

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електроенергетики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20 24 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання»

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: «Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітрогенераторів»

Здобувача групи ЕТ.м-31

(шифр групи)

Любича В'ячеслава Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

В'ячеслав ЛЮБИЧ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник старший викладач, к.т.н. Сергій ЛЕБЕДКА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

# Сумський державний університет

Факультет ЕлІТ Кафедра електроенергетики

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав.кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ С.М. Лебедка

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу магістра

Любича В'ячеслава Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітрогенераторів»

\_\_\_\_\_ затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 05.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: план розміщення приватного сектору, відомості про кліматичні умови, електрична схема домогосподарства, середня споживана електроенергія протягом дня та року.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

Вступ

Вихідні дані для проведення розрахунку.

Електротехнічний розрахунок (вибір обладнання панелей, вітряків та іншого електрообладнання).

Охорона праці (розрахунок контуру заземлення).

Економічний розрахунок ( порівняння доцільності встановлення СЕС та ВЕС, розрахунок терміну окупності та загальної вартості вітро-сонячної електростанції).

Висновки (зробити висновок, відповісти на питання: яку електростанцію ВДЕ найефективніше встановлювати в даному регіоні для забезпечення потреб споживача).

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

– Однолінійна схема електропостачання домогосподарства;

– Графіки генерації СЕС та ВЕС;

– Схема підключення: пристроїв захисту, акумуляторних батарей;

– Схема підключення вітро-сонячної електростанції до системи електропостачання домогосподарства.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Затвердження теми та завдання магістерської роботи	15.10	
2	Вихідні дані для розрахунку	15.10—25.10	
3	Електротехнічний розрахунок	25.10—15.11	
4	Охорона праці	15.11—20.11	
5	Економічний розрахунок	20.11—01.12	
6	Оформлення пояснювальної записки	01.12—05.12	
7	Здача на кафедру в паперовому та електронному вигляді	05.12	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

с.92, рис. 43 , табл. 32.

**Бібліографічний опис:** Любич В.Ю. Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітрогенераторів [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спеціальність 141 — «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.Ю. Любич керівник С.М. Лебедка. – Суми: СумДУ, 2024. – 92 с.

**Ключові слова:** сонячні панелі, інсоляція, фотомодулі, вітряки, вітрогенератори, сонячна електростанція, електропостачання, заземлення, «зелений» тариф, інвертор, акумуляторна батарея, контролер, запобіжник, генерація.

solar panels, insolation, photovoltaic modules, wind turbines, wind generators, solar power plant, electricity supply, grounding, “green” tariff, inverter, battery, controller, fuse, generation.

**Короткий огляд (реферат):** В даній роботі проведено розрахунок вітро-сонячної електростанції для забезпечення побутового споживача електроенергією для власних потреб та для продажу в мережу за «зеленим» тарифом. Здійснено електротехнічний розрахунок, в ході виконання якого було обрано фотоелектричні модулі, вітрогенератори та інше обладнання. На основі обраного обладнання було зібрано схему електропостачання домогосподарства підключену до ВДЕ (панелей та вітряків). Для безпечної експлуатації електростанції, було розглянуто правила електробезпеки при роботі з сонячними панелями та вітрогенераторами, а також проведено розрахунок контуру заземлення. В економічному розділі розраховано загальну вартість електрообладнання та визначено термін окупності комбінованої електростанції. Проведено порівняння доцільності встановлення СЕС та ВЕС.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГПВ — графіки планових відключень;

АЕС — атомна електростанція;

ТЕС — теплова електростанція;

СЕС — сонячна електростанція;

ВЕС — вітрова електростанція;

ККД — коефіцієнт корисної дії;

ЕРС — електрорушійна сила;

ВДЕ — відновлювальні джерела електроенергії;

ЛЕП — лінія електропередачі;

ДСТУ — Державний стандарт України;

ОПН — обмежувач перенапруги;

ДБН — Державні будівельні норми України;

ПБЕЕС — правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;

ПУЕ — правила улаштування електроустановок;

НКРЕКП — національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг.

## Зміст

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКУ</b> .....	9
1.1. Загальні відомості про приватне домогосподарство.....	9
1.2. Кліматичні умови місцевості розташування об'єкта. ....	11
1.3. Схема електропостачання та характер навантаження упродовж року домогосподарства. ....	16
<b>РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК</b> .....	21
2.1. Вибір типу фотомодулів.....	21
2.2. Обладнання для монтажу панелей. ....	36
2.3. Вибір типу вітрогенераторів. ....	40
2.4. Додаткове обладнання для встановлення вітряків. ....	49
2.5. Схема комбінованого електропостачання домогосподарства.....	51
2.6. Вибір інверторів та схема з'єднань панелей. ....	54
2.7. Вибір акумуляторної батареї для гібридного інвертора. ....	61
2.8. Вибір багатотарифного трифазного лічильника електроенергії.....	63
2.9. Вибір пристроїв захисту для сонячної та вітряної електростанції. ....	64
2.10. Розрахунок електропостачання домогосподарства. ....	67
<b>РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	74
3.1. Розрахунок контуру заземлення комбінованої електростанції. ....	74
3.2. Правила безпеки при монтажі електрообладнання. ....	79
3.3. Безпечна експлуатація електростанції. ....	80

					<i>MP 5.8.141. 456 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітрогенераторів</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Любич В.Ю.</i>						6	92
<i>Перевір.</i>	<i>Лебеда С.М.</i>							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								
						<i>СумДУ ЕТ.М-31</i>		

<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК .....</b>	<b>81</b>
4.1. Вартість встановлення електростанції виконаної панелями та вітряками....	81
4.2. Рентабельність електростанції, її переваги та недоліки. ....	83
<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>88</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>89</b>

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

Електроенергія є невід'ємним ресурсом який використовує людина кожного дня. В побуті ми використовуємо такі пристрої як пральні машинки, телевізори, холодильники, мікрохвильові печі, різні гаджети, освітлення. На заводах застосовують потужні електродвигуни, електродвигуни, електродвигуни, навантажувачі, системи керування та захисту. Все це працює виключно завдяки генерації електроенергії на електростанціях АЕС, ТЕС, СЕС тощо. Відсутність електропостачання хоча б на годину часу створює велику проблему для усіх споживачів енергосистеми. Для підприємств це збитки, для приватних будинків – незручності, що сприяють дискомфорту в оселі.

Останнім часом, постійні відключення та введення графіків ГПВ є катастрофічними для нашої країни, існує великий дефіцит електроенергії, який не вдається покривати жодними джерелами які існують в нашій країні. Постійні обстріли енергетичної інфраструктури не дають можливості встигати відновлювати пошкоджені об'єкти підстанцій та електростанцій. Побудова нових ТЕС або АЕС потребує великих часових проміжків, тому, для швидкого підсилення електромережі, використовують відновлювальні джерела енергії. Щоб вирішити енергетичну кризу, та отримати енергоне залежність – споживачі будують власні електростанції, які можуть бути виконані за допомогою сонячних панелей, вітряків або генераторів.

В ході виконання магістерської роботи, буде розроблено систему електропостачання приватного домогосподарства, яка виконана за допомогою сонячних панелей та вітрових установок. Комбінована система має забезпечити споживача виробленням електроенергії у ясні сонячні дні – фотомодулями, та під час похмурої погоди – вітряками. Окрім цього, система панелей та вітряків буде під'єднана до накопичувачів електроенергії, що надає змогу підвищити ККД електростанції та використовувати раціональніше отриману електроенергію.

Розглянемо економічні аспекти побудови такої гібридної електростанції, де розрахуємо вартість обладнання, переваги та недоліки.

					<i>MP 5.8.141. 456 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



## РОЗДІЛ 1

### ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКУ

#### 1.1. Загальні відомості про приватне домогосподарство.

На початку виконання розрахунку, необхідно визначити географічне розташування домогосподарства рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Географічне розташування об'єкта визначене за допомогою «Google Maps»

Перш за все – це потрібно для відомостей про кліматичні умови в даному регіоні: сонячної інсоляції, інтенсивності вітрів, а також типу ґрунту для розрахунку системи заземлення. Від розташування об'єкта залежить орієнтація та кут нахилу панелей, адже панелі будуть змонтовані на дахах споруд території домогосподарства, напрям нахилу яких може не співпадати з бажаним (південь або південний—схід/захід). Домогосподарство знаходиться у північно-східній частині України, в мальовничому місті Суми.

					<i>MP 5.8.141. 456 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Любич В.Ю.			<i>Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітроджерел енергії</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Лебедка С.М.					9	92
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ.м-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

Розміщення будівель, а також їх розміри не можна змінювати під час проєктування сонячних електростанцій, тому необхідно одразу мати відомості про орієнтацію споруд відносно напрямку географічного меридіану та площу споруд. Будівлі мають двоскатний дах, напрямки схилів показані стрілками рис. 1.2.

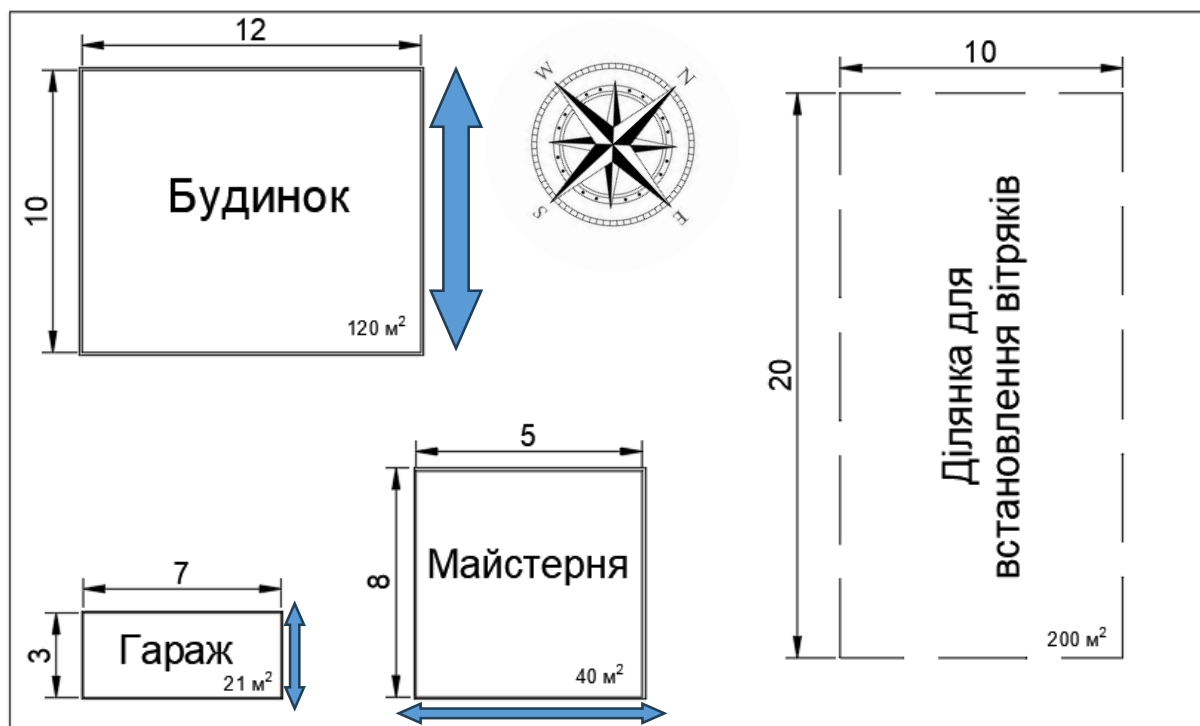


Рисунок 1.2 – Схема розташування споруд на території домогосподарства.

Розміри будинку, майстерні та гаражу відповідно в метрах становлять: 12×10, 7×3, 8×5. Висота горища для будинку складає 2,5м, гаража та майстерні по 2м.

Для виконання обчислень, та вибору кількості панелей, вітряків – потрібна інформація про загальне споживання приватного сектору електроенергії. Обсяг навантаження залежить від електроприладів які використовує домогосподарство, перелік електрообладнання та його потужність наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Електрообладнання домогосподарства.

Електроприлад	Потужність, кВт
Холодильник	0,1-0,3
Пральна машина	1,5-2
Морозильна камера	0,15-0,35
Кондиціонер	0,7-3
Електричний чайник	1,5-2,5
Пилосос	0,5-2,5
Персональний комп'ютер	0,1-0,6
Маршрутизатор (Wi-Fi роутер)	0,01-0,02
Телевізор	0,05-0,2
Електродріль	0,5-1
Шурупокрут	0,3-0,5
Електрозварювальний апарат (інвертор)	2-5
Шліф-машина кутова	0,5-2,5
Фрезер	0,8-2
Фугувально-рейсмусовий верстат	2,5-3,5
Стационарна циркулярна пила	1-3
Компресор повітряний	1-3
Освітлення (будинку, подвір'я, гаража, майстерні)	0,6
Насос системи опалення	1
Загалом	24

Максимальне навантаження яке може споживати будинок складає 24 кВт. За умови, що всі пристрої будуть увімкнені одночасно.

#### 1.2. Кліматичні умови місцевості розташування об'єкта.

Проведення обчислень для підбору сонячних фотомодулів для покрівлі будинку неможливе без відомостей про сонячну інсоляцію в регіоні встановлення панелей. Інсоляція – це кількість сонячної енергії, яка потрапляє на один квадратний метр поверхні землі, за певний проміжок часу. Цей показник є ключовим при проектуванні сонячної електростанції. Він визначає, скільки енергії зможуть згенерувати панелі в певному місті за проміжок часу.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Не вся територія земної поверхні має сприятливі умови для встановлення СЕС. Найбільший виробіток буде в регіонах, що розташовані приблизно між 15° і 35° на північ та південь від екватора. В нашій країні, оптимальними для встановлення панелей вважаються такі області як: Херсонська, Миколаївська, Запорізька, Одеська, Дніпропетровська, а найвищі показники інсоляції належать території Криму. Найменша інсоляція спостерігається для Чернівецької та Івано-Франківської області. В інших частинах країни, показники інсоляції мають середній рівень. [1]

Для визначення сонячної радіації, використовують мапу (рис.1.3). По якій орієнтуються, скільки приблизно зможуть згенерувати сонячні панелі.[2]

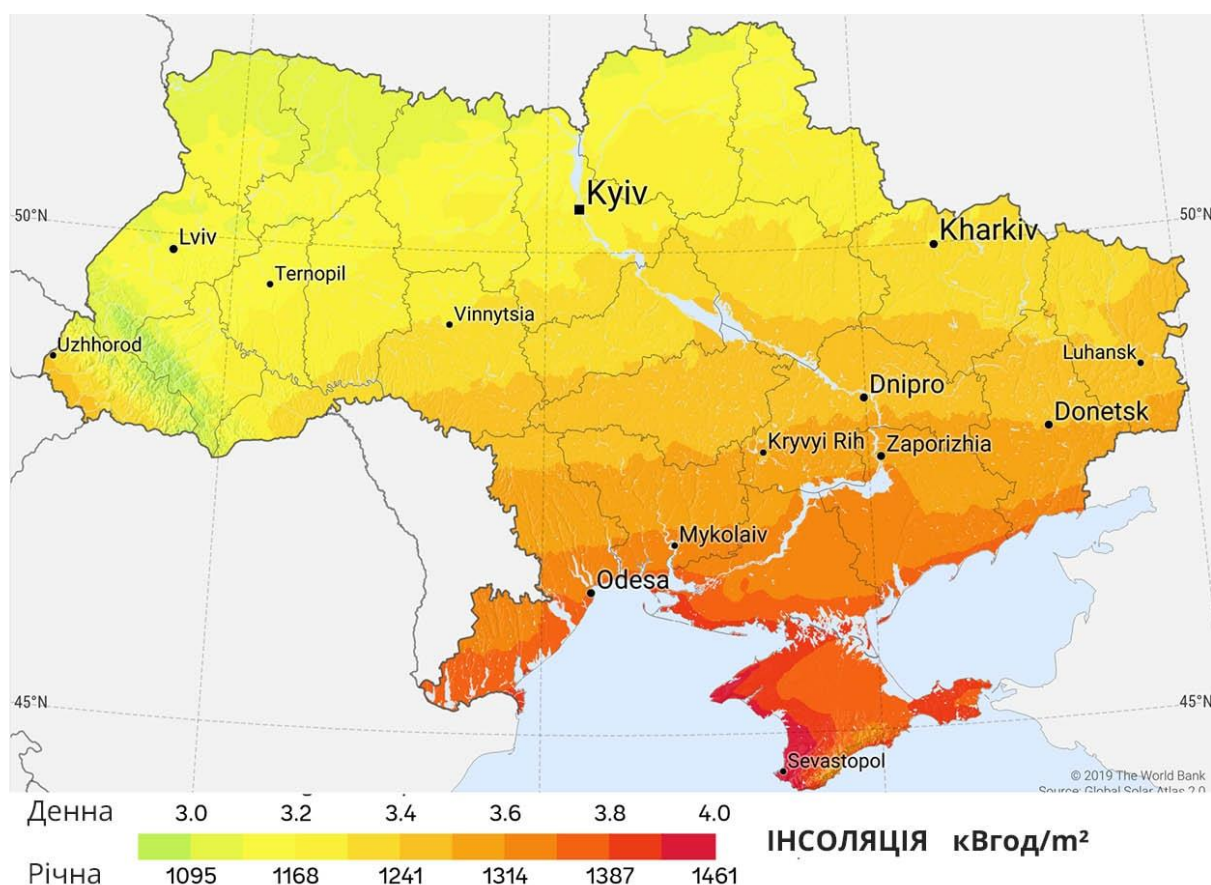


Рисунок 1.3—Мапа сонячної інсоляції в Україні.

Для більш точного розрахунку, потрібні відомості про сонячну інсоляцію для кожного місяця таблиця 1.2. [3]

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.2 – Середній показник за спостереженнями НАСА за останні 22 роки, кВт·ч /м2/ день.

	Одеса	Рівне	Суми
Січень	1,25	1,01	1,13
Лютий	2,11	1,81	1,93
Березень	3,08	2,83	3,05
Квітень	4,38	3,87	3,98
Травень	5,65	5,08	5,27
Червень	5,85	5,17	5,32
Липень	6,04	4,98	5,38
Серпень	5,33	4,58	4,67
Вересень	3,93	3,02	3,19
Жовтень	2,52	1,87	1,98
Листопад	1,36	1,04	1,10
Грудень	1,04	0,81	0,86
Рік	3,55	3,01	3,16

На основі попередніх даних, визначаємо скільки припадає на місяць таблиця 1.3, та будуюмо діаграму місячної інсоляції для нашого міста Суми (рис.1.4).

Таблиця 1.3 – Середній показник за спостереженнями НАСА за останні 22 роки, кВт·год /м2/ місяць.

	Одеса	Рівне	Суми
Січень	38,75	31,31	35,03
Лютий	61,19	52,49	55,97
Березень	95,48	87,73	94,55
Квітень	131,40	116,10	119,4
Травень	175,15	157,48	163,37

Продовження таблиці 1.3

Червень	175,50	155,10	159,6
Липень	187,24	154,38	166,78
Серпень	165,23	141,98	144,77
Вересень	117,90	90,60	95,7
Жовтень	78,12	57,97	61,38
Листопад	40,80	31,20	33
Грудень	32,24	25,11	26,66
Рік	1295,75	1098,65	1153,4

В таблиці наведені дані для трьох різних регіонів України, це південь (Одеса), захід (Рівне) та схід (Суми). Як видно, показники найбільші в південному регіоні, тому, що місто Одеса ближче до екватора, отже сонячної радіації там більше, відповідно для генерації панелей умови кращі. Між іншим, для нашого міста все ж перспективи є, адже показник вище від міста Рівне.

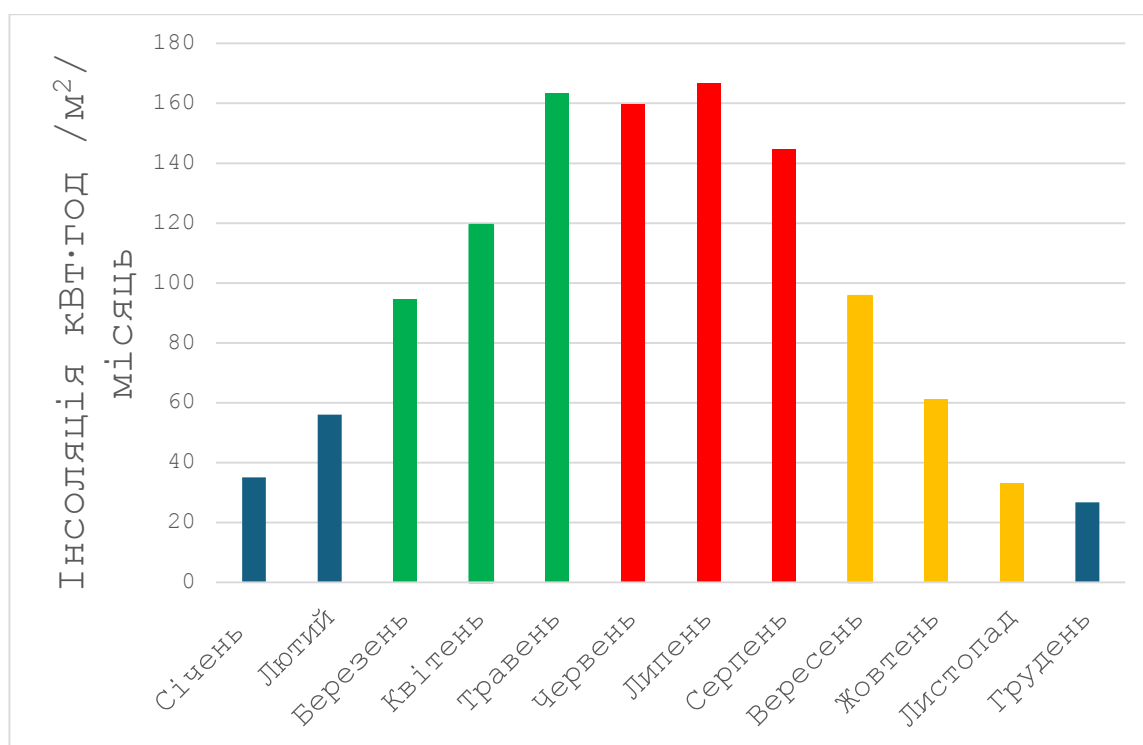


Рисунок 1.4 – Рівень сонячної інсоляції упродовж року.

За діаграмою видно, що найбільший пік радіації припадає на травень, червень, липень та серпень. Упродовж цих чотирьох місяців буде найбільша генерація електроенергії панелями.

Наступними, важливими даними для комбінованої електростанції є інформація про характеристику вітрів у Сумській області. Від сили вітру залежить генерація електроенергії вітряків. Для оптимальної роботи вітрогенераторної установки, сила вітру повинна бути від 12 до 15 м/с. В нашому регіоні, середня швидкість вітру орієнтовно складає 4,775 м/с, що показує таблиця 1.4. [4] Це мінімальні значення для роботи вітряної електростанції.

Таблиця 1.4 – Середня місячна та річна швидкість вітру (м/с).

Станція	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Суми, АМСГ	5,6	5,9	5,6	4,8	4,5	3,9	3,7	3,6	4,0	4,7	5,6	5,4	4,775

З попередньої таблиці, умови для ВЕС в даній місцевості є несприятливими для ефективної генерації. Щоб забезпечити споживача електроенергією, яка генерується вітряками, необхідна досить велика їх кількість.

В останньому етапі, після вибору обладнання електростанції та проведення розрахунків, потрібно провести розрахунок контуру захисного заземлення. Для цього необхідно мати інформацію про питомий опір ґрунту який залежить від його типу. Електропровідність ґрунту впливає на опір заземлювача, оскільки вологі ґрунти мають менший опір ніж сухі та кам'яністі. Це може суттєво вплинути на кінцевий результат розрахунку заземлення.

На мапі, що зображена на (рис. 1.5) для міста Суми переважають чорноземи, отже при розрахунку захисного заземлення приймемо питомий опір у відповідності до цього типу ґрунту.[5]



Рисунок 1.5– Мапа поширення ґрунтів України.

### 1.3. Схема електропостачання та характер навантаження упродовж року домогосподарства.

Проектування гібридної електростанції вимагає точних відомостей про електричну схему (рис.1.6) даного об'єкта. На основі якої, будуть прийняті рішення стосовно того, де саме підключати джерело живлення виконане сонячними панелями та вітрогенераторами.



