

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр .

(ступінь вищої освіти)

на тему **Розроблення вітро-сонячної електростанції для живлення аварійного освітлення навчального корпусу «Ф» Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Саєвський Д. М.

Керівник Трет'як А.В.

Рецензент Кислиця С.Г.

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра «Розроблення вітро-сонячної електростанції для живлення аварійного освітлення навчального корпусу «Ф» Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"»

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 56 с., 19 рис., 7 табл., 15 джерела інформації, 5 додатки.

Ключові слова: сонячна енергія, вітро-сонячна електростанція, Ф – корпус.

Робота присвячена вирішенню питання підвищення надійності електропостачання систем аварійного евакуаційного освітлення навчального корпусу «Ф» Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" у місті Полтава. Об'єктом дослідження є зазначена будівля з встановленою на даху автономною вітро-сонячною електростанцією.

Мета роботи: ознайомитись з досвідом використання поновлюваних джерел енергії в системах автономного та змішанного електропостачання. Розробити схему надійної системи електропостачання споживачів першої категорії корпусу. Розрахувати вітро-сонячну електроустановку на базі використання сонячних фотопанелей і вітрогенератора. Провести оцінку техніко-економічної ефективності та доцільності використання вітро-сонячної енергії в місті Полтава.

SUMMERY

Development of a wind-solar power plant for powering the emergency lighting of the educational building "F" of the National University "Poltava Polytechnic named after Yury Kondratyuk"

The work contains: 56 pages, 19 figures, 7 tables, 15 sources of information, 4 additions.

Keywords: solar energy, wind-solar power plant, F – building.

The work is devoted to solving the issue of increasing the reliability of the power supply of emergency evacuation lighting systems of the educational building "F" of the National University "Poltava Polytechnic named after Yury Kondratyuk" in the city of Poltava. The object of the study is the specified building with an autonomous wind-solar power plant installed on the roof.

The purpose of the work: to get acquainted with the experience of using renewables energy sources in autonomous and mixed power supply systems. Develop a scheme of a reliable power supply system for consumers of the first category of the building. Calculate a wind-solar power plant based on the use of solar panels and a wind generator. To evaluate the technical and economic efficiency and feasibility of using wind-solar energy in the city of Poltava.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики, електроніки та
телекомунікацій

_____ О.В.Шефер
«01» квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Саєвський Даниїл Максимович

1. Тема роботи «Розроблення вітро-сонячної електростанції для живлення аварійного освітлення навчального корпусу «Ф» Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
керівник роботи Трет'як Андрій Валерійович, к.т.н., доц.
затверджена наказом вищого навчального закладу від ____ .2023 року № _____
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.06.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічні характеристики вітрогенератора та сонячної панелі, що встановлені на даху корпусу Ф
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд та аналіз проблеми впровадження альтернативних джерел електроенергії. Розроблення системи аварійного електроосвітлення будівлі. Розроблення структурної схеми вітро-сонячної електростанції та розрахунок її основних параметрів. Вибір обладнання запропонованої вітро-сонячної електростанції. Визначення необхідної ємності акумуляторних батареї і їх кількості. Огляд заходів безпеки під час монтажних робіт та в процесі експлуатації вітро-сонячної електростанції. Висновки.

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

- 1) Вітро-сонячний потенціал місцевості;
- 2) структурна схема системи аварійного електроосвітлення будівлі;
- 3) структурна схеми вітро-сонячної електростанції;
- 4) обладнання, що необхідне для станції;
- 5) ,6) Розрахунок вітросонячної системи з акумуляторними батареями;
- 7) висновки

6. Дата видачі завдання 01.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Збір загальних відомостей про вітро-сонячний потенціал місцевості	26.04.23	I	20%	Пл. 1
2	Розроблення структурної схеми аварійного електроосвітлення будівлі	10.05.23		40%	Пл. 2
3	Розроблення структурної схеми вітро-сонячної електростанції та розрахунок її основних параметрів	24.05.23	II	60%	Пл. 3
4	Визначення необхідної ємності акумуляторних батареї і їх кількості	07.06.23		80 %	Пл. 4, 5
5	Огляд заходів безпеки під час монтажних робіт та в процесі експлуатації вітро-сонячної електростанції. Висновки. Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	14.06.23	III	100%	Пл. 6

