

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

---

доцент Чепіжний А.В.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження особливостей роботи автономної  
комбінованої системи живлення приватних будинків на  
основі відновлювальних джерел енергії»

Виконав

---

(підпис)

Опарін С.А.  
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-2м

(Науковий) керівник:

---

(підпис)

Чепіжний А.В.  
(прізвище, ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

доцент \_\_\_\_\_ Чепіжний А.В.  
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**  
**ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

*Опарін Сергій Анатолійович*

(прізвище, ім'я та по батькові)

**1. Тема роботи:** Дослідження особливостей роботи автономної комбінованої системи живлення приватних будинків на основі відновлювальних джерел енергії

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

**2. Термін подання здобувачем закінченої роботи** «11» 11 2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** показники витрати електричної енергії приватним будинком, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, постанови про забезпечення якості електричної енергії.

**4. Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Аналіз автономних та комбінованих систем електрозабезпечення.

2 Особливості використання сонячної електростанції в автономній комбінованій системі живлення приватних будинків.

3 Фактичні значення роботи комбінованих систем на основі сонячних електростанцій для приватних будинків.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції. Список використаної літератури.

Додатки.

**5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**

**6. Консультанти розділів роботи:**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

**КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**(Опарін С.А.)**  
(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник  
дипломної роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**(Чепіжний А.В.)**  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дослідження особливостей роботи автономної комбінованої системи живлення приватних будинків на основі відновлювальних джерел енергії. Магістерська робота / Опарін Сергій Анатолійович – Суми: СНАУ, 2024 р. – 51 с.

В роботі проведено аналіз особливостей споживання електричної енергії приватним будинком. Виконано підрахунок річних значень споживання електроприладами пристроями приватного будинку.

Проаналізовано основні можливі схеми комбінованих систем для забезпечення безперервності живлення приватного будинку з наведенням їх основних переваг та недоліків. Вибрано комбіновану систему електропостачання на базі сонячної електростанції, акумуляторів та підживленням з центрально електричної мережі.

Проведено аналіз можливого виробітку електричної енергії від сонячних електростанцій різних потужностей та запропоновано основне обладнання для кожної з них.

Проведено аналіз заходів з охорони праці та виконано обґрунтування комбінованих систем різної потужності для приватного будинку.

**Ключові слова:** сонячні панелі, мережевий інвертор, комбінована система, споживання, акумулятор, електропостачання.

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ АВТОНОМНИХ ТА КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	8
1.1 Аналіз особливостей потреб в електричній енергії для приватних будинків.....	8
1.2 Аналіз тарифів на електричну енергію.....	14
1.3 Особливості формування комбінованих систем живлення приватних будинків.....	16
1.4 Аналіз типів сонячних електростанцій для використання в приватних будинках.....	19
Висновки до розділу.....	21
2 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В АВТОНОМНІЙ КОМБІНОВАНІЙ СИСТЕМІ ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ.....	22
2.1 Особливості роботи сонячних панелей з визначенням параметрів для вибору обладнання.....	22
2.2 Аналіз та вибір необхідного обладнання для комбінованої системи електропостачання.....	30
Висновки до розділу.....	33
3 ФАКТИЧНІ ЗНАЧЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ.....	34
Висновки до розділу.....	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
Висновки до розділу.....	39
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	40
Висновки до розділу.....	43
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	46

	5
ДОДАТОК А.....	49
ДОДАТОК Б.....	51
ДОДАТОК В.....	52

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Сьогоднішня ситуація з енергетикою України надає необхідності в пошуку підвищення якості та стабільності постачання різних об'єктів в тому числі і приватних будинків. Виходячи з цього необхідною умовою є використання різних відновлювальних джерел енергії для забезпечення певної незалежності в живленні приватного будинку.

В Україні фактично доволі проблемним є питання використання вітрової енергетики, а сонячна енергетика є більш ефективною. Виходячи з цього застосування подібних систем є більш вигідним та надійним на сьогодні. Але однією з особливостей роботи сонячної енергетики є нестабільний виробіток електричної енергії протягом доби, місяця чи навіть року. Вирішенням подібної проблеми є застосування різного роду комбінованих систем. При цьому комбінації даних систем можуть бути різно направленними. Одним з варіантів подібної комбінації є застосування сонячної електростанції в комбінації з акумуляуванням електричної енергії та живленням від електричної мережі.

Додатковою умовою різноманітних комбінованих систем на базі відновлювальних джерел енергії потребує визначення вибору обладнання та інших параметрів. При цьому додатково необхідно враховувати можливість встановлення комбінованих системи різних потужностей. Необхідною умовою встановлення комбінованих систем великих потужностей є забезпечення роботи зеленого тарифу. А отже необхідно закласти дану можливість при визначення обладнання та врахувати особливості розташування сонячних панелей для кожного конкретного регіону.

Виходячи з наведених даних слід зазначити, що дана тема є доволі актуальною, а отже потребує подальших досліджень.

*Мета та задачі дослідження.* Метою роботи є використання комбінованих систем на базі відновлювальних джерел енергії для забезпечення безперебійності живлення приватного будинку з середнім значенням споживання електричної енергії.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Проведення визначення показників споживання електричної енергії приватним будинком.
2. Аналіз ефективності роботи сонячної електростанції в умовах Сумської області.
3. Вибір необхідного обладнання для ефективної роботи комбінованих систем різної потужності.
4. Проведення економічного обґрунтування запропонованих рішень для комбінованих систем різної потужності.

**Об'єктом дослідження** в роботі є комбіновані системи електропостачання приватних будинків з основним використанням відновлювальних джерел енергії.

**Предметом дослідження** в роботі є ефективність роботи комбінованої системи на базі сонячної електростанції різної потужності.

**Методи дослідження.** Для проведення даного дослідження застосовувались аналітичні та математичні методи визначення споживання електричної енергії з аналізом кількісних показників її генерації від сонячних панелей.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в можливості застосування комбінованих систем на базі сонячних електростанцій для приватних будинків з можливістю продажу електричної енергії за «зеленим тарифом».

# 1 АНАЛІЗ АВТОНОМНИХ ТА КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

## 1 Аналіз особливостей потреб в електричній енергії для приватних будинків

Приватні будинки в основному забезпечують потреби сім'ї. Середня кількість чоловік в середньостатистичній сім'ї – 3 чол. Споживачами електричної енергії в приватному будинку фактично є різноманітні електроприлади. Кількість електроприладів в більшості випадків напряму залежить від чисельності жителів сім'ї. Потрібно також враховувати прилади, що працюють постійно протягом доби, а також прилади, що працюють певний час протягом доби.

Необхідною умовою є проведення аналізу потужності основних електричних приладів, з аналізом основного коефіцієнту використання. Для прикладу наведемо основне електрообладнання середньостатистичного будинку з визначенням основних показників роботи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основне електрообладнання приватного будинку

Назва електричного обладнання	Споживана потужність, кВт·год	Величина коефіцієнта використання
Плита індукційна	2,0	0,2
Бойлер електричний	2,0	0,15
Мікрохвильова піч	1,8	0,35
Електричний чайник	1,2	0,2
Електрична духовка шафа	1,2	0,3
Кондиціонер	1,2	0,25
Пилосос	1,0	0,15
Фен	1,0	0,3
Праска	1,0	0,25
Пральна машинка	0,7	1
Персональний комп'ютер	0,55	0,45
Телевізор	0,4	0,45
Холодильник	0,1	0,5
Освітлювальні лампи енергозберігаючі	0,03	0,4
Загальна потужність електричних приладів приватного будинку	14,18	

Виходячи з наведених даних необхідно зазначити, що загальна сума споживаної потужності всіх електричних приладів складає 14,18 кВт·год. При цьому необхідно зазначити, що дане значення споживаної потужності є набагато вищим за максимально дозволене від постачальної компанії, але необхідно зазначити що дане значення розраховане для одночасного використання всіх електричних приладів. Для розрахунку реального значення потужності необхідною умовою є врахування коефіцієнтів використання електрообладнання, що є фактично індивідуальним для кожного з електроприладів.

Для прикладу пропонується провести розрахунок годинного та середньодобового значення споживання електричної енергії.

Для визначення максимальної величини годинного споживання електричної енергії використаємо вираз:

$$P_{me} = \sum P \cdot K_B, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (1.1)$$

де  $P$  – величина потужності електроприладу приватного будинку, кВт;

$K_B$  – значення коефіцієнта використання електроприладу.

Проведемо розрахунки для основного електричного обладнання приватного будинку відповідно до таблиці 1.1.

$$\begin{aligned} P_{me} = & 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 + 1,8 \cdot 0,35 + 1,2 \cdot 0,2 + 1,2 \cdot 0,3 + 1,2 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,15 \\ & + 1 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,25 + 0,7 \cdot 1 + 0,55 \cdot 0,45 + 0,4 \cdot 0,45 + 0,1 \cdot 0,5 \\ & + 0,03 \cdot 0,4 = 4,12 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Зазначимо, що в нічний час (коли жителі приватного будинку сплять) споживання електричної енергії відбувається лише електричними приладами постійного споживання. Нічне споживання електричної енергії визначається з рівняння:

$$P_{\text{вн}} = \sum P_{\text{н}} \cdot K_{\text{в}}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (1.2)$$

де  $P_{\text{н}}$  – споживана потужність електричних приладів, що працюють в нічний час, кВт·год.

$$P_{\text{вр}} = 0,1 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,15, \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Необхідно зазначити, що в приватному будинку існують певні піки навантаження – вранці та ввечері. Ці піки пов'язані з активністю жителів в будинку. Вранці жителі будинку прокидаються та починають збиратись по справах. Ввечері жителі будинку повертаються додому та починають вмикати основні прилади для комфортного перебування.

Вранішнє споживання електричної енергії визначається з виразу:

$$P_{\text{вр}} = \sum P_{\text{вр}} \cdot K_{\text{в}}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (1.3)$$

де  $P_{\text{вр}}$  – споживана потужність електричних приладів, що працюють вранці, кВт·год.

$$\begin{aligned} P_{\text{вр}} &= 0,1 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,15 + 1,2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 0,55 \cdot 0,45 + 0,03 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,3 \\ &= 1,59, \text{кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Денне споживання електричної енергії різними електричним приладами визначається з рівняння:

$$P_{\text{вд}} = \sum P_{\text{вр}} \cdot K_{\text{в}}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (1.4)$$

$$P_{\text{вд}} = 0,1 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,15 + 1,2 \cdot 0,2 + 0,55 \cdot 0,45 = 8,4, \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Вечірній показник споживання електричної енергії визначається з рівняння:

$$P_{\text{вв}} = \sum P_{\text{вр}} \cdot K_{\text{в}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (1.5)$$

$$P_{\text{вв}} = 0,1 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,15 + 1,2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 0,55 \cdot 0,45 + 0,03 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,25 = 1,7, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Необхідно зазначити, що в результаті споживання електричної енергії приватним будинком доволі сильно залежить від години доби, а отже необхідною умовою є побудова графіку добового споживання електричної енергії. Для початку необхідно провести визначення погодинного споживання електричної енергії електроприладами. Отримані данні зведемо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Погодинне споживання електричної енергії приватним будинком

№ з/п	Години доби	Споживана потужність, кВт·год	№ з/п	Години доби	Споживана потужність, кВт·год
1	01:00	0,350	13	13:00	0,670
2	02:00	0,350	14	14:00	0,838
3	03:00	0,350	15	15:00	0,544
4	04:00	0,350	16	16:00	0,586
5	05:00	0,350	17	17:00	1,011
6	06:00	0,350	18	18:00	1,180
7	07:00	0,793	19	19:00	1,264
8	08:00	1,586	20	20:00	1,686
9	09:00	1,427	21	21:00	1,348
10	10:00	0,951	22	22:00	1,011
11	11:00	0,482	23	23:00	0,350
12	12:00	0,502	24	00:00	0,350

Для кращої наглядності необхідно дані таблиці 1.2 зобразити в графічному вигляді (рис. 1.1).