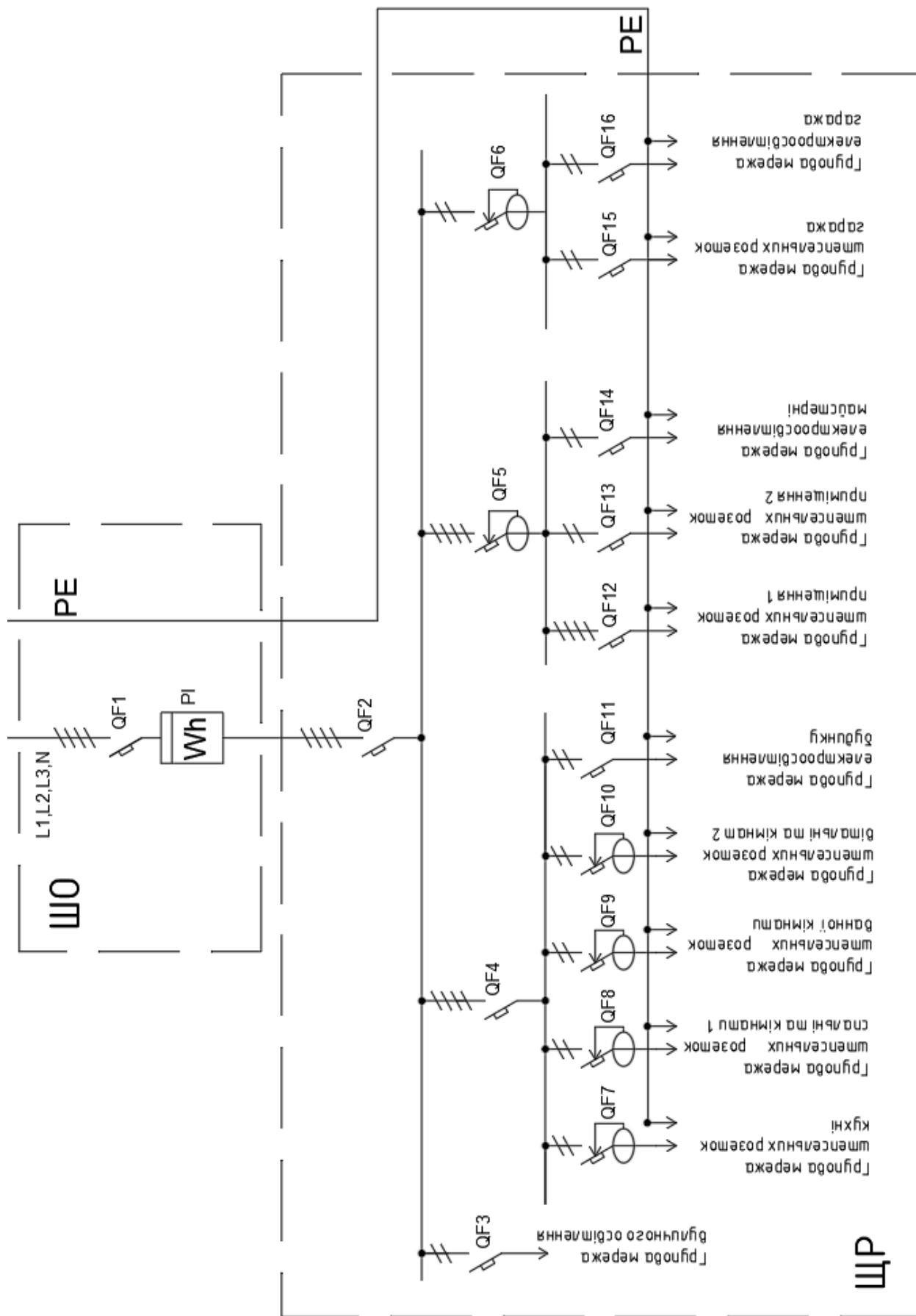


Рисунок 1.6 – Електрична схема приватного сектору.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Проаналізуємо попередню схему. Домогосподарство має трифазне живлення та систему заземлення типу TN—S (рис. 1.7).

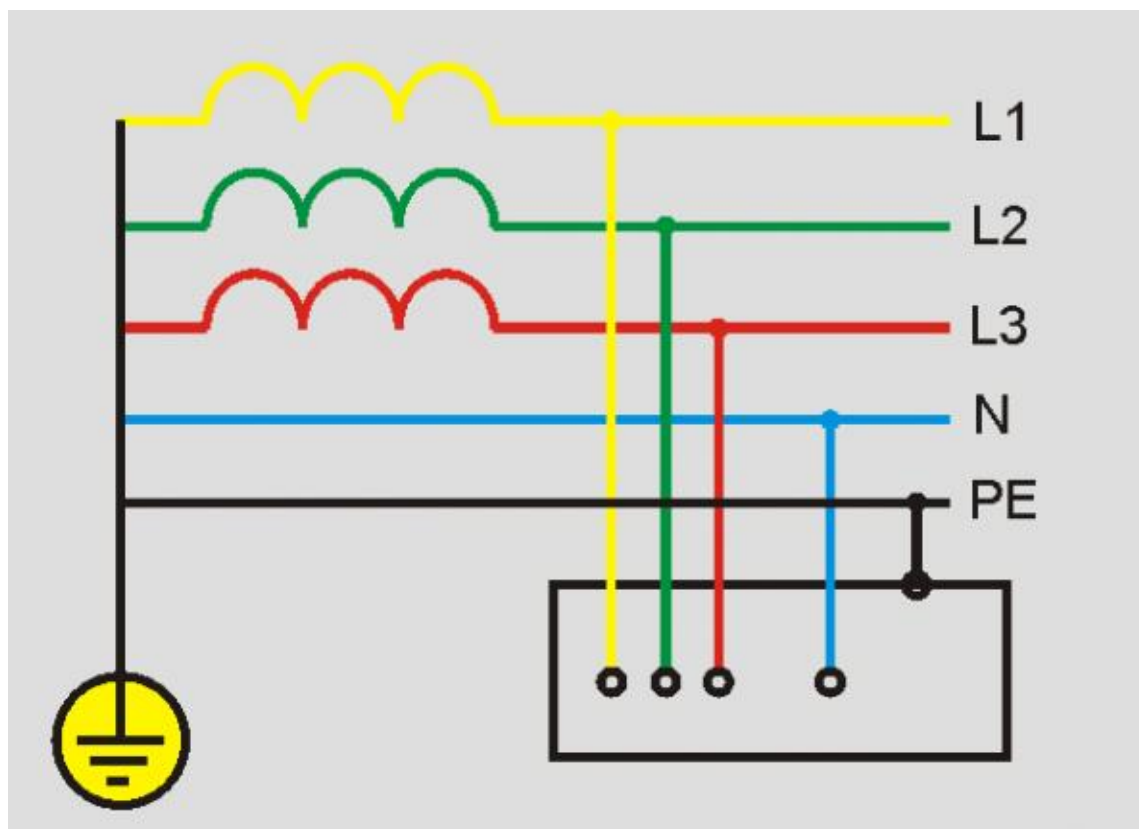


Рисунок 1.7 – Схема заземлення TN—S.

Система TN—S виконана таким чином, що нульовий робочий та захисний провідник розділені між собою та приходять до споживача окремо від підстанції. Дана система заземлення є найновішою серед інших (TN-CS, TN-C, TN та TT). Окрім цього, для цієї системи є характерним висока надійність та велика вартість реалізації. [6]

Для того, щоб задовільнити потреби споживача відновлювальними джерелами, необхідні відомості про витрати електроенергії упродовж дня та року. Виходячи з того, що максимальне навантаження яке є можливим для приватного сектору складає 24 кВт, за відсотками знаходимо значення в кВт.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.5—Характер навантаження домогосподарства упродовж доби.

Час, год	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Значення, %	1,0	2,0	2,5	4	12	14	16	17	14	8	5	2	1
Потужність, кВт	0,2	0,5	0,6	1	2,9	3,4	3,8	4,1	3,4	1,9	1,2	0,5	0,2

На основі даних таблиці 1.5 будуємо графік навантаження рис. 1.8.

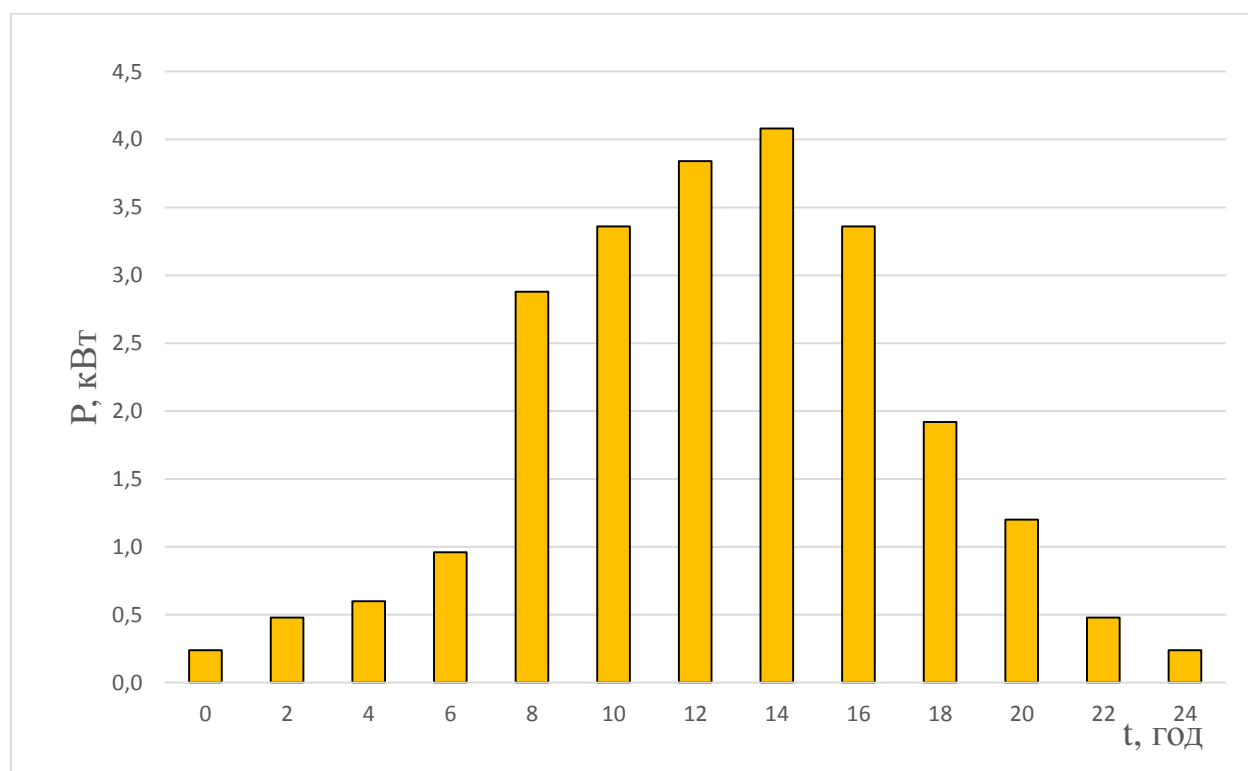


Рисунок 1.8 – Добовий графік навантаження домогосподарства.

Найбільше витрати електроенергії спостерігаються вдень, коли працює різне обладнання, а найменші вночі, що пояснюється відсутністю людської діяльності. Аналогічні відомості про навантаження необхідні протягом року. Це дозволяє приблизно оцінити яку потужність мають генерувати фотомодулі та вітряки за місяць. В подальшому, на основі цих даних, буде проведено вибір кількості панелей та вітрових установок.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 1.6 – Характер навантаження приватного сектору протягом року.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Споживана електроенергія, кВт·год	643	723	758	855	785	742	470	785	823	845	742	623

З попередньої таблиці бачимо, що пік спостерігається на квітень та жовтень, в цей час найбільше працює фугувально-рейсмусовий верстат та інше обладнання в майстерні, а найменше споживання на липень коли родина їде у відпустку. На основі даних таблиці 1.6 будемо графік (рис.1.9).

Навантаження неможливо спрогнозувати абсолютно точно. Кожен рік може відрізнятись під попереднього. В подальшому є ймовірність появи нового обладнання, що стане причиною збільшення потужності домогосподарства. Через це, всі дані приймемо середніми за останні п'ять років існування даного житлового маєтку.

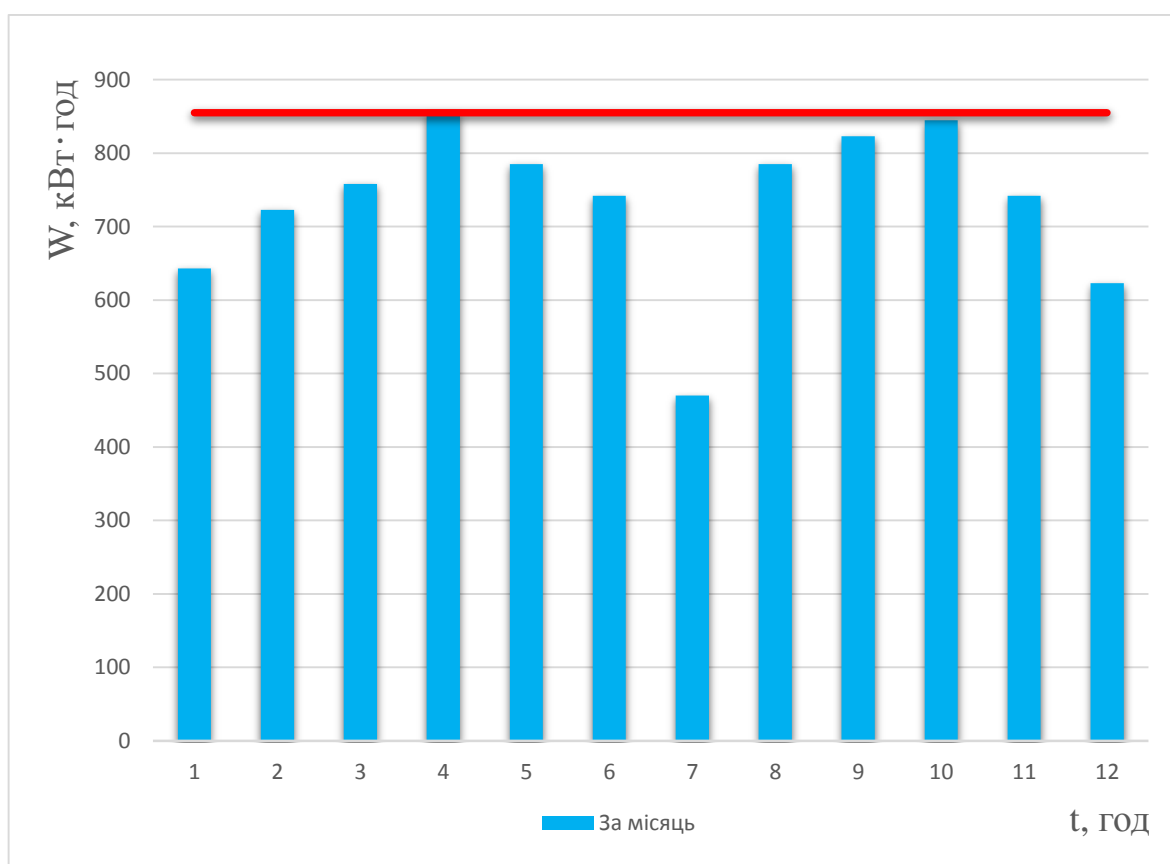


Рисунок 1.9 – Річний графік споживання приватного сектору.

## РОЗДІЛ 2

### ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Основною складовою виконання магістерської роботи є другий розділ. В ньому будуть розглянуті всі технічні аспекти побудови комбінованої системи електропостачання. Від цього залежить безперебійна робота енергосистеми упродовж всього терміну експлуатації. Правильний вибір панелей та вітряків, дає можливість заощаджувати кошти, при цьому не використовуючи обладнання виробників які не є зарекомендованими протягом тривалого часу на ринку електрообладнання.

В даному розділі, необхідно максимально наблизити точність проведення розрахунків, але при цьому, знайти точні дані сонячної радіації та карту вітрів – неможливо. Це пов'язано зі змінами погодних умов, які для генерації електроенергії відновлювальними джерелами відіграють основну роль у видобутку електроенергії. В такому разі, будемо використовувати середні значення для місцевості де розташований об'єкт, які наведено в першому розділі.

#### 2.1. Вибір типу фотомодулів.

Сонячні панелі – це фотоелементи виготовлені на основі кремнію. Під час потрапляння сонячних променів на модулі, внаслідок інфрачервоного випромінювання та тепла виникає різниця потенціалів, що призводить до появи постійного струму. На сьогоднішній день існує три види панелей: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові. В залежності від розміру панелі, та її типу, потужність кожного елемента є різною.

Монокристалічні панелі є найбільш ефективними та дорогими в розрахунку на кількість потужності яку згенерує одиниця площі модуля. Коефіцієнт корисної дії складає 17-25%, термін служби 20-25 років. [7]

					<i>MP 5.8.141. 456 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Любич В.Ю.				<i>Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітряків</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	Лебедка С.М.						21	92
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ.м-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

Виготовлені на основі монокристала кремнію. Ззовні кремнієві пластини мають майже квадратну форму зі зрізаними кутами, колір яких темно-синій або майже чорний (рис.2.1).

Полікристалічні панелі мають меншу вартість та виготовляються з фрагментів кремнію, на відміну від монокристаличних де використовують суцільний кристал. При цьому вони мають такий самий термін служби до 25 років, але меншу ефективність. ККД цих панелей складає 15-18%, що менше ніж в монокристалі. Зовнішнім виглядом вони також відрізняються від попередніх. Колір кремнієвої пластини блакитний або синій, поверхня більш матова, форма пластин повністю квадратна, а структура фотоелементів нерівномірна (рис.2.1. [8])

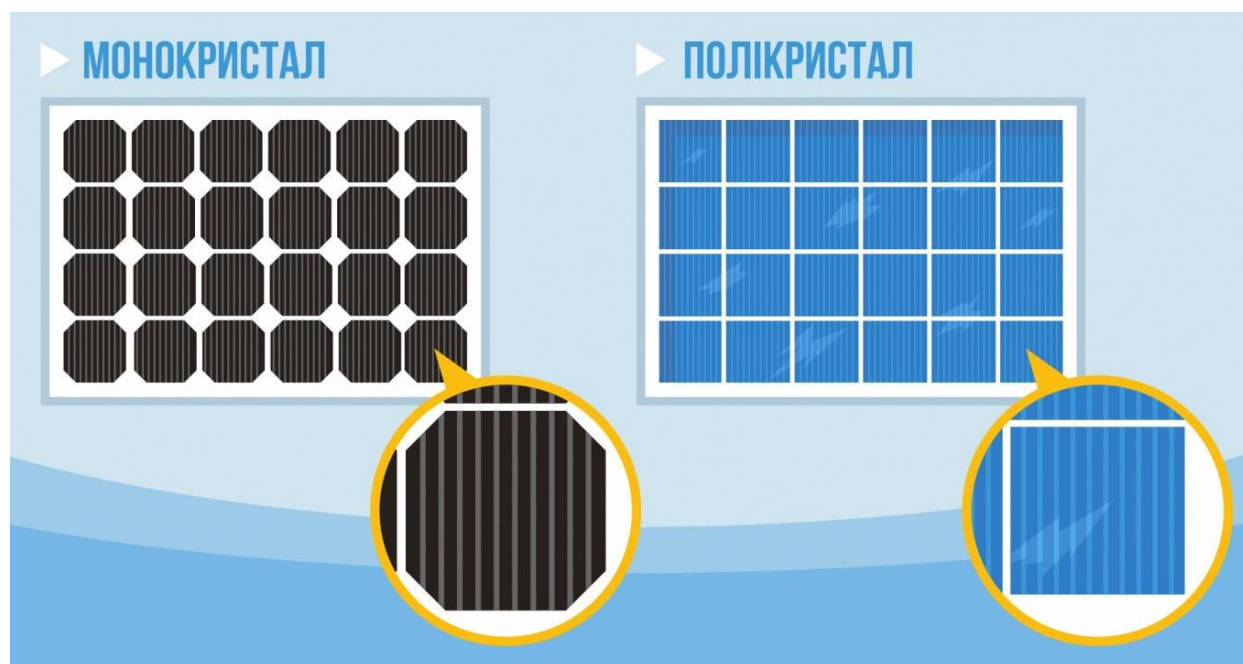


Рисунок 2.1 – Вигляд монокристаличних та полікристалічних панелей.

Тонкоплівкові, або їх ще називають аморфними мають найменшу ефективність, вартість та термін служби. ККД складає всього 9-13%. Колір поверхні темний однорідний без видимих елементів (рис.2.2). Для цих панелей характерна низька вага та гарна гнучкість, що є перевагою для монтажу на великих площах або використання в побуті наприклад для кемпінгу. [7]

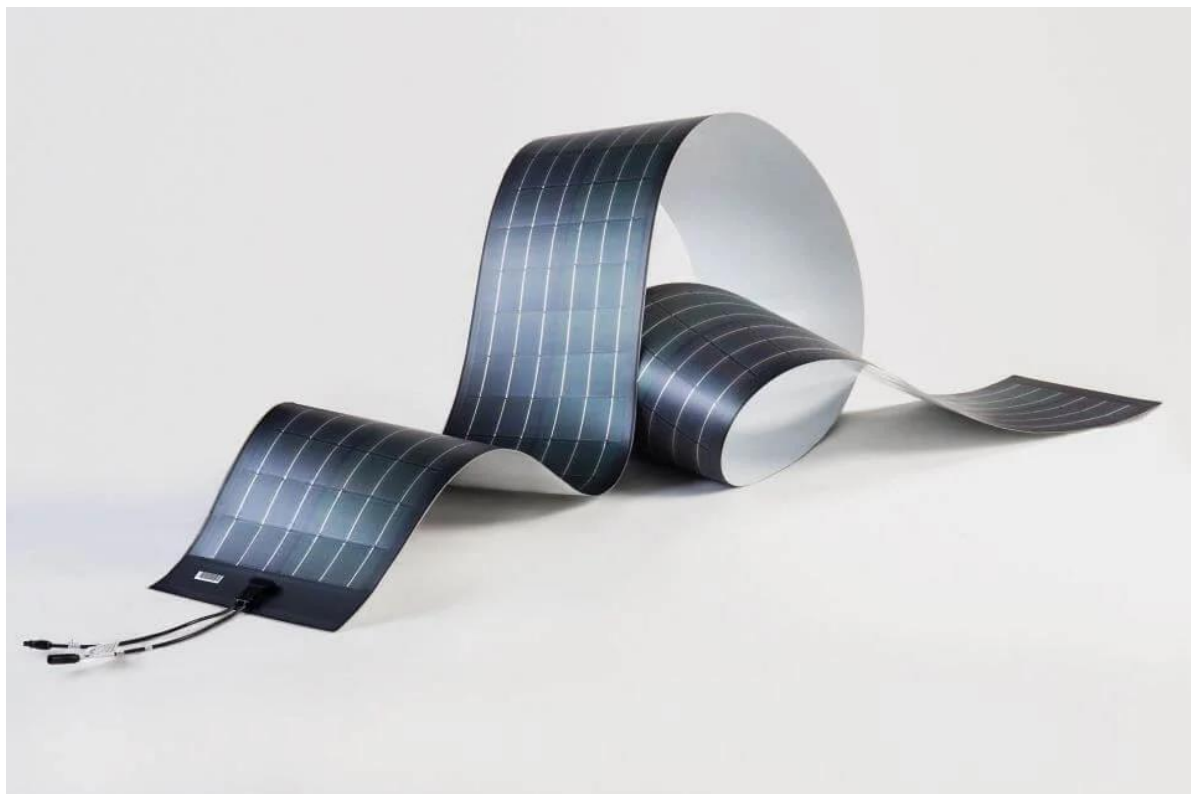


Рисунок 2.2. – Зовнішній вигляд тонкоплівкових панелей.

Для проектування сонячної електростанції будемо використовувати монокристалічні фотомодулі. Вони мають найвищі показники ефективності, вартість їх не значною мірою відрізняється від полікристалу, приблизна різниця становить 20% вартості. З кожним роком ціна електроенергії зростає, виходячи з цього не складно зробити висновок, електроенергія яку виробить монокристалічна панель в майбутньому буде значно дешевшою ніж отримати з мережі. Використовуючи цей вид сонячних панелей, вдасться зекономити на площі покритою фотомодулями. Це є перевагою, адже в майбутньому є велика вірогідність встановлення нового електрообладнання домогосподарством, що призведе до росту загальної споживаної потужності приватного сектору. Така тенденція, зумовить збільшення фотомодулів СЕС для підвищення її потужності для задоволення потреби споживача.

На ринку сонячних панелей існує безліч виробників. Як зазвичай з різним електрообладнанням, певній ціні виробу відповідає певна якість та ефективність обладнання. Аналогічна ситуація складається з фотомодулями.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для СЕС я обрав панелі потужністю 410 Вт моно, RSM40-8-410M TITAN S, Risen black frame (рис.2.3), характеристики якої наведені в таблиці 2.1.[9]

Таблиця 2.1 – Характеристики панелі RSM40-8-410M TITAN S, Risen black frame.

