

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень

на тему: **„СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО  
БУДИНКУ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ  
ЕНЕРГЕТИКИ”**

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

Токар Дмитро Юрійович  
(Прізвище та ініціали)

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

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

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

**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.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
Токару Дмитру Юрійовичу

1. Тема роботи: "СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ"

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент  
Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 08.01.2024 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 систем енергозабезпечення об'єктів з використанням відновлюваних джерел енергії.

4.3. Інженерна реалізація системи енергозабезпечення об'єкта з використанням сонячної електростанції.

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 управління проектами та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	28.04.2023-31.05.2023	
2	Теоретичні основи розрахунку систем енергозабезпечення об'єктів з використанням відновлюваних джерел енергії	1.06.2023-15.08.2023	
3	Інженерна реалізація системи енергозабезпечення об'єкта з використанням сонячної електростанції	16.08.2023-31.10.2023	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	1.11.2023-20.11.2023	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	21.11.2023-10.12.2023	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	11.12.2023-31.12.2023	
7	Завершення роботи в цілому	1.01.2024-8.01.2024	

Студент \_\_\_\_\_ Токар Д. Ю.  
(підпис)

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

УДК 631.3

Система електропостачання приватного будинку на базі обладнання відновлюваної енергетики. Токар Дмитро Юрійович. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни. Львівський НУП, 2024.

67 с. текст. част., 26 рис., 3 табл., бібл. джерел 21 найм.

Проаналізовано стан галузі відновлюваної енергетики у світі та в Україні, окремо розглянуто питання розвитку сонячної електроенергетики, в тому числі й сонячної електроенергетики приватних домогосподарств. Проведено аналіз варіантів побудови сонячних електростанцій залежно від їх призначення. Охарактеризовано законодавчу базу стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Визначено мету і завдання роботи.

Опрацьовано методику визначення енергетичних потреб приватного домогосподарства з використанням системи моніторингу, оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження, розрахунку параметрів системи електропостачання на базі сонячної електростанції, а також розрахунку параметрів системи акумулювання електроенергії.

Подано результати дослідження енергетичних потреб досліджуваного об'єкта, аналізу енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження, розрахунку параметрів сонячної електростанції з різною структурною схемою.

Розглянуто заходи безпечної експлуатації сонячної електростанції.

Здійснено оцінку ефективності застосування сонячних електростанцій з різною структурою для електропостачання приватного домогосподарства.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
<b>1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>8</b>
1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження	8
1.2 Аналіз існуючих фотоелектричних систем електропостачання домогосподарств	16
1.3 Законодавчі механізми стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні	23
1.4 Мета і завдання роботи	26
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ</b>	<b>27</b>
2.1 Методика визначення енергетичних потреб приватного домогосподарства з використанням системи моніторингу	27
2.2 Методика оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження	30
2.3 Методика розрахунку параметрів системи електропостачання на базі сонячної електростанції	34
2.4 Методика розрахунку параметрів системи акумулювання електроенергії	36
<b>3 ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ</b>	<b>38</b>
3.1 Результати дослідження енергетичних потреб досліджуваного	38

об'єкта	
3.2 Аналіз енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження	41
3.3 Розрахунок параметрів сонячної електростанції з різною структурною схемою	44
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>50</b>
4.1. Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	50
4.2. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	51
4.3. Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	55
4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях	56
<b>5. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ</b>	<b>58</b>
<b>ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ</b>	<b>63</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b>	<b>65</b>

## ВСТУП

Україна стоїть на порозі значних структурних змін, які викликані не тільки військовою агресією, а й прагненням влитися в спільноту Європейського Союзу. Це вимагає запровадження низки законодавчих ініціатив, переформатування структури використання природних сировинних та енергетичних ресурсів тощо. Все це тією, чи іншою мірою зумовлене запровадженням жорстких екологічних вимог, запровадження енергоефективним технологій народного господарства. Це також стосується і енергетичної системи країни.

Не менш важливим є розвиток енергетичного господарства. Від його ефективного функціонування залежить не лише можливість реалізувати програми народного господарства, а й забезпечення якісного функціонування житлово-комунального господарства. Причому це стосується не лише розвитку централізованих систем енергозабезпечення, а й розвитку індивідуальних ждомогосподарств. Відомо, що рівень надійності та якості енергозабезпечення залежить серед іншого і від рівня концентрації споживачів. З іншого боку, значна концентрація споживачів вносить свій негативний вплив. Тому відбувається поступовий перехід до децентралізованих систем енергозабезпечення, які маю низку позитивних чинників, які покращують режими експлуатації централізованих енергомереж.

Серед перспективних напрямків розвитку децентралізованого енергозабезпечення є широке впровадження відновлюваних джерел енергії, які поряд з екологізацією генерації забезпечують можливість зблизити між собою постачальника енергії та споживача енергії. Це дозволяє знизити навантаження на енергомережі, стабілізує режими їх роботи, знижує втрати енергії в енергомережах тощо.

Розвиток відновлюваної енергетики є неможливим без формування певного рівня законодавчого супроводу, який не тільки регулює питання взаємодії систем генерації з споживачами, а й створює стимулюючі інструменти, які покращують умови реалізації таких проектів. Зокрема, запровадження "зеленого" тарифу для приватних домогосподарств дало значний поштовх розвитку малої електрогенерації з відновлюваних джерел енергії. Тому цей напрямок не тільки має право на життя, а й заслуговує на максимально широке впровадження.

Кваліфікаційна робота має за мету на підставі оцінки енергетичних потреб, природного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії та параметрів енергетичних засобів сформувати раціональну структуру сонячної електростанції для електроживлення приватного домогосподарства.



## РОЗДІЛ 1

### АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

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

##### 1.1.1 Загальна характеристика галузі відновлюваної енергетики

Галузь відновлюваної енергетики переживає справжній бум, який викликаний негативним впливом на навколишнє середовище інтенсивного розвитку промисловості, транспорту та інших галузей, що здійснюють викиди вуглекислого газу та інших сполук. Ці викиди створюють умови для інтенсивного розвитку глобального потепління, погіршення якості повітря, води, ґрунту тощо. Все це так, чи інакше впливає на фізіологічний стан людини. Тому, всі цивілізовані країни запровадили у себе програми розвитку відновлюваної енергетики. Крім того, такі програми дозволять здійснити децентралізацію генерування енергії, диверсифікацію первинного палива тощо, що позитивно буде впливати на енергетичну безпеку країни.

Тенденцію розвитку відновлюваної енергетики в світі можна прослідкувати за даними міжнародного агентства REN21, яке щороку випускає дослідження ринку відновлюваної енергетики у всіх країнах світу GLOBAL STATUS REPORT [7].

Зокрема, за даними даного видання у 2022 році відбулося збільшення встановленої потужності об'єктів відновлюваної енергетики на 348 ГВт (рис. 1.1).

Як видно з рис. 1.1, найбільший приріст відбувся за рахунок встановлення сонячних електростанцій. Це свідчить про особливу перспективність цієї технології генерації електроенергії. На другому місці за приростом є вітрова енергетика.

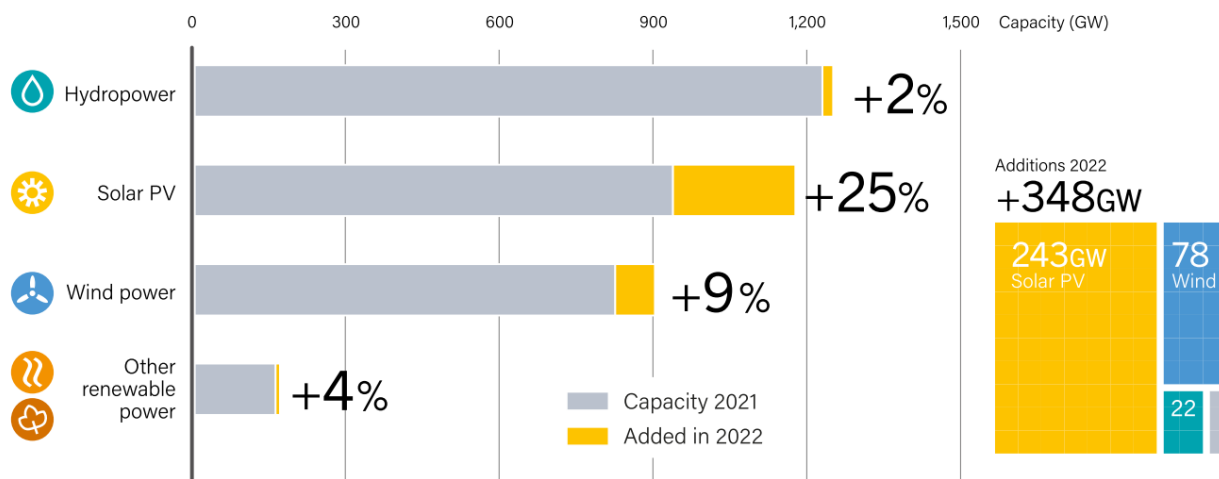


Рисунок 1.1 – Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики відносно потужності об'єктів станом на 2021 рік [7]

В багаторічній динаміці (рис. 1.2) також видно, що сонячна електроенергетика є лідером, і цю тенденцію необхідно ще більше прискорити для досягнення нульового сценарію МЕА.

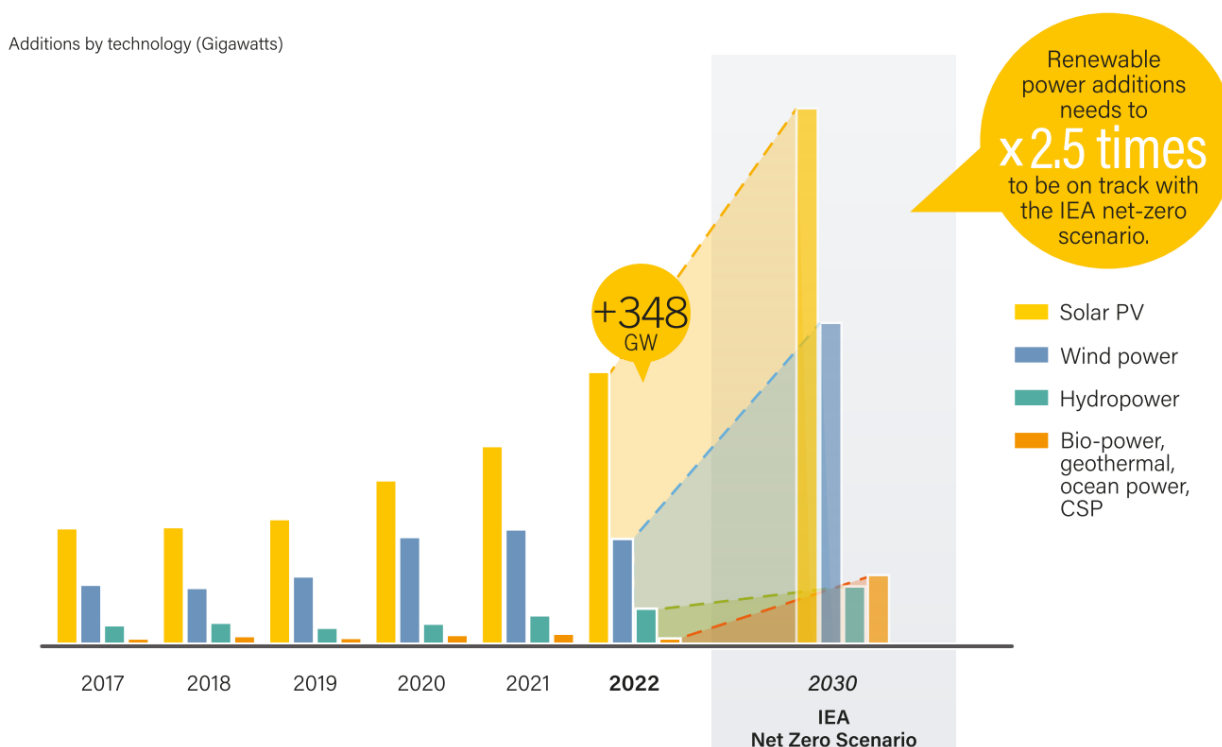


Рисунок 1.2 – Щорічне збільшення потужності відновлюваної електроенергії за технологіями, 2017-2022 рр., і збільшення, необхідне до 2030 р. для досягнення нульового сценарію МЕА [7]

Згідно даних тієї ж публікації у світі відновлювана електроенергетика становить майже 30% всієї енергетики (рис. 1.3) [7]. Щоправда серед відновлюваних джерел гідроенергетика займає першість, хоча її частка дещо зменшилася з 16,4% у 2012 році до 15,1% у 2022 році.

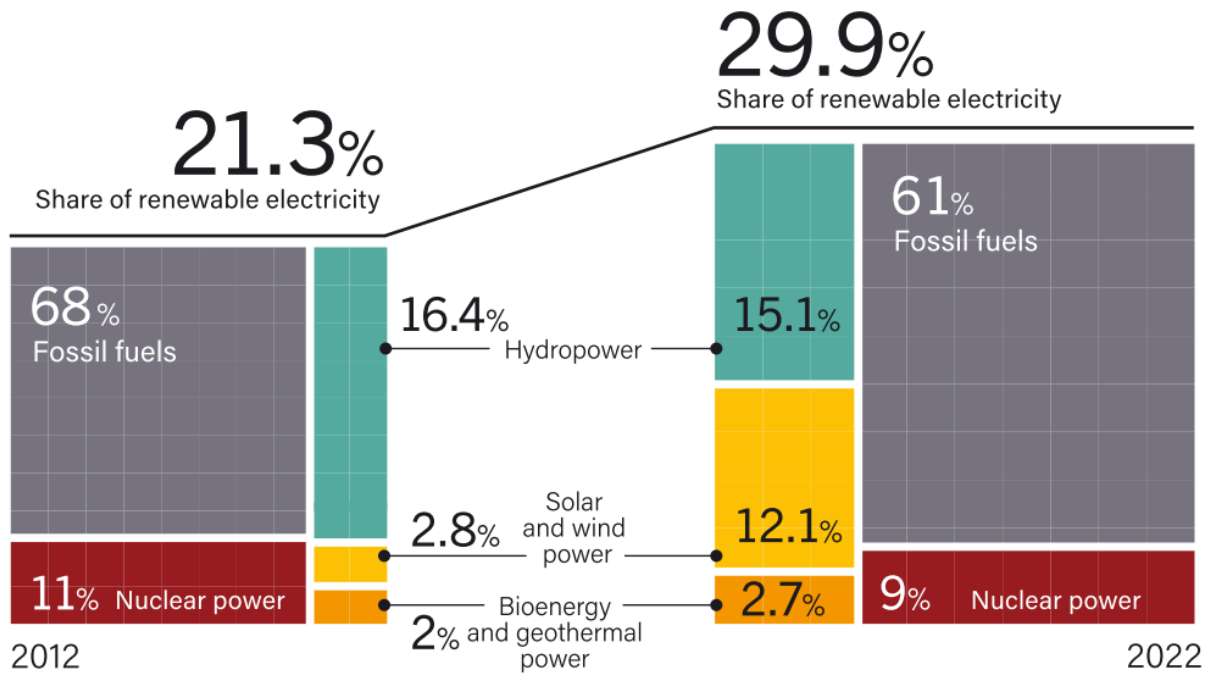


Рисунок 1.3 – Частка виробництва електроенергії з відновлюваних джерел за джерелами енергії, 2012 та 2022 роки [7]

Стосовно сонячної та вітрової електроенергетики, то їх частка зросла від 2,8% у 2012 році до 12,1% у 2022 році. Слід також зауважити, що позитивну динаміку демонструють ще дві галузі: біоенергетика та геотермальна енергетика. Вони разом збільшили свою частку в генеруванні електроенергії з 2% до 2,7%.

Теплова відновлювана енергетика розвивається не так інтенсивно. Так, за даними REN21 (рис. 1.4), частка обладнання відновлюваної енергетики у структурі виробництва тепла збільшилась від 8,9 у 2010 році до 11,5% у 2020 році. В цій галузі лідером є сучасна біоенергетика, яка наростила генерацію з 7,0% у 2010 році до 7,9% у 2020 році, в той час як традиційні біоенергетика за цей же період на 1% зменшила свою частку, і яка становить 13%.