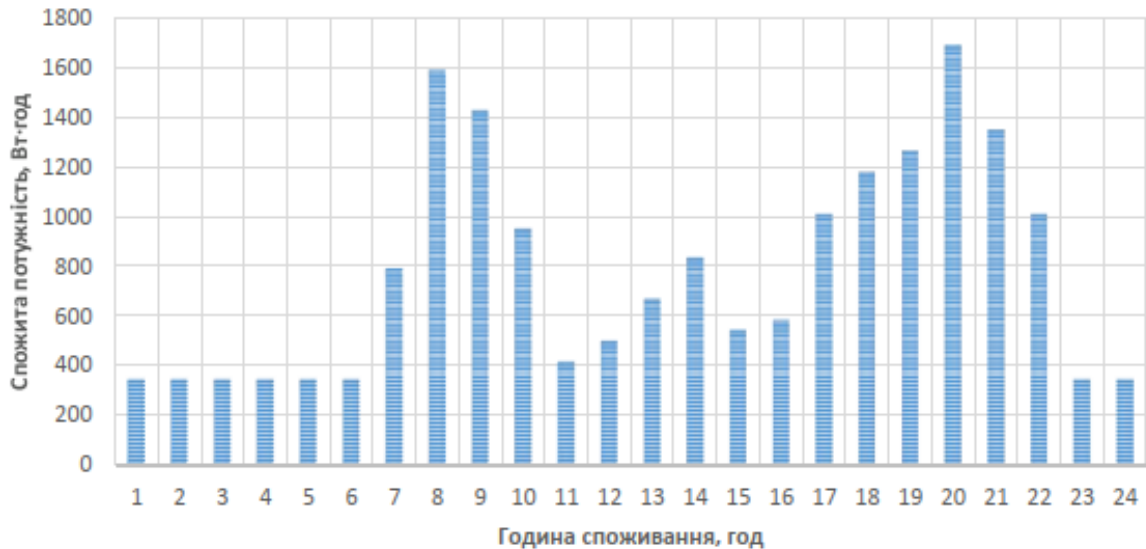


Рисунок 1.1 – Графік погодинного споживання електричної енергії приватним будинком

З рисунку 1.1 доволі чітко проглядаються два піки в прирості навантаження на електричну систему приватного будинку. Вранішній приріст спостерігається фактично з 7:00 до 11:00, а відповідно вечірній приріст навантаження спостерігається з 17:00 до 22:00. Необхідно зазначити, що також існує ще одне збільшення споживання електричної енергії. Підвищення спостерігається з 12:00 по 15:00, що пов'язане з можливим поверненням мешканців будинку на обідню перерву чи іншими причинами.

Виходячи з отриманих даних необхідною умовою є визначення середньодобового значення споживання електричної енергії:

$$P_{cc} = \sum P_{спд}, \text{кВт} \cdot \text{год}. \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned}
 P_{cc} = & 0,35 * 8 + 792,75 + 1585,5 + 1426,95 + 951 + 418,75 + 502 + 670 \\
 & + 837,5 + 544,37 + 586,25 + 1011,3 + 1179,85 + 1264,1 \\
 & + 1685,5 + 1348,4 + 1011,3 = 18,6\text{кВт} \cdot \text{год}
 \end{aligned}$$

На сьогодні необхідно зазначити, що постачальником електричної енергії в Сумській області є АТ «Сумиобленерго», а отже відповідно до

доступної публічної інформації на сайті компанії можна проводити подальший аналіз магістерської роботи.

Для подальшого аналізу необхідно зазначити, що існує певне сезонне збільшення споживання електричної енергії, що пов'язане з використанням додаткового електричного обладнання приладів обігріву (насосів котлів, тенів чи інших типів обігрівачів). Данні місячного споживання електричної енергії наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Середньомісячні значення споживання електричної енергії приватним будинком

Показник	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Споживання електричної енергії, кВт·год	575,8	521,2	560,4	684,2	602,6	522,4	553,6	558,6	585,6	704,0	716,2	741,8
Всього за рік	7326,4 кВт·год											

Також необхідною умовою подальшого аналізу є побудов графіку середньомісячного споживання електричної енергії відповідно до табличних значень.

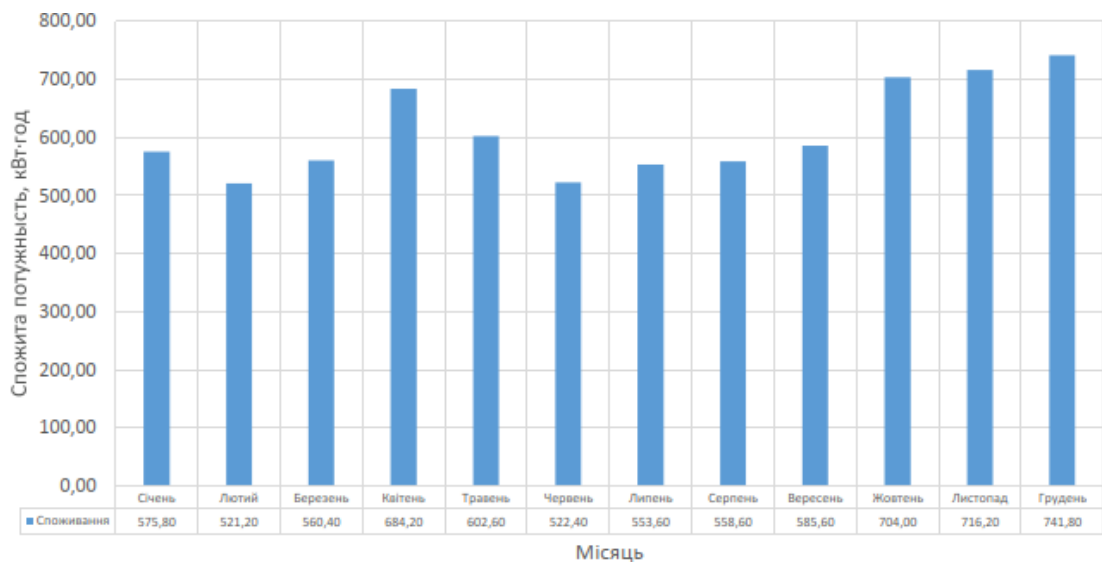


Рисунок 1.2 – Графік середньомісячного споживання електричної енергії приватним будинком

Необхідно зазначити, що в річному споживанні електричної енергії спостерігаються також певні піки, що в основному припадають на зимові

місяці. Спостерігається також пік в квітні, що може бути пов'язаний з додатковими витратами на підігрів будинку через низькі температури навколишнього середовища.

## 1.2 Аналіз тарифів на електричну енергію

Тарифи на електричну енергію формуються та затверджуються відповідною постановою Кабінету Міністрів України. Необхідно зазначити, що тарифи для населення розподіляються на декілька тарифних планів, починаючи з стандартного фіксованого та відповідно до різних типів обліку. розглянемо в таблиці А1 додатку А.

З аналізу даних тарифів на електричну енергію бачимо постійний ріст цін на електричну енергію, а отже можна зробити висновок про подальший ріст електричної енергії для населення. Графік аналізу цін на електричну енергію наведено на рисунку 1.3.

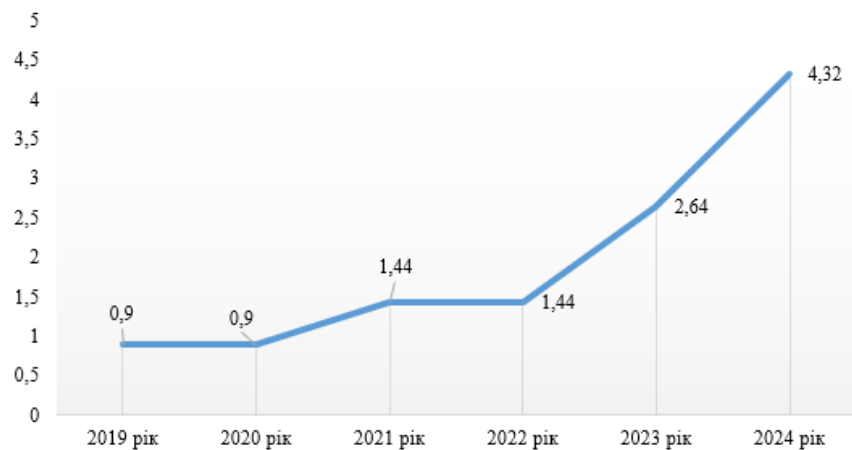


Рисунок 1.3 – Графік динаміки цін на електричну енергію

З рисунку 1.3 видно, що спостерігається фактично постійний ріст ціни на електричну енергію. Необхідно зазначити, що на графіку розглянуто мінімальні ціни за електричну енергію, за умови більшого споживання по деяких роках необхідно враховувати іншу ціну на електричну енергію. Так вперіод 2019-2020 рр. за умови споживання електричної енергії більше 100кВт вартість її становить 1,68 грн. В період 2021-2022 рр. за умови споживання електричної енергії більше 250 кВт вартість також становить 1,68 грн.

Зазначимо, що в період до оголошення військового стану спостерігалось підвищення вартості на електричну енергію в середньому на 20%, а отже можна було спрогнозувати значний ріст вартості електричної енергії до 2030 року. В зв'язку з війною та значними пошкодженнями енергосистеми введено підвищення на електричну енергію, а отже на сьогодні раніше наведена тенденція до підвищення цін фактично не діє.

Оскільки нами розглядається живлення приватного будинку від відновлювальних джерел енергії то необхідною умовою є проведення аналізу вартості електричної енергії за зеленим тарифом (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Вартість електричної енергії відповідно до діючого зеленого тарифу

Роки	2019 рік	2024 рік	2025 рік	2029 рік	2030 рік
Вартість електричної енергії за зеленим тарифом, грн	5,28	4,74	4,23	4,23	4,0

Для більш детального аналізу співвідношення тарифу на електричну енергію з мережі та вартість електричної енергії відповідно до зеленого тарифу пропонується побудувати графік формування цінової політики на електричну енергію (рис. 1.4).

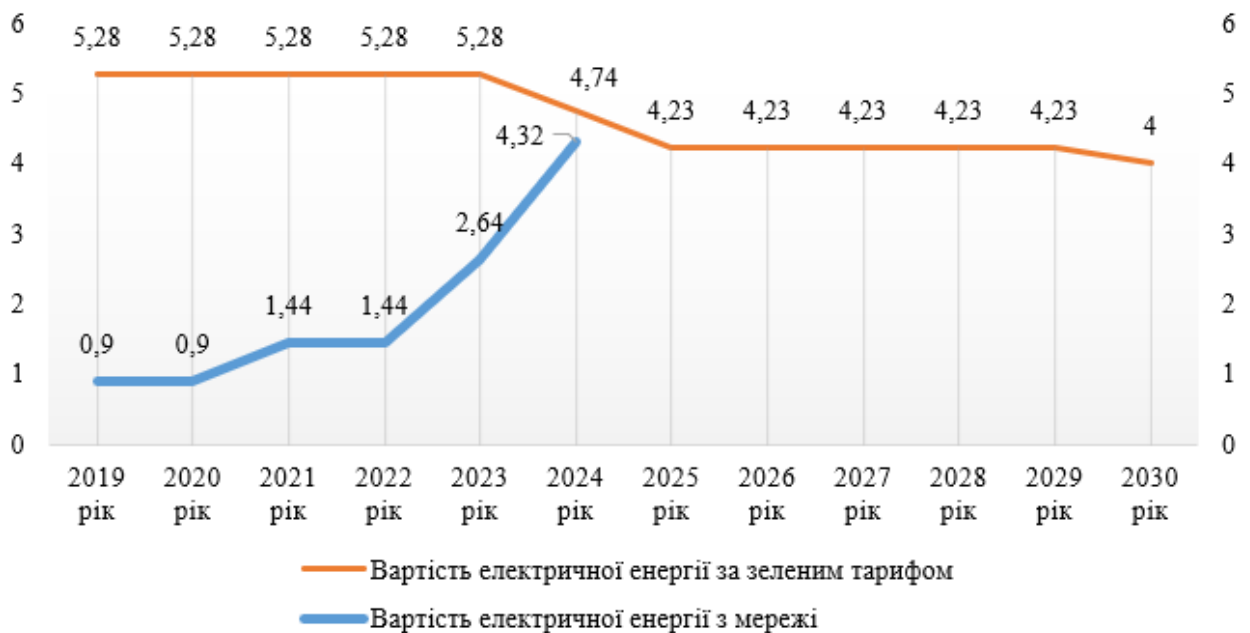


Рисунок 1.4 – Формування цінової політики на електричну енергію

Аналізуючи графіки рисунку 1.4 необхідно зазначити, що станом на 2024 рік різниця між вартістю електричної енергії з мережі та вартістю електричної енергії за зеленим тарифом відрізняється фактично на 0,42 грн. При цьому тенденції до росту цін на електричну енергію роблять зелений тариф фактично не вигідним за умови закупівлі обладнання для комбінованих систем живлення.