Студент _____ Саєвський Д.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Трет'як А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналітична частина	6
1.1 Аналіз альтернативних джерел електроенергії.....	6
1.2 Сонячна енергетика	6
1.2.1 Принцип роботи сонячних панелей	7
1.2.2 Склад та улаштування сонячних електростанцій	8
1.3 Вітрова енергетика.....	10
1.3.1 Принцип роботи вітрових електростанцій.....	10
1.3.2 Склад та улаштування вітрових електростанцій.....	11
1.3.3 Типи вітроелектричних установок.....	12
1.4 Гібридні системи.....	13
1.4.1 Принцип роботи гібридних систем.....	14
1.4.2 Технологічні вимоги та обмеження.....	16
1.5 Висновки першого розділу.....	17
2 Розробка вітро-сонячної електростанції	18
2.1 Розробка структури вітро-сонячної електростанції.....	18
2.2 Вибір обладнання.....	20
2.2.1 Елементи сонячної батареї та їх додаткові компоненти.....	20
2.2.2 Інвертор.....	23
2.2.3 Контролери.....	23
2.2.4 Акумулятори в системі вітро-сонячної електростанції.....	25
2.3 Розрахунок фотоелектричної системи з акумуляторними батареями	28
2.3.1 Розрахунок необхідної потужності.....	29
2.3.2 Визначення необхідної ємності акумуляторних батареї і їх кількості.....	32
2.3.3 Визначення необхідної кількості сонячних батарей.....	34
2.3.4 Вибір сонячних батарей і основного обладнання для варіанту електропостачання з акумуляторними батареями.....	40
2.4 Вибір кабельних ліній.....	42

2.4.1 Перевірка кабелів по втраті напруги	43
2.5 Вибір контролера заряду, конекторів, лічильника.....	44
2.6 Вибір вітрової установки.....	46
2.6.1 Дослідження вітрового потенціалу.....	46
2.6.2 Розрахунок вітроустановки.....	48
2.7 Висновки до 2 розділу.....	50
3 Економічне обґрунтування	51
3.1 Розрахунок капітальних вкладень	51
Висновки.....	53
Список джерел інформації.....	54
Додатки.....	56

Вступ

У наш час Україна змушена стикатися зі складними проблемами енергопостачання, що стають ще актуальнішими в умовах війни на Сході країни. Рік за роком зростає потреба в енергії, а забезпечити її стабільне та безперебійне постачання є вкрай важливим завданням для розвитку нашої держави. У зв'язку з цим, важливо шукати нові шляхи та інноваційні рішення, які б допомогли вирішувати цю проблему та забезпечували наше майбутнє енергетичною стабільністю. Саме тому, в першу чергу я хочу звернути увагу на альтернативні джерела енергії.

Об'єктом мого дослідження є - розроблення вітро-сонячної електростанції для живлення аварійного освітлення навчального корпусу - набуває особливої актуальності та значимості. Впровадження такого проекту може сприяти зменшенню використання традиційних джерел енергії та впровадженню екологічно чистих технологій в енергетиці.

Задачі дослідження:

- Оцінити енергоспоживання вибраного корпусу;
- Провести аналіз місця розташування, де планується встановлення електростанції. Визначити потужність вітру та інтенсивність сонячної радіації у цьому регіоні;
- Провести розрахунок необхідних параметрів та вибрати відповідні сонячні панелі та вітроенергетичні установки;
- Розробити схему підключення до мережі;
- Перевірити встановлене обладнання при підключенні додаткового навантаження від корпусу;
- Виконати економічний аналіз вітро-сонячної електростанції та порівняти вартість із традиційними джерелами енергії.

Отже, метою даної роботи є закріплення та використання набутих знань під час розроблення вітро-сонячної електростанції для живлення аварійного освітлення навчального корпусу.

РОЗДІЛ 1. Аналітична частина

1.1 Аналіз альтернативних джерел електроенергії

У сучасному світі розробка та використання альтернативних джерел електроенергії набуває все більшої актуальності. Зростання споживання електроенергії, зміни клімату та нестабільність традиційних джерел енергії підштовхують до пошуку нових, більш стійких та екологічно чистих джерел електроенергії. Задумуючись про альтернативні джерела електроенергії, одразу приходять думки про сонячну та вітрову енергетику. На мою думку саме ці види джерел електроенергії є найбільш доступними, саме тому я вирішив акцентувати свою увагу саме на них.

