричних установок	57
4.2. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації фотоелектричних установок	58
4.3. Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації фотоелектричних установок	62
4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях	62
5. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	65
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	71

## ВСТУП

Розвиток енергетичного сектору України вимагає рішучих та радикальних змін, які насамперед пов'язані із значними руйнуваннями, які принесла війна з росією. Регулярні атаки на сектор енергетики спричинив низку руйнувань, на відновлення яких необхідно буде витратити значні кошти та багато часу. В умовах продовження бойових дій на сході, не всі заплановані заходи із відновлення інфраструктури електроенергетики можливо реалізувати. Одним із перспективних напрямів послаблення впливу руйнувань енергетичної інфраструктури на населення є широке застосування систем власної генерації електроенергії, розвиток систем накопичення електроенергії, розвиток смарт мереж тощо.

Розвиток систем самогенерації електричної енергії передбачає використання електроустановок малої потужності, які додатково оснащені засобами накопичення електричної енергії. Найбільш поширеним і найпростішим варіантом побудови таких систем є спорудження сонячних фотоелектричних установок. Такі установки не вимагають значних коштів на спорудження, тобто вони характеризуються простою структурною схемою, можуть бути реалізовані практично в будь-яких умовах домогосподарств, і, що найголовніше, можуть бути швидко введені в експлуатацію та використовуватися для генерування та накопичення електричної енергії.

Однією із особливостей гібридних систем фотоелектричних систем, які оснащені засобами акумуляування електричної енергії є те, що вони можуть не тільки долати період відсутності електричної енергії, але й, за наявності відповідного алгоритму керування інвертором, використовуватися для раціонального споживання електричної енергії з електромережі, а також приймати участь у наповненні енергосистеми електричної енергією, яка вироблена даною установкою.

Виходячи з цього, розвиток малогабаритних гібридних фотоелектричних установок є актуальним і важливим завданням, яке потребує максимально швидкої реалізації.

Ще однією особливістю домашніх гібридних фотоелектричних установок, які обладнані засобами накопичення електричної енергії є можливість їх швидкого масштабування на рівні країни, з урахуванням того, що існує велика кількість приватних домогосподарств на дахах яких можливо встановлення доволі великих енергоустановок, і які можуть внести свою частку у енергетичний баланс об'єднаної енергетичної системи.

Одним із важливих завдань реалізації даного питання є аналіз структури фотоелектричних установок малогабаритного класу, оцінка енергетичного потенціалу сонячної радіації, а також обґрунтування раціональних параметрів структурних компонентів енергетичної системи відповідно до потреб домогосподарства.

Саме ці питання плануються до розгляду у кваліфікаційній роботі, яка стосується обґрунтування раціональної структури та параметрів гібридної фотоелектричної установки для приватного житлового будинку.

Кваліфікаційна робота складається з 5 розділів, вступу, висновків та бібліографічного списку.



## РОЗДІЛ 1

### АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження

У всьому світі продовжує інтенсивно розвиватися відновлювана енергетика як галузь підприємництва у енергетичній сфері. Щоразу більше об'єктів відновлюваної енергетики повстають як результат діяльності приватного бізнесу. Для розвитку цього напрямку бізнесу застосовують низку стимулювальних заходів, серед яких є корпоративна угода на закупівлю електроенергії, акціонерні фінансування, зелені облігації, зелені сертифікати, спільні підприємства тощо.

Динаміка корпоративних закупівель електроенергії, яка вироблена з відновлюваних джерел демонструє стрімке зростання (рис. 1.1).

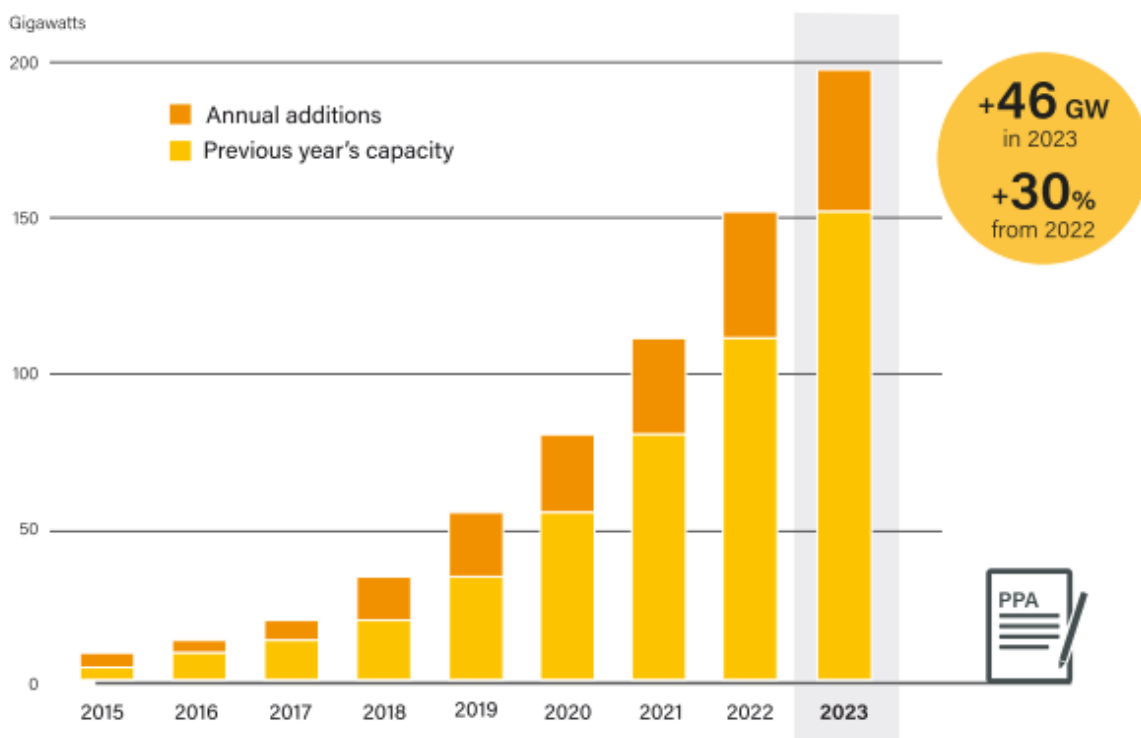


Рисунок 1.1 - Корпоративні угоди про закупівлю енергії з відновлюваних джерел енергії, глобальна потужність і щорічні доповнення [4]

Як видно з рис. 1.1, за минулий рік було введено в експлуатацію 46 ГВт комерційних енергогенерувальних систем, які використовують відновлювані джерела енергії, що забезпечує тридцяти відсоткову надбавку до 2022 року. Сукупна ж встановлена потужність комерційних об'єктів відновлюваної енергетики становить не повні 200 ГВт.

Найбільшу динаміку зростання введення в експлуатацію комерційних об'єктів відновлюваної енергетики у 2023 році зафіксовано в Європі. Зокрема, тут було введено в експлуатацію 15,4 ГВт потужностей, що становить 74% приросту відносно минулого періоду. Щодо сонячної енергетики, то вона забезпечила обсяг реєстрації комерційних об'єктів на рівні 65%.

Все ж найбільшим гравцем на ринку комерційних енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії є США, які сформували пакет замовлень у 17,3 ГВт, що становило 37% загального обсягу. Слід зауважити, що в Україні вже на кінець 2022 року було встановлено 20,6 ГВт потужностей комерційних енергетичних систем відновлюваної енергетики.

Серед найбільших гігантів комерційного ринку можна виділити фірму Amazon, яка вже четвертий рік поспіль є лідером у галузі. Також значний поступ мають такі підприємства як Meta, LyondellBasell і Google. Bloomberg. Для досягнення амбітних цілей повного переходу на відновлювані джерела енергії цим підприємствам необхідно до 2030 року встановити ще 105 ГВт сонячної та вітрової генерації електроенергії.

Незважаючи на значний поступ у розвитку відновлюваної енергетики, вона все ще не відіграє ключової ролі у загальному енергетичному балансі енергії. Так, частка відновлюваної енергії в загальному кінцевому споживанні енергії за галузями не перевищує 20%. Зокрема, в індустрії частка відновлюваних джерел у кінцевому споживанні становить на кінець 2023 року 16,8%, у будівництві – 15,9%, на транспорті – 3,9, а також в сільському господарстві 15,4 (рис.1.2).

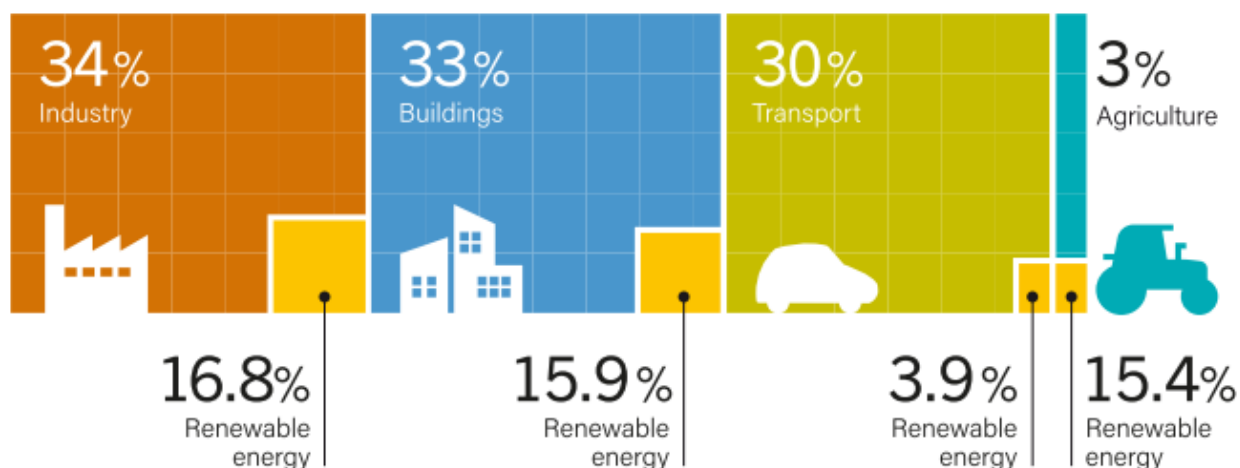


Рисунок 1.2 - Частка відновлюваної енергії в загальному кінцевому споживанні енергії за галузями [4]

Якщо розглянути ситуацію із часткою відновлюваних джерел енергії у кінцевому споживанні за видами енергії, то майже половина загального споживання припадає на теплові процеси, а точніше 48% (рис. 1.2). І лише 10% було вироблено з відновлюваних джерел енергії. При виробництві палива, яке становить віз загального обсягу енергії – 29%, на відновлювані джерела припало 3,5% енергії. А у сфері електроенергетики, яка становить 23% від загального обсягу енергії, на відновлювані джерела припадає вже 30%.

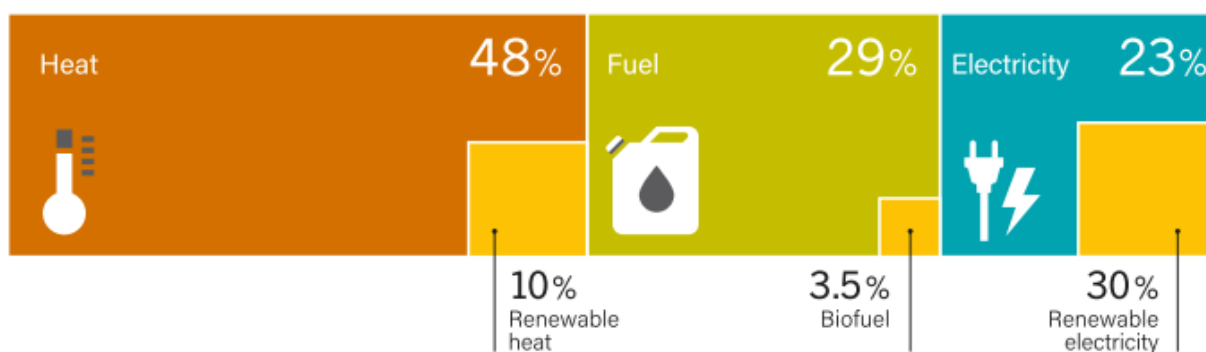


Рисунок 1.2 – Загальне кінцеве енергоспоживання та частка сучасних відновлюваних джерел енергії за енергоносіями [5]

Щодо абсолютних показників галузі відновлюваної енергетики, то вона насправді розвивається доволі стрімко та потужно. Впродовж 2023 року було

введено в експлуатацію на 54% більше установок відносно 2022 року (рис. 1.3). Зокрема, у 2023 році загальна додана потужність систем відновлюваної енергетики становила 536 ГВт, з яких 407 ГВт було саме за сонячною електроенергетикою. Це свідчення про пріоритетність даної галузі.

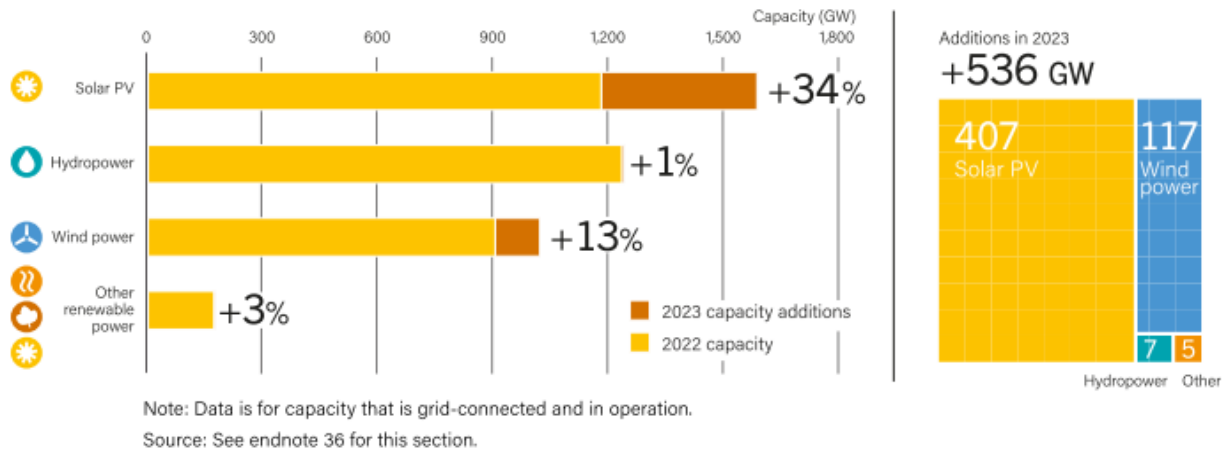


Рисунок 1.3 – Загальна встановлена потужність відновлюваних джерел енергії та додаткова потужність за технологіями [5]

На конференції ООН, яка відбулася в Об'єднаних Арабських Еміратах у 2023 році уряди домовилися про те, що необхідно потроїти потужності відновлюваних об'єктів та подвоїти заходи з підвищення енергоефективності. Ці заходи необхідно вжити до 2030 року, який є періодом, до якого було застосовано терміни для досягнення кліматичних цілей. Слід зауважити, що ринок відновленої енергетики демонструє все-таки недостатні темпи розвитку, і за поточних темпів розвитку, не можна буде до 2030 року досягнути запланованих 11 ТВт потужності (рис. 1.4). Насправді за таких умов можна бути можна досягнути лише 8 ТВ встановленої потужності. Таким чином, необхідно більш активно вести політику глобального впровадження об'єктів відновлюваної енергетики.

Головним домінантом на ринку відновлюваних джерел енергії залишається сонячна фотоелектрична та вітрова енергія.