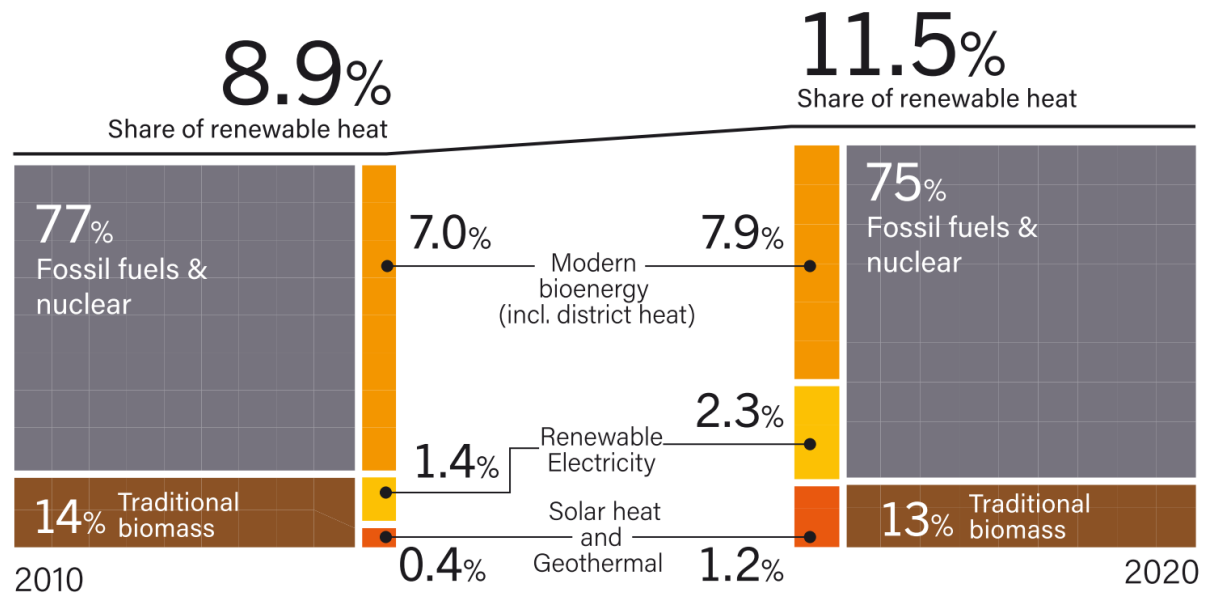


Рисунок 1.4 - Частка виробництва тепла з відновлюваних джерел за джерелами енергії, 2010 та 2020 роки [7]

Загалом, за даними аналітичного дослідження чітко прослідковується позитивна динаміка розвитку практично всіх видів відновлюваної енергетики.

#### 1.1.2 Стан та перспективи розвитку сонячної електроенергетики

Як було вказано вище, сонячна електроенергетика демонструє значний приріст встановленої потужності, що свідчить про значний інтерес інвесторів до цієї галузі. Ця галузь дійсно є цікавою для вкладання коштів, оскільки їй притаманні особливості, яких немає у інших галузях. Станом на 2022 рік встановлена потужність сонячних електростанцій майже дійшла до відмітки 1200 ГВт (рис. 1.5).

Крім того слід зауважити, що власне й біло відмічено раніше, що ця галузь має найбільші темпи зростання. Причому вони є рекордними для всіх років аналізу. Так, за даними рис. 1.5, видно, що річний приріст сонячної електроенергетики у 2022 році становив 243 ГВт. Зауважимо, що річний приріст неспинно зростає за роками.

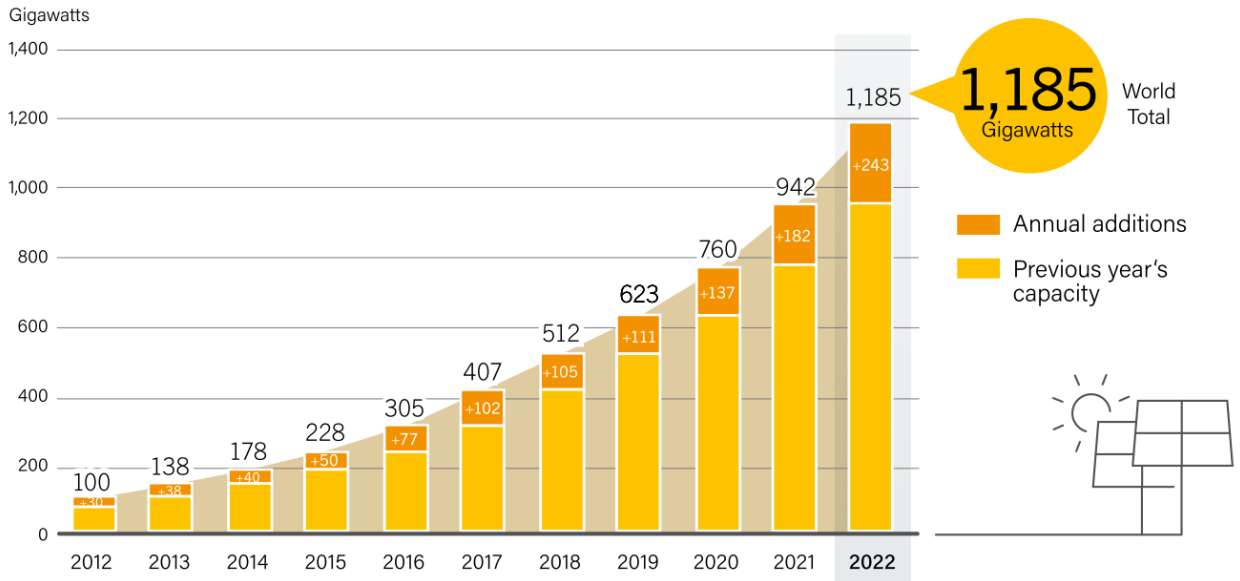


Рисунок 1.5 – Встановлена потужність сонячних фотоелектричних станцій та їх річний приріст за 2012-2022 роки [7]

Стосовно розвитку галузі сонячної електроенергетики за регіонами світу, то тут лідерство утримує Китай (рис. 1.6), США йдуть другими зі значним відставанням.

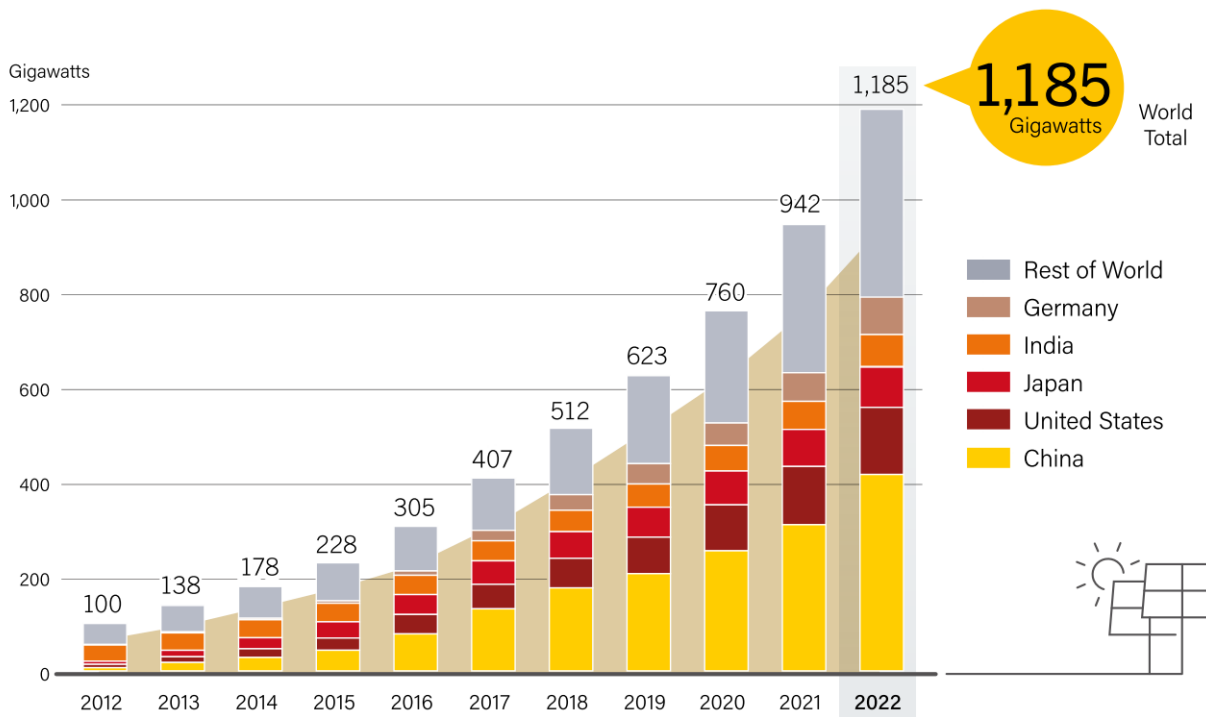
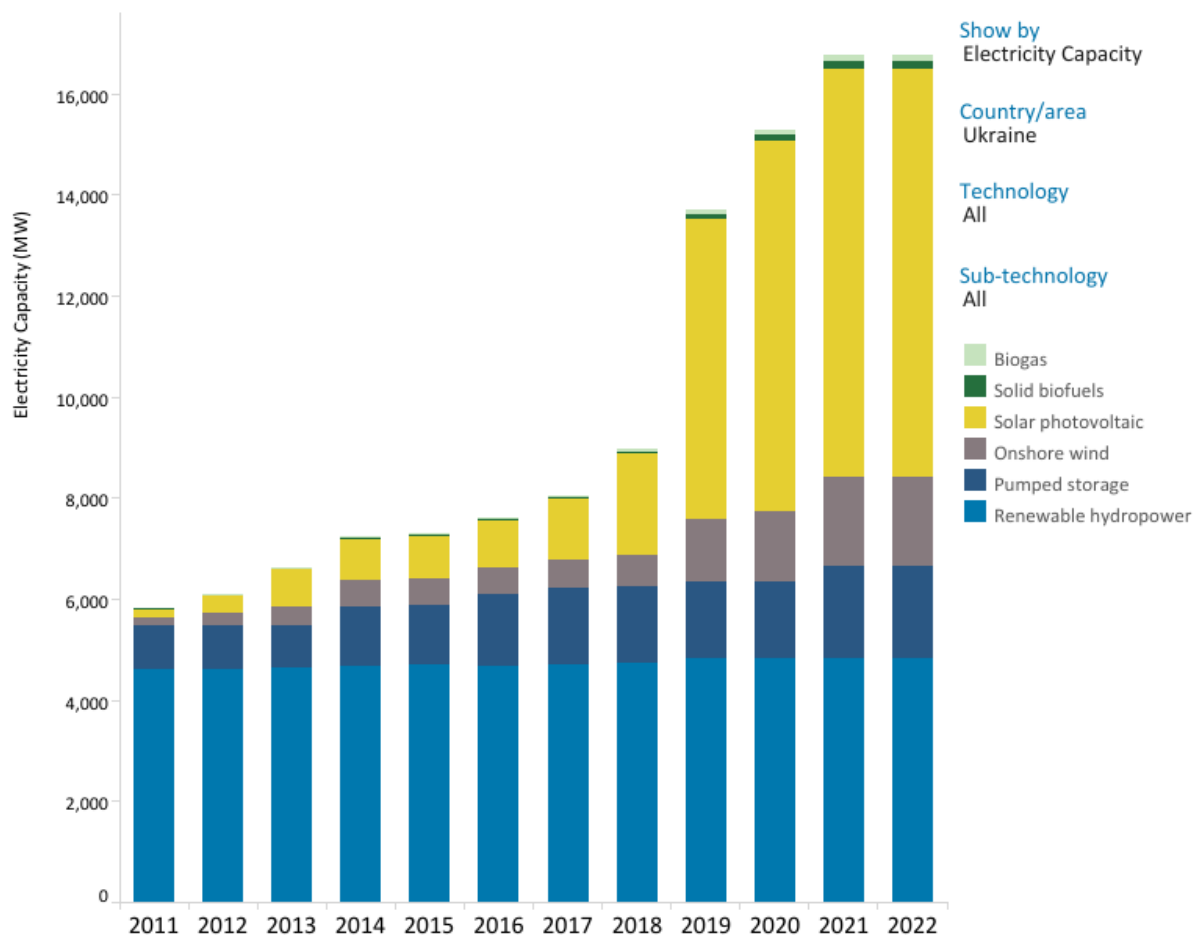


Рисунок 1.6 – Глобальна потужність сонячної фотоелектричної енергії за країнами та регіонами, 2012-2022 роки [7]

### 1.1.3 Стан і перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні

В Україні відновлювана енергетика також розвивається доволі інтенсивно. Так, за даними дослідження International Renewable Energy Agency (IRENA) [1], (рис. 1.7) сумарна потужність об'єктів відновлюваної енергетики перевищив 16 ГВт.



©IRENA..

Рисунок 1.7 – Встановлена потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики України за роками [1]

Як видно з рис. 1.7, основним гравцем в Україні вже є сонячна електроенергетика, яка випередила традиційно сильну гідроенергетику. Щоправда подальші дослідження ринку є неможливими у зв'язку з війною з росією. Також слід зауважити, що велика частина об'єктів відновлюваної енергетики на даний час перебувають на тимчасово окупованих територіях.

Розвиток сонячної електроенергетики в Україні розвивається доволі інтенсивно. Так за даними рис. 1.5, можна побачити про стійке зростання потужності сонячних станцій, починаючи з 2019 року, і сумарна потужність таких установок вже перевищила 8 ГВт.

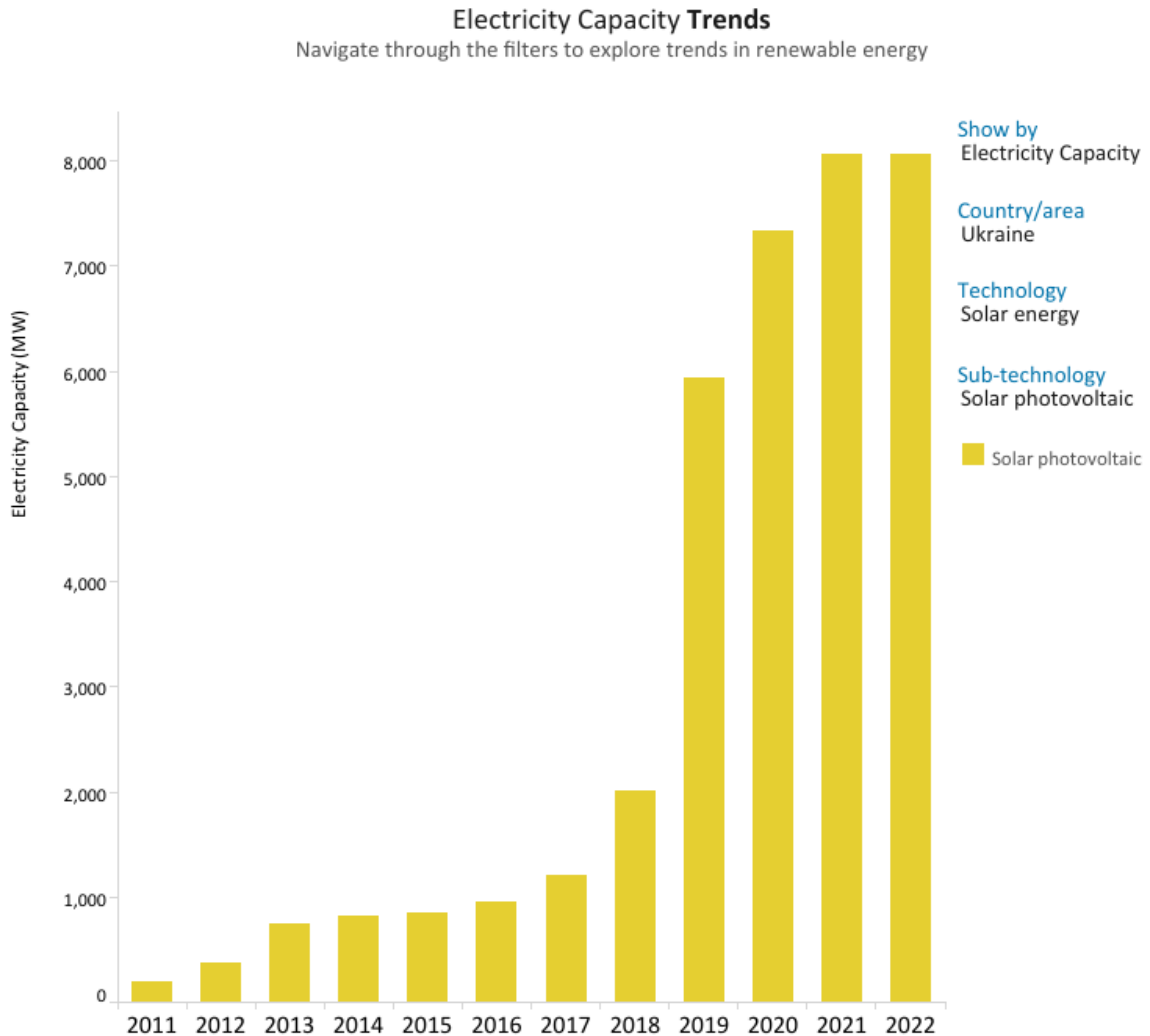


Рисунок 1.8 - Динаміка розвитку сонячної електроенергетики в Україні [1]

Слід також зауважити, що в Україні доволі успішно розвивається ще одна галузь електроенергетики – сонячна електроенергетика приватних домогосподарств. За наявності надлишку електроенергії, яка виробляється такими сонячними електростанціями їх можна реалізувати за "зеленим"

тарифом. Щоправда тут існують певні обмеження щодо потужності сонячних електростанцій. Вона не повинна перевищувати межу 30 кВт.