Виходячи з цього можна зробити висновок, що використання комбінованих систем живлення приватних будинків в основному буде застосовуватись не для продажу електричної енергії по зеленому тарифу, а для забезпечення певної автономії їх живлення.

Особливістю будови комбінованих систем на основі відновлювальних джерел енергії, що є найбільш ефективними в сучасних умовах є комбінація сонячних електростанцій та електричної мережі. Використання вітроенергетичних установок для подібного комбінування є менш вигідним.

При цьому необхідно зазначити, що отримання коштів від продажу електричної енергії все ж має право на існування.

### **1.3 Особливості формування комбінованих систем живлення приватних будинків**

Для проведення аналізу роботи комбінованої системи необхідною умовою є формування є розуміння основних принципів роботи основних її елементів. Виділення електричної енергії починається в фотоелектричних елементах панелі виникає завдяки певним фізичним процесам взаємодії складових елементів з світловою енергією.

Сьогодні випускаються фактично три типи сонячних панелей пов'язаних з особливостями фотоелементів. При цьому використовують монокристалічні панелі, полікристалічні панелі та з тонкою плівкою.

Оптимальне значення ККД та вартісних показників на сьогодні мають полікристалічні сонячні панелі, а отже вони є найбільш розповсюдженими. Їх ККД знаходиться на рівні від 12% до 14%.

Сонячні панелі з монокристаллами є більш дорогими та мають більший ККД, що знаходиться в межах від 14 до 16%.

Найбільший ККД мають тонкоплівкові сонячні панелі, що становить близько 25%. При цьому дані панелі мають найменшу ціну порівняно з вищезазначеними. При цьому їх не можна назвати конкурентами для монокристалічних чи полікристалічних панелей адже вони мають велику хрупкість, невеликий термін експлуатації та необхідність використання великої площі під монтаж.

Ефективна робота сонячних панелей в певній мірі залежить від рівня освітленості та температурного режиму в навколишньому середовищі. Потужність сонячних панелей доволі сильно залежить від габаритного розміру, ККД залежить від типу кристалів чи обраного фотоелектричного модуля. Ефективність роботи сонячної панелі залежить від обраного кута нахилу до сонячних променів, а також пори року та широти їх використання.

Сьогодні дослідженнями розроблено ефективність сонячних панелей залежно від їх розташування на території (рис. 1.5).

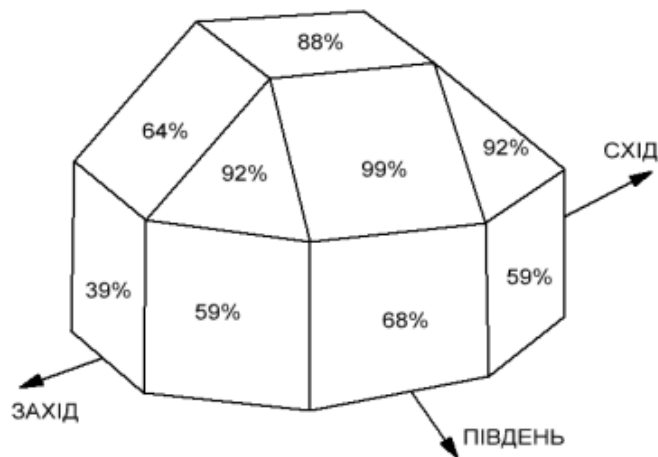


Рисунок 1.5 – Орієнтування сонячних панелей для отримання кращих показників роботи

За умови правильного орієнтування сонячних панелей їх ККД може зберігатись на рівні 90%. Фотоелементи сонячних панелей мають схильність до деградації. В результаті експлуатації сонячних панелей більше 25 років спостерігається їх деградація до рівня 15...20% від номінального значення. З



1	2
Значення напруги на відкритих зажимах, В	21,5
Струм КЗ, А	0,65
Значення напруги при максимальній величині потужності, В	17,5
Струм за умови максимальної потужності, А	0,57
Температурний коефіцієнт струму КЗ, %/°С	0,03
Температурний коефіцієнт напруги холостого ходу, %/°С	-0,4
Температурний коефіцієнт максимального значення потужності, %/°С	-0,44
Діапазон робочих температур, °С	-40...+80

Запропонований тип сонячних панелей на нашу думку є найбільш оптимальним для використання в подальших дослідженнях.

#### 1.4 Аналіз типів сонячних електростанцій для використання в приватних будинках

В приватних будинках можна використовувати фактично три типи сонячних електростанцій: мережеві, автономні та гібридні.

Найбільш простими є автономні сонячні електростанції. При цьому автономні сонячні електростанції виробляють електричну енергію, яку повністю відправляють на забезпечення живлення приватного будинку. Автономна сонячна електростанція не може забезпечити синхронну роботу з мережевою електричною енергією. Вироблена електрична енергія витрачається на живлення основних електричних приладів та на заряджання акумуляторних батарей (рис.1.6).



Рисунок 1.6 – Загальна схема сонячної електростанції автономного типу

Сонячна електростанція забезпечує виробіток електричної енергії в день, а отже і заряджання акумуляторних батарей виконується в цей період. Вночі живлення електричних приладів здійснюється від акумуляторних батарей.

Більш складнішою є мережева сонячна електростанція. Особливістю її роботи є синхронізація роботи сонячної електростанції та електричної мережі. При цьому за основне джерело використовується сонячна електростанція, а допоміжним джерелом є централізована електрична мережа (рис. 1.7).

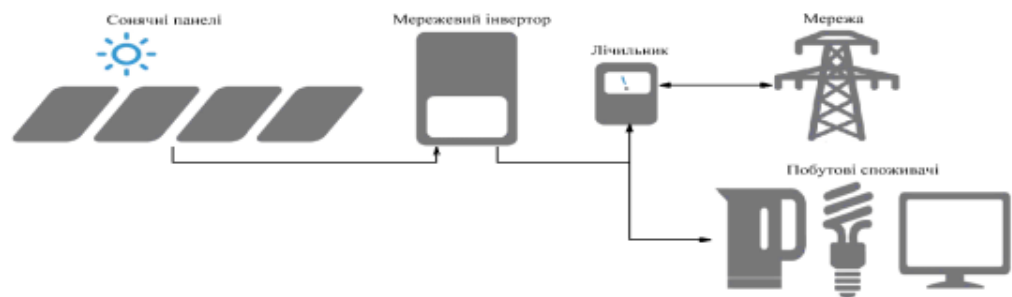


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд мережевої сонячної електростанції

Основною особливістю даної системи є відсутність системи акумулявання електричної енергії. особливістю роботи даної електростанції є те, що в день сонячна електростанція виробляє електричну енергію та живить електричні прилади приватного будинку. Надлишок електричної енергії відправляються в електричну мережу відповідно до зеленого тарифу.

В нічний час живлення електричних приладів приватного будинку виконується з електричної мережі.

Найбільш складною в реалізації процесу забезпечення електричною енергією є гідридні сонячні електростанції (рис. 1.8).

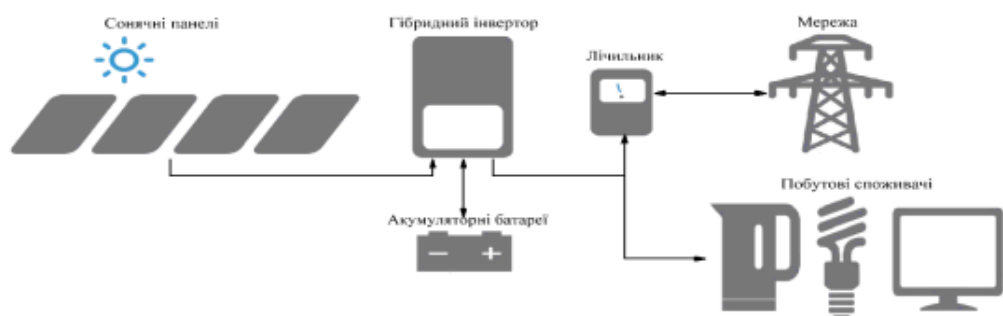


Рисунок 1.8 – Загальна будова гібридної сонячної електростанції

В гібридній електростанції основним джерелом живлення є сонячна електростанція. В денний час вироблена електрична енергія вироблена сонячними панелями передається на живлення електричних споживачів приватного будинку та заряджання акумуляторних батарей. Надлишок електричної енергії передається в електричну мережу за зеленим тарифом.

В нічний час роботи електричних споживачів приватного будинку забезпечується від акумуляторних батарей. При цьому є можливість також забезпечення споживання електричної енергії з електричної мережі.

Пропонується провести порівняльний аналіз вищенаведених сонячних електростанцій в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Порівняльна оцінка роботи різних типів сонячних електростанцій

Порівняльний параметр	Тип сонячної електростанції		
	автономний	мережевий	гібридний
Енергонезалежність приватного будинку	+	-	+
Захист приватного будинку від аварійних відключень	+	-	+
Зниження витрат на споживання електричної енергії з мережі	+	+	+
Можливість продажу електричної енергії в мережу	-	+	+
Затрати капіталовкладень	високі	низькі	середні
Термін окупності, років	-	10...15	10...15

Дані таблиці 1.6 дозволяють вибрати необхідну сонячну електростанцію для конкретних потреб та умов різних приватних будинків.

### Висновки до розділу

Враховуючи сучасні тенденції ринку електричної енергії виникає необхідність пошуку альтернативних джерел живлення для приватних будинків. При цьому найбільш ефективними є комбіновані системи з використанням сонячних панелей. Проведений аналіз основних типів сонячних електростанцій дозволяти обрати найбільш вигідну систему для конкретних умов різних приватних будинків.

## **2 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В АВТОНОМНІЙ КОМБІНОВАНІЙ СИСТЕМІ ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ**

### **2.1 Особливості роботи сонячних панелей з визначенням параметрів для вибору обладнання**

В більшості розрахунків сьогодні можна з легкістю прослідкувати об'єми виробленої електроенергії від сонячних електростанцій незалежно від їх комбінацій з іншими джерелами енергії. На сьогодні існує ряд різноманітних математичних методик визначення всіх показників сонячних електростанцій.

Всі розрахунки необхідно проводити для різних годин доби, місяців та пор року. При цьому можливо скласти річний план-графік виробництва електричної енергії.

Необхідно зазначити, що для формування різноманітних графіків генерації сонячних електростанцій можна використовувати різноманітне програмне забезпечення, що дозволить отримати данні з інвертора. При цьому програмного забезпечення на сьогодні доволі багато. Нами пропонується застосувати програмне забезпечення PV-syst. Даний продукт дозволяє проводити визначення даних виробітку сонячної енергії з можливістю подальшого аналізу отриманих даних.

Необхідно зазначити, що генерація електричної енергії протягом доби доволі сильно коливається, а також є сильне коливання залежно від пори року вимірювання. Фактично літні місяці є доволі продуктивними в плані виробітку електричної енергії сонячними електростанціями. При цьому зимові місяці мають значно менший відсоток виробітку електричної енергії сонячними панелями порівняно з літнім періодом. Для досліджень планується обрати середньорічне значення генерації електричної енергії. Так для Сумської області фактично можна взяти данні генерації електричної енергії за березень, адже фактично ці значення та коливання доволі близькі до усереднених.