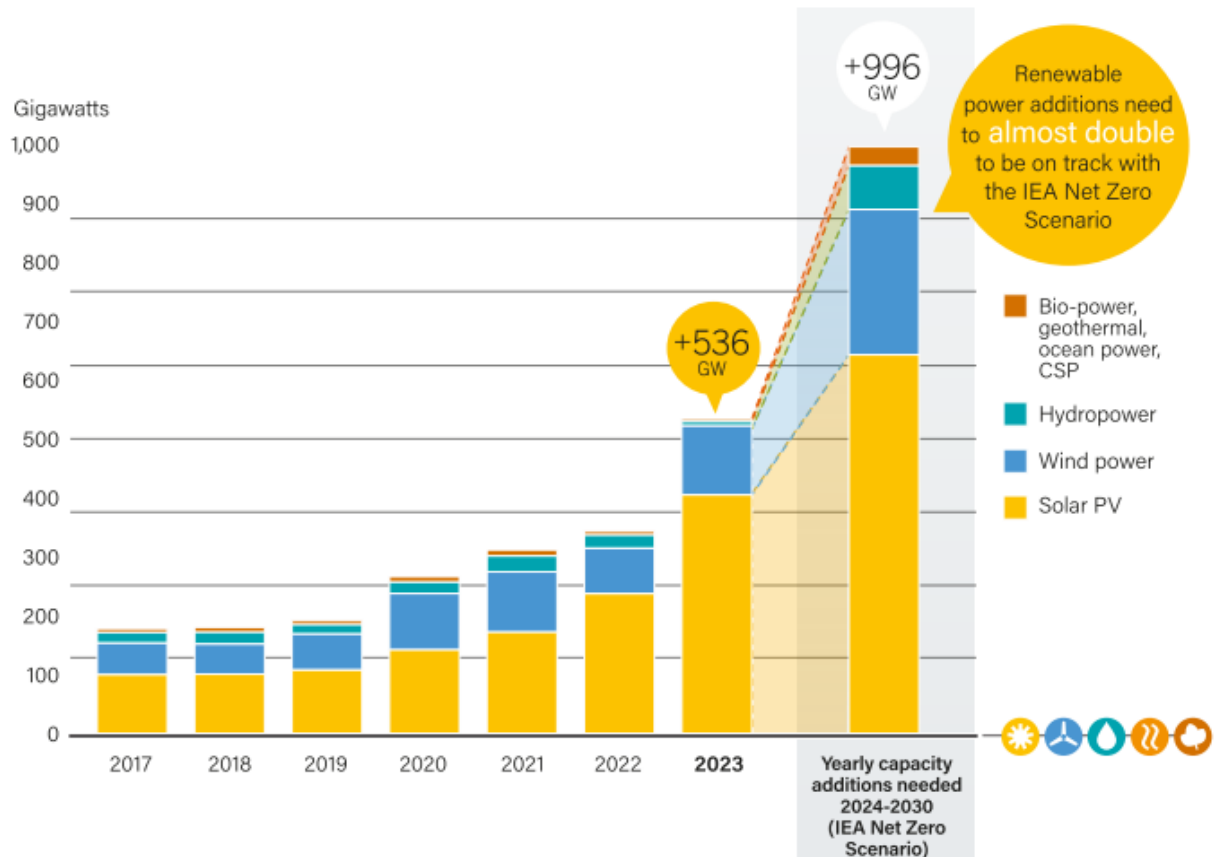


Рисунок 1.4 – Щорічне збільшення потужності відновлюваної електрогенерації за технологіями, і щорічне збільшення, необхідне для досягнення нульового сценарію Міжнародного енергетичного агентства до 2030 року [5]

Зокрема, сонячна фотоелектрична енергетика становила 63% від загального обсягу у 2023 році, вітрова становила трошки більше половини - 35% (рис. 1.5). Слід зауважити, що інвестиції у сонячну електроенергетику у 2023 році зросли лише на 12,5%. Це при досягненні об'ємів інвестиції у розмірі 392,7 млрд доларів США. Однак, це дещо менше насправді, ніж було реалізовано у 21-му році. Тоді було 39%, а також в 22-му році тоді було 44%.

Стосовно розподілу обсягів інвестицій, то майже половина всіх інвестицій, а це 47,4%, припадають на Китайську народну республіку.

Інвестиції у вітроенергетику мають менші темпи. Зокрема, у 2023 році інвестиції зросли всього на 2,3%, що становило 216,6 млрд доларів США.

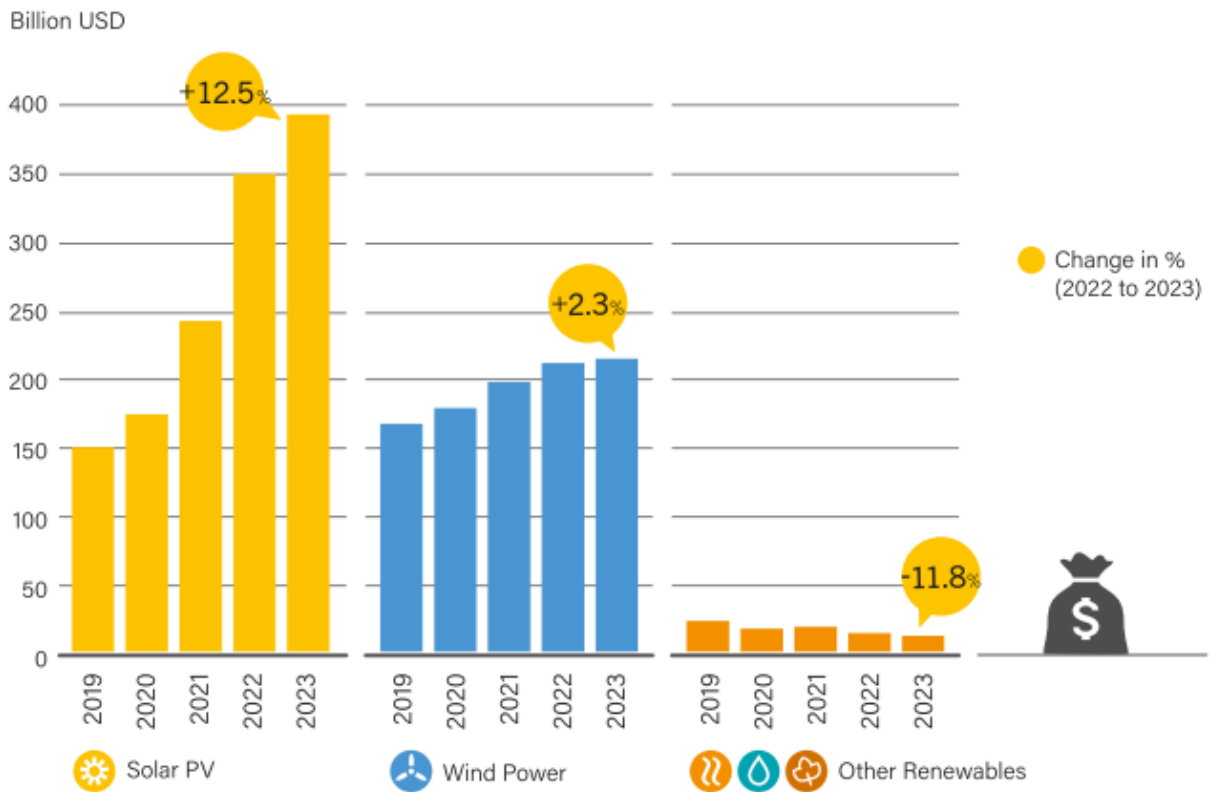


Рисунок 1.5 – Загальні інвестиції у відновлювані джерела енергії та палива за технологіями [5]

У попередніх роках, наприклад, у 2021 році було зафіксовано 11% інвестицій у 2022 році - 22 7%. Це, певною мірою, свідчить про пригасання інтересу до вітроенергетики. Окремо треба розглядати питання про розвиток офшорної вітроенергетики, де інвестиції зросли на 79%. Загальний обсяг інвестицій в цій галузі становить 86,7 млрд доларів США. Найбільше інвестують у вітроенергетику три країни: Китай, Сполучені Штати Америки та Великобританія. На ці країни припадає 66,5% всіх світових інвестицій у вітроенергетику.

Повертаючись до сонячної фотоелектричної енергетики, слід зауважити що вона розвивається доволі динамічно. У 2023 році було встановлено 407 ГВт фотоелектричних станцій (рис. 1.6). Цей рекордний показник додав збільшення сукупної потужності на 73% відносно попереднього року і стало найбільшим відсотковим внеском починаючи від 2011 року. Зокрема, у 2023

році було встановлено більше сонячних станцій ніж всі сонячні станції, які були змонтовані на період 2017 року. Відповідно, загальна встановлена потужність сонячних електростанцій на кінець 2023 року досягла цифри 1589 ГВт потужності.

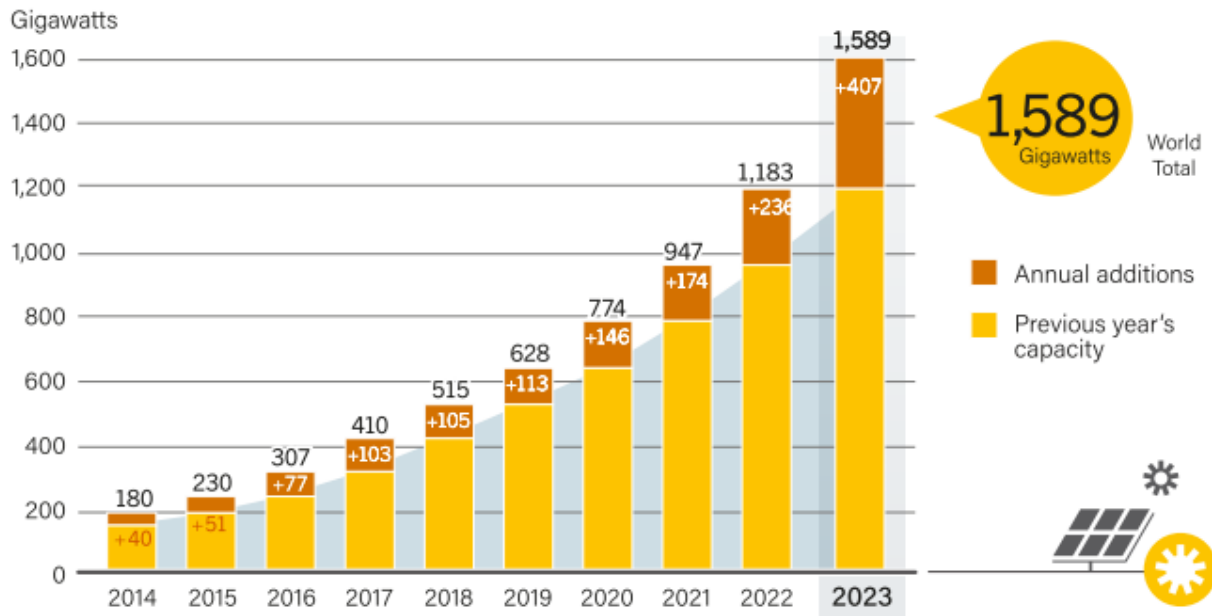


Рисунок 1.6 – Загальна потужність фотоелектричних установок та щорічне введення в експлуатацію нових потужностей [5]

Необхідно зауважити, що поряд із промисловими сонячними установками успішно розвиваються й установки домогосподарств. Зокрема, за даними Агентства держенергоефективності, домогосподарства мають достатній потенціал для виробництва електроенергії у обсязі 1400 млн кВт·год. Це дозволяє розвивати ще один клас установок, які прийматимуть участь у децентралізації виробництва електроенергії, тобто наближення виробництва до споживача.

З іншого боку, розвиток децентралізованого виробництва електроенергії є недостатнім без запровадження такої структурної одиниці як система накопичення електроенергії. При додаванні такої структурної одиниці можна забезпечити дійсну участь у балансуванні енергосистеми на локальному рівні.

З врахуванням того, на рівні домогосподарства можна реалізувати різноманітні структурні схеми сонячної фотоелектричної установки, які характеризуються суттєвими відмінностями у продуктивності, функціональних властивостях, економічних показниках доцільним є більш детальний аналіз можливих варіантів систем з точки зору обґрунтування раціональної схеми для конкретного домогосподарства відповідно до його вимог.

**Об'єктом дослідження** є система електрогенерації, яка реалізована на рівні приватного домогосподарства.

**Предметом дослідження** є дослідження взаємозв'язків між параметрами системи електрогенерації та електроспоживання приватного домогосподарства.

## **1.2 Структурні схеми фотоелектричних установок домогосподарств**

Фотоелектричні установки домогосподарств – це група систем, які призначені для генерування електроенергії за рахунок прямого перетворення сонячної радіації у електричну. Особливістю таких установок є те, що відсутня сполучна ланка між централізованою електрогенерацією та споживачем, як це зазвичай є у типовій системі електропостачання. Тобто, в такому випадку генерування електроенергії відбувається на місці її використання. Це практично усуває складову втрат електроенергії на її пересилання по електромережам. Крім того, такого типу системи можуть мати потужність генерування саме таку, яку вимагає об'єкт споживання. Хоча, залежно від призначення фотоелектричної установки, потужність генерації може суттєво перевищувати споживану потужність.

Слід також зауважити, що використання сонячних фотоелектричних установок дозволяє підвищити надійність електропостачання



домогосподарств, забезпечити їх електроенергією у короткочасні періоди аварійних режимів на лінії електропередач, блекаутів тощо.

Окреме питання щодо вартості сонячних фотоелектричних установок домогосподарств. Вартість може варіюватися від декількох тисяч гривень до майже мільйона гривень за одну установку. Це визначається, перш за все, її потужністю та структурною схемою.

Для обґрунтування раціональної структури сонячної фотоелектричної установки домогосподарства необхідно ознайомитися із наявними рішеннями, а також визначитися із пріоритетами функціоналу та загальною ідеєю використання.

Отже, розглянемо які можуть бути структурні схеми сонячних фотоелектричних установок домогосподарств залежно від цілей, які потрібно реалізувати у ньому.

Загалом є три основні типи сонячних фотоелектричних установок: автономна, мережева та гібридна. Звичайно, що в кожному типі можуть бути якісь модифікації, які стосуються особливостей споживача, виду напруги, яку потребує споживач тощо.

Найпростішою, а також найдешевшою, на одиницю потужності, може бути мережева сонячна фотоелектрична установка (рис. 1.7). Хоча такі системи можуть мати доволі високу вартість через загальну значну їх потужність.

В такій системі фотоелектрична установка працює на віддачу електроенергії в електромережу, з одночасним її споживанням всередині домогосподарства.

Цього типу системи можуть бути призначені для генерування великого обсягу електричної енергії і пересилання її до зовнішньої електромережі для отримання прибутку з врахуванням "зеленого" тарифу. Другий варіант такої системи може бути реалізований на базі мініатюрних сонячних фотоелектричних систем, які працюють на власне споживання

домогосподарства без віддачі електричної енергії до зовнішнього електромережі.



Рисунок 1.7 – Структура мережевої сонячної електростанції [24]

В такому випадку система генерації змінного струму повинна мати додаткову функцію - обмеження перетоків електроенергії до зовнішньої електромережі.

При використанні "зеленого" тарифу потужність сонячної фотоелектричної установки домогосподарства намагаються зробити максимальною для того щоб обсяг надлишково виробленої електричної енергії був максимальний як протягом окремого місяця, так і впродовж року.

В Україні максимально дозволена потужність сонячної фотоелектричної установки домогосподарства, яка працює на умовах "зеленого" тарифу становить 30 кВт. Таким чином, потенційно така сонячна електроустановка

може генерувати близько 30000 кВт·год. При середньому рівні споживання від 3 до 4000 кВт·год. типовим домогосподарством можна очікувати великого обсягу електричної енергії, яка продається за підвищеним "зеленим" тарифом.

Головними перевагами мережевих сонячних фотоелектричних установок є: мінімальна кількість структурних компонентів; відносно низька питома вартість установки; незначні витрати на обслуговування тощо. Такого типу система є доволі надійною та універсальною у застосуванні, однак вона потребує приєднання споживача до електромережі. В цьому випадку основний обсяг електричної енергії споживається з мережевого інвертора, який приєднаний до фотоелектричних панелей. У випадку браку електроенергії з боку сонячної фотоелектричної установки необхідний обсяг електричної енергії добирається з зовнішньої мережі. Таким чином забезпечується вища стабільність електропостачання домогосподарства. Головною ж перевагою мережевих сонячних фотоелектричних установок є можливість серйозного заробітку за рахунок продажу електричної енергії на умовах "зеленого" тарифу.

Як і будь-які енергетичні засоби, сонячні фотоелектричні установки мережевого типу мають низку недоліків. Серед них необхідно виділити один ключовий недолік - це вимога бути приєднаним до зовнішньої електромережі. Це означає, що у випадку аварійних ситуацій на зовнішній електромережі генерація електричної енергії даного домогосподарства буде припинена. Викликається це, перш за все, безпекою персоналу під час експлуатації мережі. Для цього мережеві інвертори обладнані системою керування перетворення постійного струму у змінний, яка живиться від зовнішньої електромережі. Тому такі інвертори називаються такими, що ведуться мережею.

На відміну від мережевих сонячних фотоелектричних установок автономні установки не мають обов'язку бути приєднаними до зовнішньої електромережі. Більше того значна частина таких установок власне не мають

технічної можливості приєднатися до зовнішньої мережі. Наприклад, це віддалені об'єкти: ферми; окремі хутори; будинки які будуються в нових житлових масивах тощо.

Автономні сонячні фотоелектричні установки можуть бути як постійного так і змінного струму. У випадку установки постійного струму тут є також мінімальна кількість структурних компонентів: фотоелектрична панель; контролер заряду та акумуляторна батарея. Якщо ж реалізується автономна фотоелектрична установка змінного струму, то додатковим компонентом до неї є автономний інвертор (рис. 1.8). Особливістю цього інвертора є неможливість приєднання до зовнішнього електромережі.