Зокрема, 2021 році близько 15 тисяч українських сімей встановили сонячні установки, що фактично вдвічі більше, ніж було встановлено у 2020 році. На кінець 2021 року вже понад 45 тисяч домогосподарств в Україні використовували сонячні панелі для економії на рахунках за електроенергію, а загальна потужність таких сонячних електростанцій перевищила 1,2 ГВт (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Динаміка зростання кількості та потужності сонячних станцій приватних домогосподарств [21]

За розрахунками Агентства держенергоефективності, приватні домогосподарства можуть щорічно виробляти близько 1400 млн кВт·год. електричної енергії. Це дозволить забезпечити "чистою" електроенергією приблизно 460 тисяч домогосподарств. Використання сонячних панелей сприяє розвитку малої енергогенерації та формуванню класу "прос'юмерів", що відповідає вимогам 4-го енергетичного пакету ЄС. Це безсумнівно



дозволяє домогосподарствам самостійно задовольняти свої потреби в електроенергії, підвищуючи енергоефективність і заощаджуючи витрати на електроенергію.

Отже, висновок з цього огляду є наступним. Встановлення сонячних електростанцій для приватних домогосподарств в Україні є найбільш динамічно розвиваючою галуззю відновлювальної енергетики. Важливо відзначити, що такі електростанції за своєю структурою можуть мати не лише мережеве підключення на умовах "зеленого" тарифу, але і гібридні та автономні конфігурації. Для більш детального вивчення їх особливостей стосовно структурного устрою необхідно провести більш детальний аналіз їх техніко-економічних характеристик.

#### 1.1.4 Об'єкт та предмет дослідження

Враховуючи різноманіття структур сонячних фотоелектричних систем, їх відносно обмежену ефективність і, в той же час, відносно високі затрати на купівлю обладнання й його монтаж, важливо приділяти значну увагу обґрунтуванню структури таких систем. Крім того слід розуміти й для яких цілей буде оптимальною відповідна структура.

**Об'єктом дослідження** є система електропостачання приватного домогосподарства на базі сонячної електростанції.

**Предметом дослідження** є встановлення характеру взаємозв'язків між параметрами системи електропостачання приватного домогосподарства на базі сонячної електростанції.

## **1.2 Аналіз існуючих фотоелектричних систем електропостачання домогосподарств**

Все більше людей починають розуміти вигоди від використання сонячних панелей у своїх будинках. Особливо важливо мати правдиву

інформацію та розрахунки про вигідність і порядок встановлення сонячних панелей, коли ви будете новий або реконструюєте старий будинок. Сонячні панелі допомагають знизити витрати на електроенергію та долучити вас до борців за екологічно чисту енергетику.

Залежно від того, яку суму планується інвестувати в систему електропостачання з сонячними панелями, а також від того, скільки енергії потрібно виробити та/або резервувати в системі електропостачання на випадок аварій в електромережах, можна обрати відповідний тип сонячної електростанції. Якщо потрібно жити весь будинок і максимально використовувати екологічно чисту енергію від Сонця, то, природно, сонячна електростанція буде більшою та дорожчою, ніж сонячна установка для живлення декількох лампочок або побутових приладів.

Розглянемо варіанти побудови сонячних електростанцій за їх структурою та призначенням.

Мережеві сонячні електростанції.

Такий тип системи найпопулярніший серед домогосподарств через те, що вона повністю забезпечує сонячною електроенергією весь будинок і приносить чималий дохід від продажу електроенергії за «зеленим тарифом» (рис. 1.10).

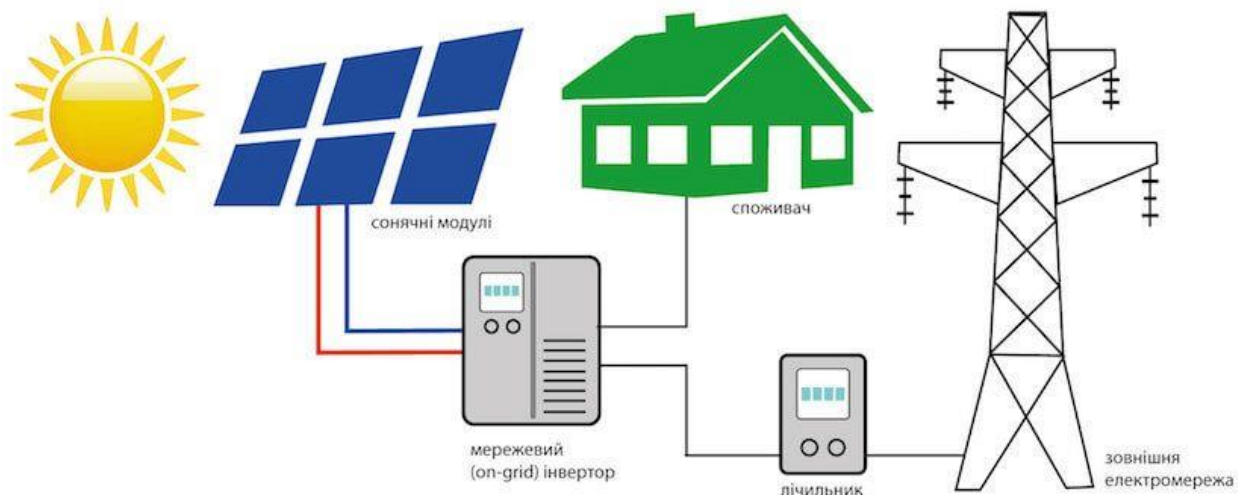


Рисунок 1.10 – Структура мережевої сонячної електростанції [20]

У цій системі будинок приєднаний до мережі централізованого електропостачання, тому не має потреби встановлювати акумулятори. В системі мінімальна кількість компонентів, і всі вони мають велику надійність, що робить вартість встановлення та володіння такою електростанцією набагато нижче, ніж у варіантах з акумуляторами.

У цій системі весь надлишок електроенергії передається в зовнішню електромережу, а при нестачі - відбираються з мережі. Тобто, лічильник впродовж місяця може обліковувати електроенергію в обидві сторони. А в кінці місяця відбувається облік «перетоків». Наприклад, сонячна станція виробила 600 кВт·год. електроенергії. З них 250 кВт·год. спожили в домогосподарстві, отримався залишок 350 кВт·год., тобто отримаємо оплату за 350 кВт·год. за умовами "зеленого" тарифу.

До переваг мережевих систем можна віднести: найбільш економічно ефективна та популярна в світі система; простота в роботі; практично не вимагає обслуговування; може бути практично будь-якої потужності та легко масштабується (для приватних домоволодінь не більше 30 кВт, а для бізнесу на власне споживання – без обмежень); працює паралельно з мережею, тобто якщо сонячної енергії не вистачає, то нестача частина береться з мережі, а якщо є надлишки, то вони продаються в мережу; енергопостачальні організації платять споживачам, якщо вони віддають надлишки в мережу.

До недоліків мережевих систем можна віднести одну річ: приєднані до мережі сонячні електростанції не будуть працювати при аваріях в електромережі, тобто з міркувань безпеки всі фотоелектричні мережеві інвертори припиняють працювати при відсутності опорної напруги.

Автономні домашні сонячні електростанції, які не мають зв'язку з мережею.

Такий тип системи ідеально підходить тим, хто живе далеко від ліній електропередачі або у кого немає можливості до них під'єднатися. Ця опція дозволяє виробляти енергію автономно й незалежно від кого б то не було. З

автономною системою аварії в електромережах (наприклад, після граду або урагану), вас більше не будуть хвилювати.

В автономних системах використовується акумуляторна батарея (рис. 1.11), може також використовуватись резервний генератор. Це робить систему більш складною як в установці, так і в експлуатації. На відміну від попереднього типу зі сполученням з мережею фотоелектричним інвертором, така сонячна електростанція буде працювати й без мережі.

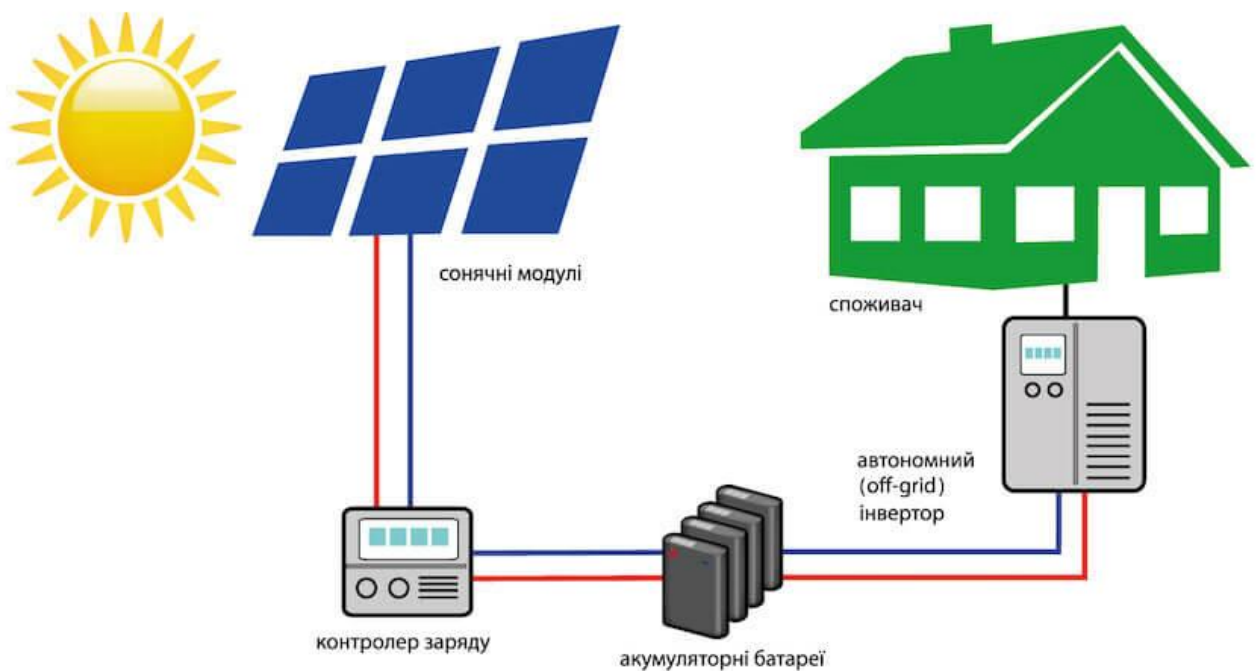


Рисунок 1.11 – Структура автономної сонячної електростанції [20]

Потрібно розуміти, що з автономною системою вам потрібно стежити за балансом енергії й не споживати більше, ніж генерують ваші сонячні батареї. Можливо, вам знадобиться відмовитися від деяких, не особливо потрібних, приладів.

До переваг автономних систем можна віднести: може бути єдиною можливістю отримання електричної енергії в віддаленій від ЛЕП місцевості; може бути дешевше вартості підключення до електромережі; не потрібно купувати електроенергію - ви генеруєте її самі; автономна система може бути спроектована для живлення окремих споживачів, наприклад, окрема система

для живлення насоса на віддаленій від будинку свердловині або колодязі, інша система для живлення споживачів в будинку тощо.

До недоліків автономних систем можна віднести: вимагає наявності акумуляторів в системі, які повинні бути розраховані на зберігання енергії в кількості, достатній у разі кількох похмурих днів. Для зберігання акумуляторів зазвичай потрібне окреме приміщення; акумулятори в автономній системі працюють від 3 до 7 років і потім вимагають заміни. Вартість акумуляторів може перевищувати вартість сонячних батарей чи інших елементів системи; вимагають кваліфікованого обслуговування; відносно дорогі; багато складових, вихід одного елемента ланцюга електропостачання призводить до виходу з ладу всієї системи; вимагає послуг фахівців-професіоналів для проектування та установки.

Комбіновані домашні сонячні електростанції. До них відносяться наступні: мережевої сонячної електростанції з функцією резерву; резервні сонячні електростанції і гібридні сонячні електростанції.

Загальна схема мережевої сонячної електростанції з функцією резерву подана на рис. 1.12.

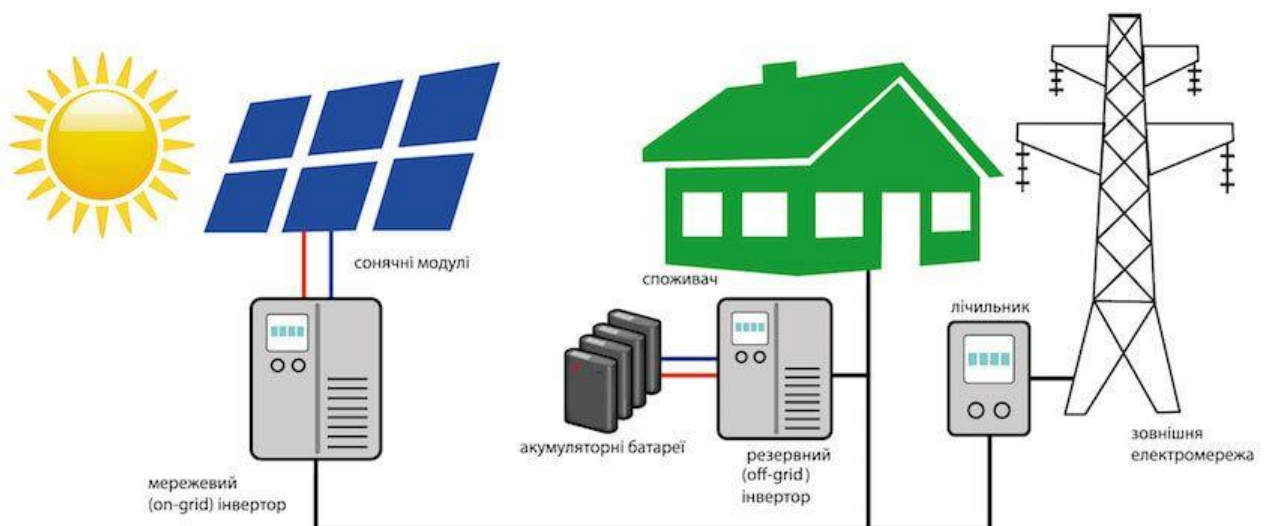


Рисунок 1.12 – Структура мережевої сонячної електростанції з функцією резерву [20]

Така установка працює як звичайна мережева, але за рахунок наявності в ній системи накопичення енергії, вона може частину енергії впродовж дня акумулювати на випадок аварійних ситуацій, нестабільної роботи електромережі тощо.

Загальна схема резервної сонячної електростанції подана на рис. 1.13.

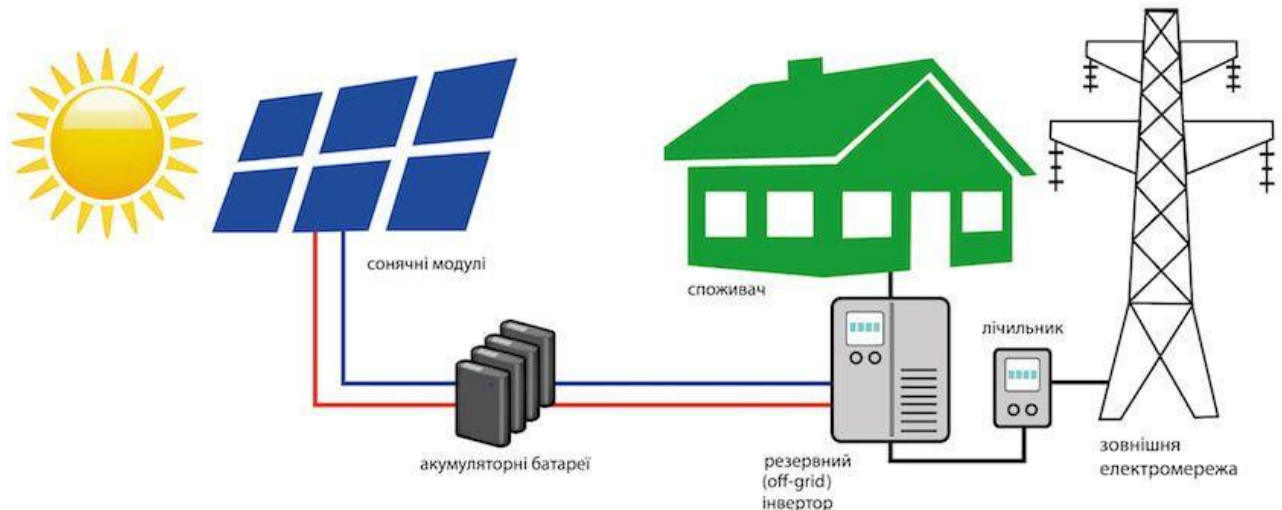


Рисунок 1.13 – Структура резервної сонячної електростанції [20]

Такого типу системи працюють за принципом блока безперебійного живлення за винятком того, що у випадку відсутності електроенергії в зовнішній електромережі електроенергія буде генеруватися фотопанелями, або ж буде взята з акумуляторів.

Загальна схема гібридної сонячної електростанції подана на рис. 1.14.

У гібридних системах є кілька джерел енергії. Це може бути мережа централізованого електропостачання та сонячні батареї, і/або вітроустановки, генератор тощо. У гібридних системах зазвичай застосовуються акумуляторні батареї, тому що вони можуть працювати й при відсутності енергії від центральних електромереж.