1.2 Сонячна енергетика

Україна розташована у Центрально-Східній Європі, у південно-східній частині Східноєвропейської рівнини, між 44° і 52° північної широти і 22° і 41° східної довготи.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1м^2 поверхні, на території України знаходиться в межах: від $1000\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в північній частині України і до $1400\text{кВт}\cdot\text{год} / \text{м}^2$ в АР Крим. Щоб більш детально зрозуміти, про що йде мова, можна ці цифри охарактеризувати так - сонячна енергія, яка реально надходить за три дні на територію України, перевищує енергію всього річного споживання електроенергії в нашій країні. А тривалість сонячних годин (НЕ сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) протягом року в північно-західній частині України становить 1600 - 1700 годин. У лісостеповій зоні вона зростає до 1900 - 2000 годин за рік. У степовій зоні, на морських узбережжях досягає 2300 - 2400 годин за рік. Максимальне сонячне сяйво у Кримських горах - 2453 години за рік. Звичайно, чим ближче до екватора, тим більша кількість сонячних годин в році і в таких країнах як Туреччина, Болгарія, Іспанія, Португалія, Єгипет і

Молдова ефективно використання сонячних систем відбувається цілий рік.

[2]

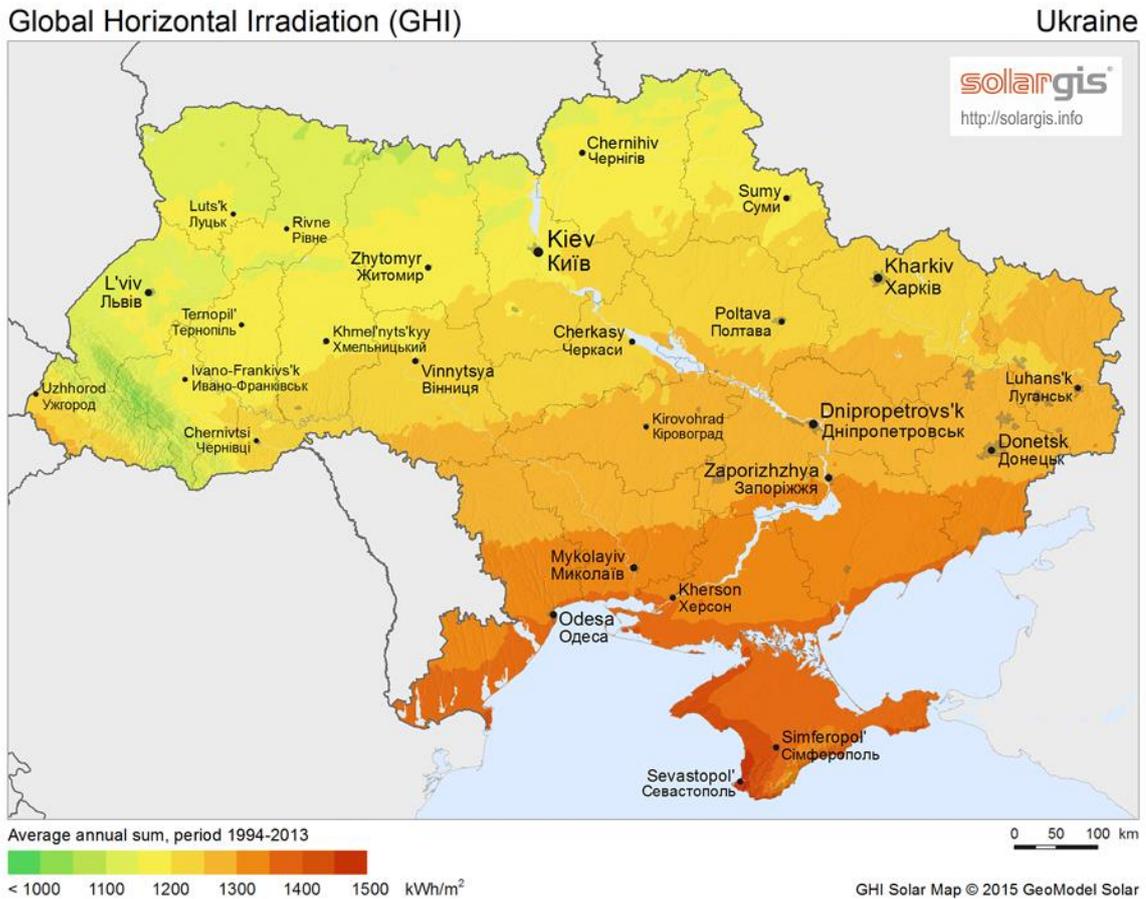


Рисунок 1.1 - Потенціал сонячної енергії на території України [2]

З рисунку 1.1 видно, що більший потенціал сонячної енергії є на сході, країни, тому чим більше на схід, тим ефективніше будуть працювати системи енергопостачання від сонячної електростанції.