Необхідно також вказати години сходу та заходу сонця в березні. Схід сонця в цей період проходив орієнтовно 6:00 – 7:00. При цьому захід відбувався в період 18:00 – 19:00. Виходячи з цього середнє значення світлового дня для генерування електричної енергії становить близько 11 годин на добу.

При застосуванні відповідного програмного забезпечення було отримано значення коефіцієнтів добового генерування в обраному місяці за умови відповідних погодних умов. Так дані коефіцієнти розглянуті нами в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів генерування електроенергії за годинами доби

Години доби	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Значення коефіцієнту генерування електроенергії	0	0,10	0,40	0,66	0,70	0,80	0,93	0,95	0,90	0,70	0,50	0,30	0,10	0

Коефіцієнти генерування електричної енергії було отримано для умов Сумської області станом на 2023 рік. Виходячи з даних коефіцієнтів генерування можна отримати кількість згенерованої електричної енергії обраними сонячними панелями. Для початку необхідною умовою є вибір типу сонячних панелей з подальшим визначенням потужності сонячної електростанції.

На сьогодні є декілька груп сонячних електростанцій, що розбиваються на основі їх потужностей. Так сонячні електростанції розбивають на три групи:

- сонячні електростанції потужністю до 10 кВт;
- сонячні електростанції потужністю до 20 кВт;
- сонячні електростанції потужністю до 30 кВт.

Виходячи з такого розподілу сонячних електростанцій відповідно до потужності та з існуючими значеннями коефіцієнтів погодинного генерування

електричної енергії можна визначити погодинний виробіток електричної енергії для кожної електростанції (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Аналіз генерування електроенергії сонячними електростанціями різних потужностей

Години доби	Генерація електричної енергії сонячними електростанціями, кВт·год		
	СЕС потужністю 10 кВт	СЕС потужністю 20 кВт	СЕС потужністю 30 кВт
06:00	0	0	0
07:00	1,0	2,0	3,0
08:00	4,0	8,0	12,0
09:00	6,6	13,2	19,8
10:00	7,4	14,8	22,2
11:00	8,7	17,4	26,1
12:00	9,3	18,6	27,9
13:00	9,5	19,0	28,5
14:00	9	18,0	27,0
15:00	7,2	14,4	21,6
16:00	5,0	10,0	15,0
17:00	3,0	6,0	9,0
18:00	1,5	3,0	4,5
19:00	0	0	0
Загальне значення генерації за добу	72,2	144,4	216,6

Для кращої наглядності пропонуємо дані таблиці 2.2 сформувані в вигляді графіку (рис. 2.1).

Виходячи з даних існує певний добовий пік виробітку електричної енергії сонячними електростанціями різних потужностей. Фактично даний пік припадає на 12:00 – 13:00 годину доби.

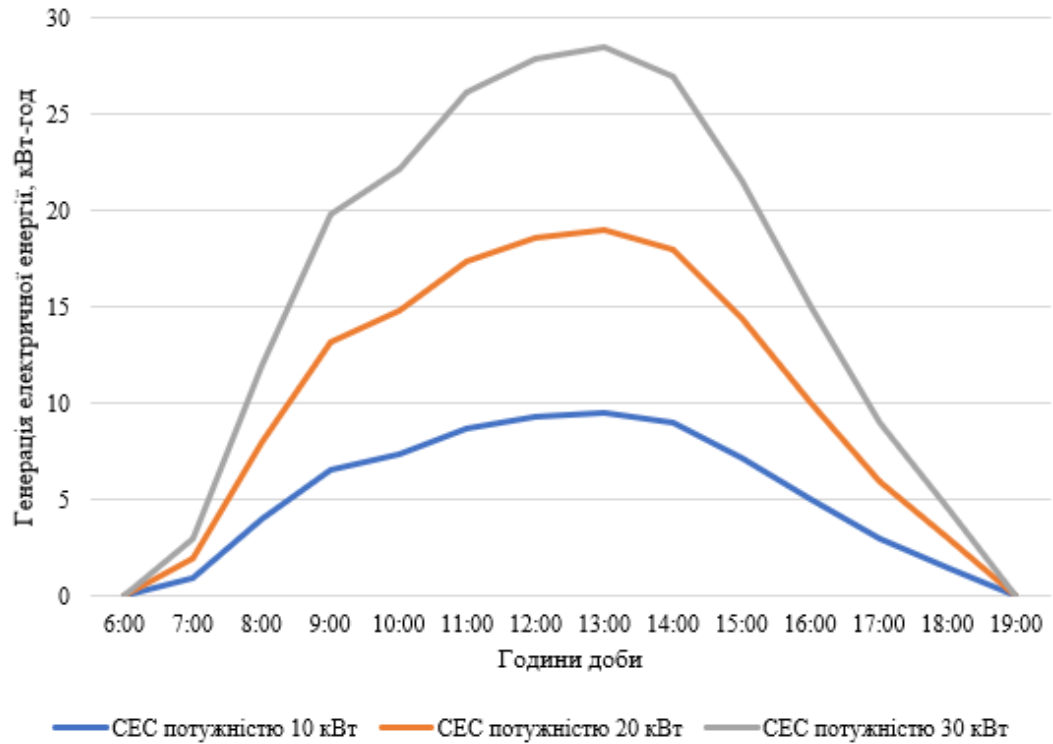


Рисунок 2.1 – Графік генерації електричної енергії сонячними електростанціями різної потужності

Графіки генерації електричної енергії сонячними електростанціями різних потужностей фактично однаковий, основна відмінність полягає в том, що є різна кількість електричної енергії, що виробляється даними типами сонячних електростанцій.

Необхідною умовою є подальшого аналізу є використання даних добового споживання електроенергії приватним будинком. Тож в результаті накладемо на графік рисунку 2.1 графік добового споживання електричної енергії (рис. 2.2).

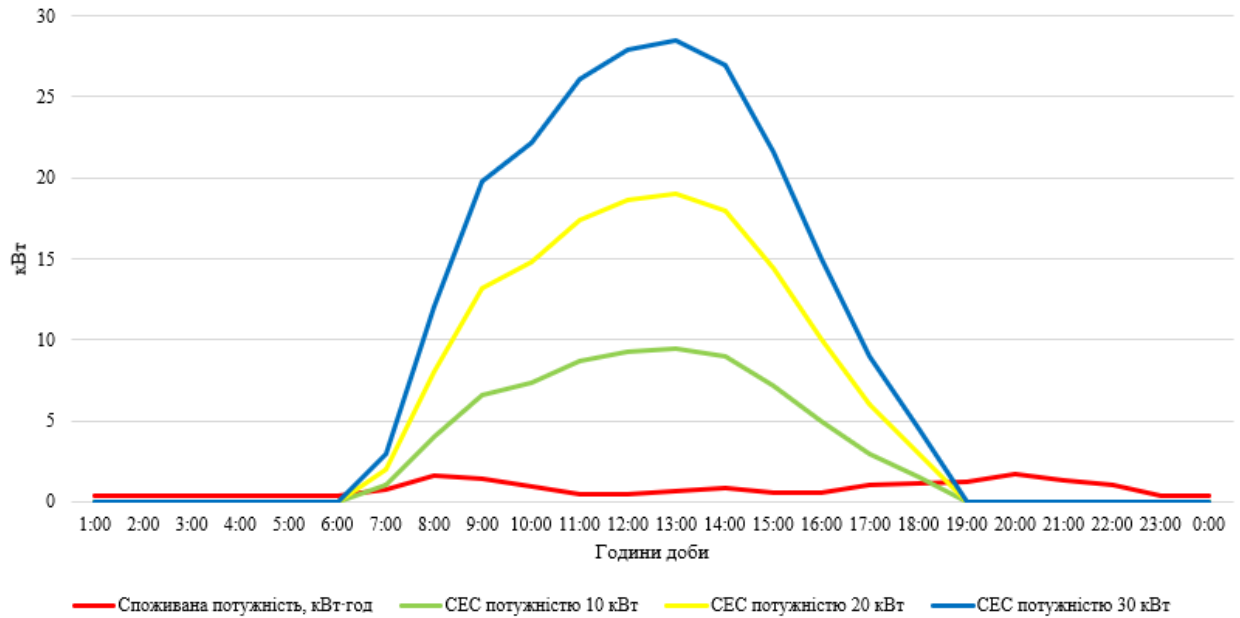


Рисунок 2.2 – Графік генерування електричної енергії сонячними електростанціями різного типу з врахуванням споживання електричної енергії

З графіку 2.2 видно, що виробництво електроенергії від сонячних електростанцій навіть мінімальної потужності дозволяє перекрити споживання електричної енергії приватним будинком. При цьому виникає можливість заряджання акумуляторних батарей в години з піковим виробітком електричної енергії від сонячних електростанцій.

При врахуванні умов для приватного будинку основною особливістю вибору потужності сонячної електростанції є забезпечення площі для встановлення необхідної кількості сонячних панелей. Виходячи з цього найбільш оптимальною потужністю для сонячних електростанцій приватного будинку є електростанції потужністю 10 кВт.

Виходячи з отриманих даних необхідною умовою є розрахунок середнього значення для генерування електроенергії від сонячної електростанції. Для проведення подібного розрахунку необхідно скористатись виразом:

$$E = \frac{I \cdot K_0 \cdot P_M \cdot K_B}{P_T}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (2.1)$$

де  $I$  – кількість сонячної енергії, що потрапляє на поверхню території, на якій проводиться аналіз,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ;

$K_0$  – значення поправочного перерахункового коефіцієнту для величини потоку радіації від сонця;

$P_M$  – загальна потужність всіх сонячних панелей, кВт;

$K_B$  – втрати в панелі при перетворенні та передачі;

$P_T$  – інтенсивність радіації від сонця при тестуванні фотомодуля,  $\text{Вт} / \text{м}^2$ .

Величина кількісного значення сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі в точці, що аналізується виконується на основі графічного аналізу даних. Вся територія України поділена на зони з різною інтенсивністю сонячної радіації. Виходячи з цього виникає можливість провести подальший аналіз. Також для визначення коефіцієнтів перерахунку сонячної енергії врахуємо данні залежності його від кута нахилу сонячних панелей та в залежності від відхилення за напрямом. Данні значення коефіцієнту наведено в таблиці Б1 додатку Б.

Виходячи з наведених даних та різних типів сонячних електростанцій проведемо їх розрахунок:

- СЕС 10 кВт:

$$E = \frac{1250 \cdot 1,13 \cdot 11,6 \cdot 0,9}{1} = 14747 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- СЕС 20 кВт:

$$E = \frac{1250 \cdot 1,13 \cdot 21,7 \cdot 0,9}{1} = 27586 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- СЕС 30 кВт:

$$E = \frac{1250 \cdot 1,13 \cdot 29 \cdot 0,9}{1} = 36866 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Виходячи з отриманих даних та особливостей розрахунку пропонується визначити генерацію сонячної енергії для кожного окремого місяця року (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Особливості генерування електричної енергії по місяцям року

Місяць року	Генерація електричної енергії сонячними електростанціями, кВт·год		
	СЕС потужністю 10 кВт	СЕС потужністю 20 кВт	СЕС потужністю 30 кВт
Січень	370,0	735,0	1103,0
Лютий	605,0	1209,0	1814,0
Березень	900,0	1811,0	2716,0
Квітень	1230,0	2461,0	3691,0
Травень	1686,0	3372,0	5058,0
Червень	1692,0	3384,0	5076,0
Липень	1732,0	3463,0	5195,0
Серпень	1543,0	3086,0	4630,0
Вересень	1100,0	2224,0	3336,0
Жовтень	690,0	1379,0	2069,0
Листопад	365,0	729,0	1094,0
Грудень	292,0	583,0	875,0
Загальна річна генерація електричної енергії, кВт·год	14051,0	26269,0	36657,0

Для наглядності розглянемо графічне зображення річної генерації електроенергії від СЕС різних потужностей (рис. 2.3).