У гібридних системах, на відміну від автономних, можливо більш гнучке використання акумуляторів залежно від завдання. А завданням може бути або максимальне використання енергії сонця, або максимальна надійність електропостачання.

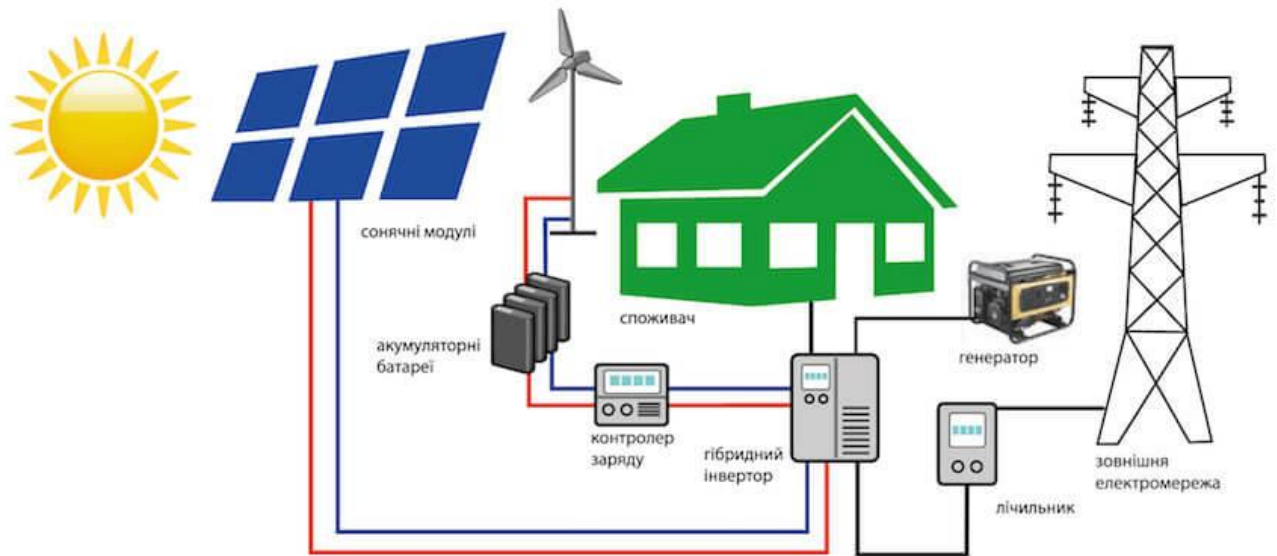


Рисунок 1.14 – Структура гібридної мережевої сонячної електростанції [20]

Ці режими часто вимагають протилежних алгоритмів роботи. Часто є бажання максимально використовувати енергію сонячних панелей навіть за наявності мережі в збиток терміну служби акумуляторів.

До переваг гібридних систем можна віднести: безперерйне електропостачання навіть під час аварій на лініях електропередачі; надлишки енергії в першу чергу зберігаються в акумуляторах, а потім, якщо акумулятори вже не можуть прийняти їх, передаються в мережу; мають переваги як мережевої так і автономної електростанції.

До недоліків гібридних систем можна віднести: вартість є суттєво вищою ніж мережевих; вимагає експертизи при налаштуванні та кваліфікованого обслуговування в експлуатації; складніша, ніж мережева система; вимагає послуг фахівців-професіоналів для проектування та встановлення тощо.

Проведений аналіз свідчить, що за великої кількості варіантів структури сонячної електростанції та завдань в окремому приватному домогосподарстві є потреба у обґрунтованому виборі структури, що буде виконано в наступних розділах.

### **1.3 Законодавчі механізми стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні**

Загалом законодавство в Україні є доволі сприятливим для розвитку відновлюваної енергетики. Це стосується як можливості встановлювати великі електрогенерувальні об'єкти на базі обладнання відновлюваної енергетики, так і малі, або як їх ще називають електроустановки приватних домогосподарств.

Перш за все, всі дії з проектування, встановлення та експлуатації енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії підпадають під Закон України "Про електроенергетику" №575/97-ВР від 16.10.1997 року, Закону України Про ринок електричної енергії N 2189-VIII від 9.11.2017 року зі змінами, Закону України Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг N 2019-VIII від 13.04.2017 року зі змінами тощо.

Для отримання дозволу на реалізацію виробленої електроенергії за "зеленим" тарифом слід виконати умови та вимоги, які містяться у постанові Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики "Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії "зеленого" тарифу для суб'єктів господарської діяльності" № 1421 від 02.11.2012 року. Ця постанова регулює всі питання, які стосуються функціонування "зеленого" тарифу для підприємств, які обрали для себе електрогенерацію з відновлюваних джерел енергії як основний бізнес.

Питання "зеленого" тарифу для малих енергетичних установок регулюється постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг "Про встановлення "зелених" тарифів на електричну енергію для приватних домогосподарств" № 1188 від 30.06.2016 року.



Порядок визначення рівня використання обладнання українського виробництва на об'єктах електроенергетики, у тому числі на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексів), що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідро енергії — лише мікро, міні- та малими гідроелектростанціями), та встановлення відповідної надбавки до "зеленого" тарифу № 2932 від 12.10.2015 року.

Цих нормативних документів є більш як достатньо, щоб доволі ефективно регулювати ринок електроенергетики з відновлюваними джерелами енергії. Однак, розвиток ринку електроенергетики, електроенергетичної законодавчої бази в світі та в ЄС, а також прагнення України бути частиною спільноти ЄС, зумовлює також відповідні зміни і у нашому законодавстві. Зокрема, пропонується доповнити законодавство про "зелений" тариф додатковими, не менш цікавими з точки зору споживача, механізмами стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Йдеться про найновішу Постанову Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг "Про затвердження Порядку продажу та обліку електричної енергії, виробленої активними споживачами, та розрахунків за неї" № 2651 від 29.12.2023 року [16].

Ця постанова є одним із етапів реформування "зеленого" тарифу, який дозволить удосконалити механізми взаємовідносин держави з електрогенерувальними компаніями та приватними домогосподарствами.

Найцікавішими речами, які відображені у цій постанові є чітке роз'яснення та запровадження нових елементів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Йдеться про запровадження механізмів Net Metering та Net Billing, які підпадають під термінологію само виробництво електроенергії активними споживачами.

Так, згідно постанови розрізняють два методи розрахунку надлишково виробленої електричної енергії, яка подається до зовнішньої мережі - net metering (чистий облік) та net billing (чистий продаж).

Net metering (чистий облік) дозволяє всім активним споживачам, які здійснюють виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, використовувати надлишково вироблену та подану до зовнішньої електромережі електроенергії як енергетичний кредит для подальшого споживання в наступні розрахункові періоди.

Net billing (чистий продаж) дозволяє всім активним споживачам, які здійснюють виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, отримувати грошовий кредит за надлишково вироблену та подану до зовнішньої електромережі електроенергії та використовувати ці кошти в наступний розрахунковий період, коли виробництво електроенергії засобами відновлюваної енергетики буде меншим від власного споживання.

В пояснювальних записках до проекту Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії генеруючими установками споживачів" [13-15], а також в пояснювальній записці до проекту Закону України «Про внесення деяких змін до законів України щодо відновлення енергетичної безпеки та зеленої трансформації енергетичної системи України» описуються особливості цих методів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, які приходять як альтернатива та заміна для типового "зеленого" тарифу. Головною особливістю цих нововведень є рекомендація запровадити систему стимулювання Net Billing. Метою прийняття даного Закону є удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії генеруючими установками споживачів з урахуванням кращих світових практик з метою заміни поточної моделі "зеленого" тарифу новою моделлю Net Billing, яка буде орієнтована на покриття власного споживання

та не призводитиме до збільшення обсягу субсидіювання за рахунок інших споживачів, що відповідає цілі "Енергетична безпека", визначеної пунктом 9.1 Програми діяльності Кабінету Міністрів України, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 12.06.2020 № 471 [13-15].

Запровадження цих механізмів може суттєво вплинути на формування структури сонячних енергетичних установок приватних домогосподарств.

#### **1.4 Мета і завдання роботи**

Метою даної роботи є обґрунтування раціональної структури сонячної електростанції для приватного домогосподарства виходячи із його енерговитрат, наявної номенклатури сонячних установок, функціонально-вартісного аналізу, а також наявного законодавства у цій сфері.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно виконати наступне:

- провести аналіз існуючих схем реалізації сонячних електростанцій;
- дослідити фактичні витрати електроенергії приватним домогосподарством;
- виконати оцінку наявного енергетичного потенціалу сонячного випромінювання;
- виконати розрахунок продуктивності сонячних панелей відповідно до наявного енергетичного потенціалу;
- провести вартісний аналіз сонячних електростанцій з різною структурою;
- обґрунтувати вибір раціональної структури сонячної електростанції для приватного домогосподарства за функціонально-вартісним аналізом.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

#### 2.1 Методика визначення енергетичних потреб приватного домогосподарства з використанням системи моніторингу

Первинним етапом розробки будь-якої електроенергетичної системи є оцінка рівня споживання електричної енергії. Цей етап виконати необхідно, оскільки від рівня споживання електроенергії буде залежати й розмір проектованої сонячної електростанції, залежно від її призначення та структурної схеми. Оцінку енергетичних потреб приватними домогосподарствами можна здійснювати двома способами: за даними фактичного споживання електроенергії; за даними теоретичного рівня споживання наявним електрообладнанням та режимом його використання.

Для теоретичної оцінки рівня споживання електроенергії у приватному домогосподарстві можна застосувати методику розрахунку, яка передбачає формування переліку існуючого електрообладнання, його електричні параметри та режим використання. Ця методика відображена у методичних рекомендаціях для виконання лабораторних занять з курсу "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" [24]. Тут передбачено розрахунок добового рівня споживання електричної енергії. На основі добового рівня споживання формується місячний та загальнорічний рівень споживання електроенергії.

Так, добовий рівень споживання електричної енергії для певного виду електроприладу приватного домогосподарства розраховується за формулою [24]

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

де  $N_o$  – електрична потужність приладу, кВт;  $t_o$  – тривалість циклу включення пристрою, год.;  $n_o$  – кількість одиниць електроприладів, шт.;  $k_c$  – коефіцієнт стабільності використання обладнання.

Цей розрахунок виконується для списку електрообладнання, яке є у цьому будинку. Зазвичай, для розрахунку формується таблиця зі списком електрообладнання та в ній заносяться результати розрахунку.

Так, добове споживання електроенергії у приватному домогосподарстві розраховується за формулою [24]:

$$E_{od} = \sum_{i=1}^{n_m} N_i \cdot t_i \cdot n_i \cdot k_i, \quad (2.2)$$

Місячне споживання електроенергії залежить від кількості днів у поточному місяці, сезонного впливу на режим експлуатації електрообладнання, імовірності одночасної роботи електрообладнання тощо. і розраховується за формулою [24]

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

де  $n_m$  – кількість днів в місяці, днів;  $k_o$  – коефіцієнт одночасності ввімкнення електрообладнання;  $k_c$  – коефіцієнт сезонного використання електрообладнання.

Річне споживання електричної енергії у приватному домогосподарстві розраховується як арифметична сума місячного рівня споживання [24]

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

Слід зауважити, що на відміну від промислових об'єктів, до яких також можна віднести сільськогосподарські, переробні та інші види підприємств, в приватних домогосподарствах відсутній чіткий графік використання електрообладнання. Тут немає ритмічності виробництва, немає чіткого

режимі використання обладнання, немає усталених операцій, які формуватимуть або постійний режим використання електрообладнання, або ж змінний режим використання обладнання. В приватних домогосподарствах використання електрообладнання носить хаотичний характер, з деякою закономірністю щодо періоду доби та сезонністю.

З врахуванням того, що дана методика є нормативною, і не може повною мірою відображати фактичний рівень споживання електричної енергії у приватному домогосподарстві, то, очевидно, що більш надійним методом є дослідження фактичного рівня споживання експериментальним методом. Для цього можна скористатися простими вимірювальними засобами, які здійснюють облік електроенергії. До таких відносяться електронні лічильники. Оскільки, з наявних електронних лічильників неможливо отримати дані (знімати покази можна лише в ручному режимі), то доцільно застосувати електронні вимірювальні пристрої, які дозволяють сформувати базу даних в електронному вигляді. До таких засобів можна віднести автоматичний розумний вимикач TOMPD-63WIFI з підтримкою WIFI [16] (рис. 2.1). Крім основної функції автоматичного вимикача, даний пристрій має наступні додаткові функції: можливість повторного вмикання; лічильник електроенергії; таймер; захисту від витoku напруги; захист від високої та низької вхідної напруги; струмовий захист; контроль температури клем. Даний прилад виконаний у корпусі з приєднанням до DIN-рейки з шириною на два стандартні однополюсні автомати. На ринку існує безліч приладів такого типу. Також вони можуть бути виконані в компактному виконанні в корпусі з шириною на один однополюсний автомат.

Однією із особливостей цього приладу є можливість дистанційного контролю за режимом його експлуатації. Для цього тут реалізовано зв'язок із зовнішніми пристроями через Wifi-модуль із використання програмного забезпечення TUYA APP для смартфона, або ж для персонального комп'ютера.

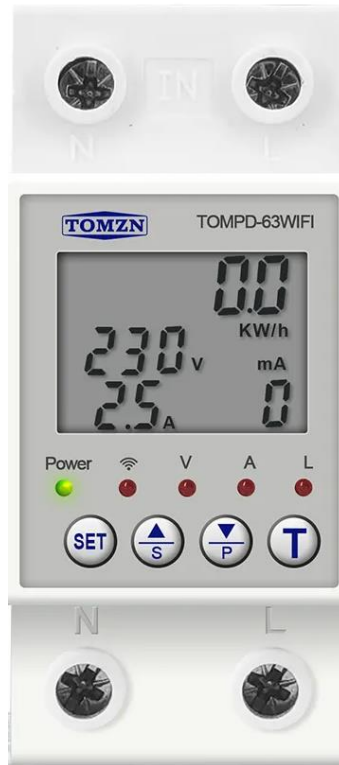


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд автоматичного розумного вимикача типу TOMPD-63WIFI

Це дозволяє здійснювати поточний контроль обліку електроенергії, визначення потужності споживання. Також із застосуванням wifi-модуля та програмного забезпечення є можливим коригування параметрів захисних функцій автоматичного вимикача.

## **2.2 Методика оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження**

Оцінка енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження здійснюється за даними середньоденних надходжень складових сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Ці дані містяться в довідниках метеорології [1]. Також їх можна отримати за даними відкритих метеорологічних інтернет-ресурсів.

Особливістю розрахунку є те, що він виконується на середину кожного із місяців року.

Насамперед визначається сонячне схилення  $\delta$  (град), яке рівне географічній широті місцевості, над якою в полудень середнього дня поточного місяця сонце знаходиться в зеніті за формулою

$$\delta = 23,5 \sin\left(\frac{284 + m}{365} \cdot 360\right), \quad (2.5)$$

де  $m$  – порядковий номер дня в році.

Влітку  $\delta > 0$ , взимку  $\delta < 0$ , а в день весняного та осіннього рівнодення сонячне схилення рівне нулю.

Оптимальний кут нахилу фотопанелі до горизонту розраховується за формулою:

$$\beta = \varphi - \delta_{cp}, \quad (2.6)$$

де  $\varphi$  – географічна широта місцевості (град. П.ш.);  $\delta_{cp}$  – середнє значення сонячного схилення за період: день, місяць, сезон, рік.

$$\delta_{cp} \cong \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2). \quad (2.7)$$

Якщо сонячна електростанція працюватиме цілорічно, то оптимальний кут нахилу фотопанелі до горизонту зазвичай приймають не більшим як географічна широта місцевості, тобто  $\beta = \varphi$ . Однак, якщо ставитиметься задача виробити максимальну кількість електроенергії, наприклад, коли сонячна електростанція працюватиме за "зеленим" тарифом, то рекомендовано кут нахилу фотопанелей зменшити принаймні на 15 градусів.

Далі слід визначити азимутальний кут заходу Сонця для горизонтальної площини (град.) за формулою:

$$A_h = \arccos[-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta]. \quad (2.8)$$



З врахуванням формули (2.8) визначають азимутальний кут заходу сонця (град.) для фотопанелі, яка нахилена під кутом до горизонту за формулою:

$$A_{\beta} = \arccos[-tg(\varphi - \beta) \cdot tg\delta], \quad (2.9)$$

де  $\beta$  – кут нахилу фотопанелі до горизонту (град.).