Параметри монокристалічної панелі	Одиниці виміру
Розміри, мм	1754x1096x30
Потужність, Вт	410
Напруга холостого ходу, $U_{xx}, В$	41,90
Струм короткого замикання, $I_{kз}, А$	12,47
Робоча напруга, $U_p, В$	34,89
Робочий струм, $I_p, А$	11,76
Коефіцієнт корисної дії, ККД, %	21,3
Вага, кг	21
Вартість, грн/шт	3500

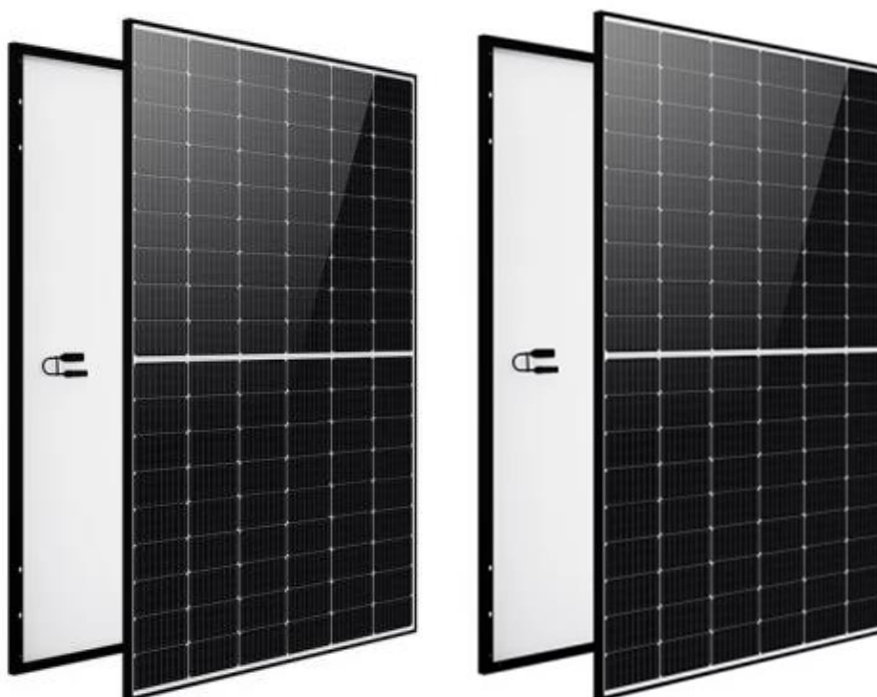


Рисунок 2.3 – Вигляд сонячних панелей .

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Вибір саме цих сонячних панелей був пов'язаний з розмірами модуля які добре підходять для встановлення на даху будинку, а також перевагами які заявляє виробник.

Основні переваги сонячних батарей Risen:

- найменший в галузі температурний коефіцієнт - 0,34%;
- торгова марка входить в список Tier 1 з незалежним сертифікованим сучасним автоматизованим виробництвом;
- висока стійкість до деградації PID;
- найкраще вироблення електроенергії в похмуру погоду під розсіяними сонячними променями;
- 12 років гарантії продукту - один із найкращих в галузі;
- позитивний толеранс потужності;
- подвійна інспекція 100% EL гарантує, що модулі не мають дефектів;
- надійність і якість вище, ніж сертифіковані вимоги.

Сертифіковано, щоб витримувати складні екологічні умови:

- антирефлекторне покриття - зменшуються втрати потужності від бруду і пилу;
- сильний сольовий туман, стійкість до аміаку і піщаним вітрам;
- відмінний опір механічному навантаженні - 2400Па і сніжної навантаженні - 5400Па.

Фотоелектричні панелі виробника Risen Solar успішно пройшли кваліфікаційні випробування IEC61215, які включають в себе:

- 200 термічних циклів від -40 до 85 градусів;
- випробування на удар крижаної кулі;
- вплив ультрафіолетового випромінювання;
- вплив високою вологістю при високих температурах;
- перевірка витривалості до перегрітої плями;
- випробування на механічну стійкість. [9]

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Перейдемо до розрахунку площі дахів, адже вона буде відрізнятися від площі самої споруди.

Розрахуємо ширину скату будинку за формулою 2.1.1.

$$W_{\text{скат.буд.}} = \sqrt{\left(\frac{W_{\text{буд.}}}{2}\right)^2 + h_{\text{гор.буд.}}^2} \quad (2.1.1)$$

де  $W_{\text{буд.}}$  – ширина будинку,  $h_{\text{гор.буд.}}$  – висота горища.

$$W_{\text{скат.буд.}} = \sqrt{\left(\frac{10}{2}\right)^2 + 2,5^2} = 5,59\text{м.}$$

Площа одного скату становить:

$$S_{\text{скат.буд.}} = W_{\text{скат.буд.}} \times L_{\text{буд.}} \quad (2.1.2)$$

де  $W_{\text{скат.буд.}}$  – ширина скату,  $L_{\text{буд.}}$  – довжина будинку.

$$S_{\text{скат.буд.}} = 5,59 \times 12 = 67,08 \text{ м}^2.$$

Площа всього даху будинку становить:

$$S_{\text{дах.буд.}} = S_{\text{скат.буд.}} \times 2 = 67,08 \times 2 = 134,16 \text{ м}^2.$$

За формулами 2.1.1 та 2.1.2 визначаємо площу даху для гаража та майстерні.

Площа даху гаража:

$$W_{\text{скат.гараж}} = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + 2^2} = 2,5\text{м.}$$

$$S_{\text{скат.гараж}} = 2,5 \times 7 = 17,5 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{дах.гараж}} = S_{\text{скат.гараж}} \times 2 = 17,5 \times 2 = 35 \text{ м}^2.$$

Площа даху майстерні:

$$W_{\text{скат.майст.}} = \sqrt{\left(\frac{5}{2}\right)^2 + 2^2} = 3,2\text{м.}$$

$$S_{\text{скат.майст.}} = 3,2 \times 8 = 25,6 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{дах.майст.}} = S_{\text{скат.майст.}} \times 2 = 25,6 \times 2 = 51,2 \text{ м}^2.$$

Отже, отримали безпосередню площу для розрахунку кількості панелей яких можна змонтувати на покрівлі споруд домогосподарства.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Почнемо з даху будинку. Розмір панелі складає 1754x1096x30, розмістивши їх вертикально на одному схилі даху отримаємо 30 панелей (рис.2.4).

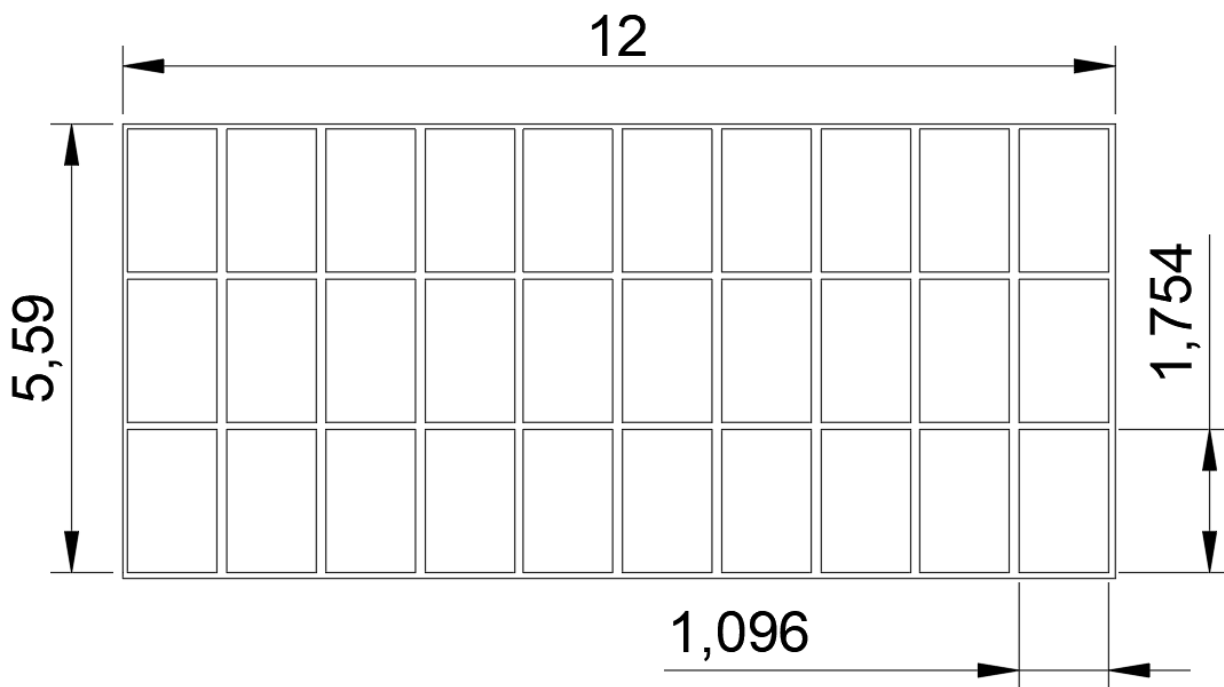


Рисунок 2.4 – Розміщення панелей на одному скаті даху вертикально.

Площа однієї панелі складає  $1,754 \times 1,096 = 1,92 \text{ м}^2$ , загальна площа тридцяти панелей складає  $1,92 \times 30 = 57,6 \text{ м}^2$ . Враховуючи, що загальна площа більша ніж площа тридцяти панелей  $67,08 > 57,6$ , на одному скаті вийде розмістити 30 таких панелей, потужність яких становитиме  $30 \times 0,41 = 12,3 \text{ кВт}$ . Номінальну потужність яку зможе згенерувати дах будинку обладнаний панелями становить:

$$P_{\text{будинку}} = 30 \cdot 2 \cdot 0,41 = 24,6 \text{ кВт.}$$

На даному етапі, актуально розглянути чому обрали саме вертикальне розміщення панелей. Серед вертикального та горизонтального розміщення панелей є ряд переваг та недоліків. Вертикальна фіксація сонячних модулів є більш економним. При монтажі використовують рейки, болти, анкери тобто систему кріплень. Завдяки вертикальному розміщенні вдасться зекономити на монтажних матеріалах вдвічі. До недоліків даної системи кріплення

відноситься гірша стійкість ніж при горизонтальному розміщенні, а також трішки гірша генерація електроенергії, але цей відсоток є мізерним.

Аналогічні розрахунки проведемо для двох інших споруд.

Площа одного скату гаража складає  $17,5 \text{ м}^2$ , ширина скату  $2,5 \text{ м}$ , а довжина  $7 \text{ м}$ . Визначимо кількість панелей які можна змонтувати на даху гаража. Площа панелі складає  $1,92 \text{ м}^2$ , отже кількість панелей становить:  $(17,5/1,92=9,12)$  дев'ять панелей. Розміри даху не дозволяють встановити всі дев'ять панелей. Щоб ефективно використати площу покрівлі, розмістимо вісім панелей горизонтально (рис. 2.5).

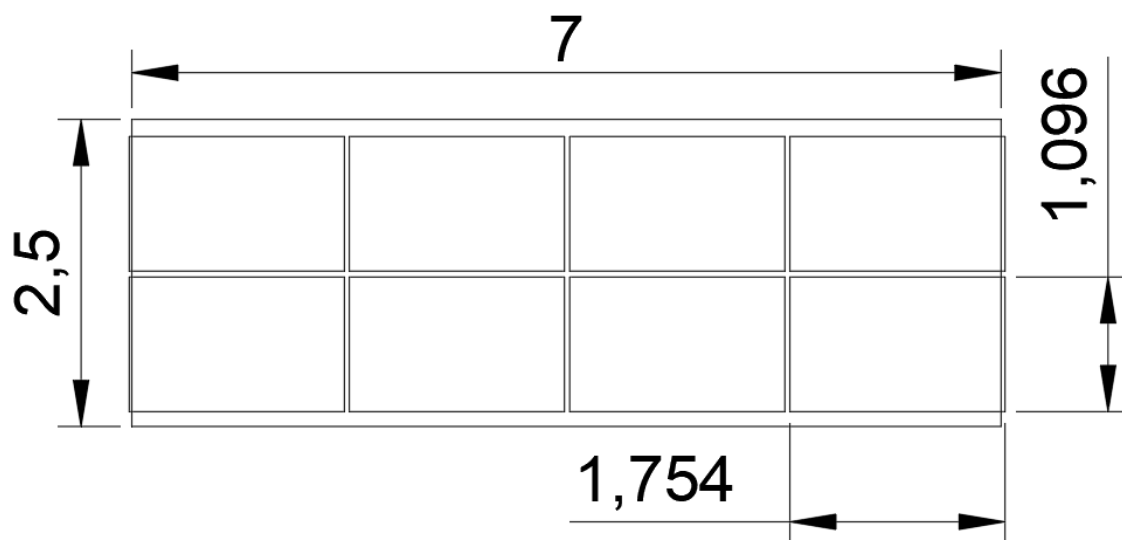


Рисунок 2.5 – Розташування панелей на даху гаража.

Довжина зібраної СЕС трішки виходить за межі площі покрівлі, це в подальшому компенсується системою кріплення. Таким чином, розмістити на одному скаті гаража вийде вісім панелей, а на всій поверхні даху шістнадцять. Загальна потужність панелей складає:

$$P_{\text{гараж}} = 16 \cdot 0,41 = 6,56 \text{ кВт.}$$

Аналогічно, визначимо загальну кількість панелей для майстерні. Площа скату майстерні  $25,6 \text{ м}^2$ , кількість панелей які можна розмістити на одному скаті:  $25,6/1,92=13$  штук. З урахуванням розміру панелі, вийде розмістити 12 штук, їх розміщення зображено на рис. 2.6.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

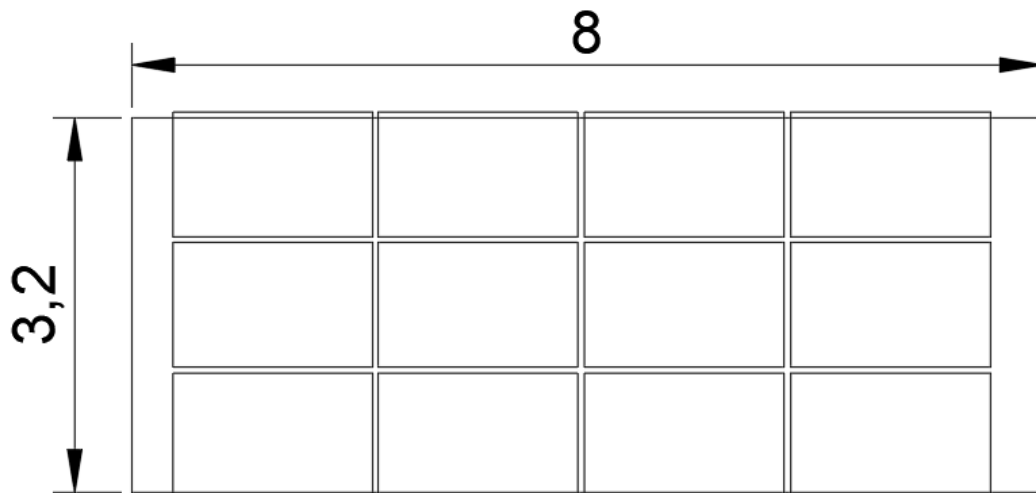


Рисунок 2.6 – Розміщення панелей на даху майстерні.

Загальна кількість панелей, яку можна розмістити на даху майстерні складає 24, а їх потужність:

$$P_{\text{майстерня}} = 24 \cdot 0,41 = 9,84 \text{ кВт.}$$

Тепер коли відома максимально ймовірна генерація всіх покрівель споруд, визначимо загальну потужність сонячних панелей:

$$P_{\text{заг.}} = P_{\text{будинку}} + P_{\text{гараж}} + P_{\text{майстерня}} = 24,6 + 6,56 + 9,84 = 41 \text{ кВт.}$$

Підсумуємо отримані результати. Загальна кількість панелей та їх потужність відповідно складає 100 штук, та 41 кВт. Враховуючи показник максимального навантаження домогосподарства 24 кВт, СЕС з 100 панелей повинна повністю забезпечити електроспоживання приватного сектору. Генерація панелей залежить від напрямку кута нахилу де будуть змонтовані панелі. Наприклад, на північ панелі взагалі не вигідно встановлювати адже упродовж всього дня сонячні промені не будуть потрапляти на модулі. Також виробіток залежить від сезонних кліматичних умов, дані про які наведені в першому розділі. Отже, навіть якщо встановити всі панелі, потужність яку будуть генерувати фотомодулі буде значно меншою, особливо в зимовий період. Виходячи з попереднього аналізу, необхідно визначити найбільш ефективне розміщення модулів на дахах, так як встановлювати їх там де майже немає сонячного випромінювання немає сенсу. Для будь якого домогосподарства, напрямки скатів

дахів споруд можуть не співпадати для ефективного розміщення панелей. Таким чином, якщо відхилитися від найкращого напрямку на південь і встановити на інший зниження генерації буде складати:

- південний захід та південний схід — 5-6%;
- захід і схід — 18-23%;
- північний захід і північний схід – 35-50%;
- північ – 70% і більше. [10]

Найкраще встановлювати панелі напрямком на південь, наступним варіантом є південний захід або південний схід. Повернувшись до рисунка 1.2 – розташувати панелі на південь не вийде з урахуванням всіх покрівель будівель. За напрямком полюсів, який зображено на рисунку 1.2, визначаємо розміщення панелей на південний схід для будинку та гаража, для майстерні південний захід. Розміщення модулів зображено на рисунку 2.7. штриховкою.

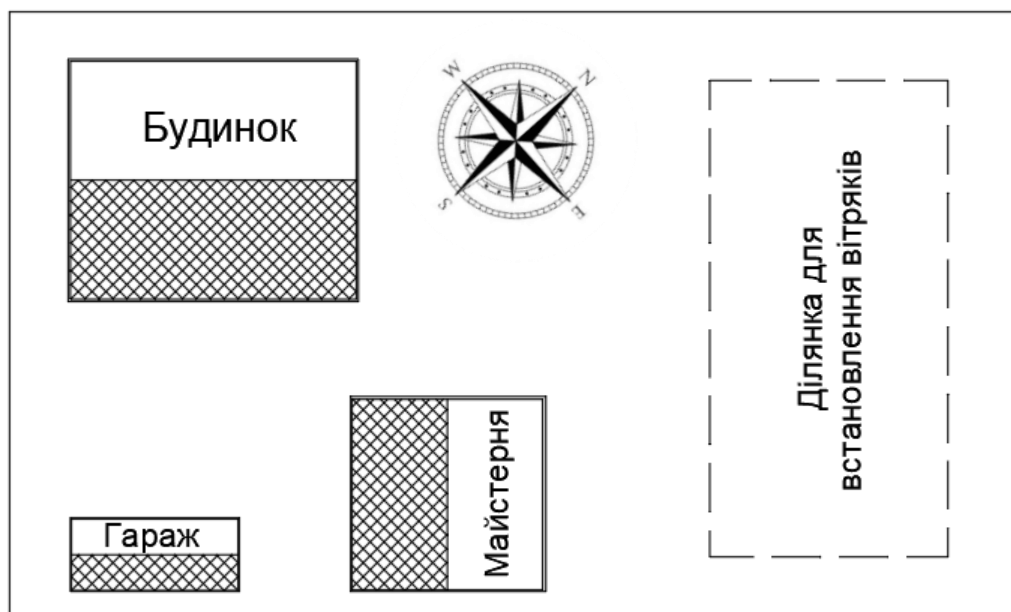


Рисунок 2.7 — Місце для розміщення панелей на покрівлі будівель.

Розташування панелей на інших частинах дахів буде мало ефективним, а втрати становитимуть до 50%. Тому розмістимо панелі лише на тих частинах які позначено на рисунку 2.7.

У випадку нестачі потужності можна в подальшому додати більше вітрязків, або до встановити панелі на інших скатах покрівель. Таким чином, загальна кількість панелей складає:

$$n_{\text{панелей}} = n_{\text{буд.}} + n_{\text{майст.}} + n_{\text{гар.}} = 30 + 12 + 8 = 50.$$

Загальна потужність сонячної електростанції складає:

$$P_{\text{СЕС}} = 50 \cdot 0,41 = 20,5 \text{ кВт.}$$

Отже, з урахуванням всіх покрівель на яких будемо розміщувати модулі потужність становить 20,5 кВт.

Для порівняння різниці між генерацією СЕС та споживанням домогосподарства розрахуємо генерацію СЕС помісячно враховуючи інсоляцію (таб.1.3), за формулою:

$$P_{\text{СЕС.місяць}} = E_{\text{міс.}} \cdot P_{\text{СЕС}} \quad (2.1.3)$$

де  $E_{\text{міс.}}$  — показник інсоляції за місяць,

$P_{\text{СЕС}}$  — загальна потужність СЕС.

Сонячні панелі мають відхилення від найефективнішого напрямку на південь, та розташовані на південний схід/захід. З попередніх відомостей про відхилення напрямку, втрати складають 6%. Окрім цього, існують втрати мережі (від перегріву, снігу на панелях або втрати інвертора), тому доцільно розрахувати потужність генерації СЕС з урахуванням втрат за формулою:

$$P_{\text{СЕС.міс.втрат}} = P_{\text{СЕС.місяць}} - 10\% \quad (2.1.4)$$

За формулами 2.1.3 та 2.1.4 проведемо розрахунки, результати яких занесемо до таблиці 2.2 та побудуємо графік порівняння генерації та споживання рисунок 2.8.

Окрім сторін горизонту також необхідно враховувати кут нахилу панелей відносно земної поверхні. Так, наприклад для зими кут нахилу має бути 70°, весна та осінь 50°, а для літніх місяців 30°. Для Сумської області оптимальним кутом нахилу є 30-40°. Прийнемо кут нахилу панелей 35°. Виробіток протягом року буде більшим при менших кутах, адже найбільша генерація відбувається в літні місяці.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

В зимові місяці домогосподарство нестачу електроенергії буде отримувати з мережі та ВЕС. Кут нахилу дахів буде меншим за 35°, корекцію кута проведемо при розрахунках матеріалів для встановлення СЕС.

Таблиця 2.2 — Генерація сонячної електростанції та витрати електроенергії домогосподарства.

Місяць	Генерація за місяць, $W_{\text{СЕС.місяць}}$ , кВт·год	Генерація з урахуванням втрат $W_{\text{СЕС.міс.втрат}}$ , кВт·год	Витрати, кВт·год
Січень	718,12	646,30	643
Лютий	1147,39	1032,65	723
Березень	1938,28	1744,45	758
Квітень	2447,70	2202,93	855
Травень	3349,09	3014,18	785
Червень	3271,80	2944,62	742
Липень	3418,99	3077,09	470
Серпень	2967,79	2671,01	785
Вересень	1961,85	1765,67	823
Жовтень	1258,29	1132,46	845
Листопад	676,50	608,85	742
Грудень	546,53	491,88	623
Рік	23644,70	21280,23	8794



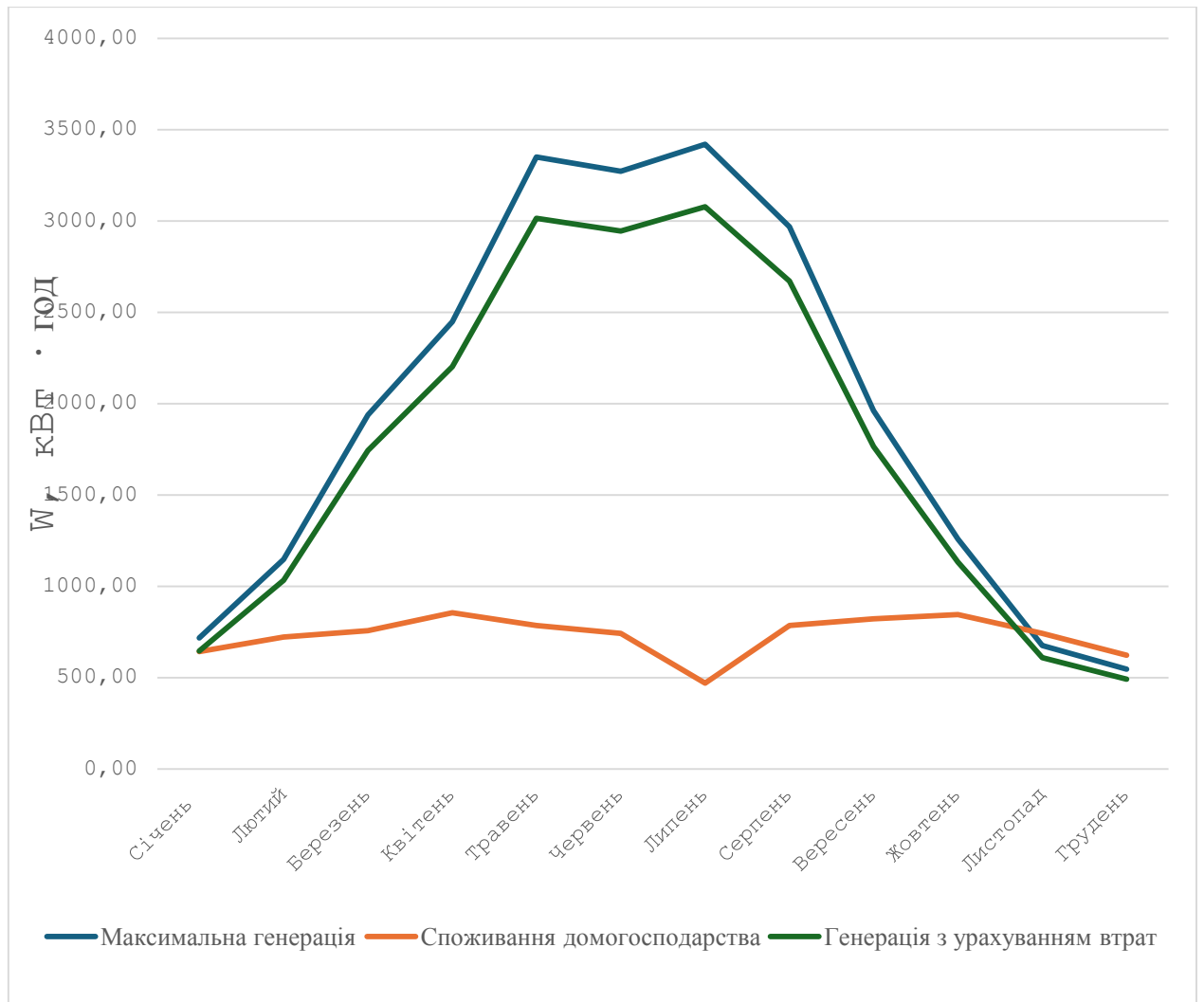


Рисунок 2.8 — Графік порівняння виробітку СЕС до споживання.