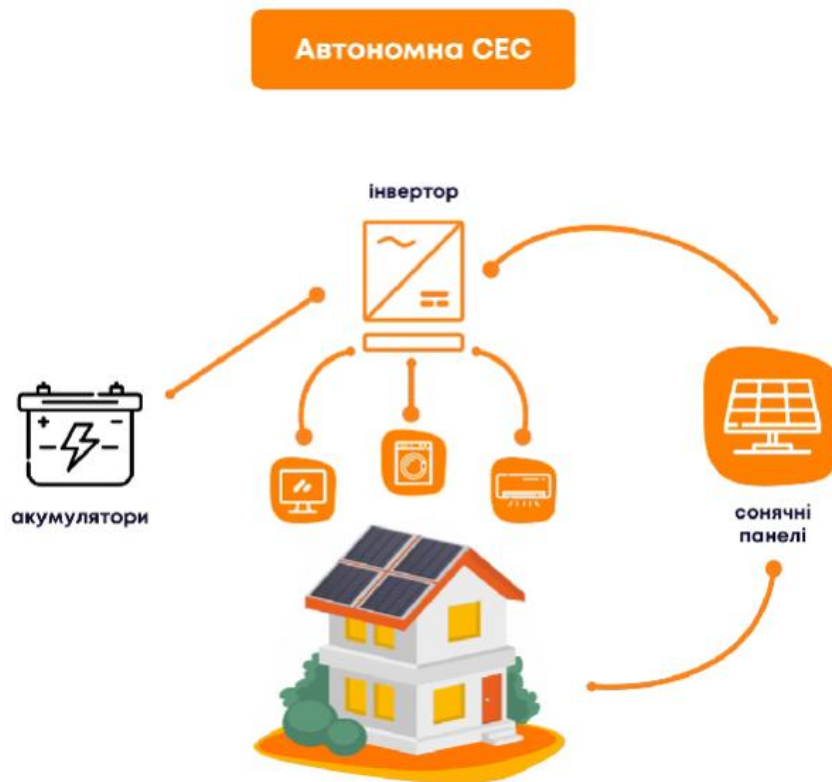


Рисунок 1.8 – Структура автономної сонячної електростанції [24]

В цьому випадку відбувається генерація змінного струму, яка використовується винятково в межах даного домогосподарства. У випадку наявності зовнішньої електромережі і реалізації автономної сонячної установки необхідно застосувати спеціальний двонаправлений перемикач,

який примусово від'єднує внутрішню мережу від зовнішньої. В такому випадку робота автономного мережевого автономного інвертора буде забезпечуватись без аварійно.

Особливістю конструювання сонячних фотоелектричних установок автономного типу є необхідність чіткого балансу генерування та споживання електричної енергії.

Головним недоліком автономних фотоелектричних установок є неможливість гарантованого електрозабезпечення домогосподарства. Це може бути пов'язано з поганими умовами сонячної радіації та значним споживанням електричної енергії.

Серед інших переваг автономних фотоелектричних установок є можливість реалізації індивідуальних систем, які потребують живлення. Такого типу системи зазвичай не є великої потужності, відтак вони є відносно дешевими. Щоправда питомі показники вартості таких установок є доволі високими через наявність системи накопичення електроенергії. Це є головний недолік цієї установки.

Гібридні сонячні фотоелектричні установки характеризуються максимальною кількістю структурних компонентів, які однак забезпечують максимальну гнучкість у реалізації алгоритмів її роботи (рис. 1.9). Це пов'язано з тим, що в гібридній установці є мережеві інвертор, а також є система накопичення електроенергії. Такого типу системи можуть працювати як на віддачу електричної енергії в мережу з одночасним її споживанням, так і працювати на внутрішню електромережу у випадку відсутності електроенергії в зовнішній електромережі. Таким чином ми маємо найбільшу універсалізацію у реалізації системи генерування електричної енергії. Щоправда такого типу системи є доволі дорогими. Питома вартість гібридних сонячних фотоелектричних установок є найвищою. Однак, у випадку аварійних режимів або у випадку тривалих перебоїв з електроживленням гібридні системи дозволяють незалежно від наявності зовнішнього

електромережі живити електрообладнання домогосподарства. Таким чином ми можемо забезпечити найвищий рівень надійності та гарантованості електропостачання домогосподарства.



Рисунок 1.9 – Структура гібридної мережевої сонячної електростанції [24]

Ключовою перевагою гібридних сонячних профілактичних установок є повноцінне живлення електроустаткування домогосподарства без обов'язкової умови приєднання до зовнішньої електромережі.

Крім того, гібридні енергетичні установки дозволяють працювати в режимі балансування електроенергії у зовнішній електромережі. Надлишково вироблена електрична енергія скеровується не в мережу, а накопичується в аккумуляторах і скидається в електромережу у періоди пікового споживання. Щоправда такі системи повинні бути достатньо потужними, щоб вони могли вплинути на режим роботи зовнішньої електромережі.

Тим не менше, у сільській місцевості, де є проблеми з електропостачанням, проблеми з дотриманням нормативної напруги в електромережі, гібридні сонячні фотоелектричні установки можуть нести суттєвий вклад у стабілізацію роботи зовнішньої електромережі.

Щодо недоліків гібридних сонячних установок, то тут можна виділити наступні: висока питома вартість; складність налаштування системи накопичення та взаємодії із зовнішньою електромережею; необхідність виконання проектних робіт для правильного обґрунтованого вибору параметрів структурних компонентів.

Як видно з проведеного огляду, практично усі розглянуті типи сонячних фотоелектричних установок можуть бути рекомендовані до застосування у домогосподарствах. Однак, залежно від можливостей реалізації сонячної установки, обсягів споживання електричної енергії, динаміки та режимів споживання електричної енергії, а також побажань власників домогосподарства, необхідно виконати обґрунтування саме того типу сонячної електроустановки, яка б забезпечила максимальний функціонал для конкретного домогосподарства.

### **1.3 Огляд законодавчої бази відновлюваної енергетики**

У нормативно-законодавчих актах з відновлюваної енергетики акцентується увага на заходах, спрямованих на стимулювання розвитку «зеленої» енергетики та досягнення енергетичної незалежності країни.

Основними Законами України є: Про ринок електричної енергії, Про альтернативні джерела енергії, Про енергетичну ефективність.

Закон України «Про ринок електричної енергії» забезпечує правову основу для функціонування конкурентного ринку електричної енергії в Україні. Він передбачає стимулювання виробників

відновлюваної енергії через механізм зеленого тарифу та створення умов для залучення інвестицій у відновлювану енергетику [20].

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» визначає основні принципи використання таких джерел енергії як сонячна, вітрова, біомаса, геотермальна енергія та ін. Основна ціль даного Закону - зменшення залежності від викопних джерел енергії та сприяння екологічно чистому виробництву електроенергії [16].

У Законі України «Про енергетичну ефективність» наведено перелік заходів для підвищення енергоефективності як у промисловому, так і в житлово-комунальному секторі. Даний документ спрямований на підвищення ефективності використання ресурсів та зменшення енерговитрат [17].

Поряд з основними законодавчими актами в країні функціонують програми підтримки та механізми стимулювання такі як «зелений» тариф та система аукціонів.

«Зелені» тарифи є тим механізмом підтримки, що передбачає викуп електроенергії з відновлюваних джерел за підвищеним тарифом. Він застосовується до електроенергії, виробленої з ВДЕ. Ці тарифи є гарантованими ставками оплати за кожну одиницю виробленої енергії, що дозволяє забезпечити інвесторам стабільний дохід.

Щоб отримати дозвіл на реалізацію електроенергії за «зеленим» тарифом в Україні, відповідно до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), необхідно виконати певні вимоги [18]. Основними умовами є:

- суб'єкт, що бажає отримати «зелений» тариф, повинен бути зареєстрованим в установленому порядку підприємством або фізичною особою-підприємцем;
- виробниче обладнання повинно відповідати технічним та екологічним стандартам;



- виробник має отримати ліцензію на виробництво електроенергії, яка видається відповідними органами згідно з вимогами НКРЕКП;
- для отримання «зеленого» тарифу потрібно надати підтвердження, що електроенергія вироблена з відновлюваних джерел;
- суб'єкт повинен забезпечити приєднання об'єкта до електричних мереж;
- виробник укладає договір на передачу електроенергії з відповідним оператором мережі.

Особливості реформування «зеленого» тарифу, що зможе удосконалити механізми взаємовідносин держави з компаніями, що генерують електроенергію та приватними домогосподарствами прописані в постанові Національної комісії № 2651 від 29.12.2023 року [19].

Ключовий аспект документа стосується механізму самовиробництва, який дозволяє активним споживачам, зокрема приватним домогосподарствам та малим підприємствам, продавати надлишок електроенергії. Ціни визначаються ринком: споживач може продавати електроенергію постачальнику універсальних послуг за ціною ринку «на добу наперед» або іншим постачальникам за договірними цінами. Для непобутових споживачів діють обмеження щодо встановленої потужності генерації та обсягу продажу енергії в мережу.

Тобто запроваджуються механізми Net Metering та Net Billing, які дозволяють власникам невеликих виробничих об'єктів енергії, сонячних панелей або вітрогенераторів, інтегрувати свою вироблену енергію в електричну мережу. Вони спрямовані на стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії серед населення та малих підприємств, а також підвищення енергетичної незалежності та екологічної безпеки [19].

Вибір між цими механізмами залежить від потреб, мети використання та економічних розрахунків конкретного користувача. Net Metering більше підходить для домогосподарств, які прагнуть компенсувати власне

споживання, тоді як Net Billing орієнтований на малі підприємства, які бажають отримати дохід від продажу електроенергії за ринковою ціною.

З 2020 року в Україні впроваджено систему аукціонів для визначення тарифів на нові проекти у відновлюваній енергетиці. Ця система сприяє створенню конкурентних умов та зменшенню вартості електроенергії з відновлюваних джерел.

Важливо проаналізувати й нормативні документи. Серед них Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2030 року. Він спрямований на досягнення енергетичної незалежності та виконання зобов'язань у рамках міжнародних угод, зокрема Європейського Зеленого курсу. Основною метою плану є поступове зменшення залежності від викопних джерел енергії та збільшення частки відновлюваних джерел в енергетичному балансі країни. План передбачає низку заходів для розвитку зеленої енергетики, що включають [14]:

1. Націлює на збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 27% у кінцевому енергоспоживанні до 2030 року.
2. Заплановано вдосконалення електромереж для інтеграції ВДЕ, а також розвиток систем зберігання енергії для стабільного постачання електроенергії.
3. Створення сприятливих умов для залучення інвестицій у ВДЕ, включно з пільговим кредитуванням, державними програмами підтримки, а також розвиток механізму «зелених» аукціонів.
4. Заохочення інновацій у галузі ВДЕ, зокрема розвиток сонячної, вітрової енергетики, а також біоенергетики та геотермальної енергії. План також передбачає впровадження технологій зниження викидів вуглецю.
5. Заохочення науково-дослідної діяльності для вдосконалення технологій ВДЕ та підвищення ефективності використання ресурсів.
6. Створення нових робочих місць у сфері зеленої енергетики, підтримка місцевих громад і навчання фахівців для роботи з новітніми технологіями.

Національний план дій є частиною стратегії переходу до низьковуглецевої економіки та орієнтований на покращення екологічного стану країни.

Важливим нормативним актом є «Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року» – це довгостроковий план, спрямований на зниження викидів парникових газів, забезпечення сталого розвитку, енергетичної безпеки та сприяння переходу до кліматично нейтральної економіки. Головна мета стратегії полягає у скороченні викидів CO<sub>2</sub> та інших парникових газів, підтримуючи екологічні стандарти і відповідність міжнародним зобов'язанням, зокрема Паризькій угоді [25].

Основні напрями Стратегії включають: енергоефективність та декарбонізація економіки; розвиток відновлюваної енергетики; інтеграція низьковуглецевих технологій; підвищення стійкості екосистем; розвиток транспортної інфраструктури; освіта та підтримка кліматичної свідомості.

Законодавство України активно адаптується до стандартів Європейського Союзу, особливо в рамках Європейської зеленої угоди та вимог Договору про Енергетичне Співтовариство. Це включає прийняття законів та регламентів, що сприяють інтеграції України в європейський енергетичний ринок, підвищенню прозорості та ефективності галузі.

Україна стоїть перед викликами адаптації законодавства для забезпечення стабільного інвестиційного клімату та захисту інтересів національних виробників. Основні завдання на майбутнє включають забезпечення стабільного фінансування «зеленої» енергетики, розвиток інфраструктури для інтеграції відновлюваних джерел енергії в енергосистему, а також виконання міжнародних зобов'язань щодо скорочення викидів.

Цей огляд показує, що законодавча база України спрямована на підтримку розвитку відновлюваної енергетики як частини стратегії енергетичної незалежності та стійкого розвитку.

## 1.4 Мета і завдання роботи

Метою даної роботи є оцінка можливості та доцільності застосування фотоелектричної установки для живлення домогосподарства з обґрунтованою структурою, з врахуванням необхідних потреб у електричній енергії, наявної матеріальної бази фотоелектричного устаткування та відповідно до поточного стану законодавчої бази у галузі відновлюваної енергетики.

Для досягнення поставленої мети у даній роботі необхідно здійснити наступне:

- розглянути загальну ситуацію на ринку відновлюваної енергетики у світі та в Україні;
- проаналізувати поточний стан законодавчої бази у галузі відновлюваної енергетики стосовно домогосподарств;
- розглянути та проаналізувати класифікацію та схемні рішення стосовно типів фотоелектричних установок;
- проаналізувати поточну потребу досліджуваного домогосподарства у електричній енергії;
- оцінити наявний енергетичний потенціал сонячної радіації в регіоні розташування досліджуваного домогосподарства;
- для запропонованих схемних рішень фотоелектричних установок провести технологічні розрахунки стосовно їх добової, місячної та річної продуктивності;
- виконати економічну ефективність застосування фотоелектричних установок в умовах домогосподарства.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК ДОМОГОСПОДАРСТВ

#### 2.1 Методика дослідження витрати електроенергії домогосподарством

Розробці проекту електропостачання об'єктів з використанням фотоелектричних установок передусім аналіз рівня споживання електроенергії. Від отриманих даних можна відштовхуватися при визначенні параметрів сонячної електростанції, залежно від того, яке призначення вона буде мати.

Аналіз рівня споживання електроенергії домогосподарством зазвичай проводять методом неперервного вимірювання обсягів споживання із застосуванням спеціалізованого обладнання – вимірювачів струму, напруги та потужності споживання. За даними цих параметрів у реальному часі можливо оцінити миттєві, годинні та добові значення споживання електроенергії домогосподарством.

Є ще інший метод, який називається розрахунковий. При застосуванні даного методу необхідно сформулювати перелік всього наявного електрообладнання, яке використовується домогосподарством. Далі формується таблиця із параметрами цього обладнання: струм споживання, потужність споживання, кількість одиниць однотипного обладнання, період ввімкнення обладнання впродовж доби, коефіцієнт стабільності використання, коефіцієнт одночасності використання тощо.

Після цього можна розрахувати добову витрату електроенергії, яку споживає одиничний пристрій за формулою [22]

$$E_{od}^i = N_o \cdot t_o \cdot n_o \cdot k_c \cdot k_o, \quad (2.1)$$

де  $N_o$  – споживана потужність електрообладнання, кВт;

$t_o$  – добовий період ввімкнення електрообладнання, год.;

$n_o$  – наявна кількість одиниць електрообладнання, шт.;

$k_c$  – коефіцієнт стабільності використання електрообладнання;

$k_o$  – коефіцієнт одночасності використання електрообладнання.

Даний розрахунок слід провести для всього списку наявного електрообладнання. Таким чином, сформована таблиця добових значень витрати електроенергії дозволить визначити сумарний обсяг добового споживання електроенергії.

Отже, добова витрата електроенергії у домогосподарстві на потреби наявного електрообладнання буде сумою [22]:

$$E_{od} = \sum_{i=1}^{n_m} E_{od}^i, \quad (2.2)$$

Для оцінки місячного рівня споживання електроенергії потрібно врахувати поточну кількість днів у місяці, а також коефіцієнт сезонності. Таким чином, формула для розрахунку місячного рівня споживання електроенергії домогосподарством буде мати вигляд

$$E_{om} = E_{od} \cdot n_m \cdot k_c, \quad (2.3)$$

де  $n_m$  – кількість днів в місяці, днів;

$k_c$  – коефіцієнт сезонності використання електрообладнання.

Зрозуміло, що річне споживання електроенергії у домогосподарстві буде арифметичною сумою помісячних значень [22]

$$E_{op} = \sum_{i=1}^{12} E_{omi}, \quad (2.4)$$

Дана методика є доволі простою у використанні, і не потребує складного математичного апарату. Однак, цей метод не зовсім буде добре підходити до застосування, оскільки режим споживання електроенергії не піддається чіткому прогнозуванню і носить здебільшого випадковий характер.

Тому, очевидна перевага буде у метода фактичного вимірювального методу оцінки рівня споживання електроенергії домогосподарством.

Щоправда, і цей метод має свій недолік. Для того, щоб ним скористатися необхідно тривалий період часу виконувати вимірювання.