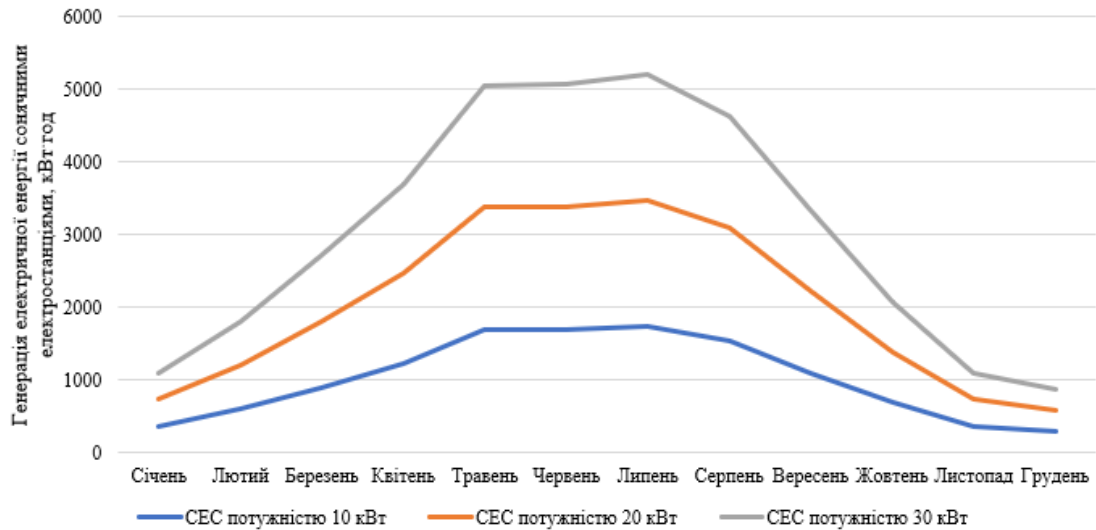


Рисунок 2.3 – Графік річного генерування електричної енергії сонячними електростанціями різних потужностей

Виходячи з аналізу доцільно також провести аналіз річного споживання електричної енергії з врахуванням місячних значень та з врахуванням особливостей генерації електричної енергії сонячними електростанціями різних потужностей. Враховуючи данні графіку (рис. 2.3) зведемо значення з врахуванням особливостей споживання електричної енергії (рис. 2.4).

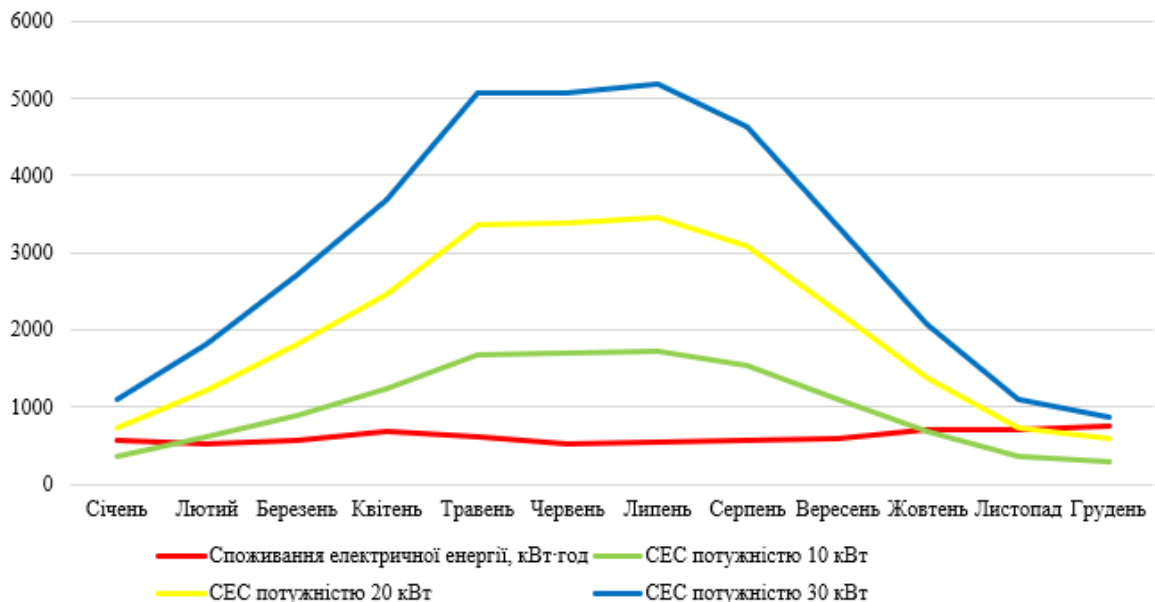


Рисунок 2.4 – Графік генерації електричної енергії від СЕС з врахуванням споживання електричної енергії приватним будинком

З рисунку 2.4 видно, що фактично всі типи сонячних електростанцій в повній мірі перекривають споживання електричної енергії приватним будинком. Але є місяці з незначною генерацією електричної енергії. в основному це зимові місяці, а отже в ці місяці необхідною умовою є забезпечення електропостачання від електричної мережі.

Виходячи з вище проведеного аналізу необхідною умовою є використання комбінованої системи електропостачання приватного будинку. При цьому необхідно обладнати її відповідно до схеми (рис. 1.8). Наступним кроком є аналіз особливостей вибору необхідного технологічного обладнання для даної комбінованої електростанції.

## **2.2 Аналіз та вибір необхідного обладнання для комбінованої системи електропостачання**

Для живлення будинку обрана комбінована система, схема якої наведена на рисунку 1.8. Отже живлення приватного будинку відбувається в основному від сонячної електростанції, акумуляторних батарей та електричної мережі. Постійний струм згенерований від сонячної електростанції подається на гібридний інвертор, який перетворює його на змінний струм та направляє до електричних споживачів приватного будинку. Надлишок згенерованої електричної енергії передається гібридним інвертором до акумуляторних батарей. В нічний час здійснюється споживання електричної енергії з акумуляторів. У випадку нестачі електричної енергії з акумуляторів гібридний інвертор перемикає на живлення з електричної мережі.

Для обліку електричної енергії використовується двонаправлений трифазний лічильник, що здійснює облік спожитої електричної енергії та вираховує різницю між спожитою та виробленою електричною енергією для продажу відповідно до зеленого тарифу.

Якщо виникає надлишок виробленої електричної енергії, що не спожита електричними приладами приватного будинку та не направлена на заряджання акумуляторних батарей продається в електричну мережу по зеленому тарифу. У випадку нестачі електричної енергії від сонячної

електростанції перемикається споживання з електричної мережі. При цьому також відбувається заряджання акумуляторів. Постійне підтримання заряду акумуляторів потрібне для зменшення циклів їх заряду-розряду, що продовжує термін їх експлуатації.

Регулювання живлення від різних джерел енергії виконується за допомогою пристроїв автоматичного вводу резерву.

Подальшим аналізом необхідно здійснювати вибір необхідного обладнання для комбінованих систем живлення. Пропонується виконати вибір обладнання для різних типів електростанцій відповідно до потужності.

Першочерговим кроком є вибір сонячних панелей, для електростанції. Пропонується обрати монокристалічні сонячні панелі фірми Longi Solar типу LR6-60, що мають потужність 290 Вт. Дані сонячні панелі є оптимальними по параметру ціна-якість. Технічні характеристики обраних сонячних панелей наведено в таблиці В1 додатку В.

Вибір кількості сонячних панелей здійснюється виходячи з обраної потужності комбінованої електростанції. Так відповідно до обраної потужності сонячних панелей для електростанції потужністю 10 кВт необхідно використати 40 панелей, для 20 кВт – 75 панелей та для 30 кВт – 100 панелей.

Знаючи приблизну потужність сонячної електростанції, можна визначитись з вибором мережевого інвертора для її роботи. Інвертор також пропонується підібрати відповідно до потужності комбінованої системи. Вибір інвертора виконується відповідно до умови:

$$P_{mi} \geq P_n, \quad (2.2)$$

Виходячи з даної умови для комбінованої системи потужністю 10 кВт пропонується обрати інвертор АВВ-PVI-12.5-TL-OUTD потужністю 12,5 кВт та ККД – 0,98. Даний інвертор забезпечує моніторинг роботи сонячних панелей через мережу інтернет.

Для комбінованої системи живлення приватного будинку потужністю 20 кВт пропонується обрати інвертор ABB-PowerOne-TRIO-22-TL-OUTD потужністю 22 кВт та ККД – 0,982. Даний мережевий інвертор застосовується для комерційної генерації електричної енергії.

Для комбінованої системи живлення приватного будинку потужністю 30 кВт пропонується обрати мережевий інвертор ABB-PRO-33-TL-OUTD потужністю 33 кВт та ККД – 0,982.

Технічні характеристики обраних мережевих інверторів наведено в таблиці В2 додатку В. При цьому необхідно зазначити, що вибір інверторів типу АВВ для всіх потужностей комбінованої системи живлення пов'язаний з високим ступенем захищеності та високими значеннями ККД.

Для забезпечення ефективного обліку електричної енергії спожитої з мережі чи проданої за зеленим тарифом в мережу необхідно провести вибір лічильників. Для всіх типів комбінованих систем пропонується обрати лічильник типу МТХ3 MATRIX АММ. Технічні характеристики даного лічильника наведено в таблиці В3 додатку В. Даний тип лічильника працює з електричною мережею 0,4-35 кВт.

Обраний лічильник здійснює багатотарифний розрахунок споживання як активної так і реактивної електричної енергії з можливістю дистанційного керування. Дистанційне керування лічильником та доступ доданих забезпечується вбудованим PLC модулем. Передача сигналів здійснюється по каналам GSM чи RS-485.

Необхідно також врахувати необхідну кількість системи кріплень для сонячних панелей кожного типу комбінованих систем. Так для всіх комбінованих систем пропонується обрати систему кріплень з анодованого алюмінію. Загальну кількість та перелік необхідних кріплень наведено в таблиці В4 додатку В.

При виконанні монтажних робіт необхідною умовою є вибір кабелів та їх довжини. Необхідно обрати спеціальний кабель, для сонячних панелей різної потужності. Для роботи з сонячними панелями пропонується обрати кабель типу Longi Solar перерізом 10 мм. Для з'єднання даних кабелів

пропонується обрати конектори типу МС-4. Даний тип конвертора є герметичним та швидко з'ємним. Необхідна кількість конекторів та довжина кабелів для різних типів комбінованих систем за потужністю наведено в таблиці В5 додатку В.

Фактично завершаючим обладнанням є вибір приладу АВР. Так пропонується обрати АВР типу СТАВР для всіх типів комбінованих систем різних потужностей. Технічні характеристики обраного АВР наведено в таблиці В6 додатку В.

Вибір акумуляторних батарей здійснюється відповідно до потужності комбінованої системи живлення приватного будинку. Особливістю вибору акумуляторних батарей є забезпечення параметрів роботи електричної мережі з номінальним значення напруги 380 В та кількістю фаз – 3. Також необхідно враховувати можливість автоматичного та ручного керування.

### **Висновки до розділу**

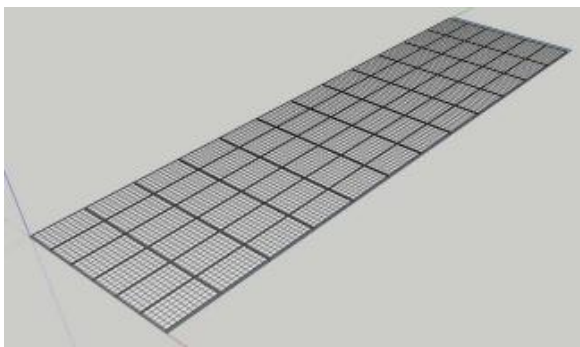
Аналіз отриманих теоретичних значень генерації електричної енергії підтверджує ефективність використання комбінованих систем на базі сонячних електростанцій. При цьому необхідно враховувати реальні значення генерації електричної енергії сонячними електростанціями. В результаті аналізу оптимальною потужністю комбінованої системи живлення приватного будинку обрано сонячну електростанцію потужністю 10 кВт. Обране обладнання можна використовувати для комбінованих систем різної потужності.