З отриманих результатів бачимо, що виробіток значно перевищує споживання домогосподарства. Для таких місяців як листопад, грудень та січень, споживання електроенергії є більшим. В цей період електроенергія буде надходити від ВЕС та мережі.

Для перевірки правильності розрахунків та корекції кута, використаємо програмне забезпечення PVGIS 5.3 [11]. За допомогою цього інтерактивного інструменту можна перевірити достовірність розрахунків. Програма розраховує генерацію СЕС враховуючи кут нахилу панелей, азимут, потужність фотоелектричної установки та розміщення СЕС яке обирається на карті задаючи географічну широту та довготу. Окрім цього, інструмент дозволяє визначити кут нахилу панелі необхідний для заданого азимуту.

Відповідно, так як панелі направлені на південний схід/захід, азимут складає 45°. Отже, задаємо необхідні параметри в програму, та визначаємо генерацію СЕС.

**Курсор:**

**Вибрано :** 50,878, 34,764

Висота (м): 165

PVGIS ver. 5.3

**Використовуйте тіні місцевості :**

Розрахунковий горизонт

Завантажити файл горизонту

---

МЕРЕЖА ПІДКЛЮЧЕНА

ВІДСТЕЖЕННЯ PV

OFF-GRID

МІСЯЧНІ ДАНІ

ЩОДЕННІ ДАНІ

ДАНІ ПОГОДИНИ

ТМУ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ДО МЕРЕЖІ PV

База даних сонячного випромінювання \*

PV технологія \*

Встановлена пікова фотоелектрична потужність [кВт] \*

Системні втрати [%] \*

**Стационарні варіанти кріплення**

Монтажне положення \*

Нахил [°] \*   Оптимізуйте нахил

Азимут [°] \*   Оптимізуйте нахил і азимут

**Ціна фотоелектричної енергії**

Вартість фотоелектричної системи (ваша валюта)

Відсотки [%/рік]

Тривалість життя [роки]

Рисунок 2.9 — Вікно програми PVGIS 5.3.

## Резюме

### Надані вхідні дані :

Розташування [широта/ довгота] :	50.878,34.764
Горизонт :	Розраховано
Використана база даних :	ПВПС-САРА3
PV технологія :	Кристалічний кремній
PV встановлений [kWp]:	20.5
Системні втрати [%]:	10

### Результати моделювання :

Кут нахилу [°]:	32 (опція)
Азимутальний кут [°]:	45
Річне виробництво фотоелектричної енергії [кВт-год]:	21789,76
Річне опромінення в літаку [кВт-год/м <sup>2</sup> ]:	1320,13
Річна мінливість [кВт-год]:	1098,95
Зміни у випуску через :	
Кут падіння [%]:	-3,17
Спектральні ефекти [%]:	1.42
Температура та низька освітленість [%]:	-8,9
Загальні втрати [%]:	-19.48

Рисунок 2.10 — Результати розрахунків PVGIS 5.3.

З попередніх результатів які надав PVGIS 5.3 [11], бачимо корекцію кута нахилу панелей який складає 32° замість заданого 35°. Отже, в подальшому для розрахунків конструкції кріплення панелей змінимо кут нахилу на 32°.

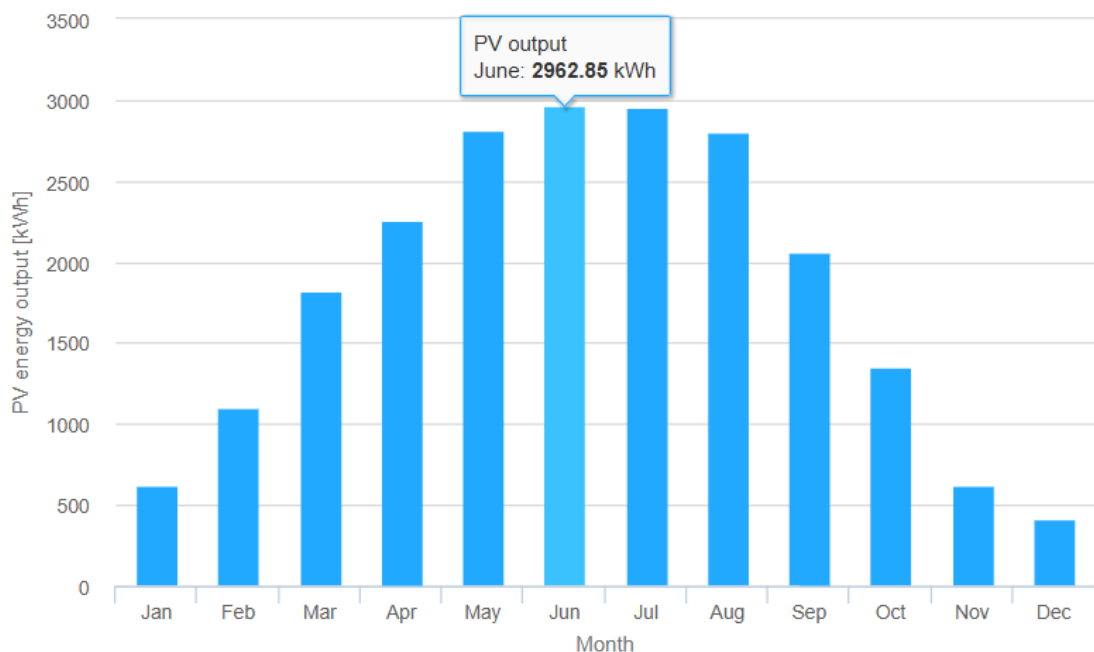


Рисунок 2.11 — Діаграма генерації СЕС, PVGIS 5.3.

За результатами обчислень PVGIS 5.3 та власних розрахунків сонячної генерації бачимо незначну відмінність. Програмне забезпечення показує дещо вищий показник генерації. Це пов'язано з великим запасом який я взяв для визначення місячної генерації. Визначимо різницю між ручним розрахунком та програмним за формулою 2.1.5:

$$P_{\text{СЕС}} = P_{\text{СЕС.рік.PVGIS 5.3}} - P_{\text{СЕС.рік.}} \quad (2.1.5)$$

де  $P_{\text{СЕС.рік.}}$  — дані річної генерації отримані за допомогою ручних обчислень з урахуванням втрат, кВт,  $P_{\text{СЕС.рік.PVGIS 5.3}}$  — дані річної генерації PVGIS 5.3, кВт.

$$P_{\text{СЕС}} = 21789,76 - 21280,23 = 509,53 \text{ кВт.}$$

У відсотковому відношенні:

$$\frac{P_{\text{СЕС.рік.PVGIS 5.3}}}{P_{\text{СЕС.рік.}}} = \frac{21789,76}{21280,23} \cdot 100\% \approx 1\%$$

Як бачимо, відмінність складає всього 1%, але враховувати будемо менше значення генерації, щоб отримати максимально близьке значення потужності яку буде генерувати СЕС.

## 2.2. Обладнання для монтажу панелей.

Монтаж панелей виконують за допомогою кріпильних матеріалів: напрямлений профіль, кронштейни, метизи кріплень конструкцій, притиски, прокладки, метизи кріплень модулів та інші. В моєму випадку, окрім звичайного кріплення панелей на дах, необхідно розглянути варіант конструкції для нахилу панелей під кутом  $32^\circ$ . Щоб зібрати таку конструкцію, спочатку необхідно визначити який кут нахилу мають дахи будівель. Кут визначимо за формулою:

$$\alpha_i = \arctan \frac{a}{b} \quad (2.2.1)$$

де  $a$  — висота даху м,  $b$  — ширина будівлі м.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						36
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо кут для будинку, гаража та майстерні за формулою 2.2.1:

$$\alpha_{\text{буд.}} = \arctan \frac{h_{\text{буд.}}}{W_{\text{буд.}}} = \arctan \frac{2,5}{5} = 0,464 \approx 26,57^\circ$$

$$\alpha_{\text{гар.}} = \arctan \frac{h_{\text{гар.}}}{W_{\text{гар.}}/2} = \arctan \frac{2}{3/2} = 0,927 \approx 51,13^\circ$$

$$\alpha_{\text{майт.}} = \arctan \frac{h_{\text{майст.}}}{W_{\text{майст.}}/2} = \arctan \frac{2}{5/2} = 0,675 \approx 38,66^\circ$$

З отриманих результатів бачимо, що кути нахилу всіх поверхонь різні. Отже, при підключенні до сонячного інвертора, для кожного набору панелей потрібно мати окремий MPPT контролер, трекер.

Враховуючи різний кут нахилу панелей, перевіримо які будуть втрати якщо не змінюючи кут нахилу встановити панелі до покрівлі.

Розрахунки проведемо окремо для кожного набору панелей на основі інтерактивного інструменту PVGIS 5.3. Для цього, враховуючи потужність 30, 12 та 8 панелей та їх кут.

Панелі на даху будинку за рік згенерували – 13036 кВт, майстерні – 5209,4 кВт, гаража – 3367 кВт. Загалом генерація при різних кутах склала:

$$P = 13036 + 5209,4 + 3367 = 21612,4 \text{ кВт}$$

Річна різниця за оптимального кута  $32^\circ$  та за різних кутів:

$$21789,76 - 21612,4 = 177,36 \text{ кВт.}$$

У такому випадку, корекцією кута нахилу панелей на даху можна знехтувати, так як втрати незначні, а витрати коштів на допоміжні елементи конструкції будуть більшими ніж стандартний варіант. Незначний вплив нахилу кута пояснюється тим, що для кожної пори року оптимальним є свій кут нахилу. Наприклад  $28^\circ$  ефективно для літа, але взимку панелі під таким кутом вироблятимуть значно менше ніж якби вони були встановлені під кутом  $60^\circ$ . Через це, для року загалом генерація майже не зміниться. В даному випадку, розрахунок проводиться для комбінованої мережі, генерації електроенергії панелями для споживача вистачить. Решта електроенергії буде продаватися в мережу.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						37
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепер розглянемо кріплення панелей на дах будинку. Всі модулі влаштовані вертикально. Принцип розміщення панелей вертикально зображено на рис.2.12. [26]



Рисунок 2.12 — Вертикальне кріплення панелей.

Принцип горизонтального розміщення панелей гаража та майстерні зображено на рисунку 2.13. [12]

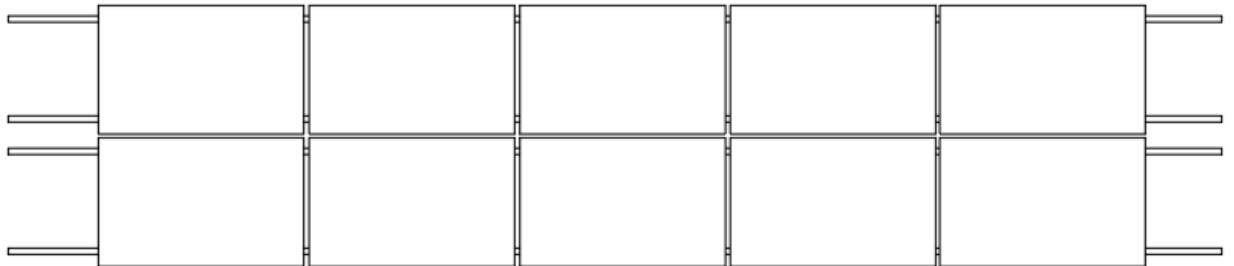
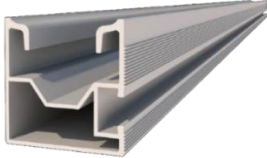


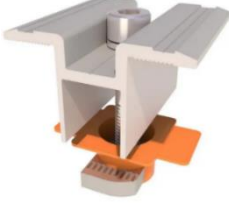
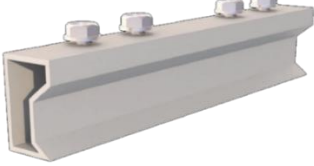


Рисунок 2.13 — Горизонтальне кріплення панелей.

Для зручності розрахунків, перелік кріпильних елементів, їх вартість та кількість занесемо в таблицю 2.3.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.3 — Перелік елементів кріплення панелей на покрівлі.

Назва	Кількість, шт.			Вартість, грн/шт.
	Буд.	Майст.	Гараж	
 Профіль алюмінієвий 40 x 40 x 2250 мм	33	24	12	720
 Кронштейн для бітумної черепиці	100	48	32	130
 Крайній прижим	12	12	8	150
 Середній прижим	54	18	12	84
 Поздовжній з'єднувач	16	12	6	71

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.141. 456 ПЗ

Арк.

39

Загальну вартість матеріалів визначимо в розділі 4, де буде проведений економічний розрахунок. Для проектування СЕС, необхідно також визначитися зі схемою під'єднанням модулів: паралельно або послідовно. Від цього буде залежати вихідна напруга та струм. Послідовність підключення панелей визначимо коли будемо обирати інвертор та робити комбіновану схему підключення.

### 2.3. Вибір типу вітрогенераторів.

В ході виконання цього етапу магістерської роботи, розглянемо вітряки які існують для продажу на ринку електрообладнання та їх технічні властивості. Оберемо вітрогенератори для власних потреб та розрахуємо їх генерацію упродовж року подібно до того як розраховували генерацію панелей.

Вітрогенератори — це пристрої, що перетворюють механічну енергію вітру в електричну. Технічне виконання вітряків буває різне. До основного типу вітротурбін належать більш потужніші з вертикальною віссю обертання та менш потужні — виконані горизонтальною віссю (рис.2.14). [13]

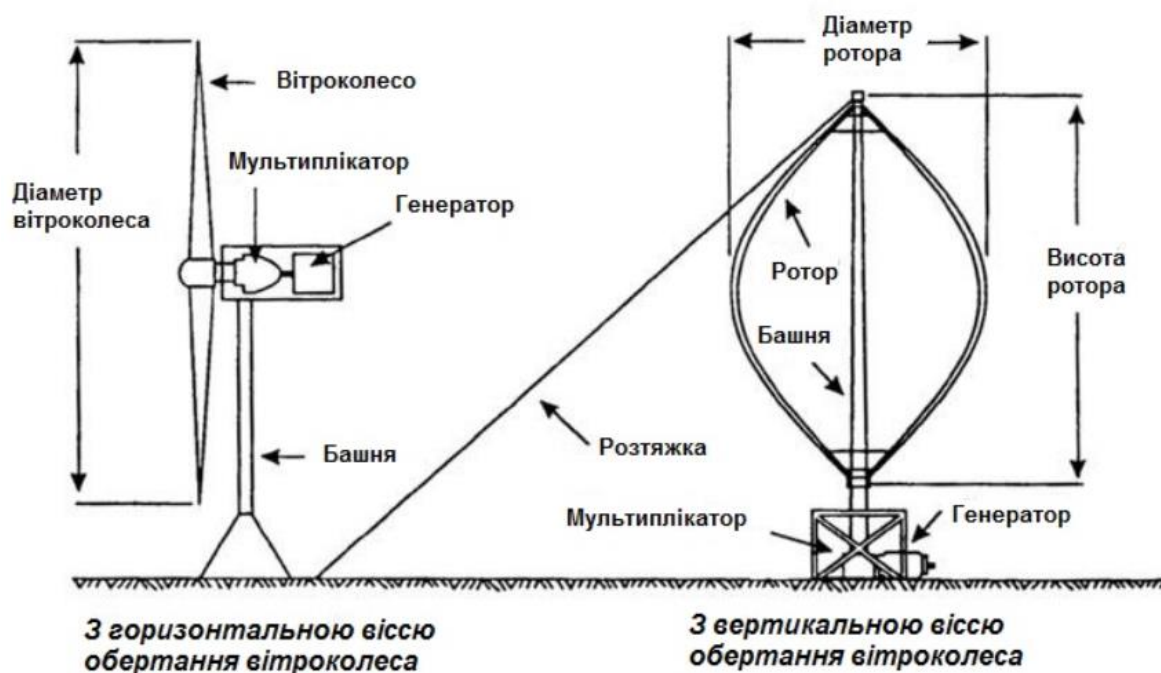


Рисунок 2.14 — Типи виконання вітроелектричних установок.



Основною складовою будь якого вітряка є тип генератора. До генераторів які встановлюють на вітряках відносять:

- Асинхронні генератори — це електричні асинхронні двигуни які працюють в генераторному режимі. Сила вітру обертає ротор асинхронного двигуна в напрямку магнітного поля. Ковзання ротора при цьому є від’ємним, на валу з’являється тормозний момент внаслідок чого генератор передає в мережу електроенергію. До його переваг відноситься проста конструкція, малі габарити для потужних вітряків, надійність. Недоліками є необхідність встановлення конденсаторних батарей (до того вага та габарити конденсаторних батарей близькі до розмірів самого генератора), складність регулювання напруги.

- Синхронні генератори — такі генератори поширені у великих вітряних турбінах завдяки їх стабільності та можливості роботи з різною швидкістю. Принцип роботи заснований на явищі електромагнітної індукції. Ротор, який має магнітні полюси, створює обертове магнітне поле. Це поле проходить через обмотку статора і викликає в ній появу електрорушійної сили (ЕРС). Коли до генератора підключається навантаження, він стає джерелом змінного струму, який може подавати електроенергію до споживачів.

- Синхронні генератори з постійними магнітами — мають просту електричну схему, не споживають енергію на збудження відповідно мають більший відсоток ККД, менш чутливі до реакції якоря та мають більшу надійність в порівнянні з іншими генераторами. До недоліків відносять лише низький діапазон регулювання напруги.[14]

На ринку України, серед вітрогенераторів малої потужності переважають саме синхронні генератори з постійними магнітами та горизонтальною віссю. Враховуючи їхні переваги, та доступність для проектування ВЕС будемо використовувати саме цей тип вітрогенераторів.

Вітрові електростанції є вкрай непередбачуваним джерелом відновлювальної енергетики. Генерація напряму залежить від сили вітру, тому неможливо розрахувати конкретний виробіток електроенергії протягом місяця.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Всі розрахунки лише є приблизними, так як спрогнозувати яка сила вітру для кожного дня не вийде. Споживач для якого будемо проводити розрахунок є побутовим, тобто відносно невеликої потужності, а також розміщено серед житлової забудови. Вітряки 10кВт, 20 кВт, 30кВт матимуть значний шум для місцевого населення, а також, здебільшого будуть працювати в холосту.

Проаналізувавши графік добового навантаження (рис.1.8), бачимо, що споживання електроенергії не перевищує 5 кВт· год. Звісно, один вітряк потужністю 5кВт не зможе працювати на максимум та постійно видавати всю потужність. Окрім цього, встановлення значної кількості вітрогенераторів теж сприятиме підвищенню шуму для оточуючих. Отже, враховуючи те, що вітряки являються допоміжним джерелом в нашій енергосистемі, немає необхідності забезпечувати на 100% домогосподарство енергією від ВЕС. Тому, проведемо розрахунок генерації двох вітрогенераторів потужністю 5кВт, характеристики якого наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Характеристика вітрогенератора 5кВт.

Параметр	Значення
Тип	Трифазний синхронний генератор на постійних магнітах
Потужність вітрогенератора, Вт	5000
Старт вітрогенератора, м/с	від 2
Вихідна напруга, В	48
Діаметр ротора, м	3,7
Робоча швидкість вітру, м/с	2-15
Робоча температура, °С	від -40 до +60
Вага генератора, кг	565

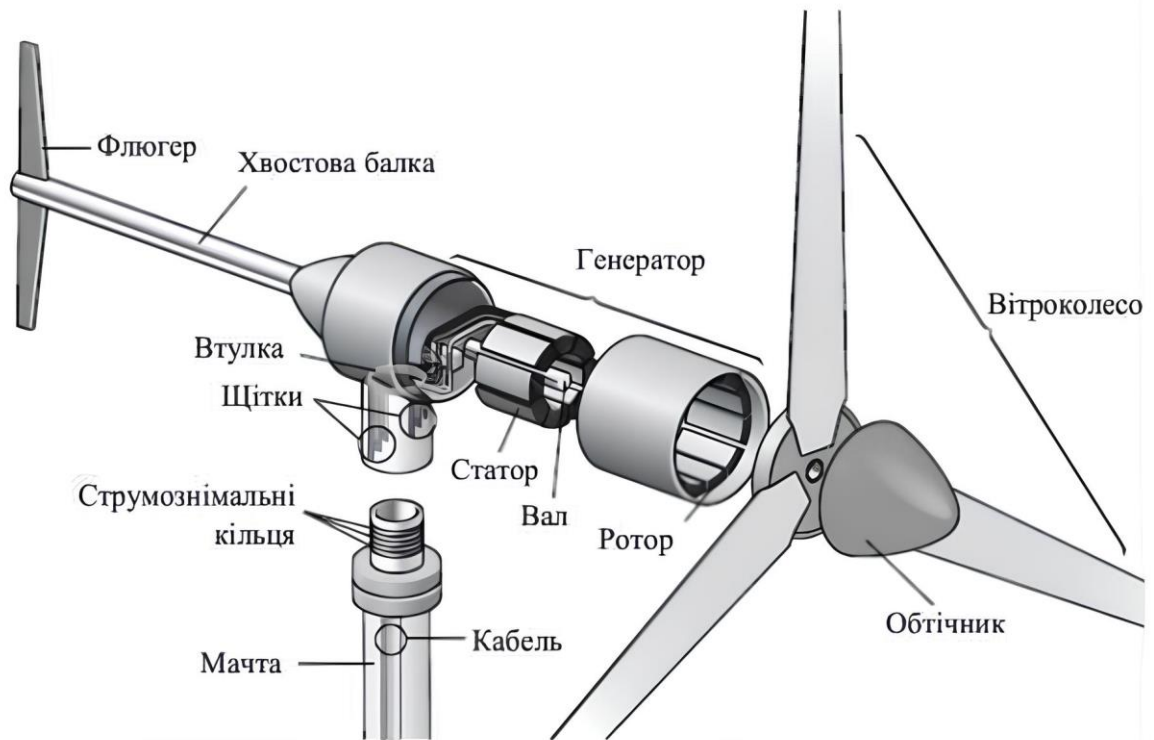


Рисунок 2.15 — Конструктивне виконання вітрогенератора 5кВт. [15]

Робота вітряної турбіни постійно нестабільна. За більшої швидкості вітру вітряк генерує більшу потужність, за меншої швидкості відповідно меншу. Враховувати, що вітряк постійно буде працювати за максимального номіналу 5кВт — не можна. Отже необхідно розрахувати якій швидкості вітру буде відповідати номінал потужності генератора. Для проведення розрахунку використаємо формулу 2.3.1.

$$P_B = 0,5 \cdot \xi \cdot \pi \cdot D \cdot \rho \cdot V_{\text{СР}}^3 \cdot \eta_G \cdot \eta_{\text{П}} \quad (2.3.1)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт використання вітру, 0,42;  $D$  – діаметр ротора вітрогенератора, 3,7 м;  $\rho$  – густина повітря, 1,2041 кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{СР}}$  – середньорічна швидкість вітру, для 10 м – 4,41 м/с;  $\eta_G$  – ККД генератора, в середньому 0,85;  $\eta_{\text{П}}$  – ККД перетворювача, середнє значення 0,8.

За формулою 2.3.1 знаходимо відповідне значення потужності для швидкості вітру від 2 м/с до 14 м/с, результати розрахунків заносимо в таблицю 2.5.

						Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 — Результати розрахунків потужності вітрогенератора.

Швидкість вітра, м/с	Потужність вітряка, кВт
1	0
2	0,02
3	0,05
4	0,12
5	0,24
6	0,41
7	0,65
8	0,97
9	1,38
10	1,89
11	2,52
12	3,27
13	4,15
14	5,00

На основі результатів таблиці 2.5 — будемо графік залежності потужності від швидкості вітру рис.2.16.