Для наших умов, цілком достатнім може бути експрес вимірювання параметрів режиму і обсягів споживання електроенергії, який буде полягати у тому, що погодинне вимірювання буде здійснюватися впродовж одного місяця. А надалі, за даними середньомісячних обсягів споживання виконати інтерполяцію режиму споживання для всіх інших місяців. Хоча, найнадійнішим методом буде принаймні річний цикл вимірювання параметрів.

Найпростішим варіантом буде застосування спеціальних вимірювальних засобів, серед яких можна виділити два засоби: розумний wi-fi вимикач TO-Q-SY1-163JWT (рис. 2.1, а), або розумний вимірювач витрати електроенергії SOPVSmartEnergy (рис. 2.1, б).

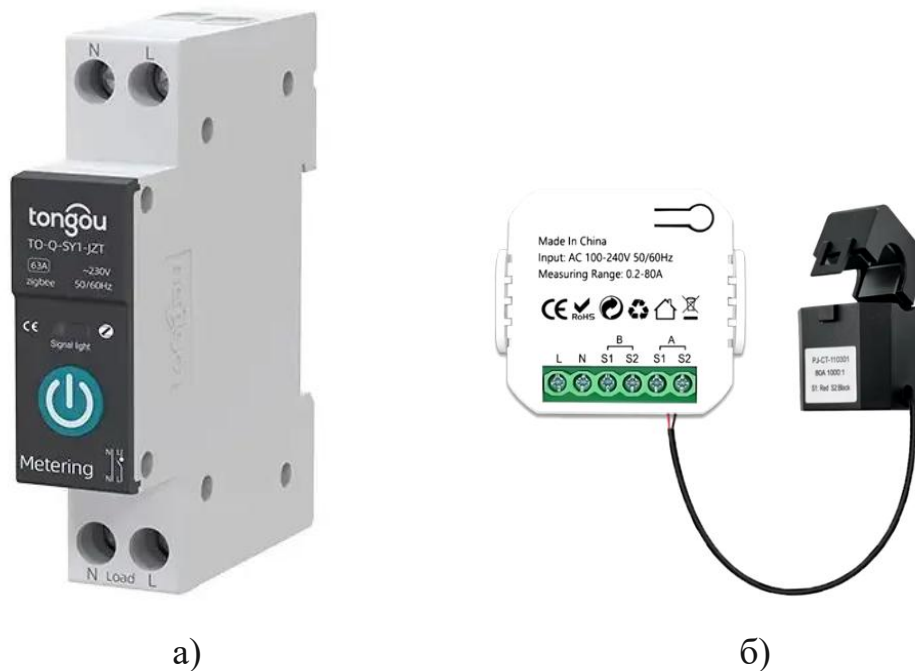


Рисунок 2.1 – Розумні вимірювачі енергії [3]

Як видно з рис. 2.1, перший із вимірювачів монтується на DIN-рейку і приєднується в розриві лінії живлення. Таке приєднання може бути організоване на ввідному щиті. Крім того, цей пристрій має низку додаткових

функцій, які можуть бути використані споживачем. Другий пристрій має виносний давач струму, який монтується на фазний провід. Паралельно із лінією живлення до нього приєднуються фазний та нульовий проводи. Головний вимірювальний блок може бути змонтований як і в розподільчому щиті, з використанням спеціального монтажного елемента, так і поза щитом.

Особливістю даних вимірювачів є те, що вони дозволяють контролювати процес дистанційно із використанням мобільного додатка TUYA APP, або ж спеціальної програми для комп'ютера.

## **2.2 Методика дослідження параметрів потенціалу сонячної радіації**

Потенціал сонячної радіації в регіоні розташування досліджуваного об'єкта може бути визначений декількома способами. Один із них є складніший, і потребує спеціальної методики розрахунку, оскільки базується на табличних даних, отриманих з метеорологічних довідників. Там вміщуються дані багаторічних досліджень надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Щоправда тут є обмеження у регіонах, для яких є дані. Тому їх напевно потрібно дещо модифікувати для точного місця розташування житлового будинку. Далі за спеціальною методикою здійснюється перерахунок сонячної радіації з горизонтальної поверхні на похилу, яка буде прийнята в подальших розрахунках. Другий метод є суттєво простіший, оскільки тут можна одразу отримати готові значення рівня надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню (фотоелектричну панель), яка розміщується під заданим кутом. Зазвичай це кут для середньорічного варіанта застосування фотоелектричної установки, і який відповідає географічній широті. Також присутні дані для більш ефективного сприйняття сонячної радіації в зимовий період року, і який має бути зміщений у сторону збільшення на  $15^\circ$ . Якщо, більш доцільним варіантом буде максимум генерації електроенергії сонячною фотоелектричною установкою, то кут



повинен бути зменшений на  $15^\circ$ . За будь-яких обставин повинен бути зроблений вибір кута розташування фотоелектричних панелей. В деяких умовах, якщо влаштовується сонячна установка на даху з іншим кутом розміщення південної сторони, очевидно слід внести певні корективи у параметри рівня надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню.

З огляду на це, вибираємо саме другий варіант отримання даних для подальших розрахунків продуктивності сонячної фотоелектричної установки.

Для використання цього варіанта необхідно звернутися до сервісу NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [2]. Згідно з методики використання даного сервісу необхідно поступово дійти до вікна вибору точки розрашування досліджуваного об'єкта на мапі світу.

Для цього слід пройти такий шлях <NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources> → <Data Access Viewer> → Single Point. Це означає, що ми будемо відбирати необхідні дані для даної вибраної географічної точки. Її також можна задати координатою, якщо вона є відомою. Далі у впливаючому меню <Single Point> необхідно послідовно вибрати відповідні для нашого випадку режим відбору та види даних. Зокрема, у вкладці <User Community> слід вибрати вид даних <Renewable Energy>, у закладці <Temporal Level> - <Climatology>. Закладка <Location> вже буде заповненою, оскільки ми вказали координату фізичним вибором точки на мапі. В закладці <Parameters> необхідно вибрати вид даних, які ми потребуємо. В нашому випадку достатньо лише вибрати тип даних <Solar Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces (Set of Surfaces)>. Закладки <Optional Date> I <Advanced Parameters> залишаємо без вибору. В останній закладці <Data Download> слід вибрати формат файлу з даними. Вибираємо, найбільш дружний для електронних таблиць MS Excel текстовий тип даних \*.CSV. Для підтвердження вибраних параметрів необхідно натиснути кнопку Submit, і буде сформовано файл на наш запит.

На рис. 2.2, подано візуалізацію вибору даних сервісу "NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources".

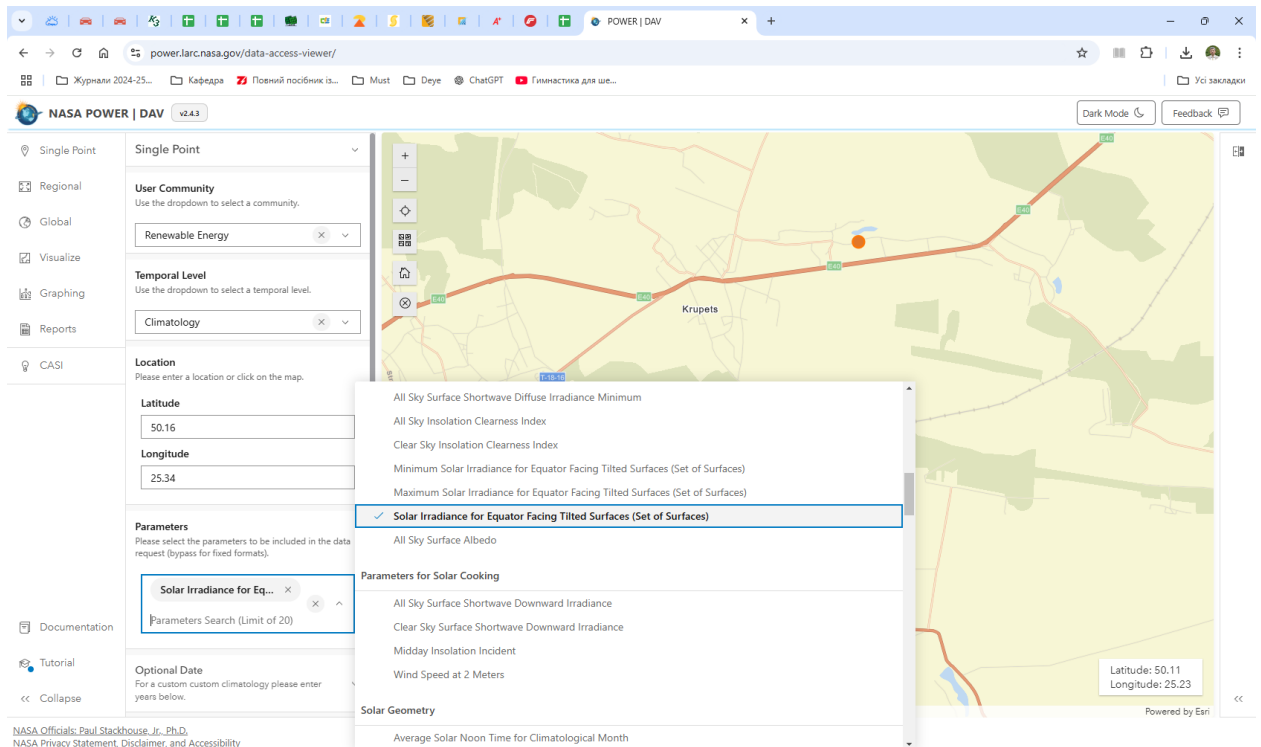


Рисунок 2.2 – Скрін-шот екрану використання сервісу "NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources" для отримання даних щодо рівня надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню в місці розташування досліджуваного житлового будинку

Отже, з використанням даної методики можна швидко отримати необхідні дані, які будуть основою подальших розрахунків фотоелектричної установки.

### 2.3 Методика розрахунку параметрів фотоелектричних установок домогосподарств

Для виконання енергетичного розрахунку системи сонячного електропостачання житлового будинку необхідно поряд із дослідженням наявного потенціалу оцінити продуктивність основних структурних компонентів фотоелектричної установки – фотопанелей. Причому, відповідно до даних дослідження енергетичного потенціалу сонячної радіації, які

отримані на рівні середньодобових значень, логічним є первинний розрахунок середньодобового виробництва електроенергії однією фотопанеллю, і в подальшому, виходячи із загального обсягу необхідної електроенергії, виконати масштабування до проектної кількості фотопанелей у системі. Дана методика узгоджується із методикою, яка подана у методичних рекомендаціях [22].

Однак, перед виконанням розрахунку необхідно здійснити ще декілька кроків. Зокрема, необхідно вибрати тип фотопанелей, на базі яких буде сформовано фотоелектричну установку, а також вибрати тип інвертора, який буде формувати систему електрогенерації на базі фотоелектричних панелей необхідної кількості.

Середньоденна продуктивність фотоелектричної панелі вибраного типу може бути визначена за формулою, згідно методичних рекомендацій [22]

$$W_{PV}^{\partial} = \eta \cdot H_{\beta}^{\partial} \cdot S \cdot \eta_{np} \cdot \eta_{in} \cdot \eta_{акб}, \quad (2.5)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі;  $H_{\beta}^{\partial}$  - надходження сонячної радіації на фотоелектричну панель, кВт·год.;  $S$  – площа робочої поверхні фотоелектричної панелі, м<sup>2</sup>;  $\eta_{np}$  – коефіцієнт, який відображає рівень втрат в силових кабелях (зазвичай приймають до 1%);  $\eta_{in}$  - коефіцієнт корисної дії гібридного інвертора;  $\eta_{акб}$  - коефіцієнт корисної дії накопичувача електроенергії.

Слід зауважити, що даний розрахунок має бути виконаний для кожного із місяців року, відповідно до отриманих даних енергетичного потенціалу сонячної радіації.

На наступному етапі, з врахуванням кількості днів у поточному місяці року, можна визначити середньомісячну продуктивність вибраного типу фотоелектричної панелі. Цей розрахунок може бути виконаний за формулою

$$W_{PV}^m = W_{PV}^{\partial} \cdot n_{\partial m}, \quad (2.6)$$

де  $n_{\partial m}$  – кількість днів у місяці року, днів.

Сумуванням середньомісячних значень можна отримати річну продуктивність фотоелектричної панелі. Отже, скористаємося формулою

$$W_{PV}^P = \sum_{i=1}^{12} W_{PVi}^M. \quad (2.7)$$

Як було вказано раніше, за даними необхідного обсягу електроенергії для досліджуваного житлового будинку та даними річної продуктивності можна визначити необхідну кількість фотопанелей. Для цього скористаємося формулою

$$N_{PV} = \frac{E_{op}}{W_{PV}^P}. \quad (2.8)$$

Отримане значення слід збільшити до цілого в більшу сторону. Якщо помножити отриману цілу кількість фотопанелей на їх номінальну потужність, то отримаємо номінальну потужність фотомасиву, який буде виконувати роботу з перетворення сонячної радіації у електричну енергію постійного струму. Ці відомості будуть необхідними для правильного вибору інвертора.

Наступним кроком є розрахунок місячної продуктивності фотоелектричної установки, оскільки ми вже маємо її номінальну потужність та необхідну кількість фотопанелей. Отже, місячну продуктивність фотоелектричної установки розраховуємо з використанням формули

$$W_{PVS}^M = W_{PV}^M \cdot N_{PV}. \quad (2.9)$$

Як і в попередньому випадку, сумуванням місячних продуктивностей, можна визначити річну продуктивність фотоелектричної установки за формулою

$$W_{PVS}^P = \sum_{i=1}^{12} W_{PVS_i}^M. \quad (2.10)$$

За даними, отриманими в результаті розрахунків, можна виконати побудову енергетичного балансу сонячної системи електрогенерації для приватного будинку. Це необхідно для оцінки відповідності продуктивності фотоелектричної установки потребам споживача. У випадку явного браку

обсягів електроенергії, або суттєвого надлишку, в окремі періоди року, можна поставити питання про примусове збільшення або зменшення кількості фотоелектричних панелей у системі. Після цього слід повторно провести всі розрахунки та побудувати новий енергетичний баланс.

В умовах приватного будинку, не менш вадливим питанням, поряд із електрогенерацією за рахунок фотопанелей, є питання накопичення виробленої електроенергії з метою її використання у періоди відсутності сонячної радіації. Таким чином, наявність системи акумулювання електроенергії може розв'язати одну із проблем роботи сонячних електростанцій – проблему часового неузгодження процесів електрогенерації та її використання. Це особливо важливо у випадках, коли проектується не комерційна мережева установка, яка покликана виробляти великий обсяг електроенергії та передавати її до зовнішньої електромережі для продажу за "зеленим" тарифом.

Система акумулювання може бути розрахована з використанням двох умов: умова накопичення необхідного обсягу електроенергії для споживання будинком впродовж визначеного періоду резервування, а також умова забезпечення можливості відбору виробленої електроенергії від фотоелектричної установки відповідної потужності, виходячи із формування максимального зарядного струму.

Отже, для забезпечення першої умови необхідно, насамперед, визначити потужність споживання, період резервування, а також параметри акумуляторної батареї. Отже, за даними потужності споживання визначимо струм споживання, який є важливим для вибору ємності акумулятора

$$I = \frac{P_{oc}}{U_{ca}}, \quad (2.11)$$

де  $U_{ca}$  – напруга системи акумулювання електроенергії, В.

З врахуванням параметрів вибраного типу акумулятора здійснюється перевірочний розрахунок стосовно необхідності приєднання акумуляторів

паралельно, що забезпечить накопичення необхідного обсягу електроенергії. Отже, необхідно скористатися формулою

$$N_{AK}^{нар} = \frac{T_{\delta} \cdot I_{\max} \cdot T_z}{E_{AK} \cdot \eta_{AK} \cdot k_p \cdot k_x \cdot k_u \cdot \eta_{in}}, \quad (2.12)$$

де  $T_{\delta}$  – добовий період використання електрообладнання в помешканні, год.;  $I_p$  – рекомендований максимально-допустимий струм розрядки акумуляторної батареї, А;  $T_z$  – період резервування, днів;  $E_{AK}$  – ємність акумуляторної батареї одинарного блоку, А·год.;  $\eta_{AK}$  – к.к.д. акумулятора;  $k_p$  – коефіцієнт глибини розряду, який вибирається виходячи із типу акумуляторної батареї;  $k_x$  – коефіцієнт зниження ємності акумуляторної батареї, викликаний зниженням (підвищенням) температури повітря у приміщенні, де він знаходиться;  $k_u$  – коефіцієнт щорічного зниження ємності акумулятора;  $\eta_{in}$  – к.к.д. гібридного інвертора.

На даний час, проводити розрахунок послідовно з'єднаних акумуляторних батарей немає сенсу, оскільки вони вибираються за напругою, з якою буде працювати інвертор. Тобто тут лише здійснюється вибір напруги батарейного одинарного блоку з певною ємністю.