### **3 ФАКТИЧНІ ЗНАЧЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ**

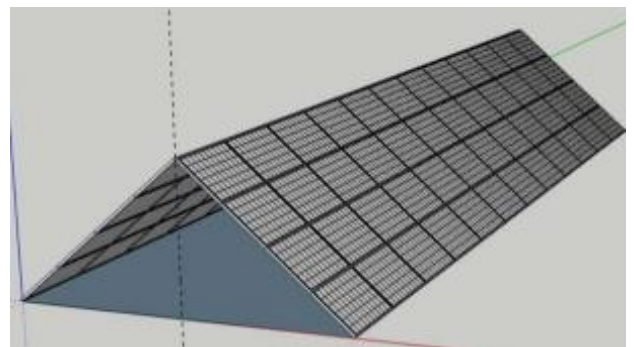
Основною проблемою є використання комбінованих систем на основі сонячних електростанцій є підвищення їх продуктивності відповідно до регіону використання. Також необхідно враховувати спрямування сонячних електростанцій в південному напрямку для підвищення рівня ефективності їх роботи.

Додатково пропонується провести дослідження декількох варіантів розташування сонячних панелей в двох напрямках. При цьому планується використання сонячних панелей в двох напрямках: орієнтованих на схід та орієнтованих на захід.

В більшості сонячних електростанцій виконано встановлення сонячних панелей в одному напрямку – східному. При такому розташуванні фактично втрачається доволі велика кількість сонячного опромінення при заході сонця. Класична схема розташування та запропонована схема розташування наведено на рисунку 3.1.



а



б

а – розташування сонячних панелей в східному напрямку; б – розташування сонячних панелей в східному та західному напрямках.

Рисунок 3.1 – Схеми розташування сонячних панелей

Теоретичними значеннями виробітку електричної енергії підтверджено використання їх в даному регіоні, але при цьому не враховувано особливості

погодних умов. На сьогодні стаціонарно закріплені сонячні панелі електростанцій в основному направлені в напрямку сходу сонця, а отже на заході вони фактично є неактивними. В результаті такого розташування фактично повністю відсутність генерації електроенергії при заході сонця.

Вирішення даного питання за умови стаціонарного використання сонячних панелей є встановлення їх рівної кількості на схід та захід сонця (рис 3.1). Подібне рішення по перше є більш ефективним в плані виробітку електричної енергії, а по друге дозволяє збільшити кількість виробленої електричної енергії.

Для порівняння проведемо дослідження для двох сонячних електричних станцій одна з яких буде повністю орієнтована лише на схід, а друга буде орієнтована одразу в двох напрямках: перша частина на схід сонця, а друга частина на захід.

Розглянемо графік витрат електричної енергії приватним будинком на рівні 4 кВт·год за умови розташування одного ряду в напрямку сходу сонця (рис. 3.2).

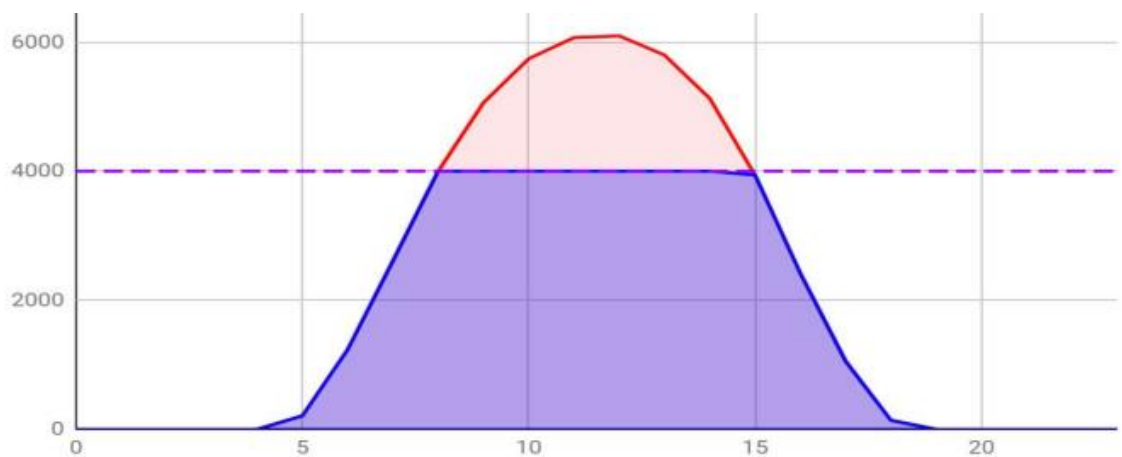


Рисунок 3.2 – Графік витрат електричної енергії за умови значного спрямованості сонячних панелей на південь

Виходячи з рисунку 3.2 бачимо, що порівняно з теоретичними графіками генерації електричної енергії спостерігається певний зсув максимуму виробітку електричної енергії від сонячних панелей.

Графік виробітку електричної енергії сонячними панелями рівно направленими на схід та захід наведено на рисунку 3.3.

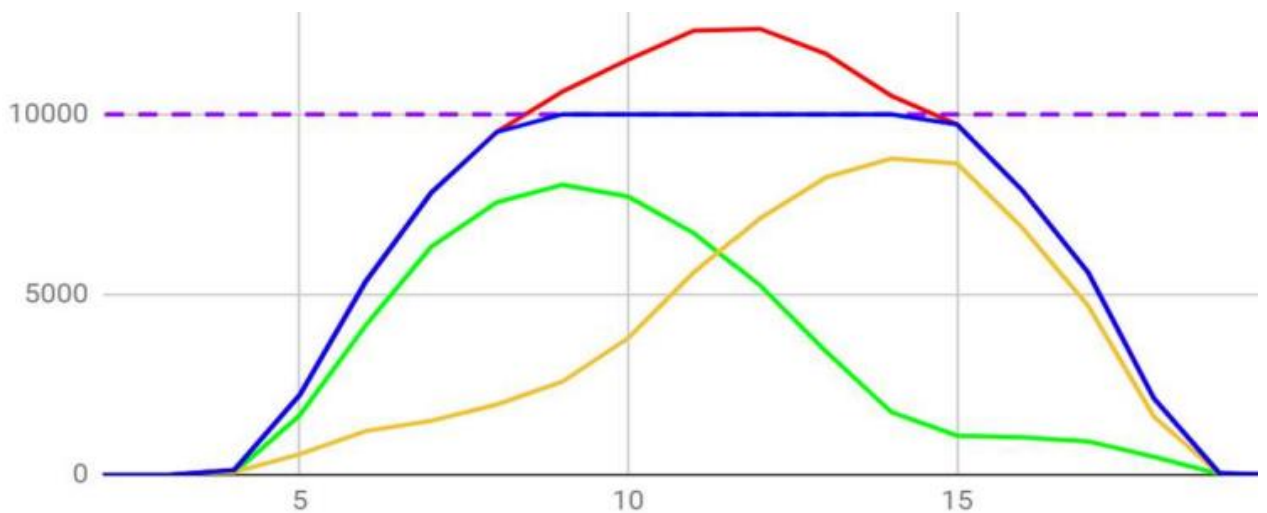


Рисунок 3.3 – Денна генерація сонячної електростанції з рівно направленими панелями на схід та захід

Враховуючи теоретичні особливості кривих є значна ефективність використання різнонаправлених сонячних панелей на схід та захід. Отриманий в результаті графік є теоретично більш згладженою порівняно з попереднім графіком виробітку електричної енергії від східно-направленої сонячної електростанції.

В результаті реальні показники роботи сонячної електростанції орієнтованої на схід отримано графік виробітку електричної енергії (рис. 3.4).

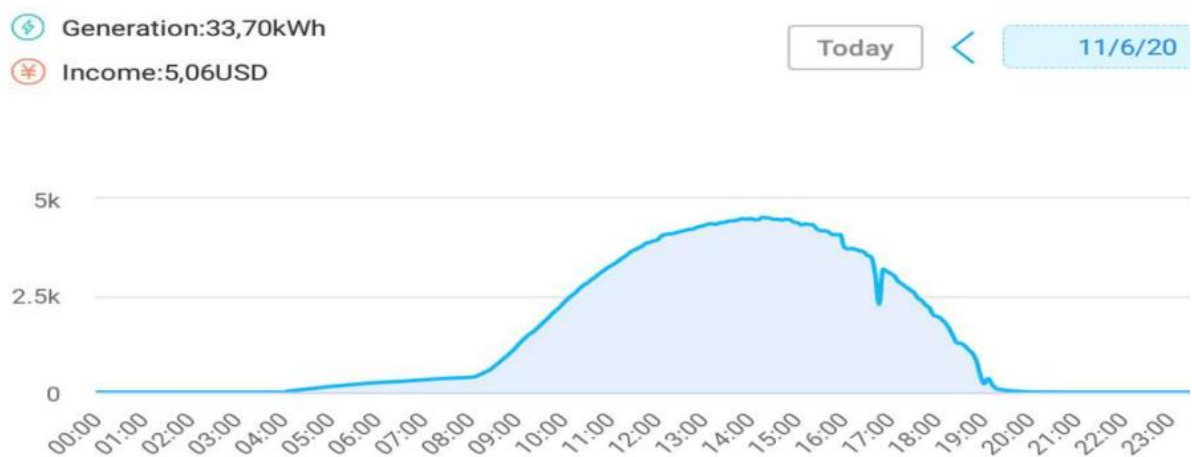


Рисунок 3.4 – Графік генерації електричної енергії від сонячних панелей орієнтованих на схід сонця

Для порівняння пропонуємо порівняти графік (рис. 3.4) з отриманим подібним графіком для сонячної електростанції з сонячними панелями рівно направленими на схід та захід сонця відповідно до рисунку 3.1, б. В результаті отримано графік (рис. 3.5).

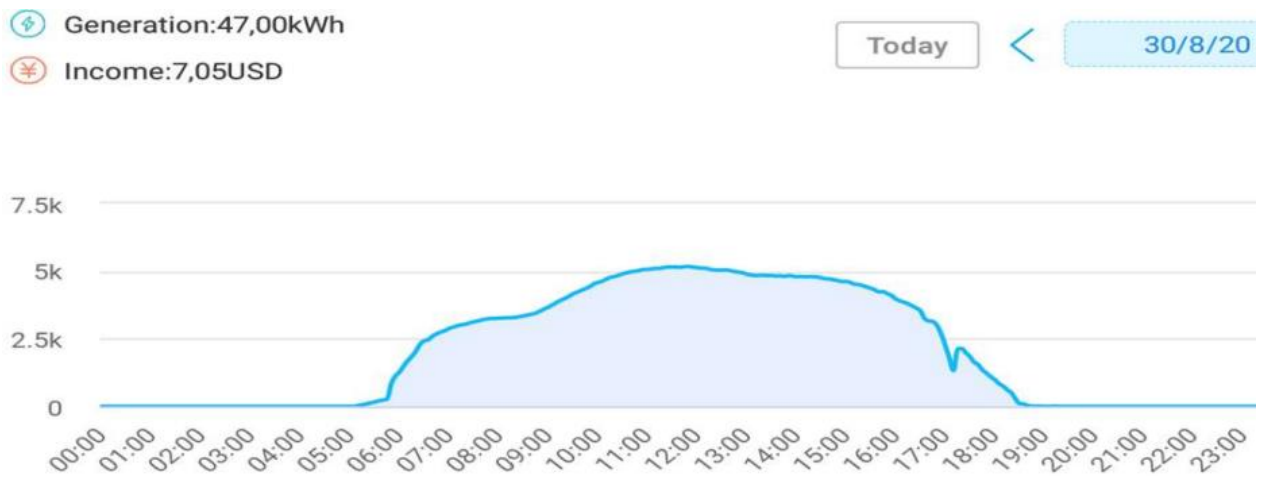


Рисунок 3.5 – Графік генерації електричної енергії від сонячних панелей рівно направлених на схід та захід сонця

В результаті отриманих даних бачимо, що є певна ефективність рівно направлених сонячних панелей, що дозволяє більш ефективно отримувати електричну енергію протягом доби, а отже є певна ефективність даного рішення. Необхідно зазначити, що від рішення по розміщенню сонячних панелей спостерігається доволі значний перепад по стабільності генерації електричної енергії.