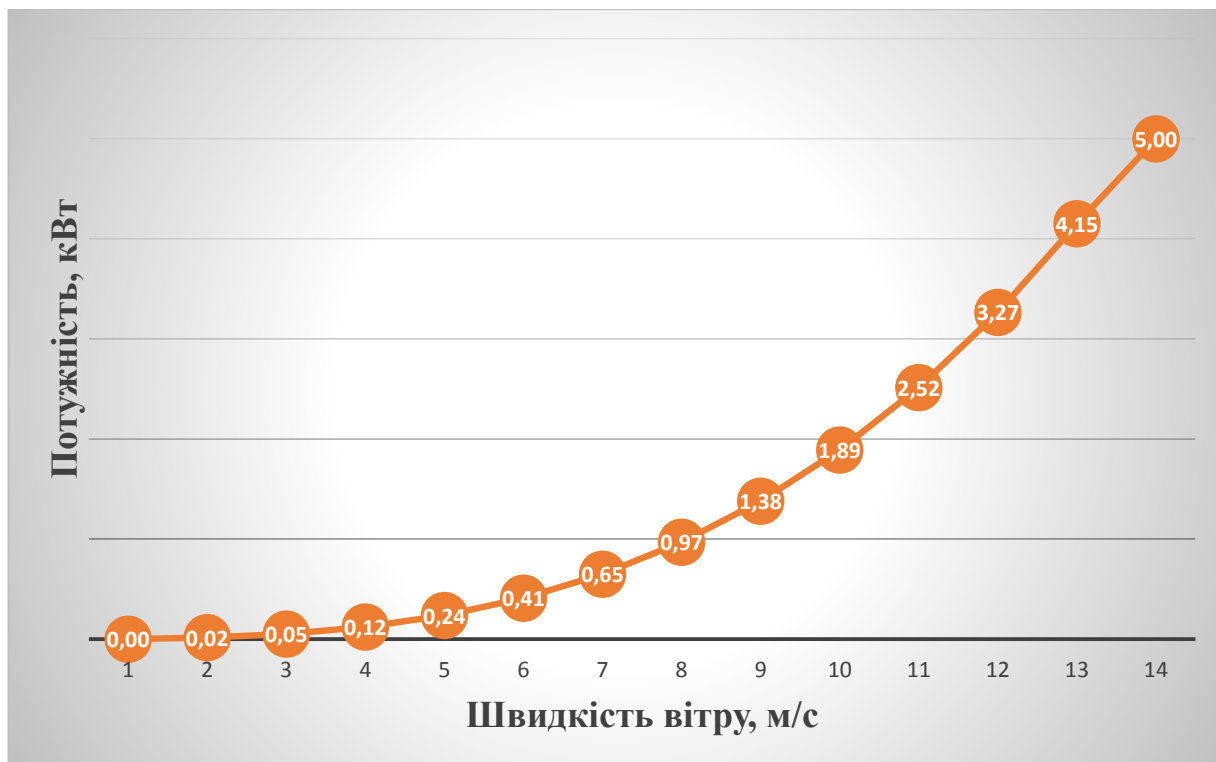


Рисунок 2.16 — Потужність вітрогенератора 5кВт в залежності від швидкості вітру.

Для визначення скільки електроенергії вітряки зможуть забезпечити домогосподарство, використовуючи потужність вітрогенератора, а також відомості про тривалість швидкості вітрів протягом року, за формулою 2.3.2 розрахуємо генерацію вітряків за певної швидкості вітру.

$$P_i = n_i \cdot 24 \cdot P_{v_i} \cdot n_v \quad (2.3.2)$$

де  $n_i$  — кількість днів;  $P_{v_i}$  — потужність вітрогенератора;  $n_v$  — загальна кількість вітряків, шт.

Річну генерацію визначимо за формулою 2.3.3.

$$P_{\text{річна}} = \sum P_i \quad (2.3.3)$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 2.6. Після чого, на їх основі, побудуємо діаграму генерації вітряків для кожного значення швидкості вітру (рис.2.17).

Таблиця 2.6 — Генерація вітряків для певної швидкості протягом року.

Швидкість вітру, м/с	Кількість днів, $n_i$	Згенерована електроенергія, $W_i$ , кВт·год
1	0	0
2	23	16,69
3	35	85,72
4	45	261,23
5	54	612,26
6	52	1018,79
7	46	1431,14
8	35	1625,43
9	23	1520,85
10	13	1179,16
11	9	1086,55
12	4	626,95
13	4	797,11
14	2	480,00
<b>Річна генерація</b>		<b>10725,18</b>

Для порівняння генерації СЕС та ВЕС, необхідні дані повторюваності вітрів помісячно. Таких відомостей на жаль знайти не вдалося. Однак, є інформація середньомісячної швидкості вітру. Тобто у нас є дані для якого місяця середньомісячний показник є більшим, а для якого навпаки меншим. Ці дані були наведено в першому розділі таблиця 1.4.

Середньомісячну швидкість вітру використаємо як коефіцієнт, і за допомогою пропорції визначимо дані для побудови помісячної генерації ВЕС.

$$P_{\text{ВЕС.міс.}i} = \frac{v_{\text{сер.міс.}i} \cdot P_{\text{сер.міс.}}}{v_{\text{міс.рік}}} \quad (2.3.4)$$

де  $v_{\text{сер.міс}}$  — середня місячна швидкість вітру;

$P_{\text{сер.міс.}}$  — середньомісячна генерація вітряків:

$$P_{\text{сер.міс.}} = \frac{P_{\text{річна.}}}{12} = \frac{10725,18}{12} = 893,765 \frac{\text{кВт}}{\text{міс}};$$

$v_{\text{міс.рік}}$  — середня швидкість вітру протягом всього року.

Таким чином, ми визначимо як розподілиться генерація помісячно. Результати розрахунків занесемо до таблиці 2.3.4, на основі яких побудуємо діаграму помісячної генерації ВЕС (рис.2.18).

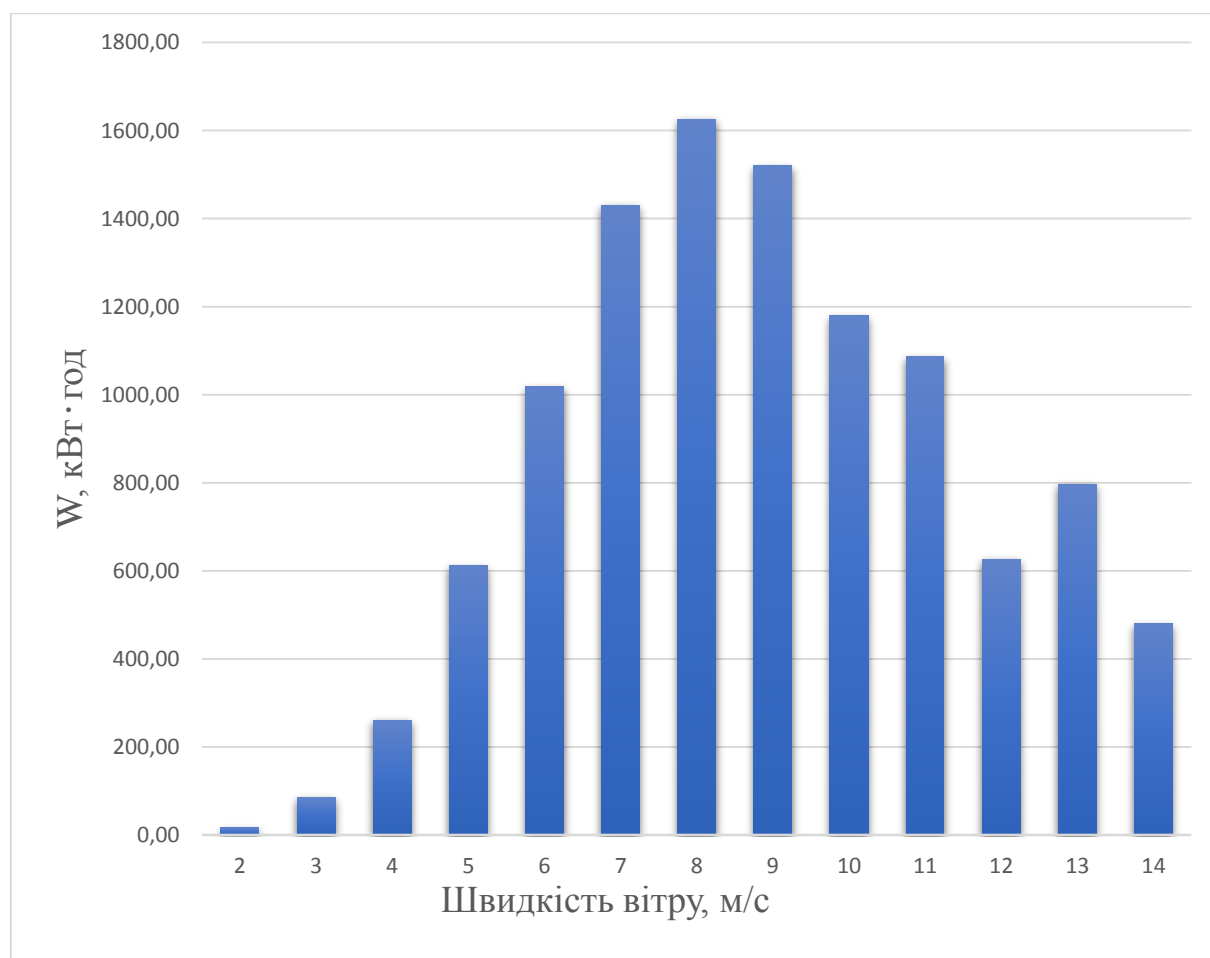


Рисунок 2.17 — Згенерована електроенергія, в залежності від швидкості вітру, упродовж року.

Таблиця 2.7 — Помісячна генерація електроенергії вітряків.

Місяць	Згенерована електроенергія, кВт· год
<b>Січень</b>	1048,186
<b>Лютий</b>	1104,338
<b>Березень</b>	1048,186
<b>Квітень</b>	898,4448
<b>Травень</b>	842,292
<b>Червень</b>	729,9864
<b>Липень</b>	692,5512
<b>Серпень</b>	673,8336
<b>Вересень</b>	748,704
<b>Жовтень</b>	879,7272
<b>Листопад</b>	1048,186
<b>Грудень</b>	1010,75

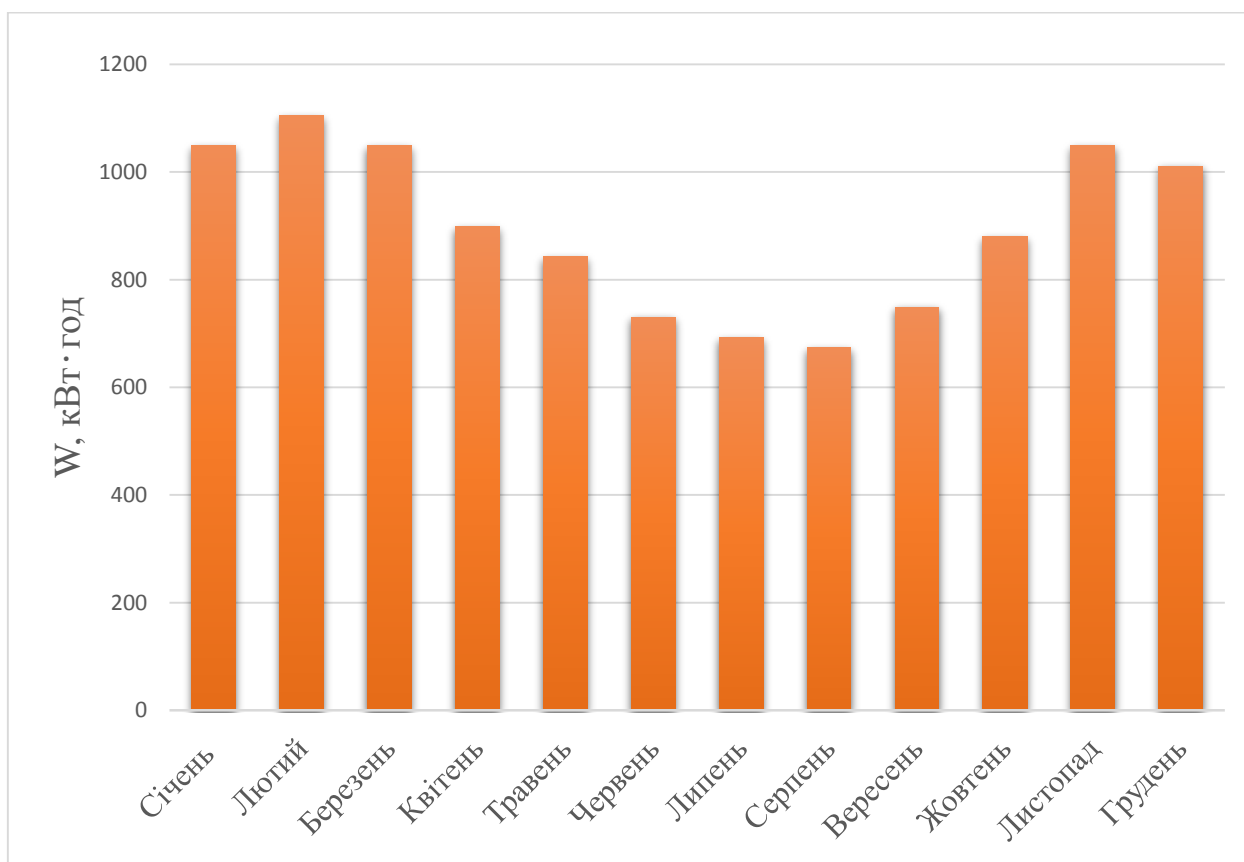


Рисунок 2.18 — Помісячна генерація ВЕС домогосподарства.



За діаграмою 2.18 бачимо, що найвищий показник генерації спостерігається для зимових, частково весняних/осінніх місяців. Найменший виробіток для літніх місяців. Отже, вітряки чудово доповнять генерацію сонячних панелей, коли взимку панелі виробляють навпаки найменшу кількість електроенергії. Таким чином, комбінована енергомережа дозволить підвищити відсоток енергонезалежності домогосподарства в цілому.

#### 2.4. Додаткове обладнання для встановлення вітряків.

Щоб зарядити акумуляторні батареї необхідний контролер заряду. Для обраних вітрогенераторів застосовують контролери моделі Windsan-mini-100 (рис.2.19)



Рисунок 2.19 — Контролер заряду акумуляторної батареї Windsan-mini-100.

Таблиця 2.8 — Технічні характеристики контролера заряду Windsan-mini-100.

Робоча потужність	5000Вт
Максимальна потужність	5500Вт
Номінальний струм зарядки АКБ	100А (Регульований)

Продовження таблиці 2.8

Напруга зарядки АКБ	12-100В (Регулюється)
Максимальний струм баласту	80А
Технологія	PWM
Призначення	Заряджання/Блокування
Режим роботи	Постійний
Споживання струму контролером	20мА
Вартість	10000 грн

Контролер в свою чергу потребує підключення до баласту (рис.2.20), щоб витратити надлишкову енергію в той час коли акумулятори повністю заряджені та немає споживання в мережі.

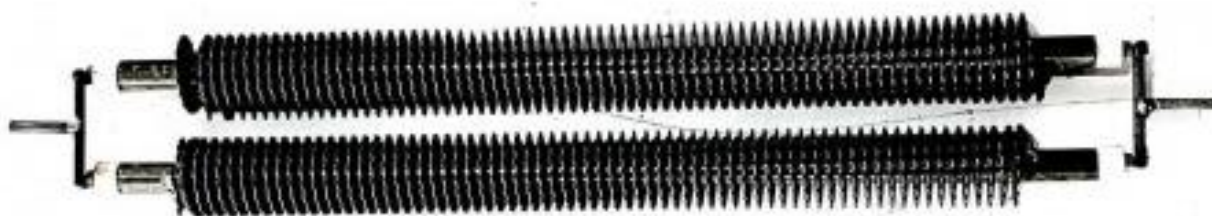


Рисунок 2.20 — Баласт для вітрогенератора 5кВт.

Таблиця 2.9— Характеристики баласта.

Номінальна потужність	4000Вт
Максимальна потужність	5000Вт
Номінальна напруга	48В
Вартість	3400грн

## 2.5.Схема комбінованого електропостачання домогосподарства.

Підключення сонячних панелей та вітрогенераторів до електричної мережі приватного сектору потребує певної послідовності. Найбільш вдалим варіантом підключення є схема з вітряками змінного струму які під'єднані до МРРТ контролера та баласту. Наступним вузловим з'єднанням є інвертор. До нього під'єднується: ввід від ЛЕП, сонячні панелі (в роз'єм МРРТ трекера контролера інвертора), навантаження та контролер вітрогенератора. Така система забезпечує високу ефективність. Гібридні інвертори Deue мають можливість продажу електроенергії в мережу по зеленому тарифу, а також можливість накопичення в акумуляторних батареях на випадок повністю відсутності генерації ВДЕ або електроенергії яка надходить з мережі. Принцип під'єднання зображено на (рис.2.21), однолінійна схема (рис.2.22). Ця схема поєднує в собі одразу мережеву та гібридну функцію інвертора. Нажаль, як вже сказано було раніше, на сьогоднішній день, на ринку електрообладнання України спостерігається дефіцит таких контролерів та вітрогенераторів. Через це зібрати таку схему (рис.2.21, рис.2.22) не вийде.

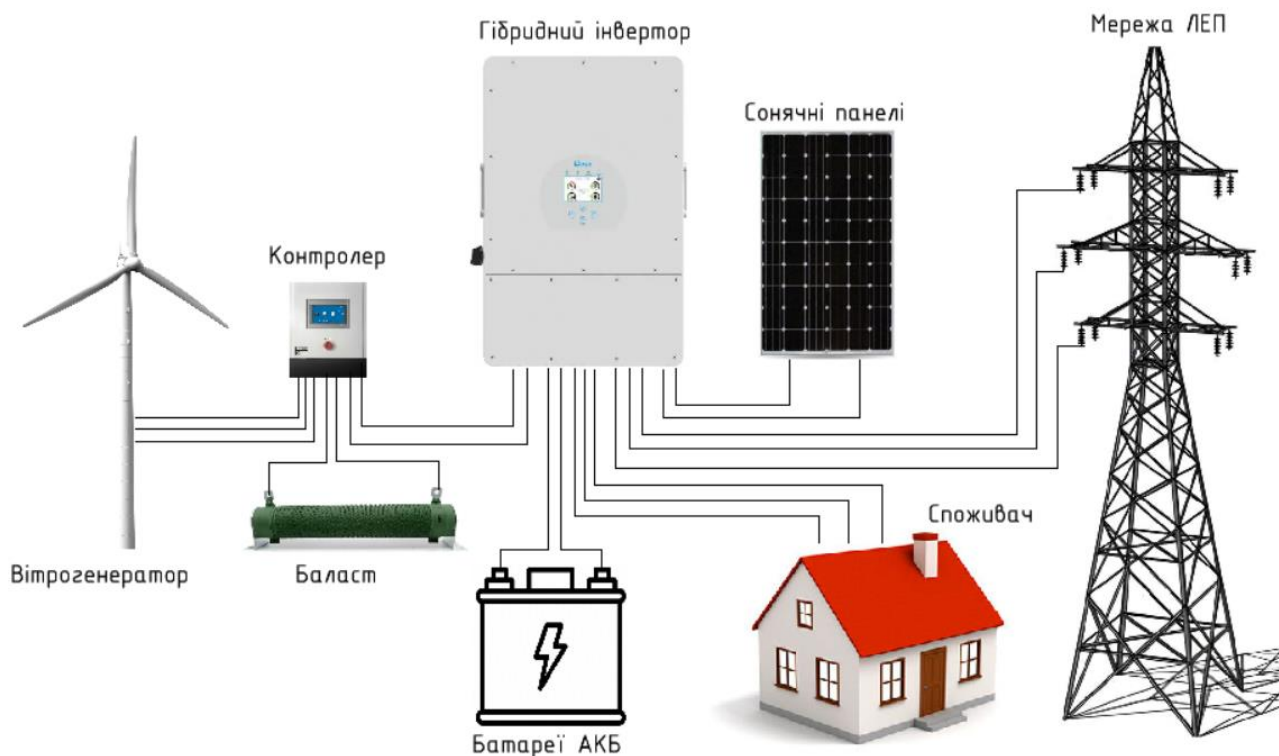


Рисунок 2.21 — Схема поєднання вітрогенераторів та панелей.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.141. 456 ПЗ

Арк.

51

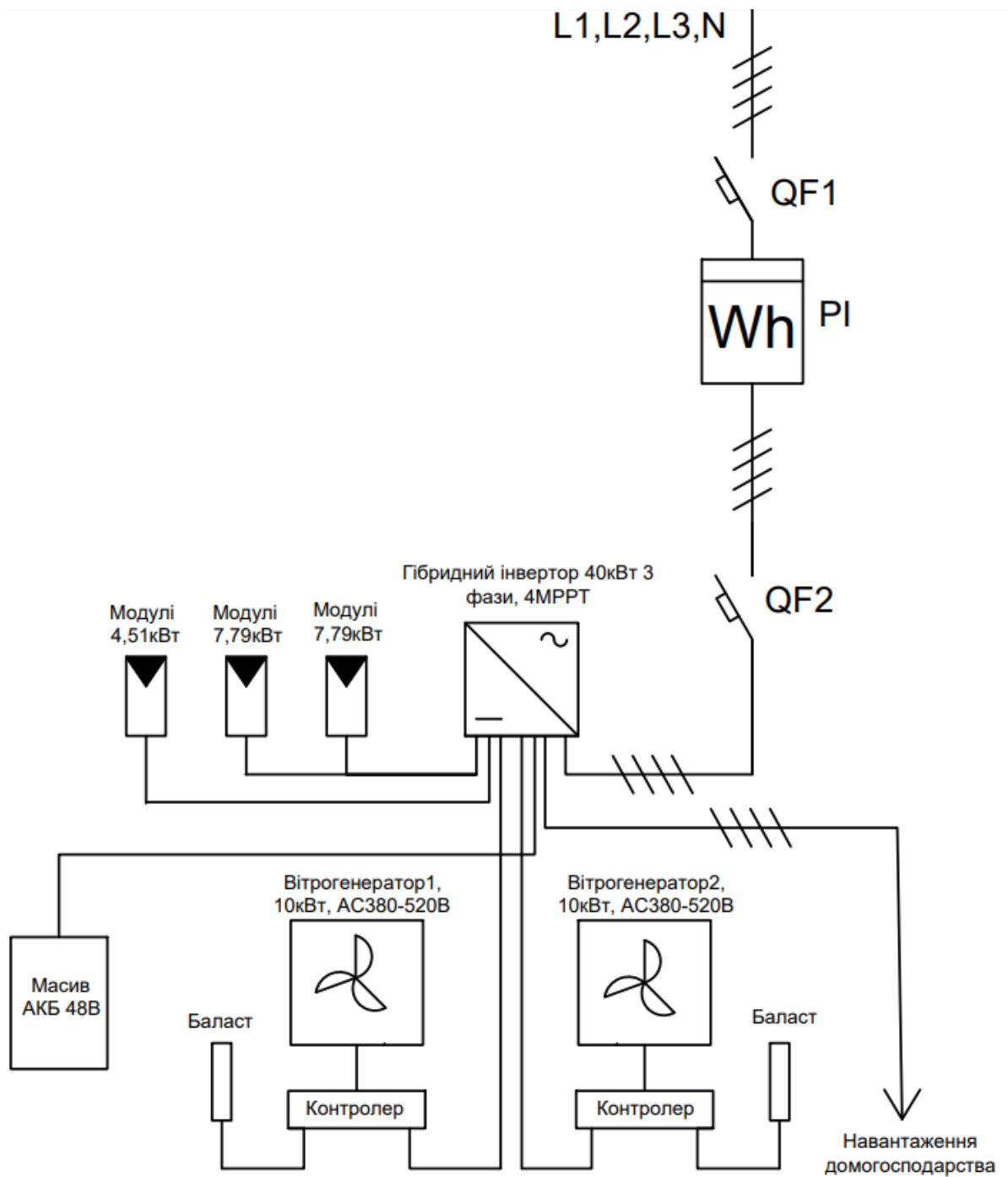


Рисунок 2.22 — Однолінійна схема з використанням одного інвертора.

Розглянемо інший варіант для підключення панелей та вітрогенераторів в одну систему. Для цього будемо використовувати два типи інверторів: мережевий та гібридний. Підключення елементів проведемо в наступній послідовності (рис.2.23).

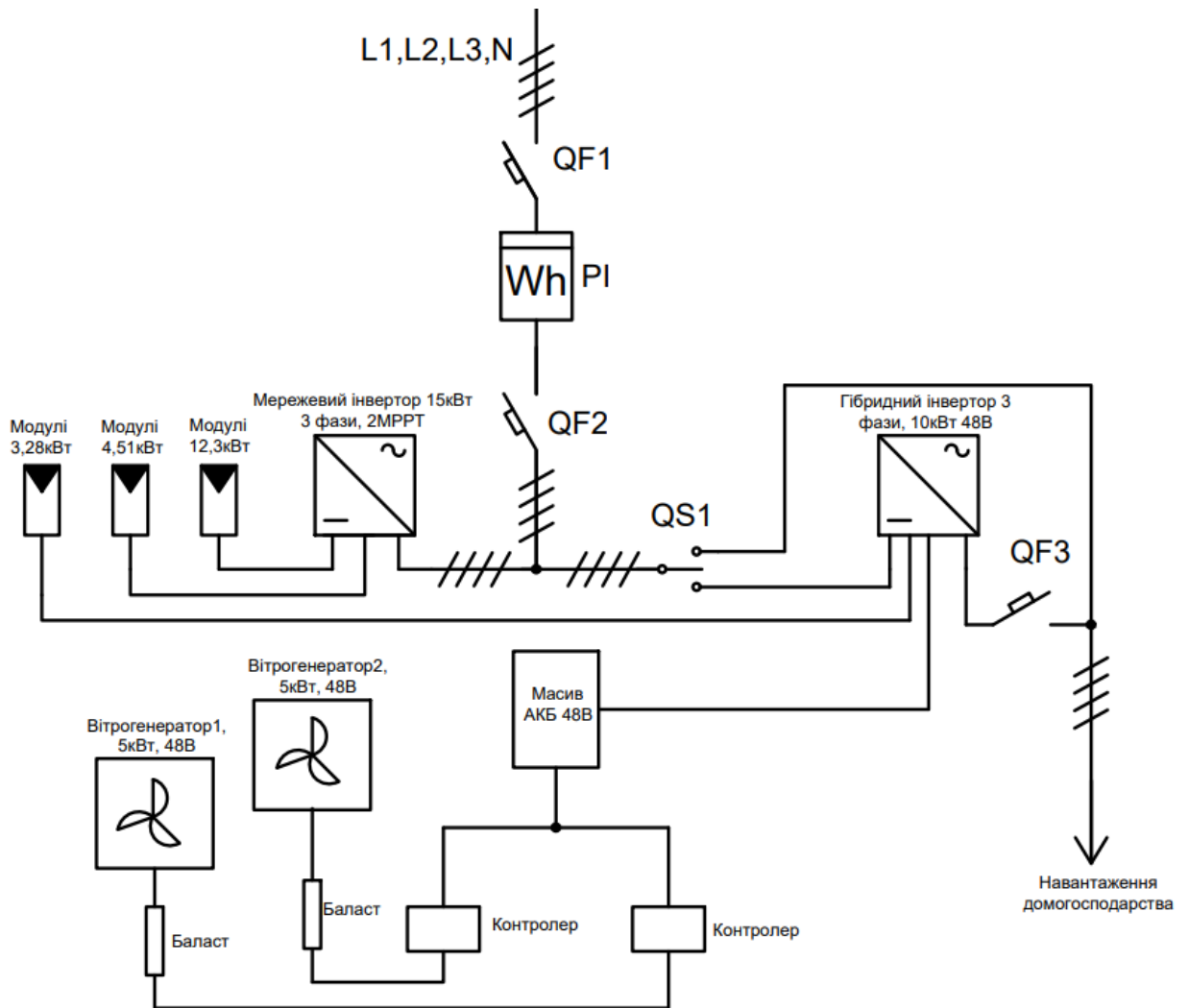


Рисунок 2.23 — Однолінійна схема підключення з використанням мережевого та гібридного інвертора.