Для обґрунтування параметрів акумуляторної батареї з умови можливості приймання максимального зарядного струму від фотоелектричних панелей, то тут здійснюється перевірка допустимого зарядного струму, тобто необхідно, щоб була виконана умова

$$I_{PVS} \leq I_{зар\max}, \quad (2.13)$$

де  $I_{зар\max}$  – максимально допустимий зарядний струм акумуляторної батареї, А.

Для обґрунтування параметрів інвертора, який буде взаємодіяти із фотоелектричними панелями необхідно визначити параметри фотопанелей в критичних умовах експлуатації, зокрема слід визначити струм та напругу за умов перегріву та переохолодження панелей.

Крім того, слід врахувати такий аспект, як невідповідність рівня сонячної радіації нормативним показникам. Це означає, що фотоелектричні панелі практично завжди працюють в умовах, які є гіршими, ніж ті, які прописані в паспорті на них. Таким чином, є доцільність використовувати більшу кількість фотопанелей, вірніше більшу потужність, ніж сам інвертор. Також на рівень перевищення потужності фотопанелей над інвертором впливає кут розташування фотопанелей до горизонту, а також кут відхилення їх розташування відносно південного напрямку. Не менш важливо враховувати також криву ефективності інвертора, за якою можна вибрати оптимальний рівень його перевантаження, або недовантаження. Відповідні рекомендовані табличні значення містяться у [6].

Загалом допустимий діапазон (максимальне і мінімальне значення потужності) приєднання фотопанелей до інвертора можна оцінити за формулами:

$$P_{PV \min} = P_{AC} \cdot k_{\min}, \quad (3.8)$$

$$P_{PV \max} = P_{AC} \cdot k_{\max}, \quad (3.9)$$

де  $P_{AC}$  – вихідна потужність інвертора, Вт;  $k_{\min}$ ,  $k_{\max}$  – коефіцієнт мінімального і максимального вхідного навантаження інвертора за потужністю, відповідно.

На основі дослідженого діапазону вхідних потужностей можна визначити мінімальну і максимальну кількість фотоелектричних панелей, які допустимо приєднати до даного типу інвертора

$$N_{PV \min} = \frac{P_{PV \min}}{P_{PV}}, \quad (3.10)$$

$$N_{PV \max} = \frac{P_{PV \max}}{P_{PV}}. \quad (3.11)$$

Тепер можна визначити максимальну кількість фотоелектричних панелей, які можуть бути приєднані в послідовний ланцюг (стрінг) виходячи із допустимого діапазону напруг інвертора

$$N_{PVnoc\max} = \frac{U_{mpp\max}}{U_{mpp-19}}. \quad (3.12)$$

або

$$N_{PVnoc\max} = \frac{U_{\max}}{U_{oc-19}}, \quad (3.13)$$

Отримане значення слід заокруглити в меншу сторону.

Щодо мінімальної кількості фотоелектричних панелей, які можуть бути приєднані в послідовний ланцюг (стрінг) виходячи із допустимого діапазону напруг інвертора, то формула має вигляд

$$N_{PVnoc\min} = \frac{U_{mpp\min}}{U_{mpp+30}}. \quad (3.14)$$

Розраховане значення рекомендовано заокруглити в більшу сторону.

Для паралельного приєднання (максимального значення) фотоелектричних панелей, що спричинюватиме зростання вхідного струму, то тут потрібно скористатися формулою

$$N_{PVnap\max} = \frac{I_{f\max}}{I_{sc\max}}. \quad (3.15)$$

Отримане в результаті розрахунку значення рекомендовано заокруглити в меншу сторону.

Таким чином, в результаті розрахунків отримуються значення параметрів фотоелектричного масиву, який приєднується до інвертора. Якщо всі вхідні параметри є задовільними, то інвертор вважається вибраний вірно. В іншому випадку слід коригувати кількість приєднаних фотопанелей, або переходити до іншого типорозміру інвертора.

Важливим аспектом, який необхідно при проектуванні сонячних електростанцій якісно опрацювати є добір перерізу кабелів та визначення параметрів систем захисту компонентів. Ці розрахунки проводяться як для ліній постійного струму (ланки: фотоелектрична панель – гібридний інвертор;



гібридний інвертор – акумулятор), так і по лінії змінного струму (ланка гібридний інвертор – внутрішня електромережа).

При визначенні параметрів кабелів по лінії постійного струму необхідно виконати одну із умов – мінімізацію втрат в провідниках. Зокрема, рекомендується закладати втрати на рівні 1 %. З врахуванням цього, формула для визначення перерізу кабелю постійного струму буде мати вигляд

$$S = \frac{P \cdot L_{\Sigma}}{U^2 \cdot k \cdot \Delta P} = \frac{I \cdot L_{\Sigma}}{U \cdot k \cdot \Delta P} = \frac{I \cdot L_{\Sigma}}{U \cdot k \cdot 0,01}, \quad (3.18)$$

де  $\Delta P$  – допустимі втрати в провіднику, %.

Така ж методика може бути застосована і для лінії змінного струму.

Щодо захисту кабелю від перевантажувальних струмів, в тому числі й струмів короткого замикання, то тут необхідно підібрати параметри запобіжника. Зокрема, величину напруги слід вибрати з умови

$$U_n \geq U_{oc} \cdot 1,2 \text{ В}, \quad (3.20)$$

де  $U_{oc}$  – напруга розімкненого кола фотоелектричного масиву, В.

Номінал запобіжника по струму повинен бути вибраний з умови

$$I_n = \frac{I_{sc}}{K} \cdot 1,4 \text{ А}, \quad (3.21)$$

де  $K$  – коефіцієнт впливу на режим роботи кабелю його температури [6].

Ще одним складником захисту сонячної станції від природних явищ – блискавок, є захист від імпульсних перенапруг. В цьому випадку можна скористатися загальною рекомендацією використати пристрої II типу. Щодо розрахункових параметрів, то ту необхідно визначити пульсацію напруги по лінії постійного струму

$$U_{CPV} \geq U_{oc} \cdot 1,2. \quad (3.22)$$

Захист по стороні змінного струму організовується аналогічним чином.

## РОЗДІЛ 3

### ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК ДОМОГОСПОДАРСТВ

#### 3.1 Результати визначення витрати електроенергії для потреб домогосподарства

Для електрозабезпечення досліджуваного домогосподарства на засадах енергоощадності слід, поряд із запровадженням заходів зі зниження рівня споживання електроенергії, а також її раціонального використання, використовувати власну генерацію, яка базуватиметься на відновлюваних джерелах енергії, зокрема, фотоелектричних установках.

Перш за все, необхідно оцінити рівень споживання електроенергії, який найзручніше реалізовується із використанням розумних вимірювальних засобів, про що йшлося у попередньому розділі.

Таким чином, встановивши розумний вимірювач струму та напруги живлення домогосподарства, можна здійснити поточний моніторинг електроспоживання, що дозволить визначити загальну потребу в електричній енергії.

Експериментальне вимірювання параметрів електроспоживання було здійснено впродовж декількох місяців. За браком часу, решту місяців електроспоживання було взято із рахунків на електричну енергію досліджуваного домогосподарства.

Для прикладу наведемо результати погодинного моніторингу споживання електроенергії домогосподарством (рис. 3.1). Як видно з рис. 3.1, в досліджуваний період не зафіксовано значного рівня споживання, яке коливалося від 0,05 до 0,23 кВт·год. Сумарний обсяг споживання електроенергії становив 2,49 кВт·год., що є середнім для досліджуваного домогосподарства.

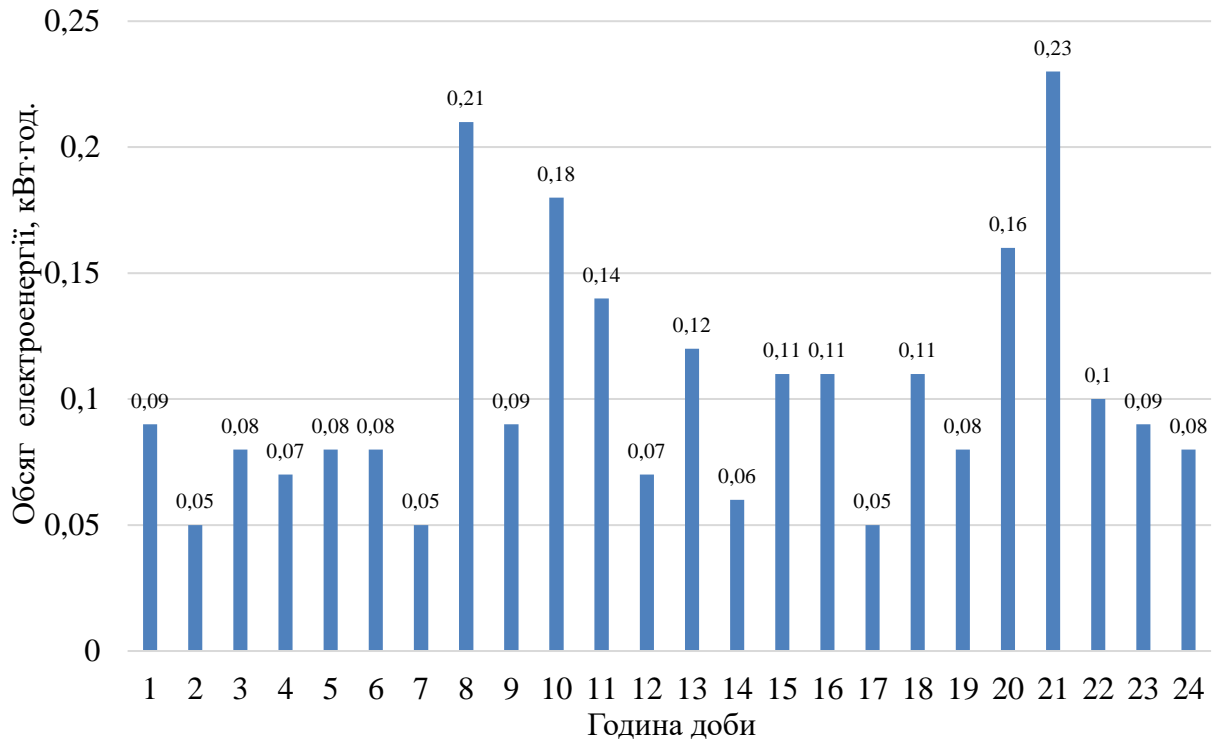


Рисунок 3.1 – Добове споживання електроенергії домогосподарством

Щоправда, в розрізі доби можна простежити два пікові періоди – вранці і ввечері, коли рівень споживання електроенергії зростає. Середній рівень споживання електроенергії становив 0,1 кВт·год.

Стосовно помісячного рівня споживання електроенергії, то в результаті дослідження було отримано наступні результати: середнє значення – 84 кВт·год., мінімальне значення – 48 кВт·год., максимальне – 110 кВт·год. Результати помісячного моніторингу подано на рис. 3.2.

Як видно з рис. 3.2, не спостерігаються якісь сезонні динамічні зміни. Дещо більше споживання було зафіксовано у першій половині року, яке становило 582 кВт·год. відносно другої, де обсяг споживання становив 431 кВт·год.

Загалом можна стверджувати, що електроенергія домогосподарством використовується доволі ощадно, хоча й дещо випадковим чином, якщо дивитися на місячний обсяг.

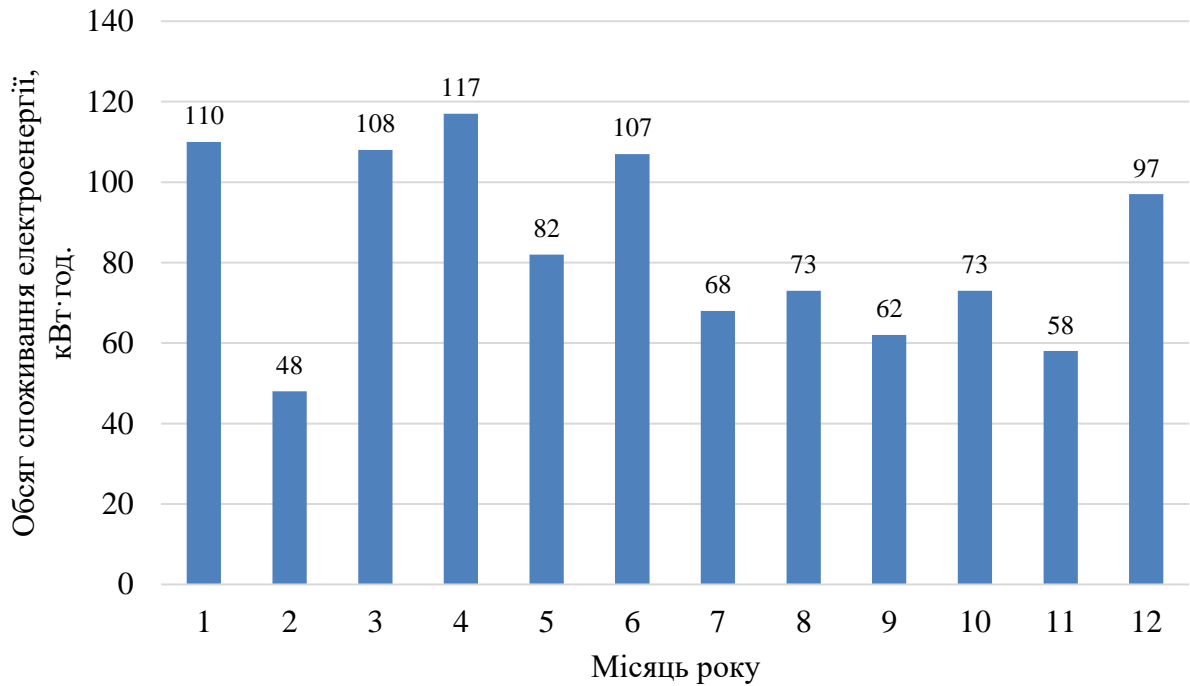


Рисунок 3.2 – Обсяги помісячного споживання електроенергії домогосподарством

Не надто високий рівень споживання електроенергії домогосподарством може бути підставою для спорудження двох типів установок: гібридної малогабаритної на базі гібридного інвертора з використанням акумулятора відповідної ємності, а також потужної мережевої установки з віддачою надлишку до зовнішньої електромережі за "зеленим" тарифом допоки він ще діє.

### **3.2 Результати дослідження енергетичного потенціалу сонячної радіації в регіоні розташування досліджуваного об'єкта**

Як було вказано у другому розділі кваліфікаційної роботи скористаємося сервісом "NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources". Отже, для встановленої точки (хутір Гнильче, на схід від села Крупець, Радивилівського району, Рівненської області) розташування досліджуваного житлового будинку з географічними координатами 50.16 п. ш. та 25.34 с. д.,

отримано файл з даними щодо величини середньоденного надходження сонячної радіації на фотоелектричні панелі у форматі CSV, як це показано на рис. 3.3.

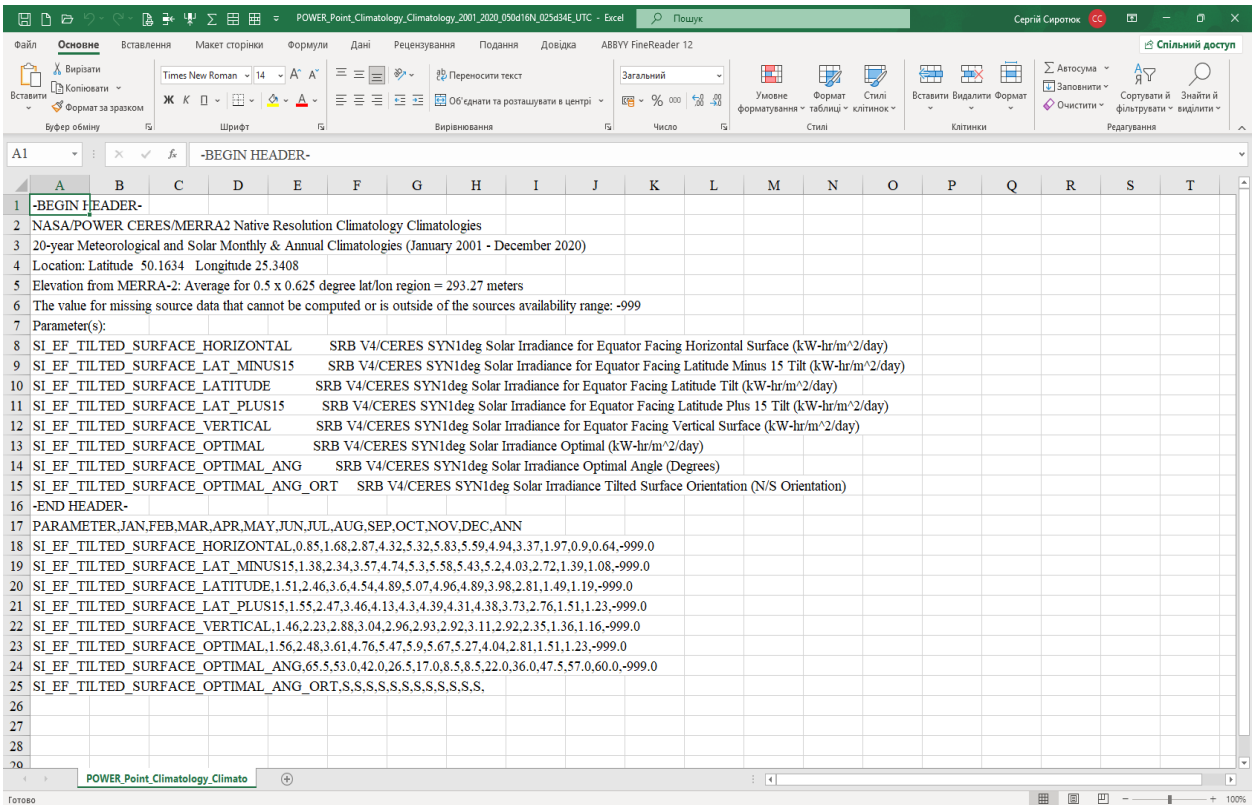


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд робочої сторінки з отриманого файла з даними на запит згідно з поданої методики

Оскільки, отримані дані містяться у стрічках від 17 до 25 у одній комірці, то нам необхідно відкрити даний файл з використанням опції вставлення даних з зовнішнього файла CSV. Тоді, загальний вигляд буде наступний, як це показано на рис. 3.4.