### Висновки до розділу

В результаті досліджень отримано підтвердження ефективності використання сонячних електростанцій в комбінованій системі. При цьому найбільш ефективним рішенням є орієнтування сонячних панелей. При цьому стаціонарно розташовані сонячні панелі мають певне часове обмеження по ефективності їх роботи. Для підвищення подібних сонячних електростанцій пропонується рівно зорієнтувати сонячні панелі на схід та захід Сонця. Дане рішення є найбільш ефективне в порівнянні з різними сонячними електростанціями.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Електрична енергія та особливості її генерації та подальшого розподілу потребують доволі великих зусиль по забезпеченню заходів охорони праці та енергобезпеки. При цьому відновлювальна енергетика може бути як промисловою так і приватною.

Промислова відновлювальна енергетика влаштована таким чином, що обслуговується та експлуатується фактично з використанням висококваліфікованих фахівців. Також при цьому доволі сильно дотримуються заходів з охорони праці та техніки безпеки. Всі фахівці, що працюють на подібних підприємствах мають відповідний рівень освіти та всі необхідні знання. При цьому дані фахівці в повній мірі проходять перевірку знань з питань охорони праці та електробезпеки. Виконання всіх робіт проводиться відповідно вчасно та високо кваліфіковано.

Виходячи з цього за умови дотримання всіх заходів з охорони праці виникає можливість фактичного повного уникнення травмонебезпечних ситуацій чи летальних випадків на виробництві.

Дещо іншою є ситуація з відновлювальною енергетикою в приватній власності. Фактично всі операції з обслуговування, експлуатації та проведення ремонтів повністю лягає на власника сонячної електростанції.

Виходячи з такої проблематики необхідно зазначити, що власники не завжди є кваліфікованими в галузі енергетики, а отже і провести кваліфікований ремонт не завжди можуть. Для проведення подібних операцій доводиться наймати відповідні фірми, що повинні в першу чергу виконати операції монтажу, налагоджування та запуску в роботу сонячних електростанцій.

Необхідно зазначити, що подібні дії можуть не завжди виконуватись вчасно чи якісно. При цьому можуть виникати певні проблеми з враженням жителів приватного будинку електричним струмом. При цьому можуть також виникати пожежонебезпечні ситуації через короткі замикання в системах.

Також необхідно додатково враховувати особливості обслуговування та експлуатації акумуляторного обладнання. В приватному будинку доступ до обладнання сонячної електростанції повинен бути обмежений. Все електротехнічне обладнання повинно знаходитись в окремому приміщенні. Дане приміщення не повинно бути захламленим та повинно бути забезпечене відповідними вогнегасниками чи іншими засобами пожежогасіння.

Іншою проблемою є кваліфіковане очищення сонячних панелей та технічне обслуговування різного обладнання. В більшості випадків подібні операції повинні надаватись монтажною компанією за умови підписання договору про ці види робіт.

Зазначимо, що в приватному будинку з встановленими сонячними електростанціями у відповідності до проекту забороняється самовільно вносити зміни в електрообладнання сонячної електростанції чи змінювати схеми підключення. Також забороняється збільшувати кількість сонячних панелей та підвищувати потужність електростанції без відповідного проекту, адже це може привести до того, що обладнання може не витримати навантаження та прийти в несправність або навіть спричинити загорання.

Виходячи з цього найбільш проблематичне використання сонячних електростанцій є саме в приватних будинках. Крім небезпек пов'язаних з електричною енергією та можливими пожежами на жителів будинку діють доволі потужні магнітні поля через значну кількість різноманітного електрообладнання в приміщенні.

### **Висновки до розділу**

Виходячи з проведеного аналіз небезпечних факторів та різного роду небезпек, можна зробити висновок, що більш проблемними в плані охорони праці є сонячні електростанції саме приватних будинків адже вони не завжди отримують відповідного кваліфікованого нагляду та подальшого обслуговування.

## 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для економічної оцінки запропонованих рішень пропонується провести розрахунки затрат капіталовкладень, затрат на проведення різних робіт та з визначенням термінів окупності для сонячних електростанцій. При цьому пропонується провести визначення показників для сонячних електростанцій різних потужностей. При цьому пропонується провести розрахунки для комбінованих систем потужністю 10 кВт з річним значенням виробітку електричної енергії сонячною електростанцією на рівні 14051 кВт·год. Для комбінованої системи потужністю 20 кВт річне значення генерації становить 26262 кВт·год. Для комбінованої електростанції потужністю 30 кВт річне значення генерації становить 36657 кВт·год.

Відповідно також пропонується обрати вартість сонячних електростанцій різних потужностей на рівні:

- 10 кВт – 288050 грн;
- 20 кВт – 576100 грн;
- 30 кВт – 864150 грн.

Вартість обладнання взято з умови обраного вище обладнання та його кількості.

В результаті загальна кількість затрат на закупівлю, проведення монтажу та подальшого налагоджування:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} \quad (5.1)$$

де  $K_{\text{об}}$  – вартість всього обладнання комбінованої системи річної потужності, грн;

$Z_{\text{тзс}}$  – вартість для проведення транспортних робіт та подальшого зберігання на складах, грн;

$Z_{\text{м}}$  – вартість проведення робіт з монтажу комбінованих систем різної потужності, грн;

$Z_H$  – вартість налагоджувальних робіт, грн.

Вартість проведення всіх вище перерахованих операцій можна розрахувати з рівняння:

$$Z = \sum(C \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{сз} \cdot K_{пр} \quad (5.2)$$

де  $C$  – кількість працівників для кожного виду робіт, чел;

$a$  – величина тарифної ставки, грн/год;

$K_d, K_{сз}, K_{пр}$  величина коефіцієнтів відповідно доплат, соцвитрат та додаткових робіт на електростанціях.

Проведемо визначення затрат для основних видів робіт. Так для проведення монтажних робіт комбінованою системою потужністю 10 кВт задіяно фактично 4 працівники, з робочим часом – 40 год. Така ж кількість працівників задіяна для монтажу комбінованих систем потужністю 20 кВт та 30 кВт, але робочий час для них становить 80 год та 120 годин відповідно. В результаті отримаємо:

$$Z_M^{10\text{кВт}} = 4 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 6\,653 \text{ грн}$$

$$Z_M^{20\text{кВт}} = 4 \cdot 30 \cdot 80 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 13\,527 \text{ грн}$$

$$Z_M^{30\text{кВт}} = 4 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 20\,291 \text{ грн}$$

Проведення налагоджувальних робіт виконують 2 працівники. При цьому робочий час комбінованої системи 10 кВт становить 8 год, для 20 кВт – 14 год, для 30 кВт – 24 год.

$$Z_H^{10\text{кВт}} = 2 \cdot 52 \cdot 8 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 1\,172 \text{ грн}$$

$$Z_H^{20\text{кВт}} = 2 \cdot 52 \cdot 14 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 2\,052 \text{ грн}$$

$$Z_H^{30\text{кВт}} = 2 \cdot 52 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 3\,517 \text{ грн}$$

Відповідно до проведення транспортних робіт та зберігання становить приблизно однакове значення для всіх комбінованих систем  $Z_{\text{тзс}} = 20\,000$  грн.

Виходячи з цього проведемо розрахунок загальних затрат відповідно до рівняння (5.1) для всіх комбінованих систем різної потужності:

$$K_{\text{пр}}^{10\text{кВт}} = 288050 + 20000 + 6653 + 1172 = 315\,875 \text{ грн}$$

$$K_{\text{пр}}^{20\text{кВт}} = 576100 + 20000 + 13527 + 2052 = 611\,680 \text{ грн}$$

$$K_{\text{пр}}^{30\text{кВт}} = 864150 + 20000 + 20291 + 3517 = 907\,958 \text{ грн}$$

Термін окупності можна визначити з рівняння:

$$T_o = \frac{K_{\text{пр}}}{(E_{\text{г}} - E_{\text{п}})C_{\text{зт}}} \quad (5.3)$$

де  $E_{\text{г}}$  – річний виробіток електричної енергії, кВт·год;

$E_{\text{п}}$  – річне споживання приватним будинком електричної енергії, кВт·год;

$C_{\text{зт}}$  – вартість електроенергії за зеленим тарифом, що діє станом на 2024 рік,  $C_{\text{зт}} = 4,81$  грн/кВт · год.

Кількість спожитої електричної енергії приватним будинком наведено в таблицях першого розділу. Для розрахунків беремо річне значення показника споживання електричної енергії, що становить 7326,4 кВт·год.

$$T_o^{10\text{кВт}} = \frac{315875}{(14051 - 7326,4) \cdot 4,81} = 9,8 \text{ років}$$

$$T_o^{20\text{кВт}} = \frac{611680}{(26262 - 7326,4) \cdot 4,81} = 6,7 \text{ років}$$

$$T_o^{30\text{кВт}} = \frac{907958}{(36657 - 7326,4) \cdot 4,81} = 6,4 \text{ років}$$

Виходячи з отриманих даних терміну окупності для приватного будинку, що має певне річне споживання має доволі великі терміни окупності комбінованих систем. При цьому чим більша потужність сонячної електростанції тим меншим термін її окупності.

Для полегшення проведення аналізу зведемо отримані дані до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Економічні показники комбінованих систем

Показник	СЕС потужністю 10 кВт	СЕС потужністю 20 кВт	СЕС потужністю 30 кВт
Річне генерування електричної енергії сонячною електростанцією приватного будинку, кВт·год	14051	26262	36657
Вартість обладнання комбінованої системи, грн	288050	576100	864150
Затрати на проведення монтажних робіт, грн	6653	13527	20291
Затрати на проведення налагоджувальних робіт, грн	1172	2052	3517
Загальна вартість обладнання та всіх видів робіт, грн	315875	611680	907958
Термін окупності, років	9,8	6,7	6,4

### Висновки до розділу

Виходячи з отриманих даних бачимо, що є доволі велика ефективність використання запропонованих комбінованих систем електропостачання. При цьому більш потужні сонячні електростанції можуть окупитись значно швидше, порівняно з 10 кВт комбінованої системи.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Враховуючи сучасні тенденції ринку електричної енергії виникає необхідність пошуку альтернативних джерел живлення для приватних будинків. При цьому найбільш ефективними є комбіновані системи з використанням сонячних панелей. Проведений аналіз основних типів сонячних електростанцій дозволяти обрати найбільш вигідну систему для конкретних умов різних приватних будинків.

2. Аналіз отриманих теоретичних значень генерації електричної енергії підтверджує ефективність використання комбінованих систем на базі сонячних електростанцій. При цьому необхідно враховувати реальні значення генерації електричної енергії сонячними електростанціями. В результаті аналізу оптимальною потужністю комбінованої системи живлення приватного будинку обрано сонячну електростанцію потужністю 10 кВт. Обране обладнання можна використовувати для комбінованих систем різної потужності.

3. В результаті досліджень отримано підтвердження ефективності використання сонячних електростанцій в комбінованій системі. При цьому найбільш ефективним рішенням є орієнтування сонячних панелей. При цьому стаціонарно розташовані сонячні панелі мають певне часове обмеження по ефективності їх роботи. Для підвищення подібних сонячних електростанцій пропонується рівно зорієнтувати сонячні панелі на схід та захід Сонця. Дане рішення є найбільш ефективне в порівнянні з різними сонячними електростанціями.

4. Виходячи з проведеного аналізу небезпечних факторів та різного роду небезпек, можна зробити висновок, що більш проблемними в плані охорони праці є сонячні електростанції саме приватних будинків адже вони не завжди отримують відповідного кваліфікованого нагляду та подальшого обслуговування.