Отримана схема має дещо більшу вартість так, як необхідно встановлювати два інвертора, але надає змогу для підключення вітрогенераторів 5кВт, 48В. Працює вона наступним чином: зарядка акумуляторів проводиться вітрогенераторами та панелями 3,28кВт. Згенерована електроенергія вітрогенераторів надходить через акумуляторні батареї до гібридного інвертора, інвертор в свою чергу перетворює постійний струм 48В в змінний 380В, та подає в мережу навантаження приватного сектора. Якщо існує дефіцит енергії на клеммах акумуляторної батареї, то інвертор «підмішує» нестачу з мережі ЛЕП та згенерованої електроенергії панелями 4,51кВт та 12,3кВт.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Панелі розташовані на дахах гаража та майстерні, виробляють електроенергію, але живлять вже інший інвертор — мережевий, який має два МРРТ—трекери, для кожного стрингу. За умови коли генерація вітряків є достатньою, та для будинку немає необхідності в додатковому живленні, електроенергія згенерована панелями буде продаватися в мережу ЛЕП за «зеленим» тарифом. Таким чином, ми отримали систему електропостачання яка використовуючи ВДЕ зводить до мінімуму залежність від зовнішньої лінії електропередачі. При цьому, у випадку необхідності, коли генерація ВДЕ недостатня, споживач автоматично отримує електроенергію від мережі ЛЕП. Слід відзначити, окремої уваги потребує ручний перемикач QS1, його використання потрібне лише для «обходу» гібридного інвертора у випадку виходу з ладу, або коли необхідно подати навантаження більше 10кВт для домогосподарства.

## 2.6. Вибір інверторів та схема з'єднань панелей.

На ринку елетротехнічної продукції України існує безліч інверторів як мережевих так і гібридних. Інвертори обирають за такими технічними характеристиками як: напруга на вході, напруга на виході, кількість фаз, потужність, кількість МРРТ—трекерів, максимальний струм на вході (від панелей), напруга та максимальна ємність акумуляторних батарей.

Розпочнемо з вибору мережевого інвертора для підключення панелей розміщених на даху будинку 12,3 кВт та на даху майстерні 4,92кВт. Загальна потужність панелей складає:  $12,3+4,92=17,22$ кВт. На практиці, виробники рекомендують трішки перевантажувати інвертор. З урахуванням того, що панелі не зможуть згенерувати постійно свій максимум, доцільно обрати інвертор потужністю 15кВт. У випадку якщо потужність панелей буде наприклад 16кВт, інвертор продовжить працювати без шкоди для обладнання, але максимум який він згенерує в мережу буде 15кВт.

Домогосподарство має трифазний ввід, та використовує всі три фази в будівлях. Відповідно інвертор повинен мати три фази, вхідну та вихідну напругу змінного струму 380В.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Визначимо напругу панелей розміщених на даху майстерні якщо всі панелі з'єднати послідовно формула 2.6.1.

$$U_{M.CEC} = n_{M.CEC} \cdot U_{xx.p} \quad (2.6.1)$$

де  $n_{M.CEC}$  — кількість панелей розміщених на даху майстерні;

$U_{xx.p}$  — напруга холостого ходу однієї панелі В.

$$U_{M.CEC} = 12 \cdot 41,9 = 502,8 \text{ В.}$$

Панелі розміщені на даху будинку розділимо на два стринга щоб вирівняти потужність та напругу всіх стрингів. Аналогічно визначимо напругу стрингів розміщених на даху будинку:

$$U_{B.CEC} = 15 \cdot 41,9 = 628,5 \text{ В.}$$

Отже, напруга панелей для мережевого інвертора повинна становити в діапазоні 500—600В. Стринги з різними розміщенням (направлення панелей за сторонами горизонту, кут нахилу панелей) не можна підключати до одного МРРТ—трекера, тому панелі на даху гаража які навіть якщо з'єднати послідовно підключити до мережевого інвертора не вийде. Через це, панелі на даху гаража будуть підключені до гібридного інвертора.

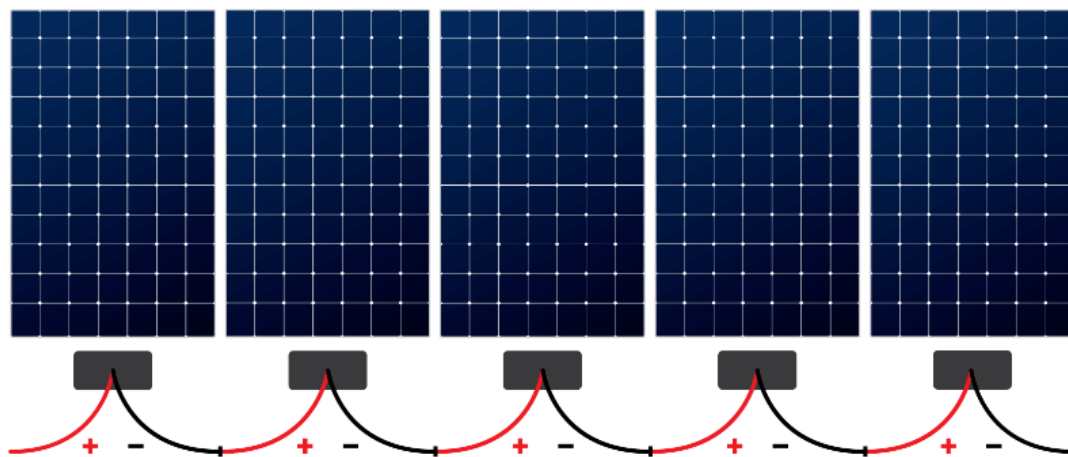


Рисунок 2.24 — Схема послідовного підключення сонячних панелей.

Визначимося з вхідним струмом підключених сонячних модулів. Струм однієї панелі складає 11,76А. Враховуючи послідовне з'єднання панелей у всіх випадках, вхідний постійний струм повинен бути не менше 11,76А.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Тепер коли нам відомий номінальний струм панелей та їх напруга, обраємо перетин кабелю. Отже, так як струм становить 12А, а напруга в межах до 1000В, найбільш підходить стандартний переріз кабелю 6 мм<sup>2</sup>.

Кабель діаметром 6 мм<sup>2</sup> максимально ефективно підходить для використання у системі сонячної електростанції завдяки своїй великій захищеності та надійності. Даний кабель є луджений (захищений від корозії), з подвійною ізоляцією, мідний, з однією центральною жилою. Діаметр поперечного перерізу кабелю становить 0,6 см<sup>2</sup>. Використовується для підключення сонячних електростанцій великої потужності. Кабель захищений від будь-яких погодних умов, ультра-фіолетового опромінення, не горить та витримує протікання струму з великими напругами до 1000В (при якій всі інші кабелі плавитимуться).

Технічні характеристики [16]:

- Дозволена напруга: до 1000 В;
- Максимальний струм: до 30 А;
- Діаметр перерізу кабеля: 6 мм<sup>2</sup>;
- Робоча температура: -40...+120°C;
- Гарантія: 10 років;
- Колір: чорний, червоний;
- Країна-виробник: Німеччина, Італія, Іспанія, Україна;
- Термін служби: більше 25 років;
- Тип: ізольований;
- Вартість одного метру кабелю 73 грн.

З'єднання панелей відбувається підключаючи власні конектори панелей послідовно. Підключивши всі панелі необхідно кожен майданчик під'єднати до МРРТ контролера інвертора. Інвертори та акумуляторні батареї будуть розміщені в майстерні. Загальна довжина від панелей на дахах будинку, гаража та майстерні складає 15м. Довжину кабелю беремо з запасом 20м.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Враховуючи попередні параметри, трифазний мережевий інвертор Deye SUN-15/17K-G05 задовольняє всі вимоги. Технічні характеристики наведено в таблиці 2.6.1.[17]

Таблиця 2.10—Технічні характеристики інвертора Deye SUN-15/17K-G05.

Параметр	Значення
Вхідні дані	
Макс. Вхідна потужність постійного струму (кВт)	19,5
Макс. Вхідна напруга постійного струму (В)	1000
Пускова вхідна напруга постійного струму (В)	13+26
Робочий діапазон MPPT (В)	19,5+39
Макс. Вхідний струм постійного струму (А)	2
Макс. Струм короткого замикання (А)	250
Кількість трекерів МРР	200-850
Кількість рядків на трекер МРР	1+2
Вихідні дані	
Номінальна вихідна потужність (кВт)	15
Макс. Активна потужність (кВт)	16.5
Номінальна вихідна напруга / Діапазон (В)	3L/N/PE 220/380В, 230/400В
Номінальна частота мережі (Гц)	50 / 60 (опціонально)
Етап експлуатації	Трифазна
Номінальний вихідний струм мережі змінного струму (А)	22.7/21.7
Макс. Вихідний струм змінного струму (А)	25/23.9
Вихідний коефіцієнт потужності	від 0,8 відставання до 0,8 випередження
Загальний коефіцієнт нелінійності струму мережі THD	<3%
Струм інжекції постійного струму (мА)	<0.5%

Продовження таблиці 2.10.

Діапазон частот мережі	45~55 або 55~65 (опціонально)
Макс. Ефективність	98.5%
Євро Ефективність	97.5%
Ефективність MPPT	>99%



Рисунок 2.25 — Зовнішній вигляд мережевого інвертора.

Інвертор Deye SUN-15/17K-G05 має наступні системи захисту:

- Захист від зворотної полярності постійного струму;
- Захист від короткого замикання змінного струму;
- Захист від перенапруги на виході змінного струму;
- Захист від перенапруги на виході;
- Захист опору ізоляції;
- Моніторинг замикань заземлення;
- Протиострівний захист;
- Температурний захист;

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- Вбудований перемикач постійного струму;
- Віддалене завантаження ПЗ;
- Дистанційна зміна робочих параметрів;
- Захист від перенапруги DC Type II / AC Type II.[17]

Технічні дані інвертора повністю відповідають нашим вимогам. Окрім цього, інвертор обладнаний багатьма системами захисту.

Тепер підберемо гібридний інвертор до якого підключимо вісім панелей, що розміщені на даху гаража, акумуляторну батарею та до неї вітрогенератори. Напруга послідовно підключених панелей гаража складає:

$$U_{Г.СЕС} = 8 \cdot 41,9 = 335,2 \text{ В.}$$

Струм відповідно не зміниться і буде дорівнювати 11,76А. Напруга підключеного акумулятора має бути 48В. Потужність інвертора достатньо 10кВт, так як наведений добовий графік навантаження показує, що середнє значення не перевищує 5кВт. Враховуючи перелік обладнання, та те, що загальне ймовірне навантаження 24кВт, коли всі прилади підключені одночасно, візьмемо інвертор із запасом. У випадку навіть перевищення показника в 10кВт які інвертор не зможе видати, встановлений ручний перемикач, який надає змогу ввімкнути мережу напругу без гібридного інвертора. Інвертором який задовільняє наші вимоги, є інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU 10kW, 3Ф, 48V (рис.2.26).



Рисунок 2.26—Гібридний інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Таблиця 2.11 — Технічні характеристики інвертора Deye SUN-10K-SG04LP3-EU.[18]

Резервний, автономний режим	
Потужність, Вт	10000
Максимальна потужність, Вт	11000
Пікова потужність не більше 10 с, Вт	20000
Вихідний струм, А	15.2
Максимальний вихідний струм, А	22,7
Максимальний струм транзиту, А	25
Вихідна частота, Гц	50/60
Тип мережі	3 ф (L / N / PE)
Коефіцієнт гармонік,%	THD <3% (лінійне навантаження <1,5%)
Сонячний контролер	
Максимальна потужність сонячного поля, Вт	13000
Діапазон напруги, В	160-800
Номінальна напруга МРРТ, В	550
Робочий діапазон МРРТ, В	200-650
Старт МРРТ, В	160
Струм МРРТ, А	26(34)+13(17)
Кількість трекерів МРРТ, шт	2
Кількість входів PV, шт.	2+1
Вхід акумулятора	
Тип батареї	AGM, GEL, LiFePO4, Li-ion
Діапазон напруги, В	40-60
Ефективність	
Максимальний ККД,%	97,6
ККД по євро класифікації,%	97,0

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## 2.7. Вибір акумуляторної батареї для гібридного інвертора.

Батарею будемо обирати відповідно до вимог інвертора які занесено до таблиці 2.6.2. Перевагу надаємо технологічним акумуляторам типу LiFePO4. Напруга повинна бути 48В, адже контролери заряду вітрогенераторів розраховані саме на цей номінал. Для вибору, необхідно розрахувати яка середня споживана потужність домогосподарства протягом дня. Після цього визначити ємність акумуляторів поділивши на їхній номінал напруги.

Визначимо розрахункову ємність акумуляторної батареї за формулою 2.7.1.

$$C_{\text{АКБ}} = \frac{P_{\text{сер}}}{U_{\text{АКБ}}} \quad (2.7.1)$$

де  $P_{\text{сер}}$  — середня споживана потужність домогосподарства, Вт;

$$P_{\text{сер}} = 23700 \text{ Вт.}$$

$U_{\text{АКБ}}$  — номінальна напруга акумуляторної батареї.

$$C_{\text{АКБ}} = \frac{23700}{48} = 494,75 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Заряд акумуляторної батареї, в більшій мірі будуть заряджати вітрогенераторні установки. Якщо розрахувати середній показник генерації вітряків електроенергії протягом року для однієї години ( $10725,28/365/24=1,23 \text{ кВт/год}$ ) отримаємо приблизно 1кВт/год. Отже, за ніч, коли немає електроспоживання, середня генерація вітряків складе приблизно 8 кВт. Враховуючи, що домогосподарство має інші джерела електричної енергії, та виробіток вітрогенераторів, встановлювати акумуляторні батареї ємністю 493,75А немає необхідності.

Для забезпечення домогосподарства резервним джерелом живлення вистачить акумуляторної батареї 200А · год. Отже, обираємо чотири акумуляторної батареї Kerworth LiFePO4 24V/100AH (2400W\*h). Щоб отримати потрібну напругу акумуляторної батареї та ємність необхідно по два акумулятори з'єднати послідовно (отримаємо 48В), а потім паралельно (отримаємо 200А · год). Схема з'єднання зображена на рисунку 2.27. Технічні характеристики однієї акумуляторної батареї наведено в таблиці 2.7.1.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						61
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

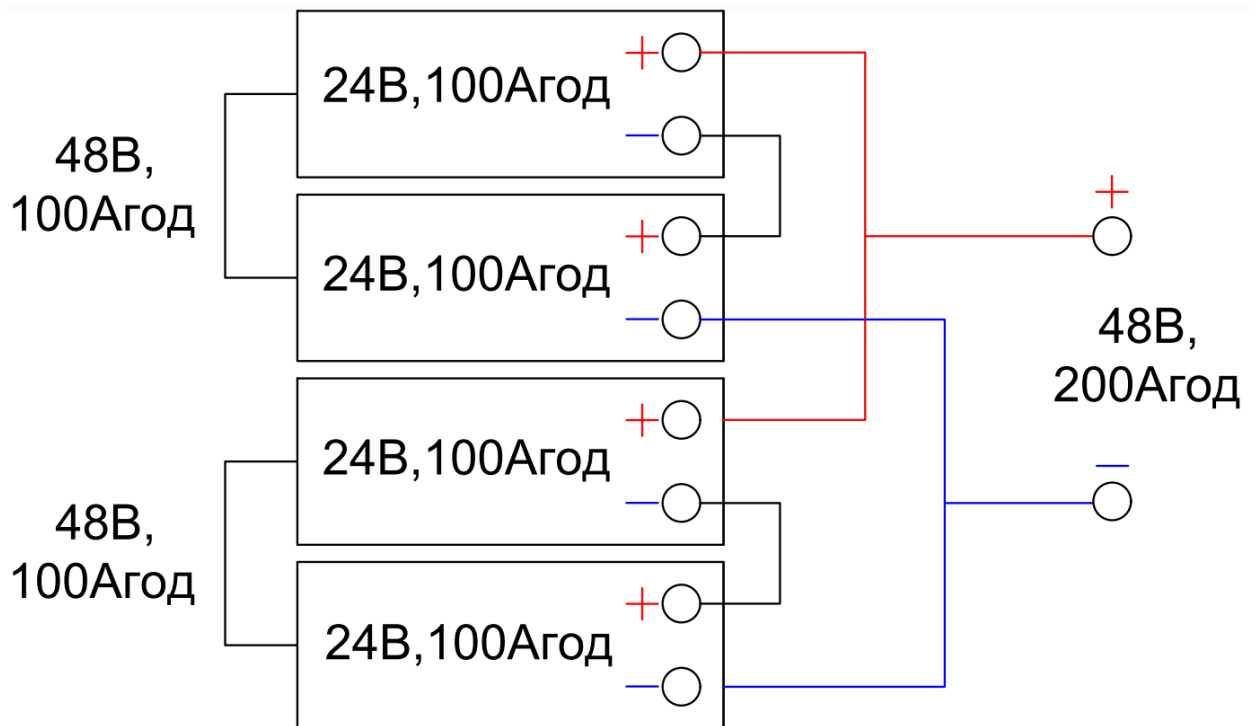


Рисунок 2.27 — Послідовне та паралельне з'єднання акумуляторних батарей.

Таблиця 2.12 — Технічні характеристики акумуляторної батареї Kerworth LiFePO<sub>4</sub> 24V/100AH.[19]

Параметр	Значення
Номінальна напруга	24В
Ємність	100 А · год
Вихідна потужність	2400 Вт
Тип акумулятора	LiFePO <sub>4</sub>
Максимальний зарядний струм	100 А
Напруга зарядки	29,2 В
Мінімальна напруга	20 В
Номінальний струм розряду	100 А
Номінальна потужність розряду	2400 Вт

## 2.8. Вибір багатотарифного трифазного лічильника електроенергії.

Для підключення установки сонячних панелей до мережі для продажу по «зеленому» тарифу, необхідна заміна однотарифного лічильника на багатотарифний, що підтримує вимір потужності в одному або двох напрямках. Також лічильник має бути сертифікованим (ДСТУ 62052-11, ДСТУ 62053-21, ДСТУ 62053-22, ДСТУ 62053-23) та відповідати вимогам законодавчих нормативних актів та національним стандартам України. Прилад обліку Itron ACE 6000 5(100)A к.т.1 (рис.2.28) задовольняє попередні вимоги.



Рисунок 2.28—Зовнішній вигляд лічильника Itron ACE 6000 5(100)A к.т.1.

Таблиця 2.13—Технічні характеристики лічильника.[20]

Параметр	Значення
Робочий діапазон напруги	від 3x57,7В до 3x240/415В
Робочий діапазон струмів для лічильників прямого увімкнення	5А...100А
Тип підключення	3-х або 4-х провідне підключення
Клас точності	1.0
Частота	50 Гц

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.141. 456 ПЗ

Арк.

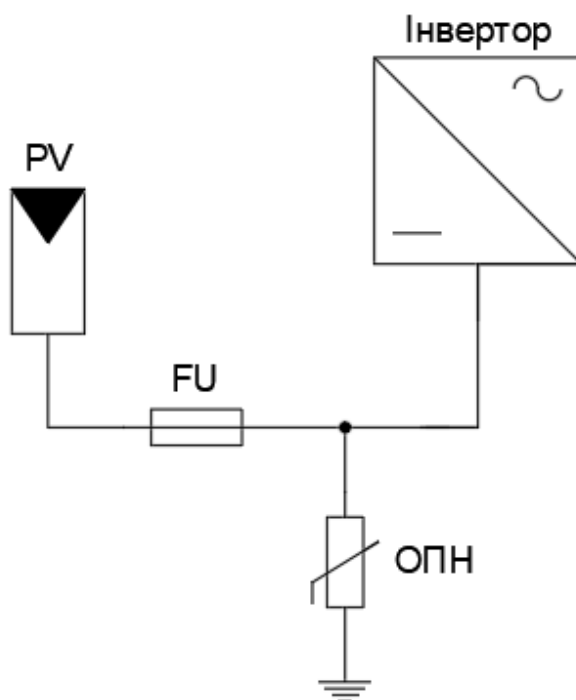
63

Продовження таблиці 2.13

Кількість фаз	трифазний
Облік потужності	Активна, реактивна та повна потужність в одному або двох напрямках.
Діапазон робочих температур	-40°C...+60°C
Кількість тарифів	Багатотарифний
Вага	1,9кг

2.9. Вибір пристроїв захисту для сонячної та вітряної електростанції.

Інвертори які були обрані раніше, мають великий ряд різних захистів, тому не потребують додаткових систем. Враховуючи небезпеку перенапруги, наприклад від блискавки, встановимо ОПН, від захисту по струму — плавкі запобіжники. Також для зручності відключення панелей від інвертора — DC вимикачі. Послідовність з'єднання елементів зображена на рисунку 2.29.



Рисунку 2.29 — Схема захисту на стороні DC панелей.

Тепер перейдемо до розрахунку параметрів елементів захисту.



### Плавкі запобіжники для панелей.

Спочатку визначимо номінальний струм та напругу запобіжника.

Для визначення струму використаємо формулу 2.9.1.

$$I_{\text{запобіжника}} = I_{\text{макс.панелі}} \cdot 1.25 \quad (2.9.1)$$

Виходячи з того, що в усіх випадках панелі були з'єднані послідовно, максимальний струм панелі всюди однаковий і становить 11,76А.

Отже струм запобіжника має бути:  $I_{\text{запобіжника}} = 11,76 \cdot 1.25 = 14,7\text{А}$

Наступним параметром є напруга, для запобіжників сонячних панелей вона є різною:

- для майстерні:  $U_{\text{М.СЕС}} = 502,8\text{ В}$ ;
- для панелей будинку (2 стринги):  $U_{\text{Б.СЕС}} = 628,5\text{ В}$ ;
- для модулів гаража:  $U_{\text{Г.СЕС}} = 335,2\text{ В}$ .

Проведемо вибір запобіжників, та занесемо результати до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 — Плавкі запобіжники для сонячних панелей.

Назва:	СН10х38 gPV 15A 1000V UL
Категорія:	Запобіжник
Тип:	СН
Типорозмір:	СН10
Номінальний струм (А):	15
Номінальна напруга DC (В):	1000
Характеристика:	gPV
L/R (ms):	2
Відключаюча здатність DC (кА):	10
Вартість, грн	140
Кількість, шт	8
Роз'єднувач для запобіжників	4
Вартість грн	400

### ОПН для панелей.

Для захисту обладнання від ураження високої напруги, будемо використовувати ОПН моделі YFP1 - PV-1000, 40кА в кількості 4шт. Характеристики ОПН наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 — Технічні характеристики ОПН YFP1 - PV-1000, 40кА.