Слід зауважити, що азимутальні кути заходу Сонця  $A_h$  та  $A_{\beta}$  завжди є від'ємними. Загалом азимутальні кути  $A_h$  та  $A_{\beta}$  не співпадають, але необхідно в розрахунках слідкувати за тим, щоб виконувалась умова  $|A_h| \geq |A_{\beta}|$ . Це пов'язане з тим, що значення  $|A_{\beta}|$  розраховане за формулою (2.9), завжди перевищує значення  $|A_h|$ , розраховане за формулою (2.8). Для подальших розрахунків слід прийняти менше з них. Тобто, щоб виконувалась умова формули:

$$A_{\beta} = \min\{A_h ; \arccos[-tg(\varphi - \delta) tg\delta]\}. \quad (2.10)$$

На наступному етапі слід визначити допоміжний коефіцієнт  $R_{\beta}$  перерахунку надходження лише прямої сонячної радіації, яка відповідає значенню для горизонтально розміщеної фотопанелі, на значення для фотопанелі, яка нахилена під кутом  $\beta$  до горизонту і до того ж зорієнтована у південному напрямку:

$$R_{\beta} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin A_{\beta} + \frac{\pi}{180} A_{\beta} \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin A_h + \frac{\pi}{180} A_h \sin\varphi \cdot \sin\delta}. \quad (2.11)$$

Коефіцієнт перерахунку  $R$  надходження сумарної сонячної радіації із значенням для горизонтально розміщеної фотопанелі на значення для похилої фотопанелі розраховують за формулою:

$$R = \left(1 - \frac{H_{dh}}{H_{th}}\right) R_{\beta} + \frac{H_{dh}}{H_{th}} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + r \frac{1 - \cos\beta}{2}. \quad (2.12)$$



Слід зауважити, що подана методика є універсальною як для сонячних теплових систем, так і для фотоелектричних систем. Але, оскільки в метеорологічних довідниках значення середньоденного надходження розсіяної сонячної радіації подається у МДж/м<sup>2</sup>, то відповідно й подальші розрахунки виконуються в цих одиницях. Для випадку з фотопанелями, на останньому етапі слід здійснити перерахунок кінцевого результату у електричні енергетичні одиниці – кВт·год. діленням на 3,6. В даному випадку коефіцієнт 3,6 – це відповідний коефіцієнт переведення МДж у кВт·год.

### 2.3 Методика розрахунку параметрів системи електропостачання на базі сонячної електростанції

Розрахунок параметрів системи електропостачання на базі сонячної електростанції зводиться до визначення продуктивності однієї вибраної за основу фотоелектричної панелі з подальшою мультиплікацією загальної продуктивності на вибрану або розраховану кількість фотопанелей в системі. Дана методика розрахунку подана в методичних рекомендаціях "Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання" навчальної дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" [24].

Отже, для вибраного типу сонячної фотопанелі розраховуємо середньоденну електропродуктивність за формулою [24]

$$W_{PV}^{\circ} = \eta \cdot H_{\beta}^{\circ} \cdot S \cdot \eta_{np} \cdot \eta_{in} \cdot \eta_{акб}, \quad (2.16)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії вибраного типу фотопанелі;  $H_{\beta}^{\circ}$  - інтенсивність надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, кВт·год.;  $S$  – площа сприймаючої поверхні вибраного типу фотопанелі, м<sup>2</sup>;  $\eta_{np}$  – коефіцієнт корисної дії кабелів (допустима величина втрат енергії у

провідниках автономних систем може становити 3%, а у мережевих – не вище 1%);  $\eta_{in}$  - коефіцієнт корисної дії контролера або інвертора, залежно від типу установки;  $\eta_{акб}$  - коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї.

На основі середньоденної електропродуктивності розраховуємо середньомісячну електропродуктивність вибраного типу фотопанелі за формулою [24]

$$W_{PV}^M = W_{PV}^{\partial} \cdot n_{\partial M}, \quad (2.17)$$

де  $n_{\partial M}$  – кількість днів у поточному місяці, днів.

Сумарну річну електропродуктивність вибраного типу фотопанелі розраховуємо як суму середньомісячних значень за формулою [24]:

$$W_{PV}^P = \sum_{i=1}^{12} W_{PVi}^M. \quad (2.18)$$

Після цього можна визначити необхідну кількість фотопанелей, які забезпечать планове виробництво електроенергії. Для цього скористаємося формулою [24]

$$N_{PV} = \frac{E_{op}}{W_{PV}^P}. \quad (2.19)$$

Тепер за відомої кількості вибраного типу фотопанелей та значень їх місячної електропродуктивності можна розрахувати місячну електропродуктивність фотоелектричної установки [24]

$$W_{PVS}^M = W_{PV}^M \cdot N_{PV}. \quad (2.20)$$

І на останньому етапі, арифметичною сумою місячних значень електропродуктивності фотоелектричної установки можна розрахувати річну електропродуктивність сонячної електростанції [24]

$$W_{PVS}^P = \sum_{i=1}^{12} W_{PVSi}^M. \quad (2.21)$$

## 2.4 Методика розрахунку параметрів системи акумулювання електроенергії

Для розрахунку параметрів системи акумулювання електроенергії було застосовано методику, яка вміщена у методичних рекомендаціях "Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання" навчальної дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" [24].

Слід зауважити, що цей розрахунок не завжди потрібно проводити. Для структурної схеми мережевої сонячної електростанції із продажем надлишку електричної енергії за "зеленим" тарифом немає потреби встановлювати таке обладнання.

Якщо ж застосовується автономна, або гібридна система, то тоді система акумулювання у приватному домогосподарстві є обов'язковим компонентом. Це пов'язане не лише з тим, що періоди генерування електроенергії і її споживання мають суттєве неспівпадіння, але й з тим, що гібридні контролери та інвертори, зазвичай, не можуть працювати без наявності опорної напруги, яку формує система акумулювання. Причому габаритна ємність системи акумулювання розраховується через тривалість періоду автономної роботи системи електропостачання приватного домогосподарства та через рівень її споживаної потужності.

Насамперед визначаються струми, які будуть протікати в провідниках внутрішньої електромережі приватного домогосподарства. Це можна здійснити за такою формулою [24]

$$I = \frac{P_{oc}}{U_{ca}}, \quad (2.22)$$

де  $U_{ca}$  – напруга в системі акумулювання, В.

Кількість акумуляторів вибраного типу та ємності системи акумулювання, які будуть з'єднані паралельно визначають за формулою [24]

$$N_{AK}^{nap} = \frac{T_{\delta} \cdot I_{max} \cdot T_z}{E_{AK} \cdot \eta_{AK} \cdot k_p \cdot k_x \cdot k_q \cdot \eta_{in}}, \quad (2.23)$$

де  $T_{\delta}$  – заданий період споживання електричної енергії споживачами у приватному домогосподарстві, год.;  $I_p$  – допустимий струм розрядки акумуляторної батареї, який повинен відповідати значенню  $I_{max}$ , А;  $T_z$  – період резервування системи електропостачання від акумулятора, днів;  $E_{AK}$  – ємність вибраного типу акумулятора, А·год.;  $\eta_{AK}$  – к.к.д. акумулятора;  $k_p$  – коефіцієнт допустимої глибини розряду для вибраного типу акумулятора;  $k_x$  – коефіцієнт зниження ефективності акумулятора при пониженні температури, якщо він розміщується за межами приміщення;  $k_q$  – коефіцієнт зниження ємності акумулятора в процесі експлуатації;  $\eta_{in}$  – к.к.д. інвертора.

Визначивши кількість послідовно з'єднаних акумуляторів, можна здійснити розрахунок кількості акумуляторів, які будуть формувати напругу системи акумуляування. Це здійснюється за формулою [24]

$$N_{AK}^{noc} = \frac{U_{CA}}{U_{AK}}, \quad (2.24)$$

де  $U_{CA}$  – напруга системи акумуляування, В;  $U_{AK}$  – напруга вибраного типу акумулятора, В.

Тепер можна розрахувати загальну кількість акумуляторних батарей за формулою [24]

$$N_{AK} = N_{AK}^{nap} \cdot N_{AK}^{noc}, \quad (2.25)$$

Слід також зауважити, що при застосуванні гібридних інверторів, які обладнані функцією контролера, напруга на акумуляторних батареях вибирається відповідно до максимально можливої вхідної напруги. Оскільки в деяких контролерах заряду, згідно паспортних даних, є декілька вхідних напруг, то є рекомендація вибирати більшу, це знизить величину струму, який буде протікати в провідниках системи акумуляування.

## РОЗДІЛ 3

### ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

#### 3.1 Результати дослідження енергетичних потреб досліджуваного об'єкта

Для якісної оцінки рівня електроспоживання досліджуваного об'єкта необхідно, щоб був достатньо тривалий період дослідження. Це пов'язане з тим, що необхідно виявити дійсні динамічні характеристики, не допустити впливу на результати вимірювання випадкових значень тощо. З врахуванням того, що у досліджуваному об'єкті необхідно виявити середньодобові та середньомісячні значення, то експеримент вимірювання повинен тривати принаймні один рік. За повного циклу вимірювання впродовж 365 днів можна оцінити усереднені параметри. Хоча на результат може впливати випадкова складова.

Динамічні характеристики добового рівня електроспоживання приватного домогосподарства наведено на рис. 3.1.

Як видно з рис. 3.1, основна частка рівня споживання коливається в межах від 10 до 17 кВт·год. Однак наявність значної кількості випадків, коли добове споживання перевищує відмітку 30 кВт·год. змістило рівень середнього значення у більшу сторону. Так, за всіма даними, середній річний рівень споживання електроенергії приватним домогосподарством становить 16,19 кВт·год., що загалом вписується у найчастішу кількість випадків значень.

За даними добових рівнів споживання було згруповано результати для кожного із місяців. Результат вимірювання середньомісячних рівнів споживання подано на рис. 3.2.

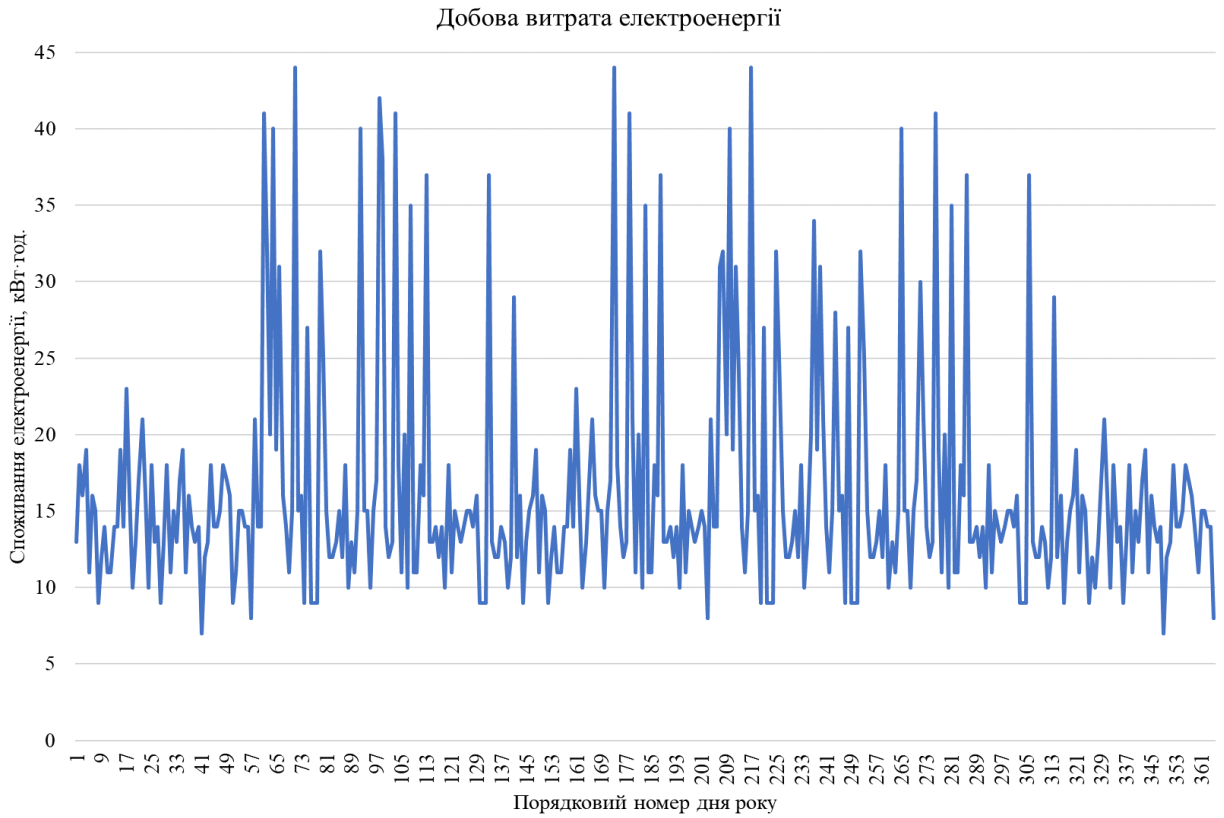


Рисунок 3.1 – Динаміка щодобового споживання електричної енергії в приватному домогосподарстві

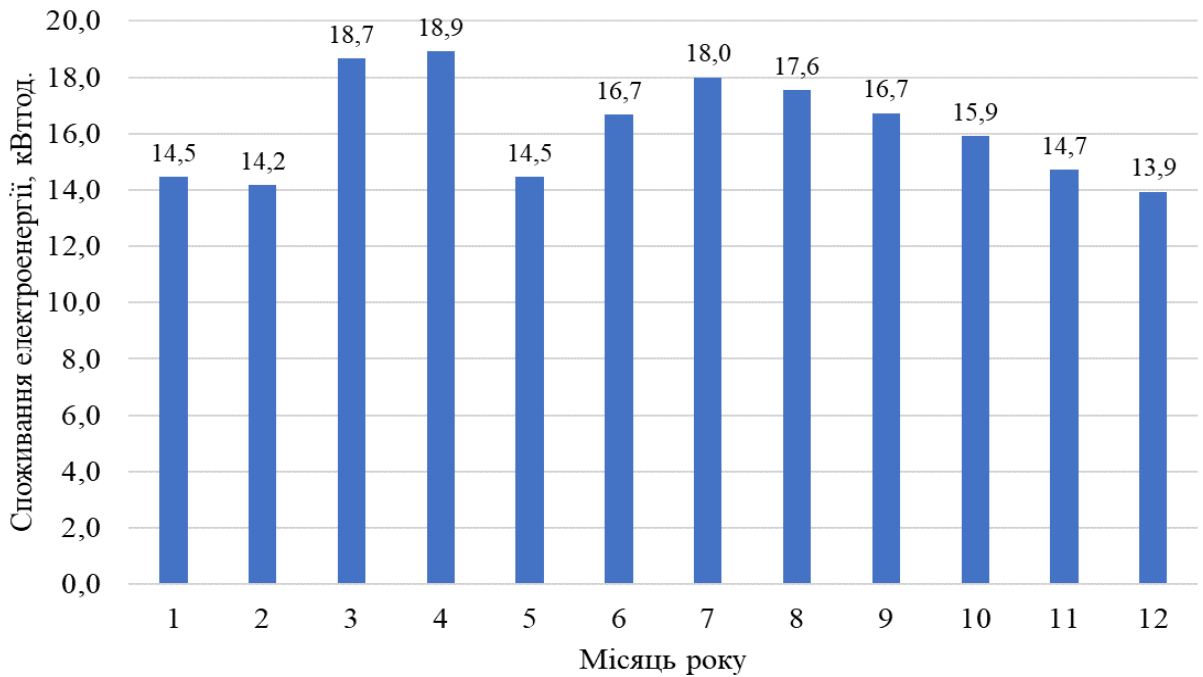


Рисунок 3.2 – Динаміка місячного споживання електричної енергії в приватному домогосподарстві



Як видно з рис. 3.2, немає чіткої сезонної закономірності рівня споживання електроенергії приватним домогосподарством. Лише з другої половини року фіксується поступове зниження рівня споживання електроенергії. Впродовж року було зафіксовано різну кількість споживання електроенергії, яка змінювалась від 13,9 кВт·год. в грудні, до 19,8 кВт·год. у квітні. Причому не зафіксовано жодне повторення середньомісячного рівня споживання електроенергії.

Спробуємо виконати статистичний аналіз отриманих результатів вимірювальної системи. Зокрема, здійснимо побудову гістограми повторюваності значень добових рівнів споживання електроенергії (рис. 3.3).