5. Виходячи з отриманих даних бачимо, що є доволі велика ефективність використання запропонованих комбінованих систем

електропостачання. При цьому більш потужні сонячні електростанції можуть окупитись значно швидше, порівняно з 10 кВт комбінованої системи.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. N. Shakhovska, M. Medykovskyu, R. Melnyk та N. Kryvinska, «Optimization of the Active Composition of the Wind Farm Using Genetic Algorithms,» Tech Science Press (TSP), т. 69, № 3, pp. 3065-3078, 2021.
2. M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Modeling of the energy-dynamic modes of the wind farm with the battery energy storage system (BESS),» Journal of Computational Problems of Electrical Engineering, т. 11, № 1, 2021.
3. М. Медиковський, Р. Мельник та М. Дубчак, «Нейромережевий метод визначення активного складу вітрової електричної станції,» Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі», т. 8, р. 55 – 64, 2020.
4. M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Processing of data on the intensity of solar radiation for solar power plant management systems,» Econtechmod. An international quarterly journal, т. 7, № 3, pp. 33 - 38, 2018.
5. V. Kravchyshyn, M. Medykovskyu, R. Melnyk та M. Dilai, «Optimization of wind farm structure control,» Advances in Intelligent Systems and Computing CSIT, т. 689, pp. 320-333, 2017.
6. V. Kravchyshyn, M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Modification of Dynamic Programming Method in Determining Active Composition of Wind Power Stations,» Computational problems of electrical engineering, № Vol. 6, pp. 83-90, 2016.
7. Р. Мельник, «Аналіз алгоритмів оцінювання ефективності сонячних електростанцій,» в 10 Міжнародна науково практична конференція «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернатива первинним джерелам енергії в регіоні», м. Львів, Україна, 2019.
8. Г. Шмідт, А. Конеченков, М. Ільчук та М. Гріцишина, «Вітроенергетичний сектор України 2018. Огляд ринку,» Українська вітроенергетична асоціація, 2019.

9. С. Кудря, Л. Яценко та Г. Душина, Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2008.
10. О. Кармазін, Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики. Автореферат, Київ: Національної академії наук України, 2019.
11. В. Павловський, Л. Лук'яненко, І. Гончаренко та А. Захаров, «Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умови приєднання до електричної мережі,» Праці ІЕД НАНУ, № 43, pp. 18-23, 2016.
12. П. Лежнюк, В. Комар та С. Кравчук, Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями: монографія, Вінниця: ВНТУ, 2018.
13. І. Щур та В. Климко, «Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної системи для електропостачання окремого об'єкта. Електромеханічні і енергозберігаючі системи,» Електромеханічні і енергозберігаючі системи, № 2, pp. 92-100, 2014.
14. М. Кузнєцов, О. Лисенко та О. Мельник, «Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ,» Відновлювана енергетика, № 2, pp. 6-15, 2018.
15. М. Кузнєцов та О. Лисенко, «Оцінка балансу потужності комбінованих енергосистем,» Відновлювана енергетика, № 4, pp. 6-14, 2018.
16. М. Стаднік, Д. Проценко та С. Бабій, «Гібридне електропостачання з 161 використанням відновлюваних джерел енергії,» Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 4, pp. 32-41, 2020.
17. О. Болдирєв, А. Квицинський, М. Редін, М. Клопот та М. Головатюк, «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України,» 2019. [Онлайновий]. Available: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/06/SOUNEK-341.001\\_2019.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/06/SOUNEK-341.001_2019.pdf). [Дата звернення: 06.06.2021].
18. М. Кулик та О. Згуровець, «Можливості використання великих накопичувачів електроенергії для стабілізації частоти в об'єднаних

енергосистемах з потужними сонячними електростанціями,» Відновлювана енергетика, № 3, р. 6–14, 2018.

19. А. Барило, М. Бенменні, В. Бурдюк, М. Бурдюк та П. Васько, Відроджувальні джерела енергії. Монографія, Київ, 2020.

20. В. Кравчишин, Інтелектуалізація управління комплексною системою генерації електричної енергії, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019.

21. О. Ємець та Л. Колечкіна, Ємець О.О. Задачі комбінаторної оптимізації з дробово-лінійними цільовими функціями: Монографія, Київ: Наук. думка., 2005.

22. М. Медиковский та О. Шуневич, «Виконання цілочисельного програмування для визначення складу вітрової електростанції,» Збірник 164 наукових праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, т. 57, рр. 230-233, 2010.

23. О. Шуневич, Інформаційна технологія формування динамічного складу вітрової електростанції, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2013.

24. М. О. Medykovskyy, V. M. Teslyuk та О. В. Shunevych, «Optimization of wind power stations structure by the dynamic programming method,» Актуальні проблеми економіки, № 2, рр. 508-515, 2014.

25. А. Кожухівський та О. Намофілова, «Застосування генетичних алгоритмів у задачі про укладання ранця,» АСУ и приборы автоматики, № 173, рр. 43-47, 2015. 165

26. М. Кузнєцов та О. Лисенко, «Можливості короткотермінового прогнозування сонячної енергії,» Відновлювана енергетика, № 1, рр. 25- 32, 2017.

27. М. Бик, С. Фроленкова, О. Букет та Г. Васильєв, «Технічна електрохімія. Частина 2. Хімічні джерела струму,» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2018.

## ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Аналіз особливостей формування тарифних планів

Період часу	Тариф	Період часу	Значення для тарифу	
2019 р.	<b>Фіксований тариф на електроенергію для населення</b>			
	Базовий	цілодобово	< 100 кВт	0,90
			> 100 кВт	1,68
	<b>За двозонними тарифами</b>			
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,5	
	Денний	7:00 – 23:00	базовий тариф	
	<b>За тризонними тарифами</b>			
	Максимальне навантаження енергосистеми	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00	тарифний коефіцієнт 1,5	
	Напівпіковий	7:00 – 8:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	базовий тариф	
Нічний			23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,4
2020 р.	<b>Фіксований тариф на електроенергію для населення</b>			
	Базовий	цілодобово	< 100 кВт	0,90
			> 100 кВт	1,68
	<b>За двозонними тарифами</b>			
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,5	
	Денний	7:00 – 23:00	базовий тариф	
	<b>За тризонними тарифами</b>			
	Максимальне навантаження енергосистеми	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00	тарифний коефіцієнт 1,5	
	Напівпіковий	7:00 – 8:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	базовий тариф	
Нічний			23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,4
2021 р.	<b>Фіксований тариф на електроенергію для населення</b>			
	Базовий	цілодобово	< 250 кВт	1,44
			> 250 кВт	1,68
	<b>За двозонними тарифами</b>			
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,5	
	Денний	7:00 – 23:00	базовий тариф	
	<b>За тризонними тарифами</b>			
	Максимальне навантаження енергосистеми	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00	тарифний коефіцієнт 1,5	
	Напівпіковий	7:00 – 8:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	базовий тариф	
Нічний			23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,4
2022 р.	<b>Фіксований тариф на електроенергію для населення</b>			
	Базовий	цілодобово	< 250 кВт	1,44
			> 250 кВт	1,68
Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,5		

<b>Період часу</b>	<b>Тариф</b>	<b>Період часу</b>	<b>Значення для тарифу</b>
	Денний	7:00 – 23:00	базовий тариф
	<i>За тризонними тарифами</i>		
	Максимальне навантаження енергосистеми	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00	тарифний коефіцієнт 1,5
	Напівпіковий	7:00 – 8:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	базовий тариф
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,4
2023 р.	<i>Фіксований тариф на електроенергію для населення</i>		
	Базовий	цілодобово	2,64
	<i>За двозонними тарифами</i>		
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,5
	Денний	7:00 – 23:00	базовий тариф
	<i>За тризонними тарифами</i>		
	Максимальне навантаження енергосистеми	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00	тарифний коефіцієнт 1,5
	Напівпіковий	7:00 – 8:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	базовий тариф
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,4
2024 р.	<i>Фіксований тариф на електроенергію для населення</i>		
	Базовий	цілодобово	4,32
	<i>За двозонними тарифами</i>		
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,5
	Денний	7:00 – 23:00	базовий тариф
	<i>За тризонними тарифами</i>		
	Максимальне навантаження енергосистеми	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00	тарифний коефіцієнт 1,5
	Напівпіковий	7:00 – 8:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	базовий тариф
	Нічний	23:00 – 7:00	тарифний коефіцієнт 0,4

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б1 – Коефіцієнти перерахунку сумарного потоку сонячної енергії

		Відхилення від південного напрямку																			
		-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	
Кут нахилу сонячних панелей	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1	1	1	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	
	10	0,99	1	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	
	15	0,98	0,99	1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,04	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,1
	20	0,97	0,98	1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,03	1,09	1,09	1,1	1,1	1,11	1,11	1,11	1,11	1,01
	25	0,96	0,97	0,99	1	1,02	1,03	1,05	1,05	1,07	1,08	1,09	1,1	1,1	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
	30	0,94	0,96	0,98	1	1,01	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,1	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
	35	0,93	0,95	0,97	0,99	1	1,02	1,04	1,05	1,07	1,06	1,09	1,1	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13	1,03
	40	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,1	1,1	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13
	45	0,88	0,91	0,93	0,96	0,98	1	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,09	1,1	1,1	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12
	50	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,1	1,1	1,1	1,1	1,11
	55	0,85	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
	60	0,82	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,85	1	0,98	1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06
	65	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	0,99	1	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
	70	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
	75	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95
	80	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,89	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
85	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,89	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
90	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,79	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	

## ДОДАТОК В

Таблиця В1 – Технічні характеристики сонячних панелей Longi Solar

Тип	LR6-60-290W
Країна виробник	Китай
Тип кремнію	Монокристал
Матеріал виготовлення модуля	Чистий кремній
Потужність, Вт	290
Напруга при максимальній потужності, В	31,7
Струм при максимальній потужності, А	9,15
Струм короткого замикання, А	9,71
Напруга холостого ходу, В	38,8
Розміри, мм	1650×991×40

Таблиця В2 – Технічні характеристики обраних інверторів типу АВВ

Показник	Значення показників відповідно до потужності комбінованої системи живлення приватного будинку		
	СЕС потужністю 10 кВт	СЕС потужністю 20 кВт	СЕС потужністю 30 кВт
Тип мережевого інвертора	ABB-PVI-12.5-TL-OUTD	ABB-PowerOne-TRIO-22-TL-OUTD	ABB-PRO-33-TL-OUTD
Потужність, кВт	12,5	22	33
Максимальна вхідна напруга, В	900	1000	1100
Діапазон напруги МРР, В	360-750	440-800	550-900
Максимальний вхідний струм, А	18	25	35
Номінальна вхідна напруга, В	580	620	620
Кількість незалежних МРР входів, од.	2	2	2
Номінальна вихідна потужність, кВт	12,5	22	33
Номінальна вихідна напруга, В	400	400	400
Діапазон вихідної напруги, В	320-480	320-480	320-480
Вихідна частота, Гц	50	50	50
Максимальний вихідний струм, А	20	33	55
Кількість фаз, од.	3	3	3
Максимальний ККД, %	98	98,2	98,2

Таблиця В3 – Технічні характеристики обраного лічильника

Показник	Значення
Номинальна напруга, В	3×220/380
Частота мережі, Гц	50/60
Номинальний струм лічильника трансформаторного включення, А	5
Максимальний струм, А	10
Клас точності при вимірюванні активної енергії	0,5S
Клас точності при вимірюванні реактивної енергії	2
Швидкість передачі даних і частота сигналу, bps	SFSK:1000
Імпульсний вихід активної енергії для лічильників трансформаторного включення, імп/кВт·год	10000/10000
Імпульсний вихід реактивної енергії для лічильників трансформаторного включення, імп/кВАР·год	10000/10000
Діапазон робочих температур, °С	-40...+60

Таблиця В4 – Тип кріплення та їх кількість для комбінованих систем різних типів

Тип кріплення	Кількість кріпильних елементів		
	СЕС потужністю 10 кВт	СЕС потужністю 20 кВт	СЕС потужністю 30 кВт
Опорна s-рейка, 3,15 м, од.	24	48	72
Опорна s-рейка, 2,8 м, од.	2	4	6
Прижим кінцевий, комплект	4	8	12
Прижим центральний, комплект	78	156	234
Кронштейн кріплення до криші, од	68	136	204
Кронштейн кріплення до криші, од	24	48	72

Таблиця В5 – Визначення довжини кабелю та необхідної кількості конекторів

Необхідний елемент	Кількісний показник		
	СЕС потужністю 10 кВт	СЕС потужністю 20 кВт	СЕС потужністю 30 кВт
Кабель Longi Solar 10 мм, м	100	200	300
Конектор MC-4, од	40	80	120