Максимальна робоча напруга DC, В	1000
Рівень захисної напруги, кВ	3,6
Номинальний розряд струму (8/20 мкс), кА	20
Максимальний струм розряду (8/20 мкс) і <sub>мах</sub> : кА	40
Час відгуку:	≤ 25 нс
Тип захисту SPD	2
Тип виконання полюсність	2-х
Робоча температура	-40 °С до +80 °С

Для вітрогенераторів систему захисту виконаємо наступним чином. Враховуючи, що генератор має спочатку трифазний змінний струм, а вже потім через випрямляч змінюється на постійний струм, запобіжники та ОПН будемо встановлювати до підключення діодного моста (рис.2.30). Для цього використаємо 3 запобіжника типу NT0 10А Аско Укрем та 3 ОПН МОР1-С 20кА/40кА/275В.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

### Вітрогенератор

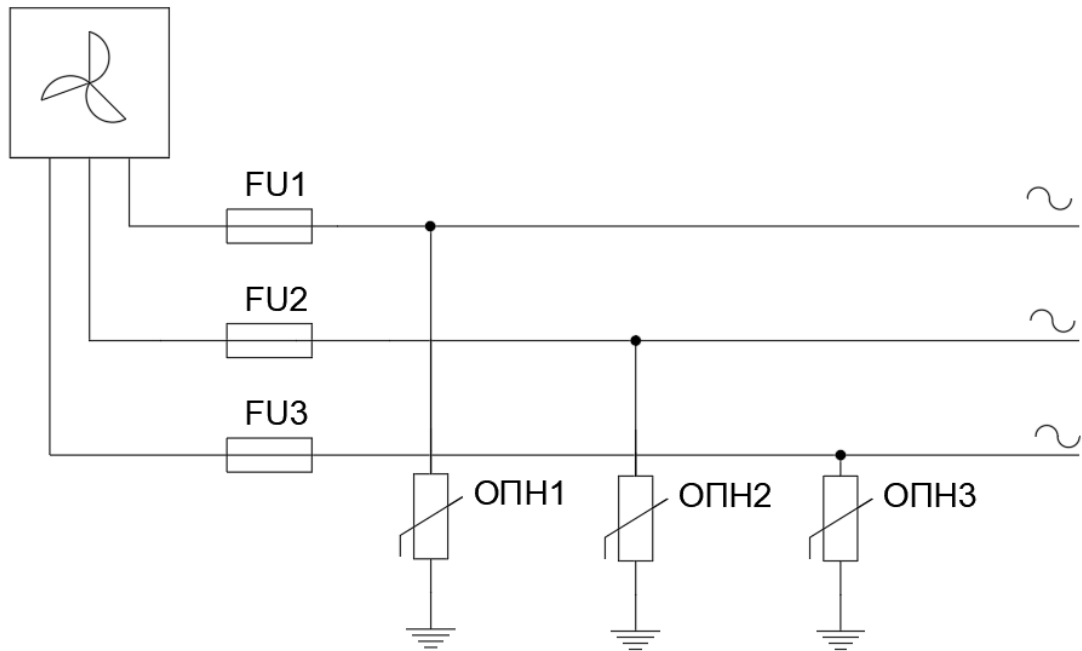


Рисунок 2.30 — Схема захисту вітрогенераторної установки.

### 2.10. Розрахунок електропостачання домогосподарства.

В ході виконання даного розрахунку, потрібно провести перевірку комутаційних апаратів, та перерізу провідників відповідно до електричної схеми (рис.1.6). Для цього будемо використовувати дані про електроприлади домогосподарства які наведено в таблиці 1.1 де максимальне навантаження становить 24кВт за умови одночасного увімкнення всіх електроприладів. В реальних умовах, одночасне увімкнення всього електрообладнання неможливе. Отже, при виборі автоматичних вимикачів та перерізу кабелю використаємо значення коефіцієнтів попиту. Згідно ДБН В.2.5-23 [21] різній заявленій потужності електроприймачів, відповідає різне значення коефіцієнта попиту таблиця 2.15.

За формулою 2.10 визначимо розрахункове навантаження на ввіді в домогосподарство:

$$P_{\text{п.д.}} = P_{\text{макс.}} \cdot K_{\text{п}} \quad (2.10)$$

де  $P_{\text{макс.}}$  — це максимальне навантаження домогосподарства;

$K_{\text{п}}$  — коефіцієнт попиту для заявленої потужності електроприймачів.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.15 — Коефіцієнт попиту

Характеристика опалення котеджу	Значення коефіцієнта попиту $K_{\text{поп}}$ за заявленої потужності електроприймачів, кВт									
	15<	20	30	40	50	60	70	80	90	>100
Для котеджів без повного електроопалення	0,75	0,65	0,63	0,59	0,55	0,53	0,5	0,47	0,46	0,45
Для котеджів з повним електроопаленням постійного включення	-	-	-	0,75	0,70	0,65	0,63	0,62	0,62	0,61

За лінійною інтерполяцією визначаємо коефіцієнт попиту для навантаження 24кВт, який становить 0,642. Підставляємо значення у формулу 2.10 та отримуємо розрахункову потужність.

$$P_{\text{п.д.}} = 24 \cdot 0,642 = 15,408 \text{ кВт.}$$

У звичайних умовах, розрахунок проводиться за попередньою формулою, але домогосподарство підключається до зеленого тарифу. Генерація панелей може перевищувати значення максимальної потужності розрахованої за формулою 2.10. Також необхідно розуміти, що в майбутньому, можливе додаткове встановлення сонячних панелей, так як з урахування максимальної потужності інверторів певний запас все ж є. Отже, враховуючи специфіку даної системи електропостачання виконану панелями та вітрогенераторами, будемо враховувати потужність 24кВт на ввід в домогосподарство.

Реактивну потужність розрахуємо за формулою 2.11.

$$Q_{\text{п.д.}} = P_{\text{макс.}} \cdot \tan(\varphi) \quad (2.11)$$

де  $\tan(\varphi)$  розрахунковий коефіцієнт реактивного навантаження становить 0,43 для споживачів з кондиціонерами та без електричного опалення та електричних плит,  $P_{\text{макс.}}$  — максимальна потужність домогосподарства.

$$Q_{\text{п.д.}} = 24 \cdot 0,43 = 10,32 \text{ кВАр.}$$

Визначимо повне навантаження домогосподарства:

$$S_D = \sqrt{P_{\text{макс.}}^2 + Q_{\text{п.д.}}^2} \quad (2.12)$$

$$S_D = \sqrt{24^2 + 10,32^2} = 26,13 \text{ кВА}$$

Розрахуємо значення сили струму:

$$I = \frac{S_D}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2.13)$$

$$I_B = \frac{26,13}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 39,7 \text{ А}$$

За розрахунковим струмом обираємо переріз кабелю та ввідний автоматичний вимикач. Переріз обираємо згідно таблицям 2.16 — 2.17.

Таблиця 2.16 — Таблиця вибору перерізу кабелю з мідними жилами за допустимим струмом.

Переріз кабелю, мм <sup>2</sup>	Проводка з мідними жилами			
	Напруга 220В		Напруга 380В	
	Струм, А	Потужність, кВт	Струм, А	Потужність, кВт
1,5	19	4,1	16	10,5
2,5	27	5,9	25	16,5
4,0	38	8,3	30	19,8
6,0	46	10,1	40	26,4
10,0	70	15,4	50	33,0
16,0	80	18,7	75	49,5
25,0	115	25,3	90	59,4
35	1135	29,7	115	75,9

Таблиця 2.16 — Таблиця вибору перерізу кабелю з алюмінієвими жилами за допустимим струмом.

Переріз кабелю, мм <sup>2</sup>	Проводка з алюмінієвими жилами			
	Напруга 220В		Напруга 380В	
	Струм, А	Потужність, кВт	Струм, А	Потужність, кВт
2,5	20	4,4	19	12,5
4,0	28	6,1	23	15,1
6,0	36	7,9	30	19,8
10,0	50	11,0	39	25,7
16,0	60	13,2	55	36,3
25,0	85	18,7	70	46,2
35,0	100	22,0	85	56,1
50,0	135	29,7	110	72,6

- Ввідний кабель обираємо алюмінієвий 5×16 з максимально допустимим струмом 55А, автоматичний вимикач 40А та проводимо перевірку.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 39,7 \leq 40 \leq 55$$

Автоматичні вимикачі та переріз кабелів від яких живлення по приміщеннях будівель та освітлення, визначимо на основі даних про максимальне ймовірне навантаження приміщень, що наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 — Максимальна потужність електроприймачів приміщень.

Приміщення		Потужність електроприймачів, кВт.
Будинок	Кухня	2,5
	Спальня та кімната 1	2
	Ванна кімната	3
	Вітальня та кімната 2	4
	Освітлення	0,25
Загалом		11,75
Майстерня	Приміщення 1	4,5
	Приміщення 2	4
	Електроосвітлення	0,15
Загалом		8,65
Гараж	Електроприймачі	3
	Електроосвітлення	0,1
Загалом		3,3
Вуличне освітлення		0,2

Підбір номінального струму вимикачів проведемо в табличній формі визначивши розрахунковий струм. Результати підбору занесемо до таблиці 2.18—2.19.

Таблиця 2.18 — Результати вибору автоматичних вимикачів та перерізу кабеля.

Вимикач	Розрахунковий струм, А	Номінальний струм вимикача, А	Номінальна напруга, В	Переріз кабелю, мм <sup>2</sup>
QF	39,7	40	380	АВВГ5×16
QF1	39,7	40	380	АВВГ5×16
QF2	39,7	40	380	АВВГ5×16
QF3	0,91	6	220	ВВГ2×1,5
QF4	17,85	20	380	ВВГ4×2,5
QF5	13,14	16	380	ВВГ4×2,5

Продовження таблиці 2.18.

Вими- кач	Розрахунковий струм, А	Номинальний вимикача струм, А	Номинальна напруга, В	Переріз ка- белю, мм <sup>2</sup>
QF6	5,01	16	220	ВВГ2×1,5
QF7	11,36	16	220	ВВГ2×1,5
QF8	9,09	10	220	ВВГ2×1,5
QF9	13,64	16	220	ВВГ2×1,5
QF10	18,18	20	220	ВВГ2×2,5
QF11	1,14	6	220	ВВГ2×1,5
QF12	8,65	16	380	ВВГ4×2,5
QF13	20,45	25	220	ВВГ2×2,5
QF14	0,68	6	220	ВВГ2×1,5
QF15	13,64	16	220	ВВГ2×1,5
QF16	0,45	6	220	ВВГ2×1,5

Номинальний диференційний струм витоку для диференційних вимикачів 30мА, окрім ванної кімнати, з урахуванням підвищеної вологості для ванної кімнати обираємо 10мА.

З урахуванням обраних автоматичних вимикачів та перерізу кабелів, нова схема електропостачання з установкою сонячних панелей та вітряків зображено на рисунку 2.31.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



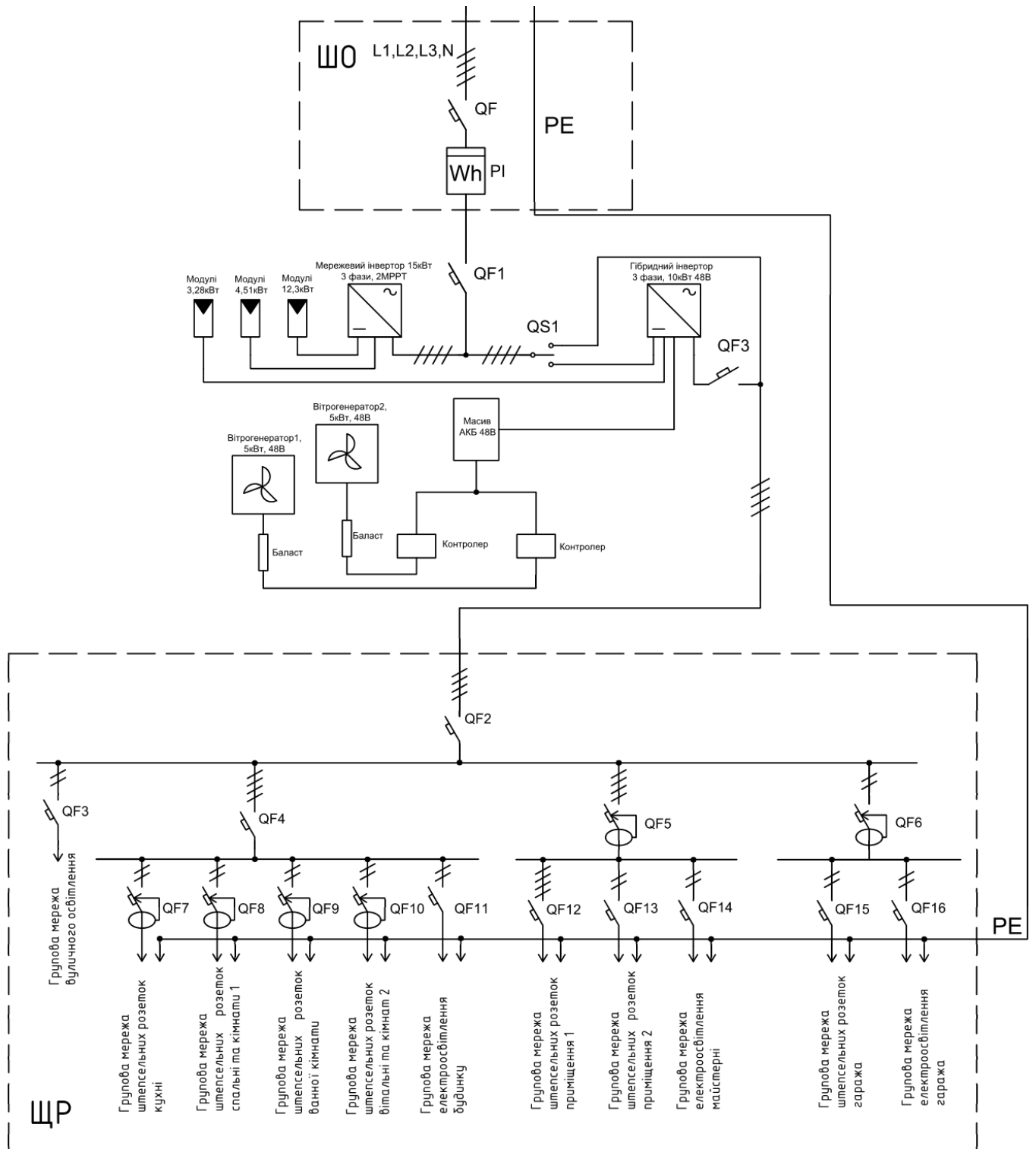


Рисунок 2.31 — Загальна схема електропостачання домогосподарства.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.141. 456 ПЗ

Арк.

73

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1. Розрахунок контуру заземлення комбінованої електростанції.

Для розрахунку контуру заземлення необхідно визначити тип ґрунту середовища в якому буде встановлюватися контур захисного заземлення. За мапою ґрунтів для Сумської області верхнім шаром перевагою є чорнозем. Нижній шар ґрунту глина. Для проведення розрахунків будемо враховувати питомий опір який наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Питомий опір для різних типів ґрунтів, Ом · м.

Ґрунт	Рекомендоване значення для проведення розрахунків. Питомий опір, Ом · м
Глина	40
Суглинок	100
Чорнозем	20
Торф	20
Садова земля	40
Пісок	700
Супісок	300
Торф	20

Розрахунок починаємо з визначення опору розтікання струму одного вертикального стержня за формулою 3.1.1. [22]

					<i>MP 5.8.141. 456 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Любич В.Ю.</i>				<i>Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітросистем</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Лебедка С.М.</i>						74	92
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ.М-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

$$R_{\text{розт.}} = \frac{P_{\text{екв}}}{2\pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4T + L}{4T - L}\right) \right) \quad (3.1.1)$$

де  $P_{\text{екв}}$  — еквівалентний опір ґрунту, Ом·м;

$L$  — довжина стержня, 3м; (найменша довжина стержня 1,5 — 2м);

$d$  — діаметр стержня, 0,016м;

$T$  — відстань від поверхні землі до середини стержня, м.

У випадку неоднорідності ґрунту, проводять розрахунок еквівалентного опору ґрунту за наступною формулою 3.1.2.

$$p_{\text{екв}} = \frac{\Psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{\rho_1 \cdot (L - H + t) + \rho_2 \cdot (H - t)} \quad (3.1.2)$$

де  $\Psi$  — це сезонний кліматичний коефіцієнт який обираємо за таблицею 3.2;  $\rho_1, \rho_2$  — питомий опір верхнього та нижнього шару ґрунту (таблиця 3.1) Ом · м;

$H$  — товщина верхнього шару ґрунту, для Сумської області орієнтовно складає 0,2—0,5м;  $t$  — заглиблення вертикального заземлювача  $t = 0.7$  м.

Таблиця 3.2 — Сезонний кліматичний коефіцієнт.

Тип заземлюючих електродів	Кліматична зона			
	I	II	III	IV
Стержньовий (вертикальний)	1,8-2	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
Смуговий (горизонтальний)	4,5-7	3,5-4,5	2-2,5	1,5

Вибір кліматичної зони проводиться за таблицею 3.3. Для нашого регіону відповідає третя кліматична зона.

Таблиця 3.3 — Кліматичні ознаки зон.

Зона	I	II	III	IV
Середня багаторічна найнижча температура (січень)	від -20 до +15	від -14 до +10	від -10 до 0	від 0 до +5
Середня багаторічна найвища температура (липень)	від +16 до +18	від +18 до +22	від +22 до +24	від +24 до +26

Отже, еквівалентний опір ґрунту становитиме:

$$\begin{aligned}
 p_{\text{екв}} &= \frac{\Psi_{\text{в}} \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot L}{p_1 \cdot (L - H + t) + p_2 \cdot (H - t)} = \\
 &= \frac{1,5 \cdot 20 \cdot 40 \cdot 3}{20 \cdot (3 - 0,4 + 0,7) + 40 \cdot (0,4 - 0,7)} = 66,7 \text{ Ом}
 \end{aligned}$$

Тепер визначимо відстань від поверхні землі до середини стержня за формулою 3.1.3.

$$T = \frac{L}{2} + t \quad (3.1.3)$$

$$T = \frac{L}{2} + t = \frac{3}{2} + 0,7 = 2,2 \text{ м}$$

Маючі всі необхідні дані визначаємо опір розтікання струму одного вертикального електрода:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{розт.}} &= \frac{p_{\text{екв}}}{2\pi L} \left( \ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4T + L}{4T - L}\right) \right) = \\
 &= \frac{66,7}{2 \cdot \pi \cdot 3} \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 3}{0,016}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3}\right) \right) = 22,22 \text{ Ом}
 \end{aligned}$$

Визначимо кількість стрижнів без врахування опору горизонтального заземлення формулою 3.1.4.

$$n_0 = \frac{R_{\text{розт.}} \cdot \Psi_{\text{в}}}{R_{\text{н}}} \quad (3.1.4)$$

де  $R_{\text{н}}$  — нормоване значення опору розтікання струму заземлюючого пристрою, виходячи з ПУЕ, так як система заземлення встановлюється для панелей та вітрогенераторів складає 4 Ом.

$$n_0 = \frac{R_{\text{розт.}} \cdot \Psi_{\text{в}}}{R_{\text{н}}} = \frac{22,22 \cdot 1,5}{4} = 8,33$$

Кількість вертикальних стрижнів приймаємо  $n_0 = 8$ .

Далі розраховуємо опір розтікання для горизонтального заземлювача за формулою 3.1.5.

$$R_{\Gamma} = 0,366 \left( \frac{\rho_{\text{екв}} \cdot \Psi_{\Gamma}}{L_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \right) \cdot \lg \left( \frac{2L_{\Gamma}^2}{b \cdot t} \right) \quad (3.1.5)$$

де  $L_{\Gamma}$  — довжина горизонтального електрода визначається за формулою 3.1.6;  $b$  — ширина горизонтального заземлювача;  $\Psi_{\Gamma}$  — коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача 2,2,  $\eta_{\Gamma}$  — коефіцієнт попиту горизонтальних заземлювачів, визначається за таблицею 3.4.

Таблиця 3.4 — коефіцієнти попиту заземлювачів.

Для горизонтальних заземлювачів				Для вертикальних заземлювачів			
Кількість електродів	В ряд			Кількість електродів	В ряд		
	Відношення відстані між електродами до їх довжини a/L				Відношення відстані між електродами до їх довжини a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0,77	0,89	0,92	2	0,86	0,91	0,94
5	0,74	0,86	0,9	3	0,78	0,87	0,91
8	0,67	0,79	0,85	5	0,7	0,81	0,87
10	0,62	0,75	0,82	10	0,59	0,75	0,81

$$L_{\Gamma} = a(n_0 - 1) \quad (3.1.6)$$

де  $a$  — відстань між заземлюючими стержнями 1 м.

$$L_{\Gamma} = a(n_0 - 1) = 1 \cdot 3 \cdot (8 - 1) = 21 \text{ м}$$

Тоді опір розтікання струму становить:

$$\begin{aligned} R_{\Gamma} &= 0,366 \left( \frac{\rho_{\text{екв}} \cdot \Psi_{\Gamma}}{L_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \right) \cdot \lg \left( \frac{2L_{\Gamma}^2}{b \cdot t} \right) = \\ &= 0,366 \left( \frac{66,7 \cdot 2,2}{0,21 \cdot 0,67} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 21^2}{0,03 \cdot 0,7} \right) = 17,639 \text{ Ом} \end{aligned}$$

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір вертикального заземлювача розрахуємо з врахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів за формулою 3.1.7.

$$R_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_H}{R_\Gamma - R_H} \quad (3.1.7)$$

$$R_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_H}{R_\Gamma - R_H} = \frac{17,639 \cdot 4}{17,639 - 4} = 5,173 \text{ Ом}$$

Визначимо загальну кількість вертикальних заземлювачів за формулою 3.1.8.

$$n = \frac{R_{\text{розт.}}}{R_B \cdot \eta_B} \quad (3.1.8)$$

$$n = \frac{R_{\text{розт.}}}{R_B \cdot \eta_B} = \frac{22,22}{5,173 \cdot 0,645} \approx 7$$

Отже, довжина горизонтальних електродів становить:

$$L_\Gamma = 1 \cdot 3 \cdot (7 - 1) = 18 \text{ м}$$

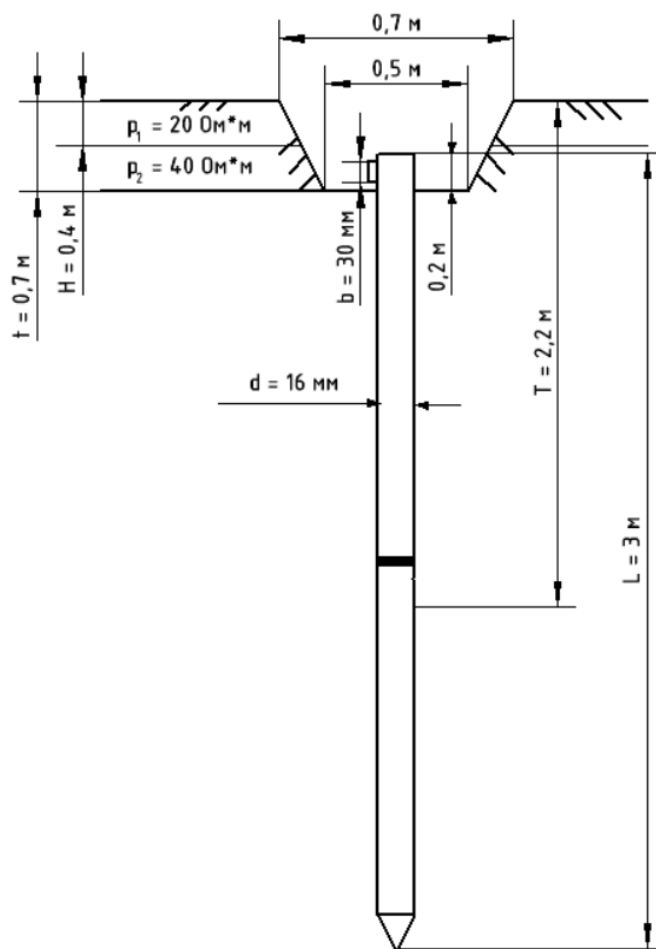


Рисунок 3.1 — Розміри вертикального заземлювача.

									Арк.
									78
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 5.8.141. 456 ПЗ				

### 3.2.Правила безпеки при монтажі електрообладнання.

#### **Сонячна електростанція.**

Фотоелектричні системи перетворюють сонячне світло на постійний струм, забезпечуючи живлення для домашньої чи промислової мережі. Для їх безпечного монтажу та експлуатації важливо дотримуватись правил техніки безпеки. Це включає оцінку об'єкта, вибір місця з гарною орієнтацією та достатнім освітленням, перевірку інструментів і конструкцій на справність, а також врахування потенційних ризиків. Під час роботи на висоті необхідно використовувати надійні драбини, страховку та захисні огороження. При переміщенні сонячних панелей варто уникати їх перегріву, використовувати захисне спорядження й працювати вдвох. Монтаж на даху вимагає додаткової обережності через обмежений простір і ризик падіння. Електричні роботи повинні виконуватись лише на об'єктах без напруги. Панелі бажано покривати непрозорим матеріалом до моменту підключення, щоб уникнути травм від струму чи перегріву. Дотримання стандартів безпеки й рекомендацій виробників допоможе уникнути небезпеки та забезпечити ефективну роботу системи.[24]

#### **Вітроелектрична установка.**

Під час встановлення вітроелектростанції слід дотримуватися всіх вимог техніки безпеки. Монтаж мають виконувати кваліфіковані спеціалісти в складі щонайменше двох осіб, лише в суху та безвітряну погоду (швидкість вітру не повинна перевищувати 2 м/с). Усі роботи на висоті потребують використання засобів захисту від падіння та надійного закріплення обладнання.

Перед початком монтажу необхідно оцінити ризики, підготувати місце роботи, захистити його від сторонніх осіб і забезпечити відповідність підйомного обладнання технічним вимогам. Під час встановлення акумулятори мають бути від'єднанні, а піднімати елементи конструкцій потрібно лише за передбачені для цього частини.[25]

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						79
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роботи з електричною частиною повинні відповідати стандартам охорони праці: правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС); Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС); ДСТУ EN 50110-1:2014 "Експлуатація електроустановок"; Закон України "Про охорону праці"; Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2021).