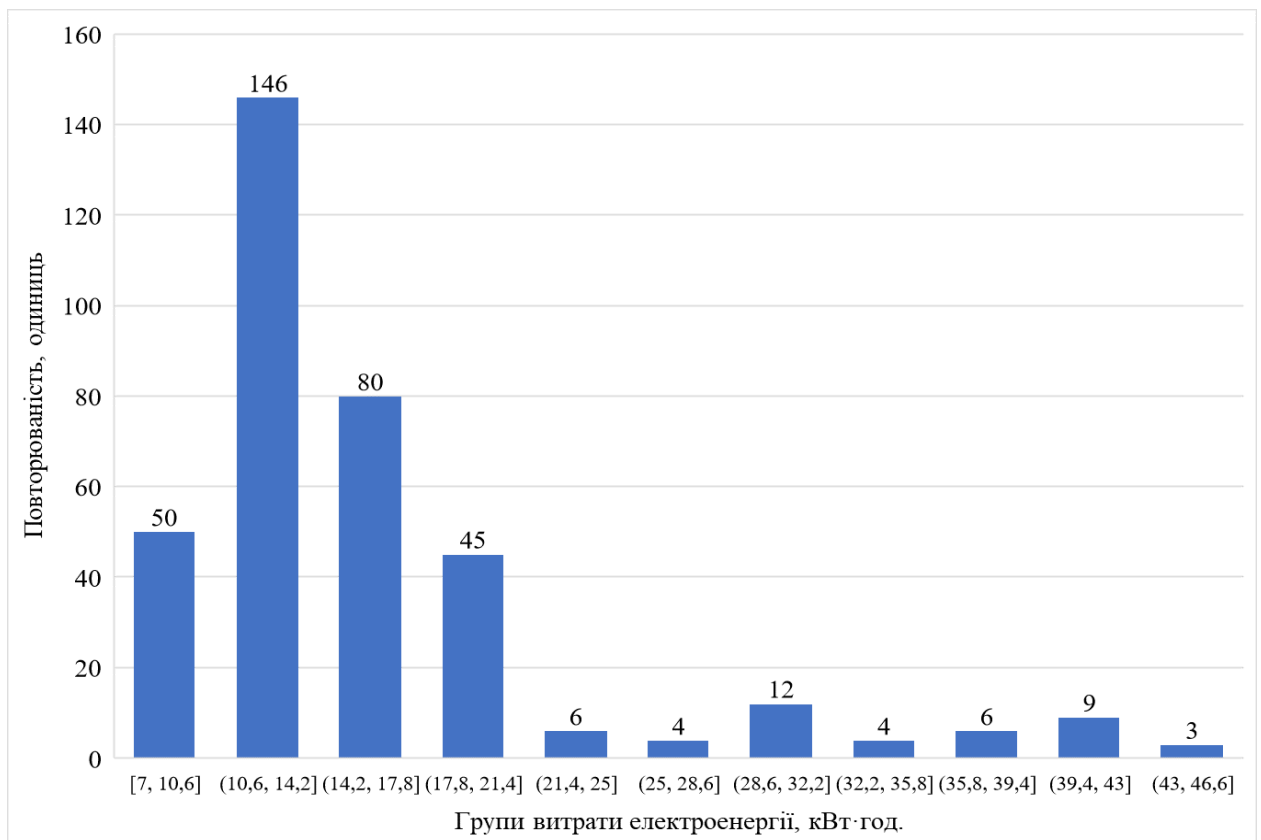


Рисунок 3.3 – Гістограма повторюваності добового обсягу споживання електричної енергії у приватному домогосподарстві

Як видно з графічної залежності, поданої на рис. 3.3, розподіл повторюваності добового обсягу споживання електричної енергії у приватному домогосподарстві відповідає розподілу Вейбулла.

Тут можна зробити ще один висновок, який є цікавим. Гістограма повторюваності відображає найбільш частим результатом, який зустрічався у вимірювальній системі в діапазоні від 10,6 до 14,2 кВт·год. із середнім значенням у 12,6 кВт·год. Це означає, що у подальшому, при обґрунтуванні параметрів сонячної електростанції, яка буде працювати в режимі самоспоживання доцільно використати менше з отриманих значень, тобто 12,6 кВт·год., а не 16,8 кВт·год., як це було визначено за середнім значенням.

Це може позитивно вплинути на мінімізацію вартості сонячної електростанції.

### **3.2 Аналіз енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження**

Як було вказано у п. 2.2, для оцінки потенціалу сонячного випромінювання можна скористатися даними метеорологічних довідників. Дана методика відображає реальну ситуацію із врахуванням природних впливових чинників на рівень сонячного випромінювання в регіоні дослідження. Однак, проблема полягає у тому, що зазвичай, такі дані є доволі застарілими. Відомості у відкритому доступі про метеорологічну ситуацію в Україні впродовж останніх 10 років відсутні. Можна скористатися лише даними 80-х років. Зважаючи на зміну кліматичної ситуації в Україні, можна припустити, що кінцевий результат може бути незадовільним. Тому, для уникнення грубої похибки у розрахунках скористаємось сервісом аерокосмічного агентства NASA.

Зокрема, для міста Болехів (географічні координати 49.07 п. ш. та 23.85 с. д.) (рис.3.4), отримано відомості про рівень середньоденного надходження сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню, яка зорієнтована у південному напрямку, які подано в табл. 3.1. Слід зауважити,

що одиниці виміру у поданих даних відображені у кВт·год./м<sup>2</sup>/день, отже вони готові до розрахунку середньоденної продуктивності фотопанелей.

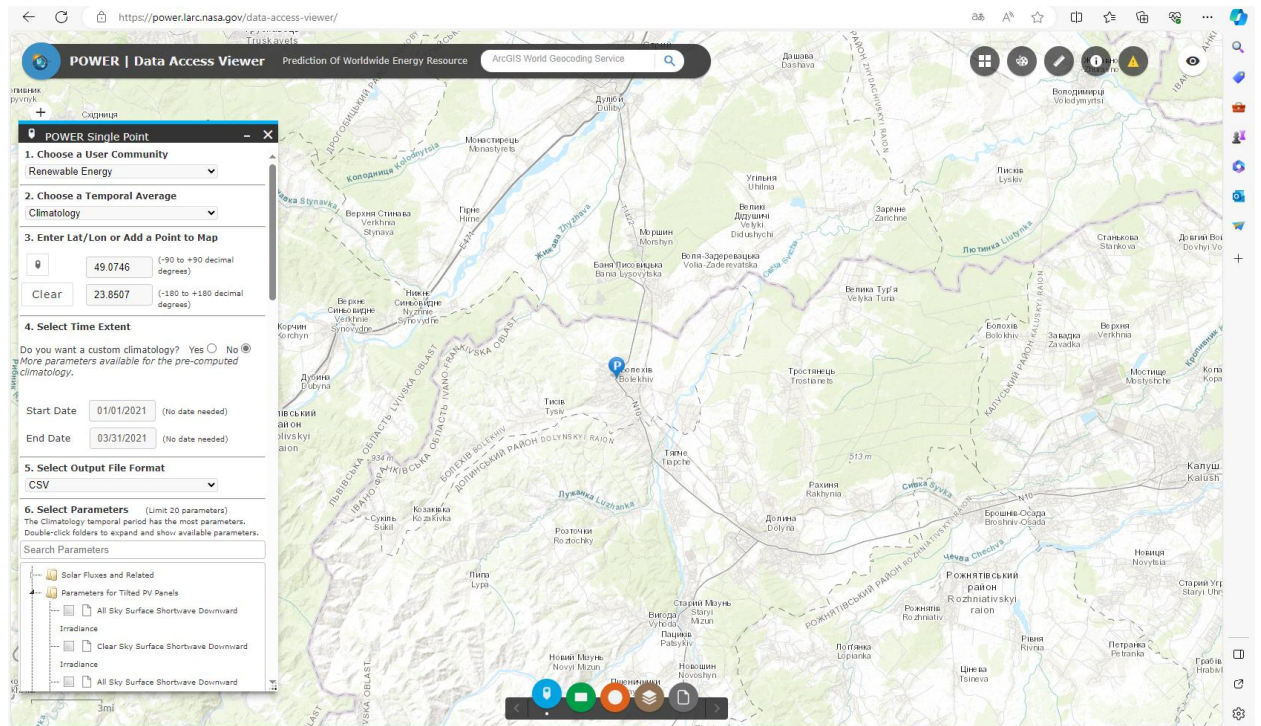


Рисунок 3.4 – Фрагмент робочого вікна сервісу Power Data Access Viewer

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

Місяць року	Кут 0	Кут 34	Кут 49	Кут 64	Кут 90	OPT	OPT ANG
Січень	0,92	1,46	1,59	1,63	1,52	1,63	58
Лютий	1,63	2,25	2,36	2,36	2,08	2,37	51
Березень	2,8	3,41	3,43	3,29	2,68	3,44	38
Квітень	4,15	4,5	4,3	3,9	2,82	4,52	24
Травень	5,02	4,97	4,59	4,03	2,73	5,14	14,5
Червень	5,46	5,22	4,74	4,1	2,69	5,51	6,5
Липень	5,39	5,23	4,77	4,15	2,73	5,47	10,5
Серпень	4,87	5,1	4,8	4,29	2,97	5,17	20
Вересень	3,38	3,98	3,92	3,67	2,82	3,98	33
Жовтень	2,04	2,78	2,88	2,82	2,38	2,88	48
Листопад	1,08	1,68	1,8	1,84	1,66	1,84	58
Грудень	0,72	1,21	1,34	1,39	1,3	1,39	63
Середнє	3,12	3,48	3,38	3,12	2,37	3,61	-

Як видно з даних табл. 3.1, найбільшого рівня продуктивності можна досягнути, у випадку застосування монтажної конструкції, яка дозволяє змінювати кут нахилу фотопанелей до горизонту хоча б у місячному циклі використання. В такому випадку середньорічне надходження сонячного випромінювання на фотопанель буде становити 3,61 кВт·год./м<sup>2</sup>/день. Однак не завжди є можливість застосування такої конструкції. Тому, здебільшого розглядають питання про фіксований кут розташування фотопанелей. Зокрема, якщо орієнтуватися на вирівняну продуктивність сонячної електростанції впродовж року, то раціональним є встановлення кута 49 град. Тоді середньодобове надходження сонячного випромінювання на фотопанель буде становити 3,38 кВт·год./м<sup>2</sup>/день. Якщо ж орієнтуватися на максимум генерування електроенергії, як це відбувається з мережевими сонячними електростанціями, то кут необхідно понизити до 24 град. В цьому випадку рівень надходження сонячного випромінювання зросте до 3,48 кВт·год./м<sup>2</sup>/день. Найкраще цей вибір робити тоді, коли буде кінцеве рішення про тип сонячної електростанції, і тоді скористатись графічною залежністю, поданою на рис. 3.5.

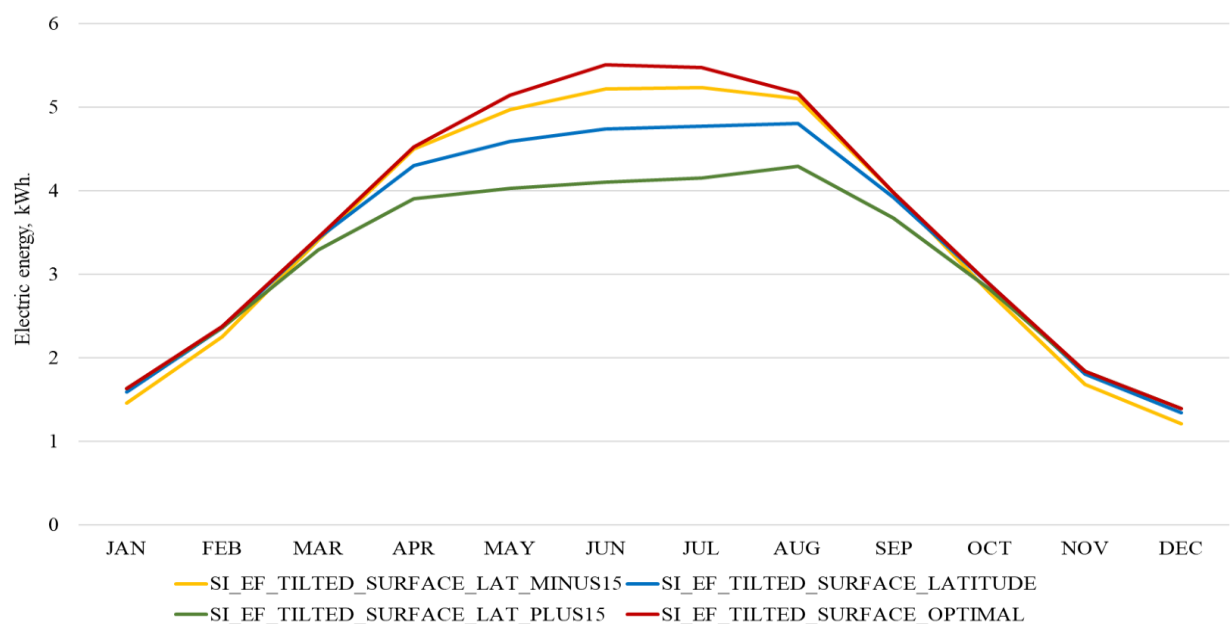


Рисунок 3.5 – Динаміка зміни рівня сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню впродовж року

За даними рис. 3.5, також можна зауважити, що застосування кута нахилу фотопанелей 24 град є не дуже добрим для зимового періоду. А в літній період різниця між кутом 24 град і оптимальними кутами є невеликою. Тому очевидно, що знаючи кліматичну ситуацію в регіоні дослідження варіант з кутом нахилу 24 град буде недоцільним. Застосуємо в подальших розрахунках кут нахилу, який відповідає географічній широті, тобто кут 49 град.

### **3.3 Розрахунок параметрів сонячної електростанції з різною структурною схемою**

Розрахунок продуктивності фотоелектричних панелей, які використовуватимуться для комплектування сонячної електростанції приватного домогосподарства проведемо на базі даних ТОВ "ЕНЕРДЖІ ГРУП ЮЕЙ", яка є провідною інсталяційною фірмою в регіоні дослідження. Зокрема дане підприємство розміщене у м. Івано-Франківськ. Було проаналізовано пакетні пропозиції даної фірми щодо типу та продуктивності фотопанелей, технічних параметрів інверторів, а також потужності пакетної пропозиції сонячної електростанції різного типу.

Зокрема, для формування пакету автономних сонячних електростанцій було запропоновано використовувати фотопанелі типу ABi-Solar AB330-60MHC, китайського виробництва. Це монокристалічні фотопанелі з потужністю 330 Вт. Доволі поширений тип фотопанелей, які імпортуються в Україну з хорошими техніко-економічними показниками.

Формування гібридних сонячних електростанцій здійснюється також на базі фотопанелей ABi-Solar AB330-60MHC.

Для формування пакету мережевих сонячних електростанцій використано новий тип фотопанелей великої потужності типу SOLA

S144M10H540W з потужністю 540 Вт. Це також фотопанелі китайського виробництва, але які були виготовлені для польського бренду Afore.

Виконаємо порівняльний розрахунок сонячних електростанцій, реалізованих на базі вказаних фотопанелей відповідно до кількості, яка вказана в комерційній пропозиції.

Таким чином, для першого місяця року добова продуктивність фотопанелей становитиме:

- акумуляторна система на фотопанелях ABi-Solar AB330-60MHC

$$W_{PV}^0 = 1,59 \cdot 0,196 \cdot 1,608 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,8 = 0,373 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- інверторна система на фотопанелях SOLA S144M10H540W

$$W_{PV}^0 = 1,59 \cdot 2,483 \cdot 0,21 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,796 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для цього ж періоду місячна продуктивність фотопанелей буде становити:

- акумуляторна система на фотопанелях ABi-Solar AB330-60MHC

$$W_{PV}^M = 0,373 \cdot 31 = 11,56 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- інверторна система на фотопанелях SOLA S144M10H540W

$$W_{PV}^M = 0,796 \cdot 31 = 24,68 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Відповідно до місячної продуктивності фотопанелей визначимо річне значення:

- акумуляторна система на фотопанелях ABi-Solar AB330-60MHC

$$W_{PV}^P = 11,56 + 16,07 + 24,96 + 30,27 + 33,39 + 33,39 + 34,72 + \\ + 34,94 + 27,6 + 20,96 + 12,69 + 9,45 = 290 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- інверторна система на фотопанелях SOLA S144M10H540W

$$W_{PV}^P = 24,68 + 34,28 + 53,26 + 64,59 + 71,24 + 71,19 + 74,03 + \\ + 74,52 + 58,89 + 44,7 + 27,03 + 20,13 = 618,54 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для порівняння візьмемо мережеву сонячну станцію з потужністю 10 кВт, в якій застосовано 20 фотопанелей SOLA S144M10H540W. Тоді можна визначити річну продуктивність такої системи. Отже, загальна продуктивність сонячної електростанції потужністю 10 кВт, згідно наших розрахунків, становитиме 12371 кВт·год., що узгоджується з даними, які надає ТОВ "ЕНЕРДЖІ ГРУП ЮЕЙ". Тобто, продуктивність пропонованих комплектів цілком відповідають межах наших теоретичних розрахунків.

Відповідно до структури автономної та гібридної сонячної електростанції, необхідно визначити параметри системи акумулявання, яка для систем такої потужності зазвичай організовується на напрузі постійного струму 48 В. Це пов'язане з тим, що одними із найкращих систем акумулявання за співвідношенням функціональні властивості – ціна є акумулятори типу Pylontech US2000В 2.2 кВт·год., з життєвим заряд-розрядним циклом у 3000 одиниць. Залежно від необхідного обсягу накопичення здійснюють паралельне приєднання акумуляторних збірок, що зберігає напругу постійного струму на рівні 48 В.

Визначимо кількість акумуляторних блоків необхідно застосувати для організації автономної та напівавтономної роботи сонячної електростанції відповідно до методики, яка була подана вище.

Визначаємо струму в системі постійного струму

$$I = \frac{1050}{48} = 22 \text{ А.}$$

За даними струму в системі акумулявання та іншими впливовими чинниками, які визначають ефективність системи акумулявання розраховуємо необхідну кількість акумуляторних блоків.

$$N_{AK}^{нар} = \frac{12 \cdot 22 \cdot 1}{45 \cdot 0,85 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 0,97} = 8 \text{ шт.}$$

Визначимо накопичену електроенергію, яка вміститься у 8 блоках по 2,2 кВт·год., кожен. Тобто, сумарна накопичена енергія становитиме 17,6 кВт·год. З врахуванням того, що необхідний обсяг електроенергії, згідно технологічного розрахунку становитиме 12,6 кВт·год., то така система акумулювання є задовільною.