1.2.1 Принцип роботи сонячних панелей

Принцип роботи сонячного модуля, який є основою сонячної електростанції, досить простий - поверхня модуля вловлює сонячне світло і за рахунок провідникових властивостей кремнію перетворює його в електричну енергію. [3]

1.2.2 Склад та улаштування сонячних електростанцій

Сонячні електростанції можуть бути розміщені на покрівлях будівель, на спеціальних стелажах, на земельних ділянках, а також на плавучих платформах. Сонячні електростанції працюють на основі сонячних батарей, які перетворюють сонячне випромінювання в електричну енергію. Важливою перевагою сонячних електростанцій є їх екологічність і безшумність роботи, а також незалежність від топлива і стійкість до вітру. Однак, враховуючи погодні умови, сонячні електростанції не забезпечують постійну продуктивність.

Сонячні панелі (фотоелектричні модулі) є головним елементом сонячної електростанції. Вони складаються з багатьох окремих сонячних клітин, які забезпечують перетворення сонячної енергії на електричну. Сонячні клітини виготовляються з напівпровідникового матеріалу, зазвичай кремнію.

Сонячні панелі можуть бути різних типів: монокристалічні, полікристалічні та аморфні. Монокристалічні панелі виготовляються з кристалів кремнію, які мають однакову структуру та форму. Полікристалічні панелі виготовляються з більшої кількості кристалів, які мають відмінну структуру та форму. Аморфні панелі виготовляються з тонких шарів кремнію та інших напівпровідникових матеріалів, які забезпечують гнучкість та легкість установки.

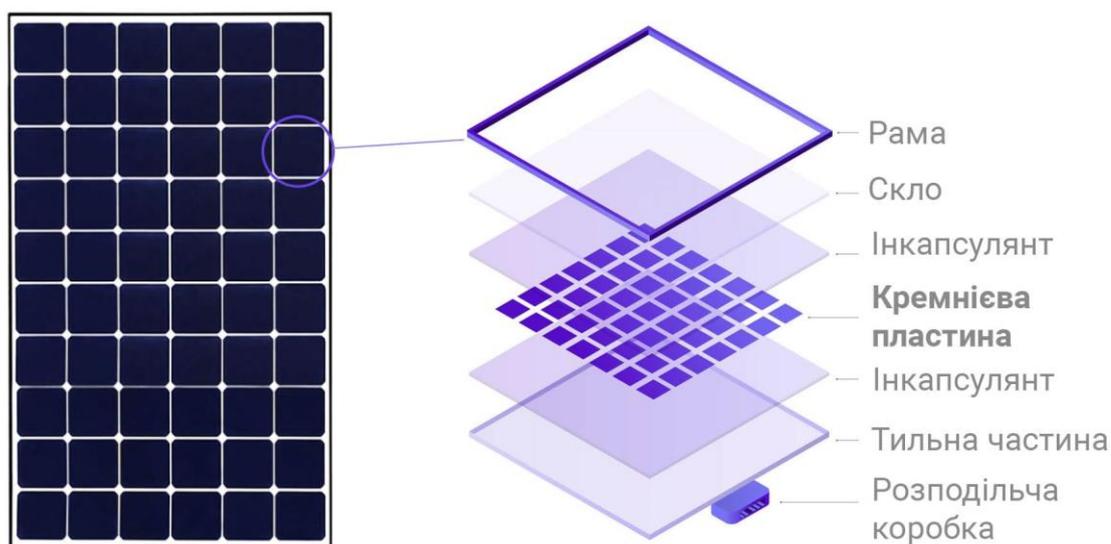


Рисунок 1.2 Структура сонячної панелі [3]

Установка сонячних панелей передбачає їх розміщення на підставках або рамах, які кріпляться до покрівлі або землі. Панелі повинні бути спрямовані на південь або на північний захід, залежно від розташування відносно екватора. Кут нахилу панелей також важливий і повинен бути налаштований на оптимальний кут для збору максимальної кількості сонячної енергії.