Устаткування слід заземлювати, дотримуватись полярності підключення, не торкатися оголених проводів або пристроїв мокрими руками. Усі кабелі мають бути без пошкоджень, з'єднання — захищеними, а точки підключення — оснащеними запобіжниками. Експлуатація обладнання з пошкодженими кабелями чи порушенням полярності заборонена.

### 3.3. Безпечна експлуатація електростанції.

Правила безпеки під час експлуатації вітро-сонячної електростанції передбачають використання справного обладнання з робочим контролером та наявністю навантаження. Заборонено відключати блок баласту, включати чи вимикати гальмо під час шторму або сильного вітру, а також торкатися до обертючих лопатей чи наближатися до працюючого генератора. Усі роботи з обслуговування проводяться при повній зупинці ротора вітрогенераторної установки у безвітряну погоду. Обладнання та силові елементи мають бути у недоступних місцях для дітей. Перед увімкненням контролера чи інвертора після транспортування в умовах холоду слід витримати їх у нормальних умовах не менше двох годин. Заборонено перевищувати номінальну потужність інвертора, використовувати пошкоджені компоненти чи неправильно встановлені системи. Ремонтні роботи мають виконувати кваліфіковані спеціалісти використовуючи спеціальні інструменти та якісні запчастини.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						80
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Встановлення відновлювальних джерел електроенергії потребує великого капіталовкладення. Вартість панелей, вітряків та іншого електрообладнання має істотно високу ціну. В даному розділі розглянемо скільки всього згенерує комбінована електростанція та окремо кожне джерело, тобто панелі та вітряки. Розрахуємо прибуток від підключення домогосподарства до «зеленого» тарифу. Таким чином, визначимо термін окупності встановленого обладнання та його доцільність для даного об'єкта. Проаналізуємо різницю між окупністю СЕС та ВЕС. В результаті зробимо висновок, який вид ВДЕ краще встановлювати в даному регіоні.

#### 4.1. Вартість встановлення електростанції виконаної панелями та вітряками.

На початку виконання даного етапу роботи, необхідно визначити вартість всього обладнання яке необхідне для підключення панелей та вітряків в одну систему. Для цього, занесемо відомості про ціну всіх приладів в таблицю 4.1.1. Враховуючи те, що система складається з двох різних джерел електричної енергії, в таблиці зробимо розбивку вартості СЕС та ВЕС.

Таблиця 4.1.1 — Вартість обладнання вітро-сонячної електростанції.

№	Назва обладнання/послуги	Кількість	Вартість, грн
Складові сонячної електростанції			
1	Сонячні панелі RSM40-8-410M TITAN S, Risen black frame	50	175 000
2	Мережевий інвертор Deye SUN-15/17K-G05	1	41 408

					<i>БР 3.6.141. 456 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Розрахунок системи електропостачання приватного домогосподарства з використанням фотомодулів та вітрогенераторів</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>	Любич В.Ю.						81	92
<i>Перевір.</i>	Маценко О.М.					<i>СумДУ ЕТ.м-31</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

## Продовження таблиці 4.1.1.

Кріпильні матеріали				
3	Профіль алюмінієвий 40 x 40 x 2250 мм	69	49 680	
	Кронштейн для бітумної черепиці	180	23 400	
	Крайній прижим	32	4 800	
	Середній прижим	84	7 056	
	Поздовжній з'єднувач	34	2 414	
	Загальна вартість (з урахуванням оптової знижки 20%)		70 000	
	4	Роз'єднувач запобіжників	4	1 600
5	Запобіжники	8	1 120	
6	ОПН YFP1 - PV-1000, 40кА	4	3 320	
7	Кабель 6мм <sup>2</sup>	20м	1 500	
8	Лічильник електроенергії під «зелений» тариф	1	7 000	
Загальна вартість обладнання для СЕС			388 300	
9	Монтажні роботи (10-15% від вартості обладнання)		38 832	
Загальна вартість встановлення СЕС			427 132	
Складові вітрової електростанції				
1	Вітрогенератори 5кВт (з урахуванням мачти, матеріалів для кріплення та кабелю)	2	285 600	
2	Контролер Windsan-mini-100	2	18 480	
3	Гібридний інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU	1	100 000	
4	Акумуляторні батареї Kerworth LiFePO4 24V/100AH	4	84 000	
5	Запобіжники NT0 10А Аско Укрем	3	350	
6	ОПН MOP1-C 20кА/40кА/275В	3	1 520	
Загальна вартість обладнання ВЕС			489 950	
7	Монтажні роботи (10-15% від вартості обладнання)		48 995	
Загальна вартість встановлення ВЕС			538 945	

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Продовження таблиці 4.1.1.

Комплекти для системи заземлення	7	8 000
Монтажні роботи для встановлення заземлення		1 000
Загальна вартість встановлення вітро-сонячної електростанції		975 077

4.2.Рентабельність електростанції, її переваги та недоліки.

Для розрахунку терміну окупності встановленою електростанцією, необхідні відомості про вартість електроенергії та «зеленого» тарифу.

Згідно з останнім розпорядженням, Кабінет Міністрів України постановою №632 від 31.05.2024 встановив для всіх жителів України єдину фіксовану ціну на електроенергію - **4,32 грн/кВт·год** незалежно від обсягу споживання.[27]

НКРЕКП постановою 24.09.2024 № 1663 встановили «зелений» тариф на електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 30 кВт та які введені в експлуатацію:

- з 01 квітня 2013 року по 31 грудня 2014 року – 1641,56 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2015 року по 30 червня 2015 року – 1476,42 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 липня 2015 року по 31 грудня 2015 року – 916,91 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2016 року по 31 грудня 2016 року – 870,08 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2017 року по 31 грудня 2019 року – 828,17 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2023 року – 744,37 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2024 року по 31 грудня 2024 року – **670,43 коп/кВт·год** (без ПДВ). [28]

Враховуючи час нашого підключення електростанції до зеленого тарифу будемо враховувати тариф 670,43 коп/кВт·год (без ПДВ).

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						83
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для початку, побудуємо графік (рис. 4.1.) генерації електростанції, щоб орієнтуватися на виробіток електроенергії ВДЕ. Порівняння прибутку від сонячних панелей та вітряків точно розрахувати для нашої схеми не можна. Це пов'язано з тим, що панелі здебільшого налаштовані так, щоб продавати в мережу, а вітряки, для автономного живлення домогосподарства.

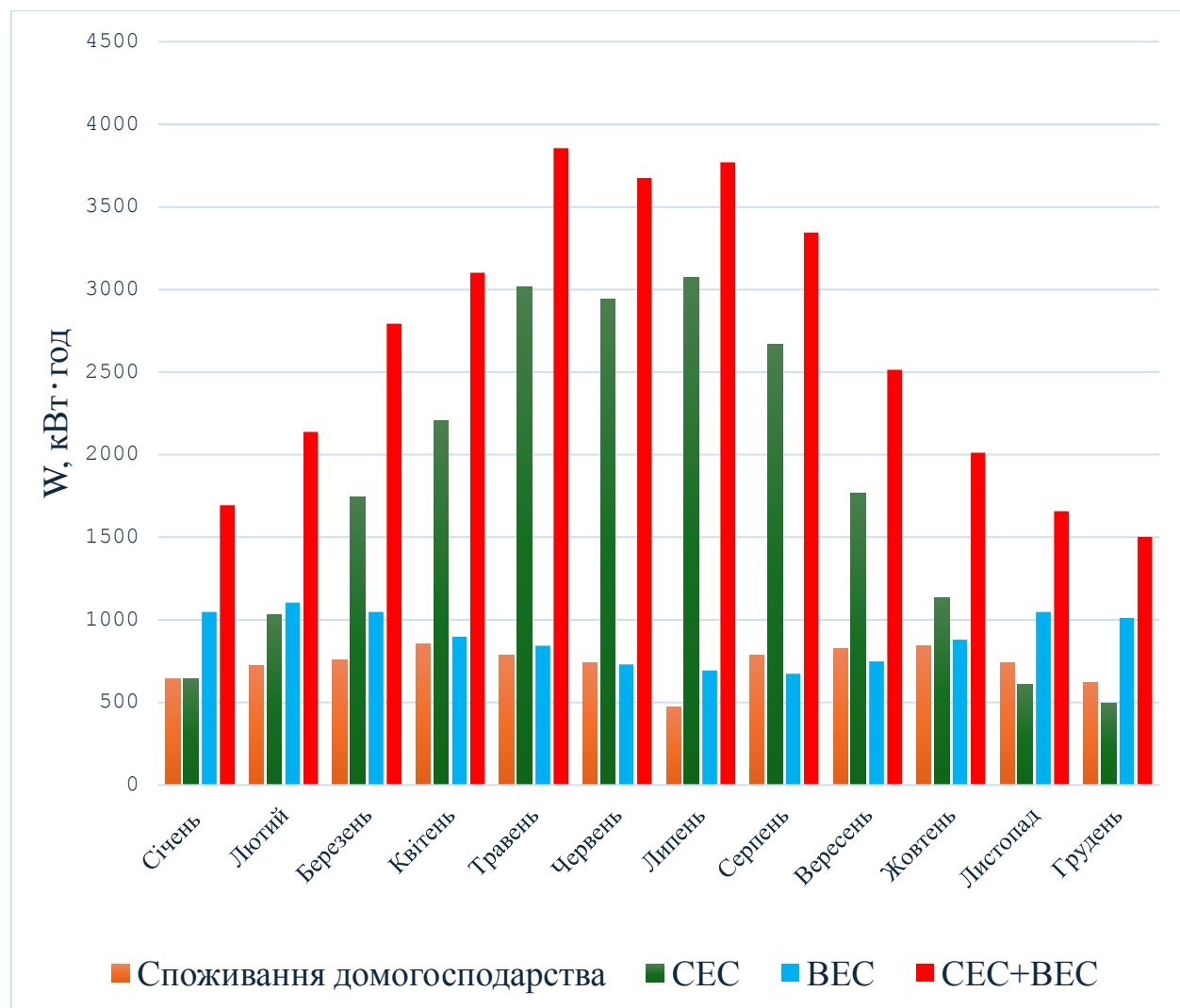


Рисунок 4.1 — Діаграма генерації ВДЕ та споживання домогосподарства.

Як бачимо з діаграми, загальна генерація ВДЕ значно переважає потреби домогосподарства, отже генерації має вистачити для постійного використання під власні потреби. Тепер побудуємо кругову діаграму річної генерації ВЕС та СЕС та потреб домогосподарства.

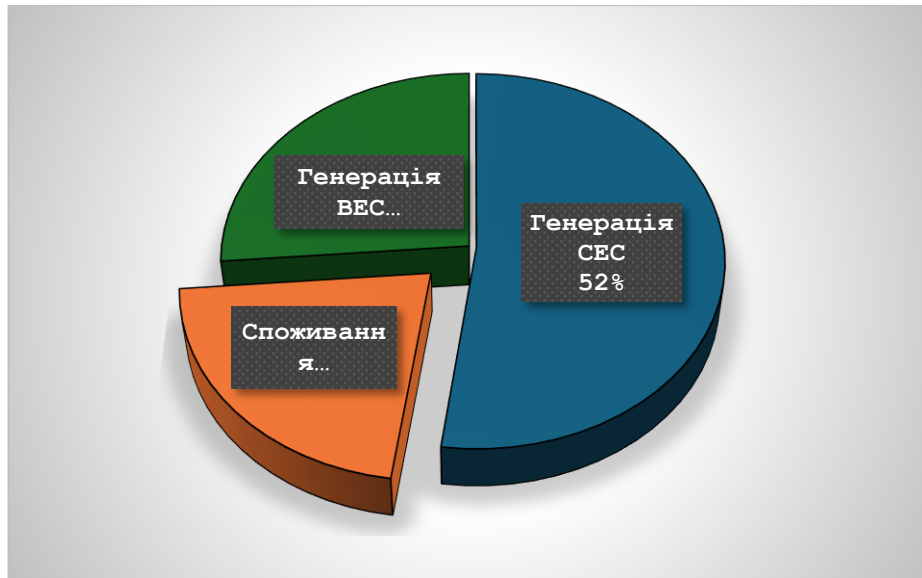


Рисунок 4.2 — Кругова діаграма генерації ВДЕ та споживання.

На основі кругової діаграми, остаточно робимо висновок, що генерації ВЕС для власних потреб має цілком вистачити. В разі нестабільності виробітку вітрогенераторів, нестачу забезпечать сонячні панелі.

Проаналізуємо доцільність встановлення ВЕС та СЕС відносно вартості обладнання. Номінальна потужність СЕС яку ми зібрали в даній роботі становить 20,5 кВт. Вартість обладнання та встановлення СЕС становить 427 132грн. Вітрова електростанція має потужність 10кВт та загальну вартість 538 945грн. Порівнюючи дані величини, та діаграму 4.1, не складно зробити висновок, що доцільним використанням в нашому регіоні є встановлення сонячних електростанцій. При перевищенні номінальної потужності панелей удвічі, їх вартість є меншою ніж вартість вітрогенераторних установок. Окрім цього кліматичні умови для генерації в Сумській області є кращими.

Тепер, визначимо термін окупності СЕС та ВЕС враховуючи специфіку нашої системи. Для цього будемо розраховувати, що кожен кВт згенерований вітро-сонячної електростанції буде використаний для «зеленого» тарифу, або для власних потреб. Прибуток від згенерованої електроенергії сонячних панелей будемо розраховувати за ціною «зеленого» тарифу 670,43 коп/кВт·год, з урахуванням 19,5% податків, чистий прибуток становитиме: 539,69 коп/кВт·год, або 5,3969 грн/кВт· год. Прибуток від генерації вітряків за кожен

кВт розраховуємо за вартістю електроенергії для населення 4,32 грн/кВт. Провівши нескладні математичні розрахунки визначимо прибуток впродовж року, результати розрахунків занесемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Результати розрахунків прибутку СЕС та ВЕС.

Місяць	Генерація кВт· год		Прибуток, грн		Прибуток ВЕС+СЕС, грн
	СЕС	ВЕС	СЕС	ВЕС	
Січень	646,30	1048,19	3488,04	4528,16	8016,20
Лютий	1032,65	1104,34	5573,09	4770,74	10343,83
Березень	1744,45	1048,19	9414,61	4528,16	13942,77
Квітень	2202,93	898,44	11888,99	3881,28	15770,27
Травень	3014,18	1048,19	16267,21	3638,70	19905,91
Червень	2944,62	1104,34	15891,82	3153,54	19045,36
Липень	3077,09	1048,19	16606,75	2991,82	19598,57
Серпень	2671,01	898,44	14415,15	2910,96	17326,12
Вересень	1765,67	1048,19	9529,12	3234,40	12763,52
Жовтень	1132,46	1104,34	6111,78	3800,42	9912,20
Листопад	608,85	1048,19	3285,90	4528,16	7814,06
Грудень	491,88	898,44	2654,61	4366,44	7021,05
За рік	21280,23	10725,18	114 847	46 333	161 180

Якщо враховувати, що ціна викупу «зеленого» тарифу та вартість електроенергії для побутових споживачів залишиться незмінною, то термін окупності вітро-сонячної електростанції складе:

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Загальні вартість електростанції}}{\text{Дохід за рік}} = \text{Кількість років}$$

$$T_o = \frac{975\,077}{161\,180} \approx 6 \text{ років.}$$

Отже, робимо висновок, що за таких умов, електростанція окупиться через шість років після її встановлення та підключення за «зеленим» тарифом.

На даному етапі економічного аналізу, доцільно врахувати споживання домогосподарства. Так, як розрахунок був проведений за умови, що вітрогенератори є лише автономним живленням будинку, то їхній виробіток є заощадженням тієї електроенергії яку все рівно споживало домогосподарство до монтажу електростанції. Отже, чистий прибуток який отримає на рахунок споживач буде лише від виробітку сонячних панелей, в рік ця сума становить 114 847 грн. Розрахунок був проведений з урахуванням сталого значення «зеленого» тарифу, нажаль, спрогнозувати на скільки буде зменшуватися сума виплати протягом року неможливо. Але враховуючи, що вартість електроенергії для побутових споживачів постійно зростає, то орієнтовно, сума прибутку буде залишатися на рівні з розрахованою.

Для остаточного підтвердження доцільності встановлення панелей ніж вітряків, розрахуємо терміни окупності та рентабельності СЕС, ВЕС окремо.

Рентабельність розрахуємо за наступною формулою:

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Чистий прибуток}}{\text{Ціна активів}} \cdot 100\%$$

Термін окупності сонячної електростанції:

$$T_{0.\text{СЕС}} = \frac{427\ 132}{114\ 847} \approx 4 \text{ років}$$

Рентабельність СЕС складає:

$$R_{\text{СЕС}} = \frac{114\ 847}{427\ 132} \cdot 100\% \approx 27\%$$

Термін окупності вітрової електростанції:

$$T_{0.\text{ВЕС}} = \frac{538\ 945}{46\ 333} \approx 12 \text{ років}$$

Рентабельність ВЕС складає:

$$R_{\text{ВЕС}} = \frac{46\ 333}{538\ 945} \cdot 100\% \approx 9\%$$

Як бачимо, термін окупності ВЕС значно більший ніж для СЕС. Навіть якщо розраховувати за однакової вартості грн/кВт · год для кожного джерела, все рівно, окупність вітрової електростанції буде перевищувати 10 років. Показник рентабельності для СЕС також є значно вищим.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						87
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Комбінована електростанція, яка була розрахована в даній роботі, повністю забезпечить потреби домогосподарства. Окрім цього, надлишки електроенергії будуть продаватися за «зеленим» тарифом в мережу ЛЕП. Таким чином, термін окупності електростанції буде значно меншим.

Під час проектування вітро-сонячної електростанції, було проаналізовано ринок електрообладнання України на сьогоднішній час. Загальна вартість обладнання сонячної електростанції є значно меншою ніж для вітрової. Перш за все це пов'язано з великою вартістю вітряків. На сьогоднішній день, в нашій країні спостерігається певний дефіцит електрообладнання для ВЕС, що сприяє підвищенню цін на складові ВЕС. Немає спеціальних контролерів та інверторів, та зовсім малий вибір вітрогенераторів. Все це пов'язано з доцільністю встановлення вітрових електростанцій в нашому регіоні. Через малі показники вітру, переважна частина України має не сприятливі умови для ВЕС. Враховуючи ці аспекти, споживачам вигідніше встановлювати сонячні електростанції. Термін окупності значно менший, менші капіталовкладення, менший знос обладнання ( для панелей це 0,5% в рік, а для вітряків 1,6%). Це є причиною малого асортименту обладнання для ВЕС в Україні, адже коли немає попиту то не буде й пропозицій.

Встановлення вітрогенераторів є необхідним лише для того, щоб компенсувати час похмурої погоди, коли сонячні панелі не генерують електроенергію в мережу. Така система надає максимальну ефективність в разі відключення світла за ГПВ. Якщо планових відключень немає, мережа працює в звичайному режимі постійно та стабільно, то потреби у встановленні вітряків та акумуляторних батарей немає. В такому випадку, нестачу компенсує мережа.

Отже, найкращим варіантом для встановлення ВДЕ на сьогоднішній день в Україні, є сонячні панелі. Щоб забезпечити автономність та зберегти здатність продавати електроенергію в мережу за «зеленим» тарифом, необхідно використовувати гібридні інвертори Deue. Така система буде найефективнішою з усіх можливих варіантів.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						88
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інсоляція: що це, якою вона буває та від чого залежить? - Atmosfera [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.atmosfera.ua/media/insolyaciya-sho-ce-yakoyu-vona-buvaye-ta-vid-chogo-zalezhit-atmosfera>.
2. Скільки енергії виробляє сонячна батарея? [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://sun-energy.com.ua/statti/virobitok\\_sonyachnoyi\\_paneli](https://sun-energy.com.ua/statti/virobitok_sonyachnoyi_paneli).
3. ІНСОЛЯЦІЯ: ВПЛИВ НА ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.solargarden.com.ua/insolyatsiya-vplyv-na-vyrobnytstvo-elektroenergiyi-sonyachnymy-panelyamy/>.
4. ДОВІДКОВІ ДАНІ З КЛІМАТУ УКРАЇНИ – Рівне, 2014. – 158 с. – (НУВГП). Режим доступу до ресурсу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/591/1/01-03-16.pdf>.
5. Основні типи ґрунтів. Карта ґрунтів. Ґрунтові ресурси України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uahistory.co/pidruchniki/pestyshko-geography-deep-level-8-class-2021/51.php>.
6. Системи заземлення TN-S, TN-C, TNC-S, TT, IT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://energyall.com.ua/sistemy-zazemleniya-tn-s-tn-c-tnc-s-tt-it/>.
7. Які бувають сонячні панелі: їхні різновиди та характеристики [Електронний ресурс] // solarfamily – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/hchuju>.
8. Монокристал чи полікристал: які сонячні панелі краще?? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://joule.ua/blog/monokrystal-chy-polikrystal-iaki-soniachni-paneli-krashchi/>.

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						89
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Сонячна панель 410Вт моно, RSM40-8-410M TITAN S, Risen black frame [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://solar-energy.com.ua/solnechnye-batarei/sonyachna-batareya-410vt-mono-rsm40-8-410m-titan-s-risen.html>.
10. Який оптимальний кут нахилу сонячної батареї в Україні? [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://greentechtrade.com.ua/kut-nahylu-sonyachnyh-batarej/>.
11. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM PVGIS3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).
12. Як підключити сонячні батареї? Як встановити сонячні панелі? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sun-energy.com.ua/articles/yak-pidkluchiti-soniachni-batareyi>.
13. Влаштування вітроелектричної установки. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.diagram.com.ua/list/alter-energy/alter-energy088.shtml>.
14. Синхронні генератори з постійними магнітами [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://pidru4niki.com/83035/tehnika/sinhronni\\_generatori\\_postiynimi\\_mag\\_nitami](https://pidru4niki.com/83035/tehnika/sinhronni_generatori_postiynimi_mag_nitami).
15. ОСНОВИ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. – Дніпро, 2015. – (Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет"). Режим доступу до ресурсу: <https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/%D0%9E%D0%92-2015-02-11.pdf>.
16. Кабель для сонячних панелей 4 мм<sup>2</sup> [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://sun-energy.com.ua/solar-power/accessories/solarcable4mm?srsltid=AfmBOooiN5qmc0FOFVtlh7Lly8E7gB77a3hIU-AHCSHVCs7nEfxf\\_9QR](https://sun-energy.com.ua/solar-power/accessories/solarcable4mm?srsltid=AfmBOooiN5qmc0FOFVtlh7Lly8E7gB77a3hIU-AHCSHVCs7nEfxf_9QR).

					MP 5.8.141. 456 ПЗ	Арк.
						90
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Мережевий інвертор SUN-15K-G05 Deye WiFi (15 kW, 3 фази, 2 MPPT) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.helius.com.ua/product/merezhevyj-invertor-sun-15k-g05-deye-wifi-15-kw-3-fazy-2-mppt/>.
18. Гібридний інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU 10kW, 3Ф, 48V [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://deye.com.ua/product/hibrydnyj-invertor-deye-sun-10k-sg04lp3-eu-10kw-3f-48v/>.
19. Акумулятор Керworth LiFePO4 24V/100AH (2400W\*h) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/heuumj>.
20. Лічильник електроенергії ACE 6000 CT клас точності 0.5s трифазний 5(10) А багатотарифний, Itron (Actaris) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://001.com.ua/uk/lichylnyk-elektroenergiyi-ace-6000-ct-klas-tochnosti-0-5s-tryfaznyy-5-10-a-bagatotaryfnyy-itron-actaris>.
21. ДБН В.2.5-23:2010 \"Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення\" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3084989669637621022?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3084989669637621022?doc_type=2)
22. Розрахунки з електробезпеки. Розрахунок захисного заземлення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah\\_rozd\\_OP\\_DP\\_bak\\_spec\\_mag/90.html](https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/90.html).
23. Розрахунок захисного заземлення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/tulqmh>.
24. Заходи безпеки при роботі з сонячними панелями та батареями [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/pexnwm>.
25. КЕРІВНИЦТВО З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://manblan-a.akamaihd.net/iblock/87c/87cdb9d96e9f23cbce308868641afdb9/a17a3288eb589229e8e404fe172609d7.pdf>.

					<b>MP 5.8.141. 456 ПЗ</b>	Арк.
						91
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 26.Кріплення для сонячних батарей на скатний дах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://krepmetal.ua/uk/systemy-kriplen/kriplennya-dlya-sonyachnyh-batarej-na-skatnyj-dah/>.
- 27.Тарифи на електроенергію для побутових споживачів з 01.06.2024 р. [Електронний ресурс] // Yasno. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: [https://yasno.com.ua/news/all\\_news/electricity-tariffs-for-household-consumers-from-01-06-2024](https://yasno.com.ua/news/all_news/electricity-tariffs-for-household-consumers-from-01-06-2024) .
- 28.Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств [Електронний ресурс] // НКРЕКП. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vstanovlennya-zelenih-tarifiv-na-elektrichnu-energiyu-viroblenu-generuyuchimi-ustanovkami-privatnih-domogospodarstv-10> .

					<i>MP 5.8.141. 456 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92