З іншого боку, це означає, що для накопичення необхідного обсягу електроенергії слід застосувати сонячну електростанцію, яка б мала змогу виробити середній рівень електроенергії у кількості 17,6 кВт·год. Таким умовам відповідає сонячна станція з 22-ма фотопанелями, які в сумі забезпечать потужність 7,3 кВт. На рис. 3.6, подано енергетичний баланс сонячної електростанції з системою акумулювання.

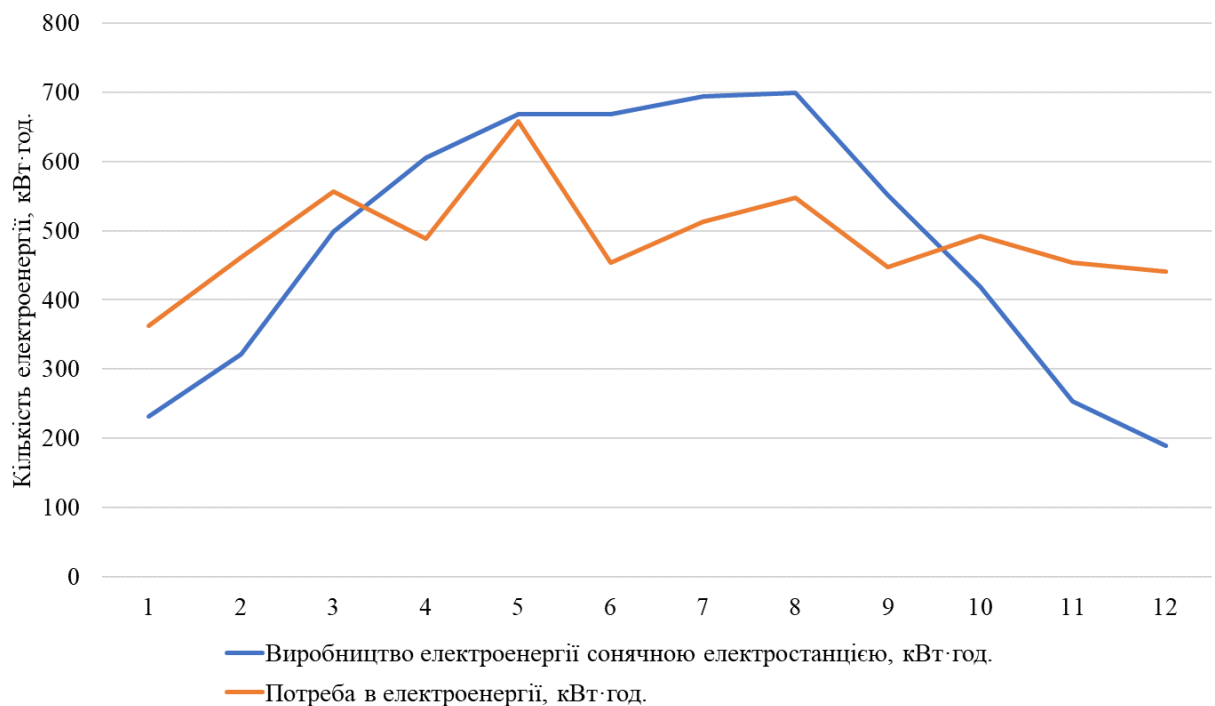


Рисунок 3.6 – Енергетичний баланс сонячної електростанції з системою акумулювання

Здійснимо також розрахунки для сонячних станцій з максимальною потужністю 30 кВт та і без системи акумулювання.



Так, для сонячної електростанції з потужністю 30 кВт та системою акумулювання слід використати 91 фотопанелью одиничною потужністю 330 Вт. А для мережевої сонячної станції без акумулювання – 56 фотопанелей одиничною потужністю 540 Вт. У першому випадку загалом буде вироблено електроенергії у обсязі 26390 кВт·год., а у другому випадку – 34638 кВт·год. Енергетичні баланси сонячних електростанцій з потужністю 30 кВт з системою акумулювання та без неї, подано на рис. 3,7 і 3,8, відповідно.

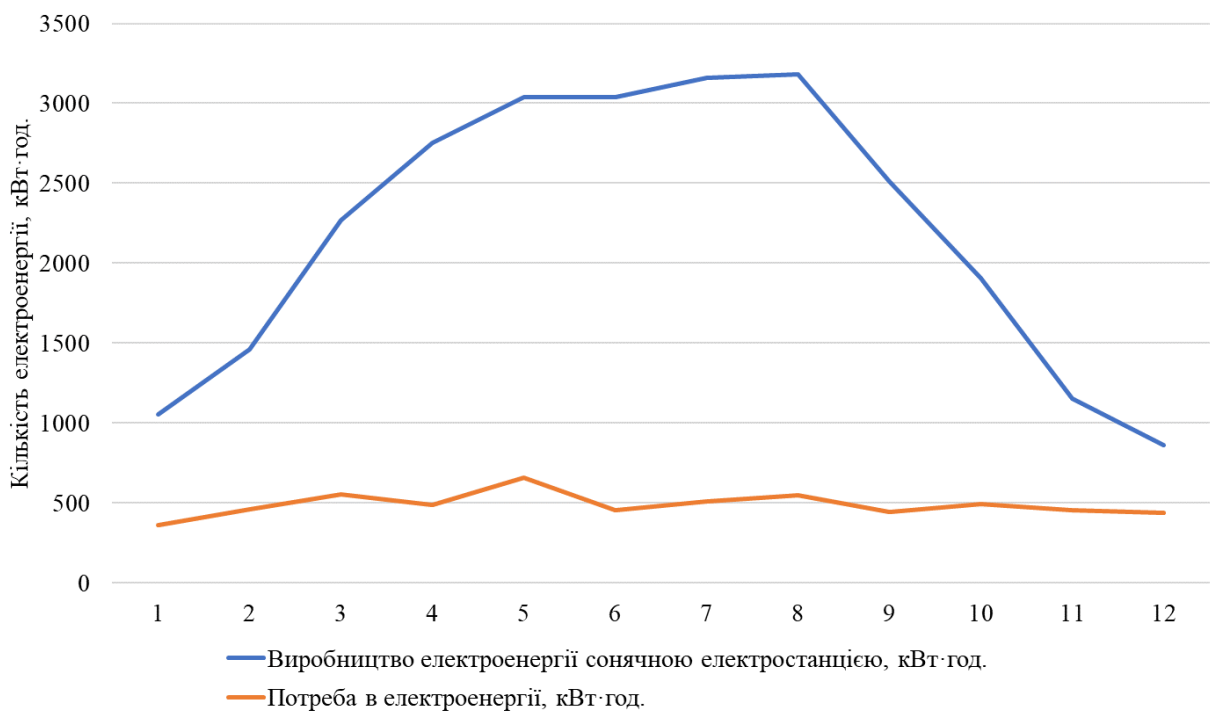


Рисунок 3.7 – Енергетичний баланс гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт з системою акумулювання

Як видно з рис. 3.7, і 3.8, система без акумулювання електроенергії є більш ефективною від системи з акумулюванням. Крім того, вона буде суттєво дешевшою. Тому, як перший висновок, можна вважати, що сонячна електростанція потужністю 30 кВт з системою акумулювання навряд чи буде мати перспективу. Слід також зауважити, що в цій системі блоки акумуляторів розраховані лише на необхідний обсяг споживання енергії.

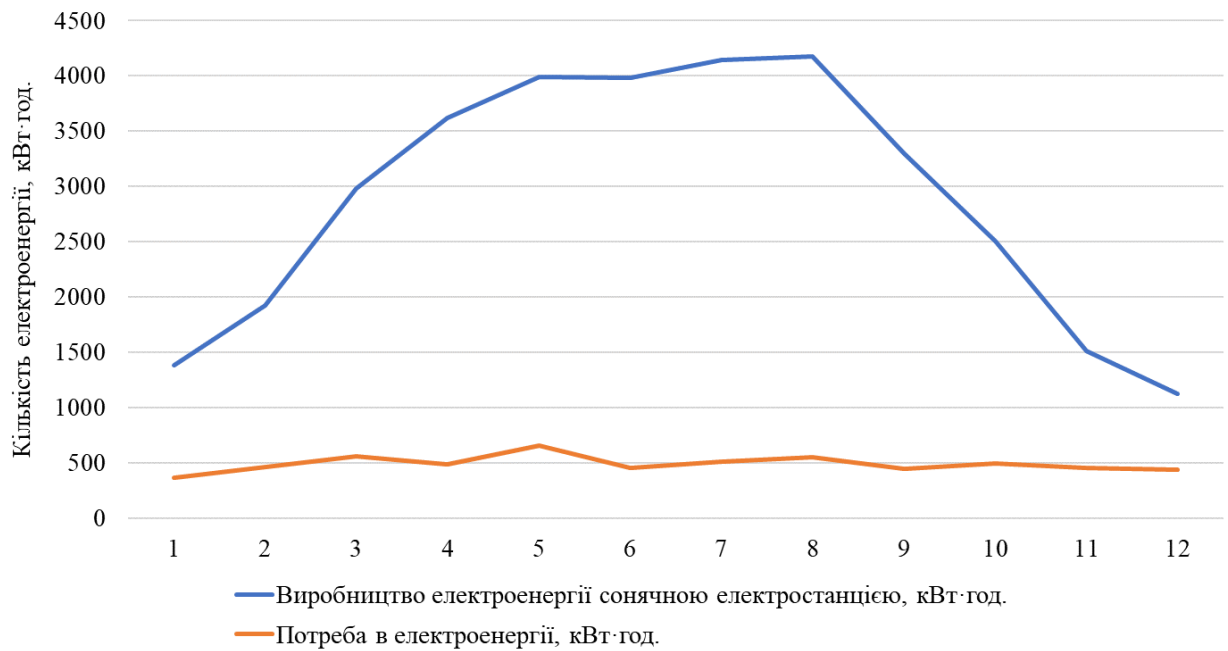


Рисунок 3.8 – Енергетичний баланс мережевої сонячної електростанції потужністю 30 кВт без системи акумулювання

Стосовно вибору кінцевого варіанта структури сонячної електростанції між гібридною з рівнем виробництва і накопичення електроенергії на рівні споживання та мережевою сонячною електростанцією потужністю 30 кВт, він може бути зроблений на підставі додаткового економічного розрахунку.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

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

Технологічний процес енергопостачання сонячною електростанцією проводиться в такій послідовності. За наявності сонячного випромінювання генерується електрична енергія, яка подається на систему акумуляції. Електрична енергія з системи акумуляції в постійному режимі інвертором перетворюється в електроенергію промислової напруги і частоти та передається до зовнішньої електромережі. Споживання електроенергії споживачами здійснюється в міру необхідності з зовнішньої електромережі без зв'язку з системою генерування енергії від засобів відновлюваної енергетики. Така схема роботи системи є найбільш ефективною оскільки дозволяє акумулювати всю вироблену енергію, незалежно від періоду її виробництва.

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

Електричні небезпечні чинники виникатимуть при експлуатації електрогенерувального та електроспоживального обладнання, серед яких є сонячна електростанція, до складу якої входить фотопанелі, інвертор, акумулятор, а також з боку споживача – електричне обладнання, система освітлення тощо.

Відповідно до цього є потреба у комплексному підході оцінки небезпечного впливу енергетичної установки на обслуговувальний персонал. Для цього можна застосувати методіку 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 безпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок**

Оцінюючи рівня безпеки при електрозабезпеченні сонячною електростанцією можуть виникати такі травми та аварії: ураження електричним струмом від інвертора, акумулятора, електрообладнання споживача, внаслідок пошкодження захисного обладнання, вихід з ладу пульта керування тощо.

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

Для того, щоб оцінку рівня безпеки 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 травмонебезпечні 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 [12].

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 нафтоєдиства: «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 [12].

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинають побудову моделі («дерева»). Використовуючи оператори «I» 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 «I», «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 [12].

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

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 технічного обслуговування 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.

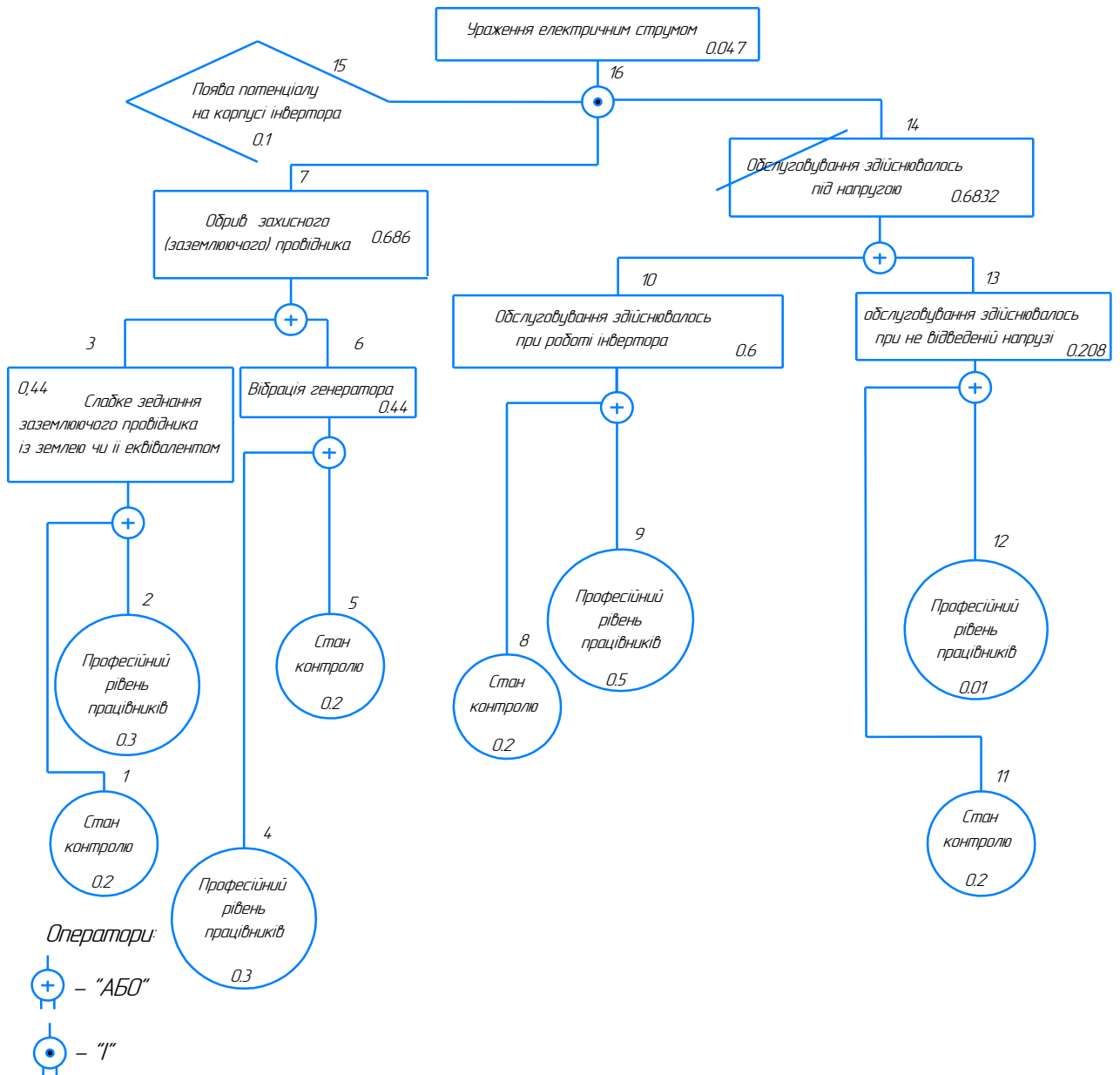


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при експлуатації сонячної електростанції

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 сонячних фотоелектричних установок**

При експлуатації сонячною електростанцією необхідно керуватися "Правилами технічної експлуатації сонячних фотоелектричних установок", "ПУЕ" тощо.

Обслуговуючий персонал установки бути ознайомлений з інструкцією по експлуатації даного виду обладнання. Кожен працюючий з сонячною електростанцією повинен бути проінструктований по техніці безпеки. Осіб, які не досягли 18 років не допускати до обслуговування установки. Забороняється допускати сторонніх осіб до робочого місця. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань інвертора та інших видів електрообладнання вологими руками.



При роботі з електрообладнанням сонячної електростанції, яке знаходиться під напругою необхідно працювати на ізоляційному килимку.

Ремонтні роботи та роботи по обслуговуванню сонячної електростанції, 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.

Адже, актуальність проблеми природно-техногенної безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру непинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Відповідальність за організацію цивільної оборони згідно із Законом “Про цивільну оборону України” лягає на керівника підприємства. Керівництво підприємства повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створює загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Найбільш повне та організоване виконання заходів цивільної оборони на об’єкті досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідні проводити при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій: оповіщення та інформуванні, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди; спостереження і

контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою, забезпечується створенням та підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до них існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості; укриття в захисних спорудах, якому підлягає працююча зміна та усе населення, досягається створенням фонду захисних споруд; евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж; медичний захист проводиться для зменшення ступеня зараження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим; біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно – господарських, спеціальних протиепідемічних та медичних заходів; радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного і хімічного контролю, засобами індивідуального захисту.