В даному випадку, ми отримали набір даних, які розміщуються в окремих комірках, і які буде надалі зручно використовувати для виконання розрахунків.

В табл. 3.1, подано результати генерації даних для точки, яку було встановлено на мапі сервісу "NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources".

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	0.85	1.68	2.87	4.32	5.32	5.83	5.59	4.94	3.37	1.97	0.9	0.64	-999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	1.38	2.34	3.57	4.74	5.3	5.58	5.43	5.2	4.03	2.72	1.39	1.08	-999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	1.51	2.46	3.6	4.54	4.89	5.07	4.96	4.89	3.98	2.81	1.49	1.19	-999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	1.55	2.47	3.46	4.13	4.3	4.39	4.31	4.38	3.73	2.76	1.51	1.23	-999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	1.46	2.23	2.88	3.04	2.96	2.93	2.92	3.11	2.92	2.35	1.36	1.16	-999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	1.56	2.48	3.61	4.76	5.47	5.9	5.67	5.27	4.04	2.81	1.51	1.23	-999.0
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	65.5	53.0	42.0	26.5	17.0	8.5	8.5	22.0	36.0	47.5	57.0	60.0	-999.0

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд робочої сторінки з отриманими даними, які були завантажені з використанням опції вставлення даних з зовнішнього файлу CSV

Таблиця 3.1 – Середньодобовий рівень надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, кВт·год./м<sup>2</sup>·день

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	0,85	1,68	2,87	4,32	5,32	5,83	5,59	4,94	3,37	1,97	0,9	0,64
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	1,38	2,34	3,57	4,74	5,3	5,58	5,43	5,2	4,03	2,72	1,39	1,08
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	1,51	2,46	3,6	4,54	4,89	5,07	4,96	4,89	3,98	2,81	1,49	1,19
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	1,55	2,47	3,46	4,13	4,3	4,39	4,31	4,38	3,73	2,76	1,51	1,23
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	1,46	2,23	2,88	3,04	2,96	2,93	2,92	3,11	2,92	2,35	1,36	1,16
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	1,56	2,48	3,61	4,76	5,47	5,9	5,67	5,27	4,04	2,81	1,51	1,23
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	65,5	53,0	42,0	26,5	17,0	8,5	8,5	22,0	36,0	47,5	57,0	60,0

Особливістю отриманих даних є те, що ми можемо за їх числовими значеннями для кожного місяця, або за середнім показником підібрати такий кут розташування фотопанелей, щоб отримати максимальну вигоду для домогосподарства.

З умови власного споживання та більшої виробітки електроенергії в зимовий період доцільніше застосовувати кути більші від географічної широти, тобто  $65^\circ$ . Якщо буде споруджуватися сонячна станція для реалізації надлишку електроенергії за "зеленим" тарифом, то слід встановлювати фотоелектричні панелі з кутом  $35^\circ$ . Проілюструємо це з використанням отриманих значень. Як видно з табл. 3.1, за умови розташування фотопанелей з кутом меншим від кута географічної широти буде отримано вищий рівень сонячної радіації  $3,56 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2/\text{день}$ , тоді як цей кут буде збільшений від кута географічної широти, то отримаємо  $3,19 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2/\text{день}$ , а якщо використовуватимемо кут рівний географічній широті, то отримаємо  $3,45 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2/\text{день}$ . Оскільки у літній період зазвичай сонячної радіації є забагато, то напевно доцільно кут встановлення фотопанелей слід збільшити до кута  $65^\circ$ , і саме з цими даними проводити подальші розрахунки продуктивності фотоелектричних панелей і системи загалом.

### **3.3 Результати розрахунку параметрів фотоелектричних установок домогосподарств**

Незважаючи на очевидний вибір кута встановлення фотоелектричних панелей до горизонту у сторону збільшення, щоб дещо збільшити генерацію у зимовий період, виконаємо розрахунок продуктивності установки для різних кутів, щоб за динамікою енергетичного балансу виявити кращий варіант.

За основу в побудові сонячної електростанції візьмемо сучасні та популярні на ринку України фотоелектричні панелі типу LONGI\_HPBC\_Hi-

МО6\_LR5-72НТН-580М фірми Longi Solar, з паспортною потужністю 580 Вт (рис. 3.5).

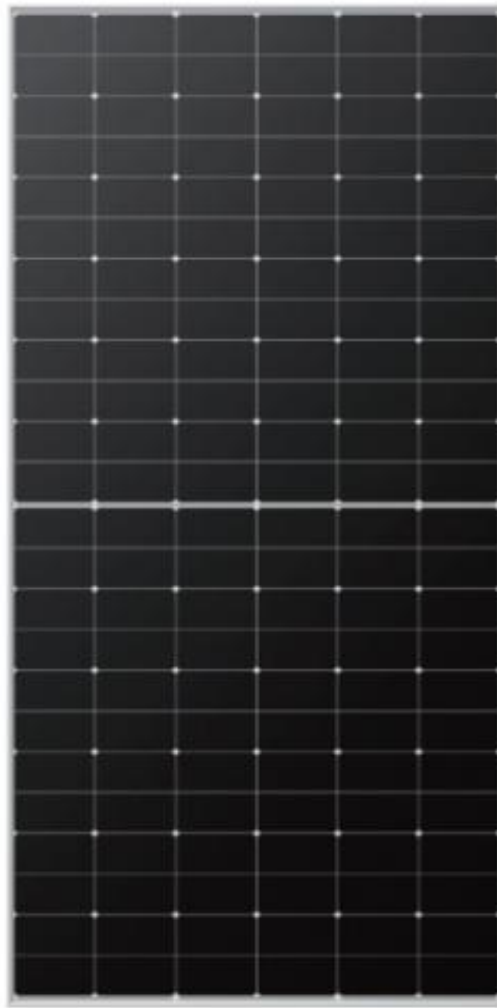


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд фотоелектричної панелі LONGI\_HPBC\_Ні-МО6\_LR5-72НТН-580М фірми Longi Solar

До основних переваг вибраного типу фотоелектричних панелей можна віднести:

- збільшена кількість елементів – 144 штуки, що дозволяє ефективніше поглинати та перетворювати сонячну енергію;
- низький рівень нагрівання фотоелементів, завдяки чому панель зберігає високу ефективність навіть за умов значного перевищення оптимальної температури навколишнього середовища;



- мінімальна деградація потужності – за 25 років експлуатації вона знижується лише на 11,1%, що є значно нижчим показником у порівнянні з іншими фотоелектричними панелями;
- висока стійкість до несприятливих умов довкілля: батарея не боїться впливу вологи з високим вмістом солі, аміаку чи пилу, що робить її ідеальною для використання в будь-якому регіоні України;
- відмінна механічна міцність: антикорозійна рама з анодованого алюмінію, загартоване скло товщиною 3,2 мм та технологія повного зварювання задньої частини захищають від мікротріщин. Панель витримує снігове навантаження до 5400 Па і вітрове до 2400 Па;
- високий рівень захисту – клас IP68, що забезпечує стійкість до короткочасного занурення у воду на глибину до 1 метра;
- легка конструкція – вага лише 27,5 кг, що робить панель зручною для монтажу на дахах житлових та нежитлових будівель.

Відповідно до отриманих даних про середньодобове надходження сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню під певним кутом та з врахуванням методики, яка викладена у другому розділі визначаємо добове виробництво електроенергії фотоелектричною панеллю, а на її основі і середньомісячну продуктивність. Отже, отримаємо

- для кута  $35^\circ$

$$W_{PV}^{\partial} = 1,38 \cdot 0,225 \cdot 2,415 \cdot 0,94 \cdot 0,99 = 0,698 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$W_{PV}^M = 0,698 \cdot 31 = 21,64 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Відповідно до місячної продуктивності фотопанелей визначимо річне значення:

$$W_{PV}^P = 21,64 + 34,31 + 55,96 + 71,91 + 83,08 + 84,66 + 85,13 + \\ + 81,5 + 61,14 + 42,63 + 21,09 + 16,38 = 659,43 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

- для кута  $50^\circ$

$$W_{PV}^{\partial} = 1,51 \cdot 0,225 \cdot 2,415 \cdot 0,94 \cdot 0,99 = 0,764 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$W_{PV}^M = 0,764 \cdot 31 = 23,68 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$W_{PV}^P = 23,68 + 36,08 + 56,42 + 68,88 + 76,66 + 76,92 + 77,75 + \\ + 76,66 + 60,39 + 44,05 + 22,59 + 18,06 = 638,14 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

- для кута  $65^\circ$

$$W_{PV}^D = 1,55 \cdot 0,225 \cdot 2,415 \cdot 0,94 \cdot 0,99 = 0,784 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$W_{PV}^M = 0,784 \cdot 31 = 24,3 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$W_{PV}^P = 24,3 + 36,22 + 54,25 + 62,64 + 67,39 + 66,6 + 67,55 + \\ + 68,67 + 56,58 + 43,28 + 22,92 + 18,66 = 589,06 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Як видно з наведених розрахунків, зі зростанням кута нахилу фотоелектричних панелей зменшується їх річна продуктивність. Так, для однієї фотопанелі продуктивність знизилася від 659,43 до 589,06 кВт·год. В натуральному виразі це 70,37 кВт·год., у відносному – на 10,6%.

За умови задоволення необхідного обсягу електроенергії достатньо застосувати дві фотоелектричні панелі, які вироблять 1318,9 кВт·год., для кута нахилу  $35^\circ$ , 12,76,3 кВт·год. для кута  $50^\circ$  і 1178,1 кВт·год. для кута  $65^\circ$ .

Для візуальної оцінки відповідності запропонованих варіантів кутів нахилу фотоелектричних панелей умовам застосування доцільно побудувати енергетичні баланси систем, які подані на рис. 3,6 – 3,8. Звідси можна зробити висновок, що з умови мінімізації надлишку найкращим варіантом кута нахилу є кут  $65^\circ$ .

З врахуванням дійсного кута нахилу даху, який становить  $45^\circ$ , очевидно, що слід прийняти варіант продуктивності з кутом нахилу  $50^\circ$ .

Однак, з врахуванням того, що для даного домогосподарства планується збільшення кількості електрообладнання з потужністю 3 кВт, то рекомендовано застосувати гібридний інвертор потужністю 6 кВт, наприклад Must PV19-6048 EXP (рис. 3.9). Відповідно до цього необхідно узгодити параметри інвертора та фотоелектричних панелей.

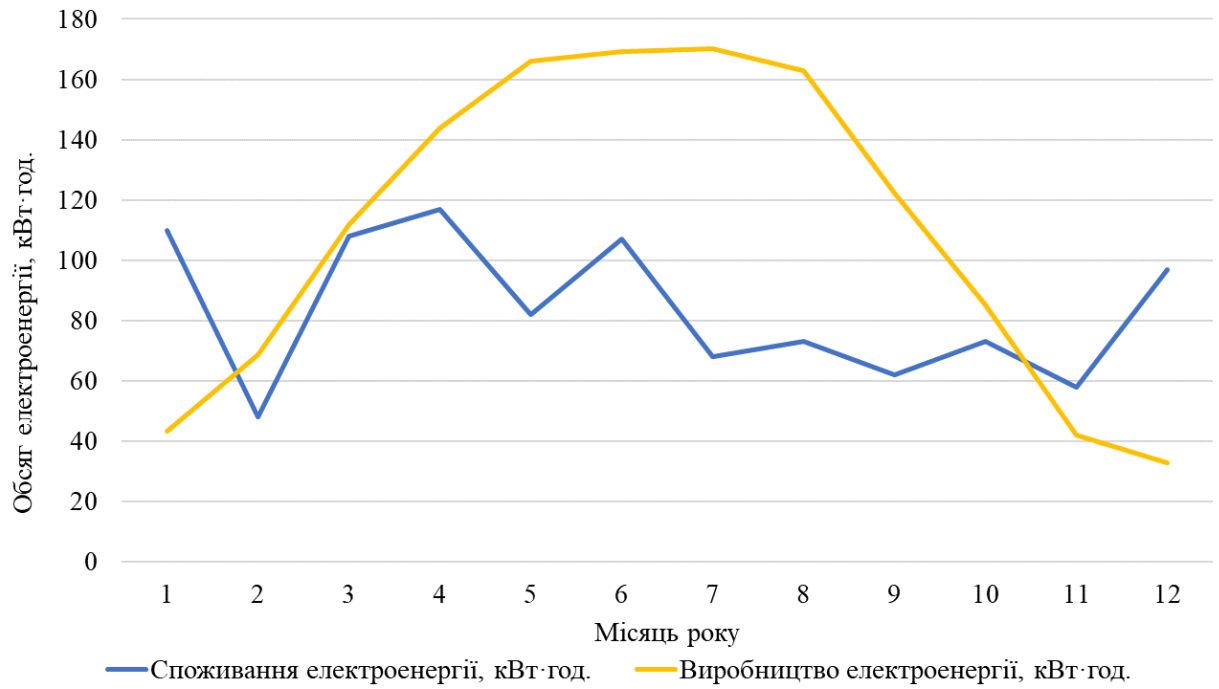


Рисунок 3.6 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки у складі двох фотопанелей для кута нахилу  $35^\circ$

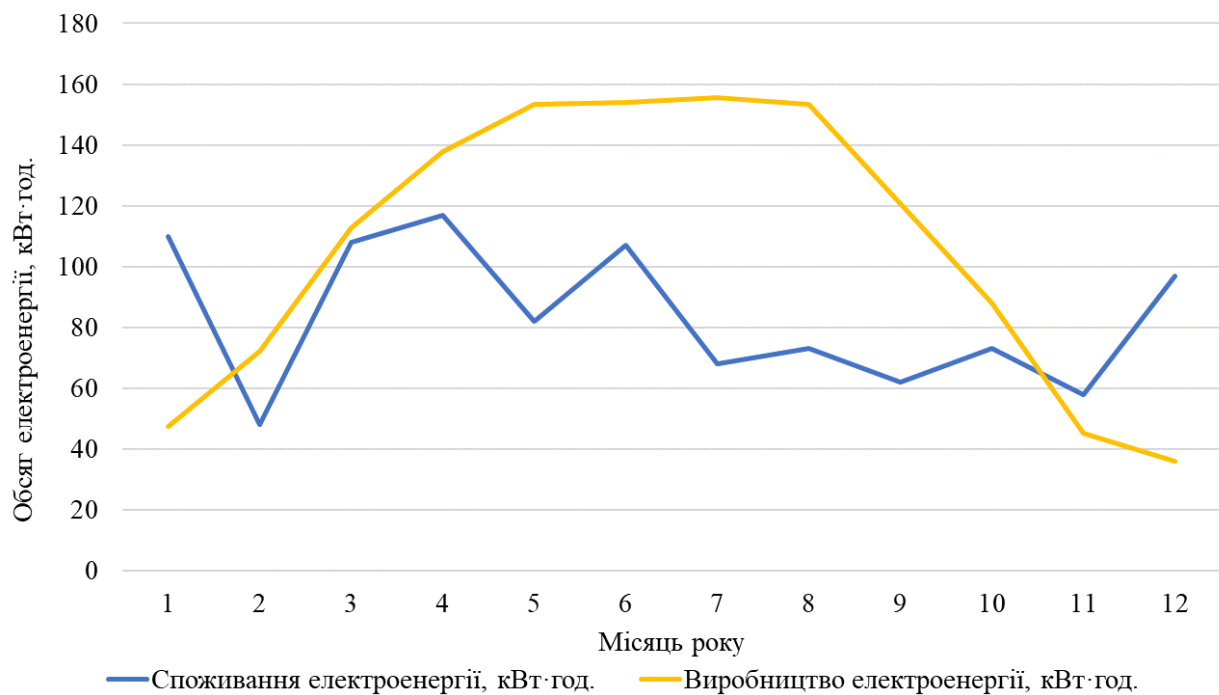


Рисунок 3.7 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки у складі двох фотопанелей для кута нахилу  $50^\circ$