Одним із основних завдань цивільної оборони є навчання населення вмінню застосування засоби індивідуального захисту та дій у надзвичайних ситуаціях.

Тому заходи щодо зниження ступеня впливу негативних наслідків аварійних ситуацій здійснюються з метою завчасної підготовки підприємств від надзвичайних ситуацій та створення умов для підвищення стійкості їх роботи, проведення своєчасних робіт щодо рятувальних заходів.

## РОЗДІЛ 5

### ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Обґрунтування прийнятих рішень на підставі техніко-економічного розрахунку в електроенергетиці є важливою складовою виконання проектно-пошукових робіт. Техніко-економічний розрахунок дозволяє з певної кількості варіантів, які можуть мати близькі енергетичні характеристики вибрати той, який буде мати найбільший економічний зиск. Цей аналіз передбачає виконання комплексу розрахунків, які дозволяють співставити функціональний зміст варіант з його економічною ефективністю. Тобто необхідно здійснити так званий функціонально-вартісний аналіз. Причому, не завжди потрібно виконувати весь спектр економічних критеріїв та показників. Часто достатньо виконати первинні розрахунки, або обмежитися лише укрупненими показниками.

Загалом функціонально-вартісний аналіз як інструмент оцінки технології чи засобу зводиться до визначення показника функціональної ефективності за формулою

$$P_{\phi e} = \frac{Z_{\phi e}}{\Phi B} \Rightarrow \min, \quad (5.1)$$

де  $Z_{\phi e}$  - витрати на забезпечення відповідної функції енергетичного засобу, грн.;  $\Phi B$  – функціональна вартість досліджуваного варіанта системи, яка виражається вартістю її продуктивності, грн.

Як узагальнений показник функціонально-вартісного аналізу можна також використати термін окупності капіталовкладень, який очевидно може бути більш інформативним для вибору раціональної структури енергетичної системи.

Тоді слід скористатися формулою

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

де  $B_{pv}$  – вартість сонячної електростанції, яка включає власне вартість обладнання та його монтаж, грн.;  $E$  – економічний ефект від застосування сонячної електростанції, який виражається вартістю виробленої електроенергії за винятком вартості спожитої електроенергії, а також податків, грн.

З врахуванням того, що на ринку, зазвичай, відсутні точні пакетні пропозиції, відносно тих вимог, які висуваються кінцевим споживачем, як і в нашому випадку, то необхідно виявити тенденційні залежності, які б дозволили на теоретичному рівні сформулювати пропозицію, яка буде безпосередньо відповідати нашим потребам. Тобто з наявного переліку пропозицій спробуємо визначити емпіричну залежність, яка б на етапі економічного розрахунку дозволила б оперувати фактичною вартістю фотоелектричної станції.

Стосовно сонячних електростанцій автономного типу, то за результатами пошуку отримано 5 пропозицій з потужністю системи від 3 до 15 кВт. Очевидно, що даний тип сонячних електростанцій немає сенсу розглядати, оскільки приватне домогосподарство має доступ до зовнішньої електромережі. Крім того, такого типу електростанції не характеризуються високою надійністю та продуктивністю.

Серед пропозицій на гібридні сонячні електростанції, то ми зупинися на трьох пропозиціях з потужністю від 5 до 29 кВт.

Найбільша кількість пропозицій зафіксовано на мережеві сонячні електростанції. Тут варіація потужності є від 1 до 30 кВт при дев'яти пропозиціях.

На рис. 5.1, подано графічну залежність вартості гібридної сонячної електростанції залежно від її потужності.

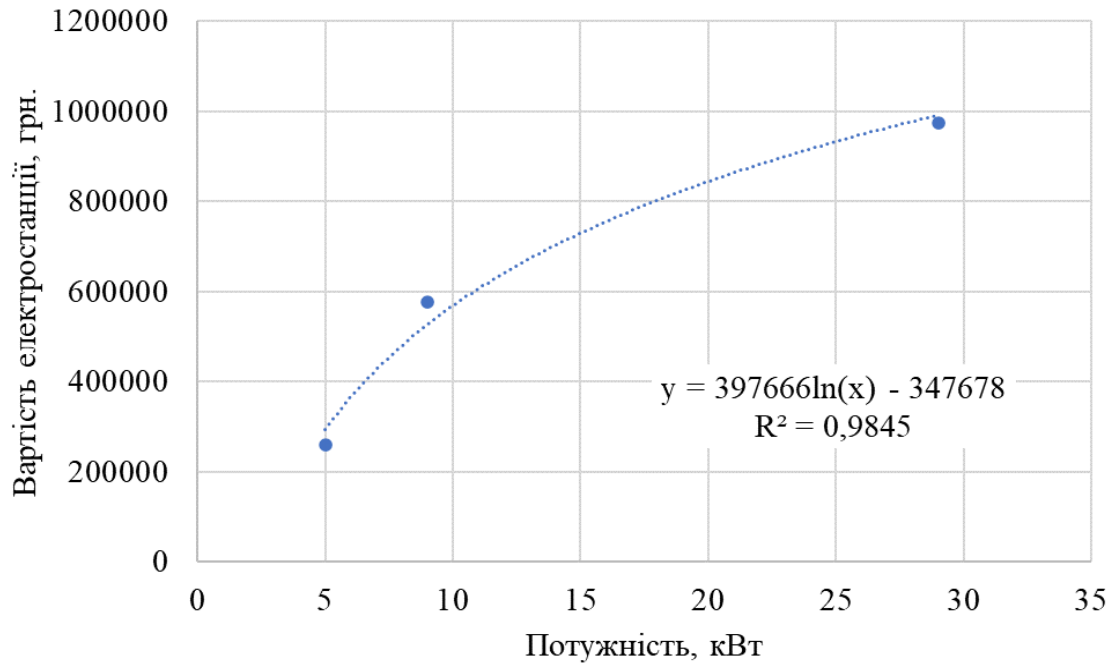


Рисунок 5.1 – Гібридні сонячні електростанції

На рис. 5.2, подано графічну залежність вартості мережевої сонячної електростанції залежно від її потужності.

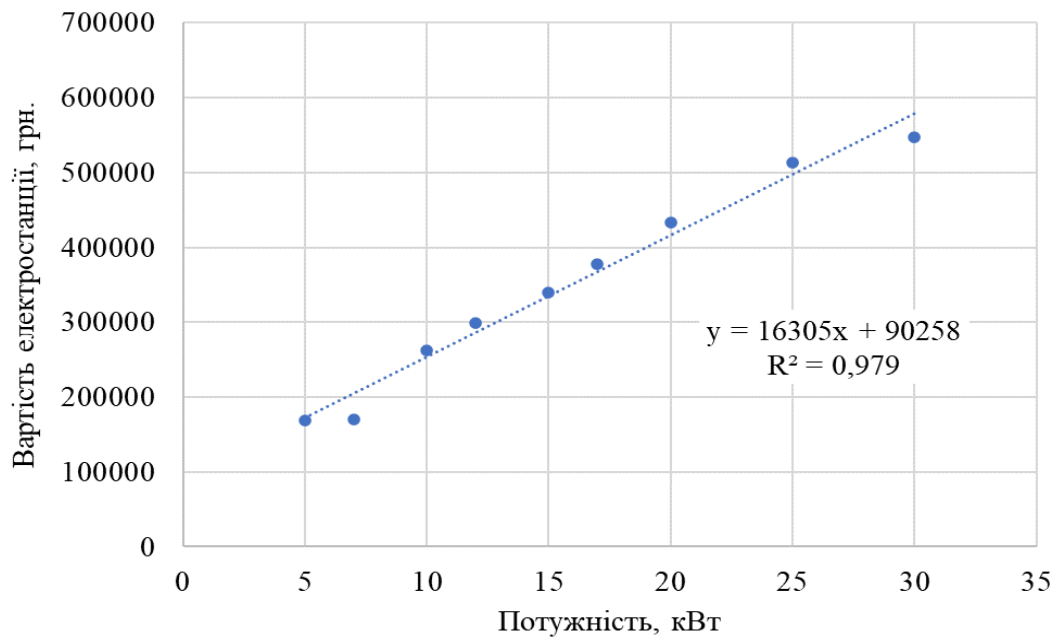


Рисунок 5.2 – Мережеві сонячні електростанції

Маючи вартості сонячних електростанцій, обсяги генерування ними електроенергії, обсяги споживання електроенергії, тарифи на електроенергію за звичайним та "зеленим" тарифом, а також вимоги податкової політики України, можна визначити один із основних економічних показників – термін окупності. Нами було проведено розрахунки, які враховують вище наведені умови і сформована таблиця результатів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Результати техніко-економічного аналізу структурних варіантів сонячних електростанцій для електропостачання приватних домогосподарств

Параметр	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Тип сонячної електростанції	гібридна	гібридна	мережева	мережева
Потужність сонячної електростанції, кВт	7,3	30	7,3	30
Споживання річне, кВт·год.	5879	5879	5879	5879
Електрогенерація річна, кВт·год.	6424	26390	6424	34638
Ціна на електроенергію за "зеленим"тарифом, грн./кВт·год.	-	6,688	-	6,688
Вартість "зеленого"тарифу, грн.	-	137178	-	192342
Ціна на електроенергію за звичайним тарифом, грн./кВт·год.	2,64	-	2,64	-
Податки, грн.	-	26750	-	37507
Чистий прибуток, грн.	15521	110428	16959	154835
Вартість установки, грн.	442832	1004863	209284,5	579408
Вартість монтажу, грн.	88566	200973	41857	115882
Загальна вартість, грн.	531398	1205835	251141	695290
Термін окупності, років	34,24	10,92	14,81	4,49

Як видно, найвищого рівня ефективності можна досягнути при встановленні потужної сонячної електростанції з відпуском виробленої енергії в мережу за "зеленим" тарифом. Причому, термін окупності на цю

електростанцію вписується в період дії "зеленого" тарифу. Тобто ця електростанція встигне себе окупити до кінця його дії.

Стосовно інших варіантів, то серед них, за терміном окупності кращим виглядає варіант гібридної електростанції потужністю 30 кВт.

Слід зауважити, що в цьому випадку термін окупності виходить да термін дії "зеленого" тарифу, тобто розрахований термін окупності буде скоригований у сторону збільшення. Крім того, ця система є найдорожчою. Зважаючи на значний термін окупності, який близький до терміну експлуатації акумуляторної батареї, то цей варіант також не можна вважати доцільним.

Зважаючи на значний термін окупності гібридної сонячної станції малої потужності, яка працюватиме лише на виробництво необхідного обсягу електроенергії, яку потребує приватне домогосподарство, то цей варіант, з точки зору економічної доцільності, є нераціональним.

Отже, з точки економічної ефективності найбільш раціональним варіантом є застосування мережевої сонячної електростанції малої потужності, яка здійснює генерування електроенергії у обсязі, який відповідає рівню споживання електроенергії приватним домогосподарством. Будь-яке збільшення ціни на електричну енергію буде спричинювати скорочення терміну окупності цієї електростанції.

Слід зауважити, що в цьому аналізі не було враховано інших чинників ефективності застосування сонячних електростанцій, таких як екологічний, соціальний тощо.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Тенденція розвитку відновлюваної енергетики як у світі, так і в Україні, свідчить про важливість цього сектору. Не лише промислові електростанції, зокрема сонячні, відзначаються зростанням потужностей, але й побутовий сектор демонструє вражаючий динамічний розвиток в сфері відновлюваної енергетики.

З урахуванням постійного зростання вартості традиційної електроенергії, впровадження сонячних фотоелектричних установок різної структури та потужності в приватному секторі вважається одним із способів підвищення енергоефективності. Оскільки сонячні фотоелектричні станції варіюються за структурою та потужністю, обґрунтування їх параметрів для конкретного використання стає актуальним.

Серед варіантів сонячних електростанцій можна виділити три основні типи: автономні, які не приєднані до зовнішніх електромереж, і які містять в своїй структурі систему акумуляування; гібридні, які можуть, але не обов'язково, бути приєднані до зовнішніх електромереж, але які також містять систему акумуляування електроенергії; мережеві, які працюють лише на електромережу, і в яких відсутня система акумуляування.

При реалізації проекту з електропостачання об'єктів будь-якого типу, першочергово здійснюється оцінка рівня споживання енергетичних ресурсів, зокрема, електроенергії. Це дасть змогу підібрати правильний тип сонячної електростанції, залежно від її призначення. Таке дослідження можна здійснити із застосуванням спеціальних вимірювачів параметрів електромережі, які є доступними на ринку електротоварів.

На другому етапі необхідно здійснити оцінку вибраного типу енергетичного потенціалу. В нашому випадку це рівень сонячного випромінювання, який дасть змогу працювати сонячній електростанції. При



оцінці енергетичного потенціалу сонячного випромінювання важливим є визначення правильного кута розміщення фотопанелей до горизонту. Від цього буде залежати продуктивність сонячної станції.

Для обґрунтування раціональних параметрів сонячної електростанції відповідно до умов приватного домогосподарства опрацьовано методику та здійснено розрахунок наявного потенціалу сонячного випромінювання, параметрів сонячної електростанції, системи акумулявання з побудовою енергетичних балансів варіантів систем.

Сонячна електростанція містить небезпечні чинники, що вимагає неухильного дотримання чинних вимог з електробезпеки. Для уникнення виробничого травматизму при монтажі та експлуатації сонячної електростанції здійснено моделювання виникнення травматизму, і розроблено відповідні заходи щодо покращення рівня безпеки.

Для кінцевого обґрунтування раціональної структури сонячної електростанції для потреб приватного домогосподарства здійснено порівняльний аналіз їх економічної ефективності.

Для цього, за даними комерційних пропозицій, які є доступні на ринку, було визначено рівняння кореляції вартості сонячної електростанції певної структури від її потужності. На підставі продуктивностей кожного із досліджуваних варіантів, вартісних показників сонячних електростанцій, умов оплати за вироблену електроенергію та податкової політики здійснено розрахунок терміну окупності капіталовкладень.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 2023 IRENA - International Renewable Energy Agency. [Electronic resource]. Title from the title screen. Access mode: <https://www.irena.org/solar>.
2. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. – WILEY, 2003. 1179 p.
3. Mukud R. Patel. Wind and Solar Power System. – London, New York, Washington. CPC Press. 1999. p. 350.
4. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource [Electronic resource]. Title from the title screen. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
5. Reclosable smartlife TUYA WIFI Circuit breaker 63A 110V 220V Energy Meter Metering Timer with voltage current leakage protection. [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).
6. Renewable energy policy network for the 21<sup>st</sup> century. [Electronic resource]. Heading from the screen title. Access mode: [www.ren21.net](http://www.ren21.net).
7. RENEWABLES 2023. GLOBAL STATUS REPORT. A COMPREHENSIVE ANNUAL OVERVIEW OF THE STATE OF RENEWABLE ENERGY. [Electronic resource]. Title from the title screen. Access mode: <https://www.ren21.net/gsr-2023/>
8. Альтернативна енергетика. [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://eco-electrics.com.ua/shop/category/alternative-energy>
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. Кудря С. О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. / С. О. Кудря, В. М. Головка. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
12. 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.
13. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА до проекту Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії генеруючими установками споживачів". [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/view/GI08855A>.
14. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА до проекту Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії генеруючими установками споживачів". [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/view/GI08768A>.
15. Пояснювальна записка до проекту Закону України «Про внесення деяких змін до законів України щодо відновлення енергетичної безпеки та зеленої трансформації енергетичної системи України». [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/view/GI09123A>.
16. Про затвердження Порядку продажу та обліку електричної енергії, виробленої активними споживачами, та розрахунків за неї. [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: [https://ips.ligazakon.net/document/gk55676?utm\\_source=biz.ligazakon.net&ut](https://ips.ligazakon.net/document/gk55676?utm_source=biz.ligazakon.net&ut)

[m\\_medium=news&utm\\_content=bizpress01&\\_ga=2.88805723.1733190063.1704521946-1416815747.1704521946#\\_gl=1\\*1pyma5\\*\\_gcl\\_au\\*OTA2MzA1NTE1LjE3MDQ1MjE5NDQ](https://m_medium=news&utm_content=bizpress01&_ga=2.88805723.1733190063.1704521946-1416815747.1704521946#_gl=1*1pyma5*_gcl_au*OTA2MzA1NTE1LjE3MDQ1MjE5NDQ).

17. 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 : ЛНАУ, 2015. 17 с.
18. Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем теплопостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
19. Сонячні електростанції для приватних домогосподарств [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://rentechno.ua/assets/files/downloads/private-solar-plants-2016.pdf>.
20. Сонячні електростанції. [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://ecoenerhiia.ua/sonjachni-elektrostantsii/>.
21. У 2021 році близько 15 тис. родин встановили СЕС, що майже удвічі більше, ніж у 2020 році. [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://sae.gov.ua/uk/news/4085>.