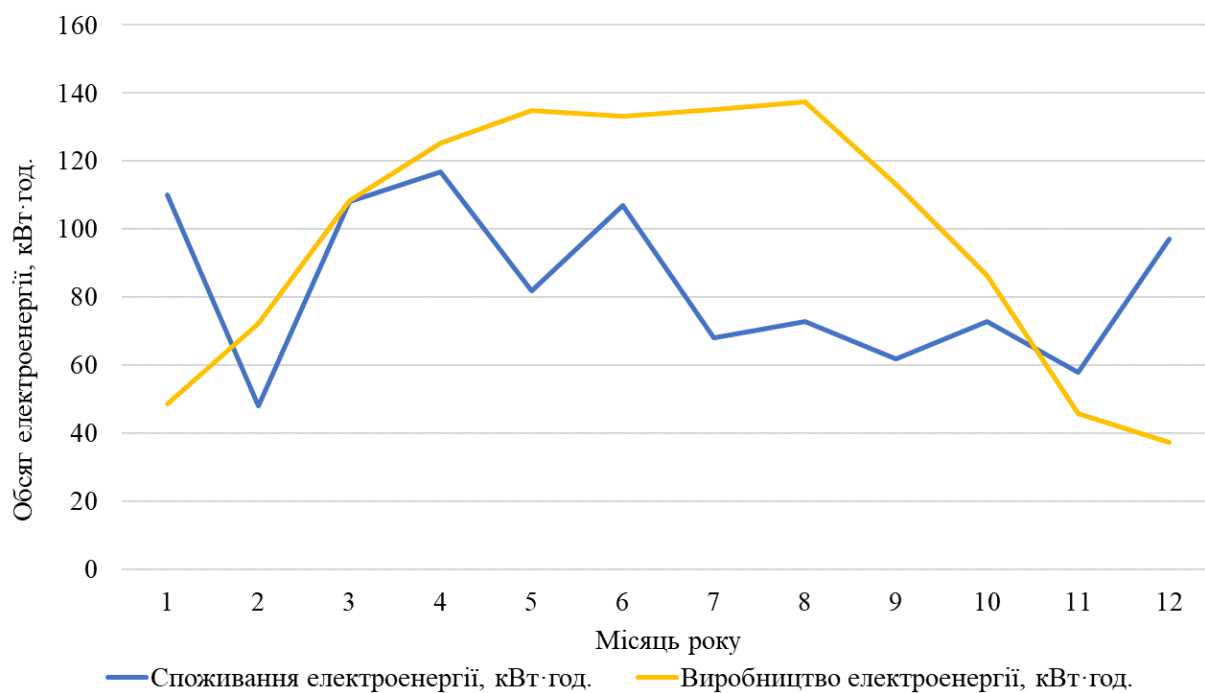


Рисунок 3.8 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки у складі двох фотопанелей для кута нахилу  $65^\circ$



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд гібридного інвертора Must PV19-6048 EXP

Отже, визначимо мінімальну і максимальну кількість фотоелектричних панелей, які можна приєднати на вхід до інвертора за формулою

$$N_{PVnoc\ min} = \frac{150}{50,41} = 2,97 \text{ шт.};$$

$$N_{PVnoc\ max} = \frac{500}{60,04} = 8,32 \text{ шт.}$$

Тобто, для правильної роботи вибраного гібридного інвертора необхідно застосувати від трьох до восьми фотоелектричних панелей, потужністю 580 Вт, які були опрацьовані в частині продуктивності сонячної установки. Відповідно до цього слід повторно розрахувати продуктивність сонячної установки та побудувати енергетичний баланс (рис. 3.10).

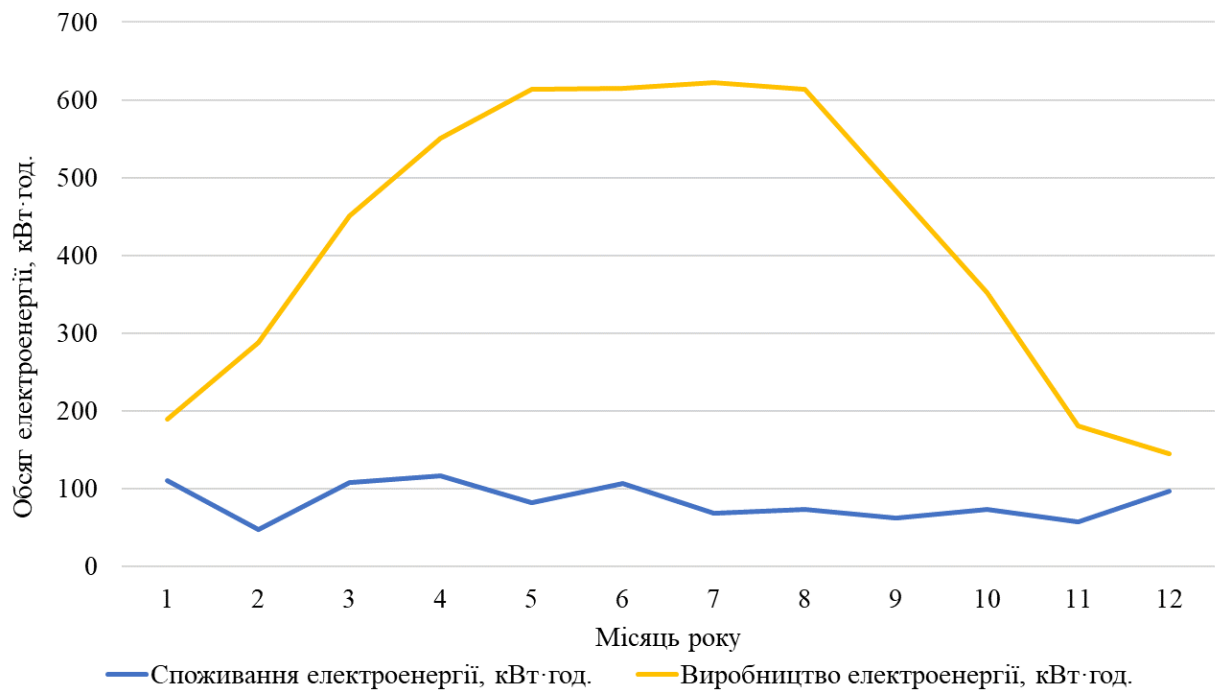


Рисунок 3.10 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки у складі восьми фотопанелей для кута нахилу 50°

Як видно з рис. 3.10, фотоелектрична установка такого розміру повністю покриває енергетичні потреби домогосподарства з утворенням 4000 кВт·год. зайвої електроенергії, яка може бути перенаправлена, наприклад на нагрів води, який до цього грівся за рахунок електробойлера.

Для визначення параметрів системи акумулювання електроенергії сонячної установки, повернемося до споживання електроенергії домогосподарством. Максимальна добова потреба в електроенергії становила 4 кВт·год. Відповідно до цього, можна було б рекомендувати застосувати одинарну батарею ємністю 100 А·год., яка має можливість накопичити 5 кВт·год. електроенергії, наприклад, MUST LP1600-48100 (рис. 3.11). Однак, з врахуванням значної кількості фотоелектричних панелей, допустимих зарядних струмів, а також рекомендацій щодо рівня розряду акумуляторних батарей доцільно застосувати дві акумуляторні батареї, з'єднані паралельно. Тоді, сумарна накопичена ємність становитиме 200 А·год, до дозволить накопичити 10 кВт·год. електроенергії.



Рисунок 3.11 – Загальний вигляд літій-залізо-фосфатного акумулятора  
MUST LP1600-48100

Тепер необхідно підібрати периферійне оснащення – переріз силових кабелів та захисну і комутаційну апаратуру.

За умови живлення споживачів з номінальною потужністю 6 кВт розрядний струм буде становити

$$I_{роз} = \frac{6000}{52} = 115,4 \text{ А.}$$

Тоді, оптимальним буде використовувати силові кабелі для з'єднання інвертора з акумуляторами з перерізом

$$S = \frac{120 \cdot 2}{52 \cdot 54 \cdot 0,01} = 8,6 \text{ мм}^2.$$

Однак, скористаємося рекомендацією виробника інвертора, який рекомендує для такої потужності застосовувати кабелі з перерізом не менше 35 мм<sup>2</sup>.

Для захисту кабелів від короткого замикання підберемо запобіжник, номінальна напруга якого повинна бути на 20% більшою від напруги розімкненого кола. Отже, отримаємо

$$U_n \geq 8 \cdot 60 \cdot 1,2 \geq 576 \text{ В.}$$

Тобто, необхідно напругу підбирати з ряду 600-1000 В.

Тепер для запобіжника визначимо величину струму, яка буде рівна

$$I_n = \frac{14,2}{0,92} \cdot 1,4 = 21,6 \text{ А.}$$

Отже, необхідно застосовувати запобіжники на 25 А. Це можуть бути циліндричні запобіжники мініатюрного типу з використанням тримачів з корпусами на DIN-рейку.

Для захисту електрообладнання від імпульсних перенапруг застосуємо ПЗПи, які повинні бути вибрані на номінальну напругу, яка визначається як

$$U_{CPV} \geq 8 \cdot 60 \cdot 1,2 \geq 576 \text{ В.}$$

Приймаємо робочу напругу рівною 600 В.

Аналогічним чином визначаємо параметри системи захисту по лінії змінного струму.

За умови живлення споживачів з номінальною потужністю 6 кВт розрядний струм напругою 220 В буде становити

$$I_{роз} = \frac{6000}{220} = 27,27 \text{ А.}$$

Тобто, слід застосувати автоматичні вимикачі з номіналом 32 А.

Робоча напруга пристрою захисту від імпульсних перенапруг буде рівною

$$U_{CPV} \geq 220 \cdot 1,2 \geq 264 \text{ В.}$$

Приймаємо робочу напругу рівною 300 В.

Таким чином, нами було визначено габаритну потужність системи електрогенерації, а також визначено параметри системи захисту по лініях як постійного, так і змінного струму.



## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації фотоелектричних установок

Фотоелектричні установка вже за самою назвою можуть бути віднесені до електрогенерувального обладнання, яке здатне нести потенційну небезпеку під час її експлуатації. В структурі фотоелектричної установки приватних домогосподарств зазвичай є фотоелектрична панель, мережевий або гібридний інвертор, система накопичення електроенергії, система захисту по лінії постійного та змінного струму.

Відповідно до структури енергетичної системи, небезпечні чинники можуть бути зазвичай одного типу - електричні.

Відповідно до цього є потреба у комплексному підході оцінки небезпечного впливу сонячної енергетичної установки на мешканців індивідуального будинку. Для цього можна застосувати методику логічного моделювання процесів виникнення травмонебезпечних ситуацій.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій.

Але, як показали дослідження, будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї з багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій і катастроф.

## 4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації фотоелектричних установок

Оцінюючи рівні небезпеки при електрозабезпеченні фотоелектричною установкою можуть виникати такі травми та аварії: ураження електричним струмом від інвертора, акумулятора, електрообладнання споживача, внаслідок пошкодження захисного обладнання тощо.

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми або катастрофи залежно від досліджуваного явища.

Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-якого випадкового явища. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини (об'єкта) виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травмонезбезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі аварії або травми (чи катастрофи). Після цього будують модель (дерево відмов і помилок оператора). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події [13].

Головну випадкову подію (конкретна аварія, травма або катастрофа), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути.

Залежно від об'єкта головними подіями можуть бути: для нафтоєксплуатації: «пожежа», «вибух»; для транспортного засобу: «перекидання», «зіткнення з іншими транспортними засобами», «наїзд на

перешкоди» тощо; для технологічного обладнання: «захват одягу», «захват рук, ніг та інших елементів тіла людини», «удар», «падіння людини», «електричний удар», «опіки тіла», «опромінення» тощо; для господарства (підприємства) в цілому: «вихід з ладу обладнання», «пошкодження електричного обладнання», «пошкодження будівель», «пожежа», «дорожньо-транспортна пригода» тощо [13].

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинають побудову моделі («дерева»). Використовуючи оператори «І» та «АБО», виконують набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна.

Після визначення відповідних аварійних, травмо небезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів «І», «АБО» та інших. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі. Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів. Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірності базових подій визначають за даними виробництва. Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки «дерева», позначають номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі. На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули [13].

Для проведення обчислень ймовірності травми при обслуговуванні сонячної електростанції використовують логіко-імітаційної моделі процесу її формування (рис. 4.1).

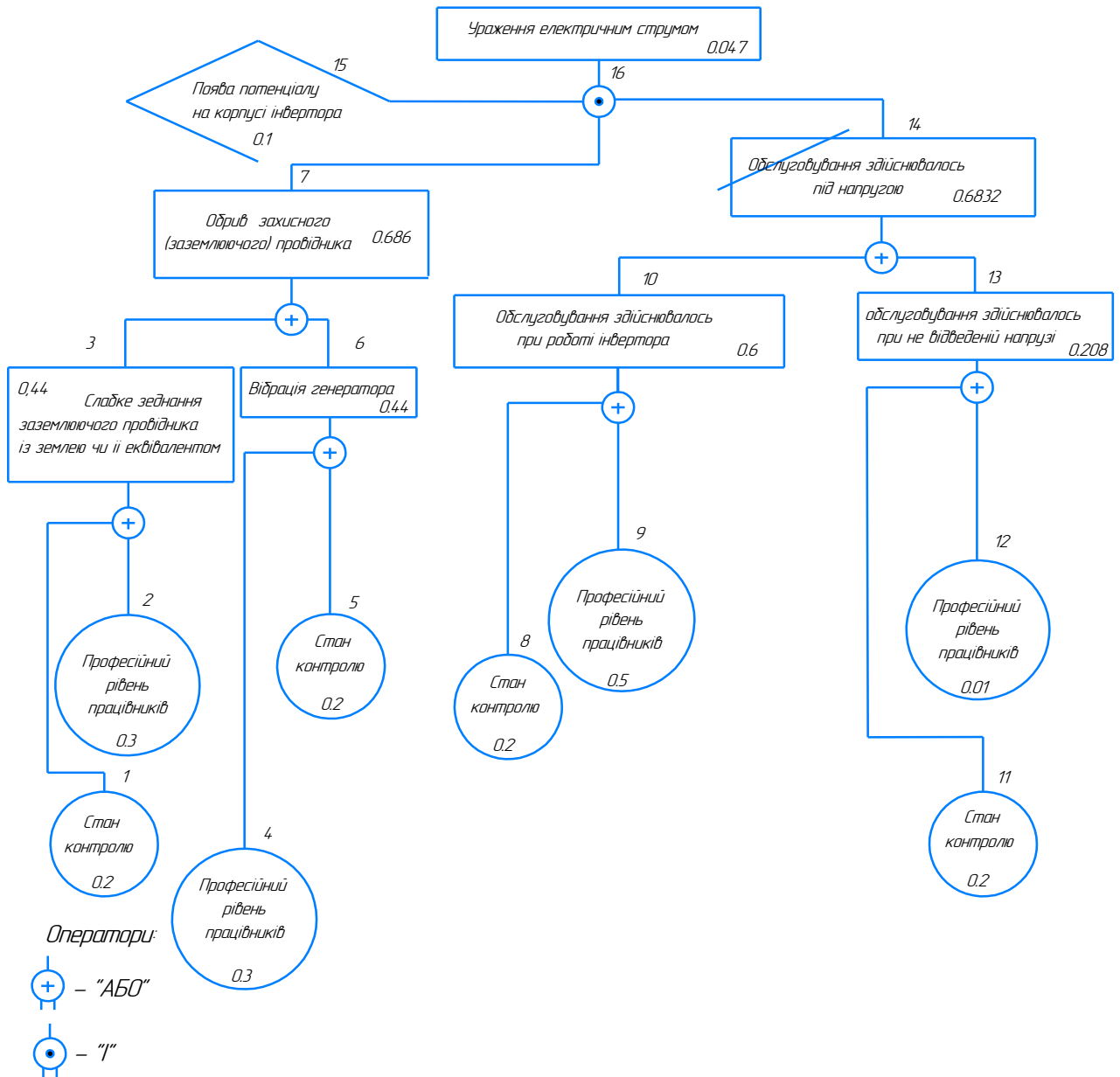


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при експлуатації сонячної електростанції

Умовно прийнято, що ймовірності базових подій  $P_1 = 0,2$ , а  $P_2 = 0,3$ . Підставивши дані ймовірностей базових подій одержимо:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 .$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 ;$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0,44 + 0,44 - 0,44 \cdot 0,44 = 0,686 ;$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2 + 0,5 - 0,2 \cdot 0,5 = 0,6 ;$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2 + 0,01 - 0,2 \cdot 0,01 = 0,208 ;$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} = 0,6 + 0,208 - 0,6 \cdot 0,208 = 0,6832 ;$$

$$P_{16} = P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{15} = 0,1 \cdot 0,686 \cdot 0,6832 = 0,047 .$$

Таким чином, на робочому місці під час експлуатації сонячної електростанції при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 4,7 уражень електричним струмом від інвертора.

Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки до 1.

Слід мати на увазі, що на даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, які призведуть до травми з інших причин. Але складовими причинами іншої травми також можуть бути такі недоліки, як неефективний контроль чи низький професійний рівень знань працюючих з охорони праці.

Тоді треба побудувати відповідну модель і виконати необхідні обчислення. Оскільки значення ймовірності виникнення аварії або травми (аварійної чи травмонезбезпечної ситуації) найбільш точно і об'єктивно характеризує рівень небезпеки на конкретному об'єкті, то цим створені умови для удосконалення системи управління безпекою праці в побуті. При цьому значення ймовірності можуть бути використані при розробці заходів впливу на працюючих, що часто допускають небезпечні дії, і заохочуючих (стимулюючих) заходів до тих працюючих, на робочих місцях яких існує дуже низька ймовірність виникнення травми або аварії.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмо - небезпечних ситуацій.

### **4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації фотоелектричних установок**

При експлуатації фотоелектричної установки необхідно керуватися "Правилами технічної експлуатації сонячних фотоелектричних установок", "ПУЕ" тощо.

Мешканці індивідуального будинку повинні бути ознайомленими з інструкцією з експлуатації даного виду обладнання. Кожен працюючий з сонячною електростанцією повинен бути проінструктований з техніки безпеки. Осіб, які не досягли 18 років не можна допускати до обслуговування установки. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань інвертора та інших видів електрообладнання вологими руками.

При роботі з електрообладнанням фотоелектричної установки, яке знаходиться під напругою необхідно працювати на ізоляційному килимку.

Ремонтні роботи та роботи з обслуговування фотоелектричної установки, проводяться тільки коли інвертор та інше електричне обладнання вимкнені.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки користувачі несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди.

### **4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Одним з найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Актуальність проблеми природно-техногенної безпеки для населення та територій зумовлена збільшенням людських втрат, спричинених

небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Зростання ризику надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру підкреслює важливість забезпечення захисту цивільного населення, що є однією з головних задач сьогодення.

Найбільш ефективно та систематичне виконання заходів цивільної оборони на об'єкті забезпечується завчасною підготовкою плану дій на випадок загрози або виникнення надзвичайних ситуацій. До таких заходів належать:

1. Оповіщення та інформування, що досягається підтриманням систем оповіщення в постійній готовності. Основна функція цих систем – інформування населення, зокрема про погодні умови.

2. Спостереження та контроль за довкіллям, продуктами харчування та водою, яке забезпечується функціонуванням загальнодержавної та територіальних систем моніторингу. До цих систем залучають існуючі сили і засоби незалежно від їх підпорядкованості.

3. Укриття в захисних спорудах, яке передбачає захист працюючої зміни та всього населення. Це забезпечується створенням і підтримкою фонду захисних споруд.

4. Евакуаційні заходи, що здійснюються як на території господарства, так і за його межами, особливо у разі виникнення пожеж.

5. Медичний захист, спрямований на зниження рівня зараження населення та своєчасне надання допомоги постраждалим.

6. Біологічний захист, що включає виявлення джерел біологічного зараження, визначення їх характеру та масштабів, а також реалізацію адміністративно-господарських, протиепідемічних та медичних заходів.

7. Радіаційний і хімічний захист, що передбачає оцінку радіаційної та хімічної обстановки, організацію дозиметричного і хімічного контролю, а також використання засобів індивідуального захисту.

Такі дії спрямовані на своєчасне реагування та мінімізацію наслідків надзвичайних ситуацій.

Одним із ключових завдань цивільної оборони є навчання населення використанню засобів індивідуального захисту та навичок дій у надзвичайних ситуаціях.

З цією метою заходи для зменшення впливу негативних наслідків аварій спрямовані на завчасну підготовку підприємств до можливих надзвичайних ситуацій, створення умов для підвищення стійкості їхньої роботи, а також організацію та виконання своєчасних рятувальних робіт.



## РОЗДІЛ 5

### ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Будь-які інженерні рішення, які готуються до реалізації повинні пройти низку оцінювальних процедур, серед яких є також і економічна оцінка. Власне часто виникає ситуація, коли питання оптимального вибору структури, параметрів енергетичних засобів та інших параметрів вибираються не за критеріями технологічної відповідності, а за критерієм економічної доцільності та ефективності.

Тому, в даному розділі основну увагу приділимо саме економічному обґрунтуванню прийнятих рішень.

Найкраще економічну ефективність різних технологічних рішень відображає термін окупності капіталовкладень. Щоправда слід відмітити, що для енергетичних систем, зазвичай, термін окупності не завжди має визначальний характер.

Отже, для визначення терміну окупності капіталовкладень у розвиток енергетичної системи в умовах домогосподарства використаємо формулу

$$T_{ок} = \frac{B_{pv}}{E}, \quad (5.2)$$

де  $B_{pv}$  – вартість енергетичного обладнання фотоелектричної установки включно з її монтажем, грн.;  $E$  – річний економічний ефект домогосподарства, як наслідок експлуатації фотоелектричної установки, що призвело до виробництва певного обсягу електроенергії, грн.

Вартість енергетичного обладнання можна визначити, виходячи із наявного обладнання, яке є на ринку, відповідно до її структури. Оскільки в нашому випадку є чітко визначена структура установки та параметри структурних елементів, то ми застосуємо саме цей метод.

Вартість компонентів енергетичної установки визначимо як суму вартостей її структурних компонентів, серед яких є власне, фотоелектричні

панелі, інвертор, акумуляторні батареї, захисна та комутаційна апаратура, кабелі, монтажні компоненти (табл. 5.1).

Слід зауважити, що монтажні елементи, зокрема, їх кількість та тип визначаються на підставі аналізу типу даху, його нахилу до горизонту, а також цінової політики на ці компоненти. Для визначення вартості монтажних компонентів нами було використано on-line форму фірми "Кріптер", де вказавши бажану конфігурацію фотоелектричного поля, отримуємо розкладку фотопанелей та розрахунок необхідних компонентів (додаток А). Результати розрахунку подано в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок вартості монтажних компонентів для влаштування фотоелектричного поля на даху будинку

Назва монтажного елемента	К-сть	Ціна, грн	Вартість, грн
10012100 Профіль Al Light D L2100	6	526,81	3160,86
10013100 Профіль Al Light D L3100	2	777,67	1555,34
1150 Продольний з'єднувач у зборі	6	59,16	354,96
мет Кріплення до мет. черепиці у зборі	14	85,05	1190,7
t35 T-прижим у зборі H35	14	18,54	259,56
z35 Z-прижим у зборі H35	4	24,42	97,68
Разом			6619

Отже, для купівлі монтажних компонентів влаштування фотоелектричного поля на даху будинку необхідно виділити 6619 грн.

Тепер можна аналогічним чином сформувати перелік компонентів фотоелектричної установки та визначити повну вартість системи (табл. 5.2).

Як видно з табл. 5.2, вартість структурних компонентів становить 107819 грн. Тут, однак, не враховано вартість монтажних робіт, яка для такого типу систем зазвичай становить 25% від вартості енергетичного обладнання, і яка повинна становити 26955 грн.

Відповідно до цього загальна вартість енергетичної системи домогосподарства буде становити 134774 грн.

Таблиця 5.2 – Вартість структурних компонентів фотоелектричної установки

Назва монтажного елемента	К-сть	Ціна, грн	Вартість, грн
Фотоелектрична панель Longi Solar LR5-72НТН-580М	8	4105	32840
Монтажний комплект	1	6619	6619
Інвертор гібридний Must PV19-6048 EXP	1	21200	21200
Акумулятор Must LP16-48100	1	39400	39400
Щит безпеки DC	1	2820	2820
Щит безпеки AC	1	2640	2640
Щит безпеки АКБ	1	4820	4820
Кабелі	1	2300	2300
Разом			112639

Тепер необхідно визначити величину економічного ефекту, який визначається вартістю виробленої електроенергії, вірніше вартістю електроенергії, яка не була придбана на потреби живлення електрообладнання домогосподарством.

В нашому випадку, в умовах звичайного використання електроенергії домогосподарством обсяг спожитої електроенергії становив 1003 кВт·год., що у вартісному виразі становило 4333 грн.

Запропонована фотоелектрична установка має дещо вищу продуктивність, як того вимагає звичайна потреба, тому вона покриває всі електричні потреби домогосподарства і отримується надлишок електроенергії в розмірі 4102 кВт·год., що у вартісному еквіваленті становить 17721 грн. Надлишково вироблена електроенергія скеровуватиметься на нагрів гарячої води, підтримку опалення, кондиціювання приміщень тощо.

Зокрема, для потреб гарячого водопостачання використовується теплова енергія у розмірі 10388 МДж. З врахуванням енергетичного еквівалента теплової енергії щодо електричної, який становить 3,6, визначимо обсяг електроенергії, який можна скерувати на покриття потреб у тепловій енергії

для нагріву води, і який буде становити 2886 кВт·год. Ще залишок у обсязі 1216 кВт·год. скеруємо на підтримку опалення та кондиціонування.

Отже, загальна корисна вартість виробленої електроенергії фотоелектричною установкою домогосподарства становитиме 22054 грн.

Тепер, за відомого значення всіх елементів формули (5.1), визначимо термін окупності фотоелектричної установки

$$T_{ок} = \frac{112639}{22054} = 5,11 \text{ років.}$$

Таким чином, фотоелектрична установка домогосподарства може окупитися за неповні 5,11 років.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Сучасні тенденції розвитку електроенергетичного сектору демонструють стрімкий розвиток електрогенерації з використанням фотоелектричних установок. Причому, цей розвиток не стосується однієї, двох країн, він стосується всього цивілізованого співтовариства. Сонячна електроенергетика у світовому масштабі вже випередила вітроенергетику за показниками як загальної потужності встановлених станцій, так і за річним приростом. Поточний стан електроенергетики, військові дії та постійні атаки росії на енергетичну інфраструктуру України зумовлюють розвиток малогабаритних енергетичних систем, які діють на засадах самозабезпечення об'єктів. Не стоїть осторонь і приватний сектор, який доволі швидко реагує на такого виду виклики. Тому розвитку малогабаритних самозабезпечувальних систем необхідно приділяти значну увагу.

Найпростішим варіантом сформувати енергогенеруючу систему на рівні домогосподарства є побудова сонячної фотоелектричної установки, яка може бути автономна, мережева та гібридна.

Автономні сонячні електростанції мають малу поширеність через їх низьку надійність щодо гарантованого електроживлення, а також через поширеність централізованого електропостачання. Мережеві сонячні станції займають у структурі установок, мабуть найбільшу частку, однак у сучасному стані електроенергетики України вони будуть поступатися гібридним енергетичним установкам. Гібридні сонячні станції, які обладнані системами накопичення електроенергії є майже ідеальним рішенням для захисту домогосподарств від руйнувань електроенергетичного сектору, від блек-аутів тощо. Крім того, такого типу установки допомагають домогосподарствам заощадити кошти за рахунок зниження обсягів купівлі електроенергії, а також можуть внести свою частку у режим споживання електроенергії у пікові періоди.

Аналіз законодавчої бази дозволив зрозуміти, що загалом створені добрі передумови для розвитку самогенерації, мікрогенерації, а також генерації з метою продажу електроенергії за підвищеними тарифами.

Для реалізації поставленого завдання зі спорудження гібридної фотоелектричної установки було опрацьовано методику та виконано дослідження енергетичні потреби домогосподарства, які реалізовані на базі електронних засобів вимірювання, і які дали змогу виявити дійсну потребу в електроенергії.

Опрацьовано методику та здійснено оцінку потенціалу сонячної радіації в регіоні дослідження, що дозволило на наступних етапах виконати відповідні технологічні розрахунки. Зокрема, було використано базу даних Національного аерокосмічного агентства Сполучених Штатів Америки, які володіють кліматичною ситуацією земної кулі.

Для визначення параметрів компонентів фотоелектричної установки опрацьовано методику та здійснено розрахунок продуктивності фотоелектричної панелі, а також фотоелектричної установки на її основі. За даними цього розрахунку побудовано енергетичні баланси системи з різною структурою. Також здійснено визначення параметрів додаткових необхідних компонентів сонячної електроустановки, зокрема системи акумулювання електроенергії, засобів захисту по лінії постійного та змінного струму.

Незважаючи на видиму простоту та безпеку, сонячні електростанції можуть нести значну загрозу користувачам. Виконано оцінку рівня травмонебезпеки, розроблено заходи щодо покращення безпеки експлуатації таких установок, а також опрацьовано матеріал щодо захисту в надзвичайних ситуаціях.

На завершальному етапі виконано економічну оцінку доцільності реалізації гібридної сонячної електроустановки для потреб домогосподарства. Основним критерієм ефективності обрано термін окупності капіталовкладень, який продемонстрував раціональність у побудові такої установки.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. NET METERING, NET BILLING: ефективні механізми підтримки виробників “зеленої” електроенергії. URL: <https://www.solargarden.com.ua/net-metering-net-billing-efektyvni-mehanizmy-pidtrymky-vyrobnykiv-zelenoi-elektroenerhii/>.
2. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
3. Reclosable smartlife TUYA WIFI Circuit breaker 63A 110V 220V Energy Meter Metering Timer with voltage current leakage protection. URL: [https://www.aliexpress.com/item/1005006071831407.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.58.61fc1802UZukbw](https://www.aliexpress.com/item/1005006071831407.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.58.61fc1802UZukbw).
4. Renewables 2024. Global status report. Energy demand. URL: [https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy\\_demand](https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_demand).
5. Renewables 2024. Global status report. Energy supply. URL: [https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy\\_supply/01\\_global\\_trends](https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_supply/01_global_trends).
6. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Edycja 2023. Krakow: Redakcja GLOBEnergia, 2023. 376 s.
7. Tytko R. Fotowoltaika. Podręcznik dla studentów, uczniów, instalatorów, inwestorów. Krakow : Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2022. 520 s.
8. Tytko R., Goralczyk I. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2013. 347 s.
9. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
10. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Підручник. Вид. 5-те, доповнене. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

- 11.Класифікація сонячних електростанцій (СЕС). URL: <https://avenston.com/articles/pv-power-plants-classification/>.
- 12.Кудря С. О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. / С. О. Кудря, В. М. Головка. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
- 13.Методичні вказівки до практичної роботи "Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві" з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів всіх форм навчання /Укл. О.В. Коробко, Ю.І. Троян. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.
- 14.Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2030 року. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13 серпня 2024 р. № 761-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text>.
- 15.Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії : навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 483 с.
- 16.Про альтернативні джерела енергії. Закон України від 20 лютого 2003 року № 555-IV, поточна редакція 30.10.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>.
- 17.Про енергетичну ефективність. Закон України 21 жовтня 2021 року № 1818-IX, поточна редакція 18.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>.
- 18.Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу для суб'єктів господарської діяльності та приватних домогосподарств № 1421 від 02.11.2012 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1957-12#Text>.
- 19.Про затвердження Порядку продажу та обліку електричної енергії, виробленої активними споживачами, та розрахунків за неї. Постанова



- НКРЕКП № 2651 від 29 грудня 2023 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v2651874-23#Text>.
20. Про ринок електричної енергії. Закон України від 13 квітня 2017 року № 2019-VIII, поточна редакція 18.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
21. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
22. Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНУП, 2021. 32 с.
23. Системи Net Metering та Net Billing: в чому їх особливості? – Atmosfera. URL: <https://www.atmosfera.ua/media/sistemi-net-metering-ta-net-billing-v-chomu-yih-osoblivosti-atmosfera>.
24. Сонячні електростанції для дому. URL: <https://generacia.energy/poslugy/dlja-doma/>.
25. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: [https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS\\_ua\\_last.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf).





## Результат розрахунку: друк

Тип покрівлі:	металочерепиця-профнастил-шифер
Розташування панелей:	Книжне
Товщина панелі, мм:	35
Довжина x висота криші, м:	10,5 x 7,5
Розмір панелі (Д x Ш), мм:	2278 x 1134
К-ть панелей, шт:	8
10012100 Профіль Al Light D L2100, шт:	6
10013100 Профіль Al Light D L3100, шт:	2
z35 Z-прижим у зборі Н35, шт:	4
t35 T-прижим у зборі Н35, шт:	14
met Кріплення до мет.черепиці у зборі, шт:	14
П150 Продольний з'єднувач у зборі, шт:	6
XXX - Відстань від края профілю до першого кріплення до даху (чорні розміри)	
XXX - Крок кріплення профілю до даху (зелені розміри)	
XXX - Відстань від края профілю до панелі (червоні розміри)	



Інсталяція, Ш x В, мм:  
9212 x 2278