Для забезпечення ефективної роботи сонячних панелей необхідно враховувати такі фактори, як затінення, погодні умови та температура. Затінення на сонячні панелі може бути викликане будь-якими об'єктами, які перекривають сонячні промені і тим самим зменшують кількість сонячної енергії, яка може бути зібрана панелями. Це може бути будь-що, від дерева або будинку до хмар або інших природних явищ, таких як снігопад або дощ. Затінення може суттєво знизити продуктивність сонячних панелей, тому важливо ретельно обирати місце для їх розташування та враховувати можливість затінення при розрахунку кількості необхідних панелей.

Число сонячних елементів визначається номінальною напругою модуля. Кожен елемент будь-якого розміру представляється кремнієвим фотодіодом, що має напругу в точці максимальної потужності ~ 0.5 Вольта. Типовий модуль з номінальною напругою 12 вольт складається з 36 елементів. [5]

Якщо послідовно з'єднати 36 елементів напругою по 0,5 В кожний, то вийде ~ 18 В в точці максимальної потужності. Саме такою напругою слід заряджати 12-ти вольтовий акумулятор, тому що для повноцінної зарядки напруга акумулятора повинно досягати 14,2-14,9В, залежно від типу акумуляторної батареї, але необхідний ще і певний запас на втрати в проводах, нагрів модуля і т.д.

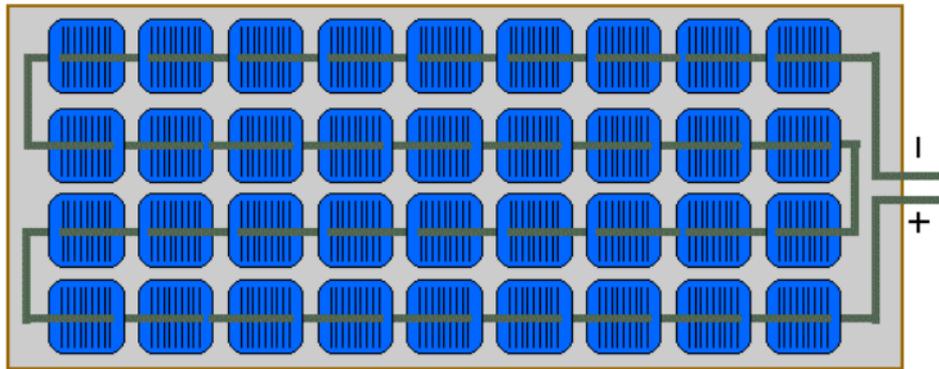


Рисунок 1.3 - Схема з'єднання елементів сонячної батареї [1]

У фотоелектричну систему (рисунок 1.3) входять: одна чи кілька сонячних батарей в паралельному з'єднанні, контролер заряду і розряду акумулятора, кілька акумуляторних батарей, інвертор. Найбільш поширені 24-вольтові системи з одночасним перетворенням постійної напруги в 220В змінної [1]

1.3 Вітрова енергетика

Вітрова енергетика є одним з найбільш перспективних напрямків альтернативної енергетики. Вона ґрунтується на використанні сили вітру для генерації електроенергії. Вітрові електростанції (ВЕС) дозволяють виробляти енергію без використання палива та викидів шкідливих речовин в атмосферу. Крім того, вони є надійним джерелом енергії, оскільки не залежать від коливань цін на паливо.

1.3.1 Принцип роботи вітрових електростанцій

Принцип роботи вітрових електростанцій полягає в тому, що вітер приводить в рух лопаті вітроустановки, яка зі свого боку приводить в рух генератор, який перетворює кінетичну енергію вітру на електричну енергію.

1.3.2 Склад та улаштування вітрових електростанцій

Один з основних елементів вітрової електростанції - це вітроелектричний генератор, який перетворює кінетичну енергію вітру на електричну енергію. Вітроелектричний генератор складається з ротора та статора. Ротор, зазвичай, складається з трибікових лопастей, які здійснюють обертання під дією вітру. Статор же містить набір котушок, в яких виникає електричний струм за рахунок руху магніту на роторі.

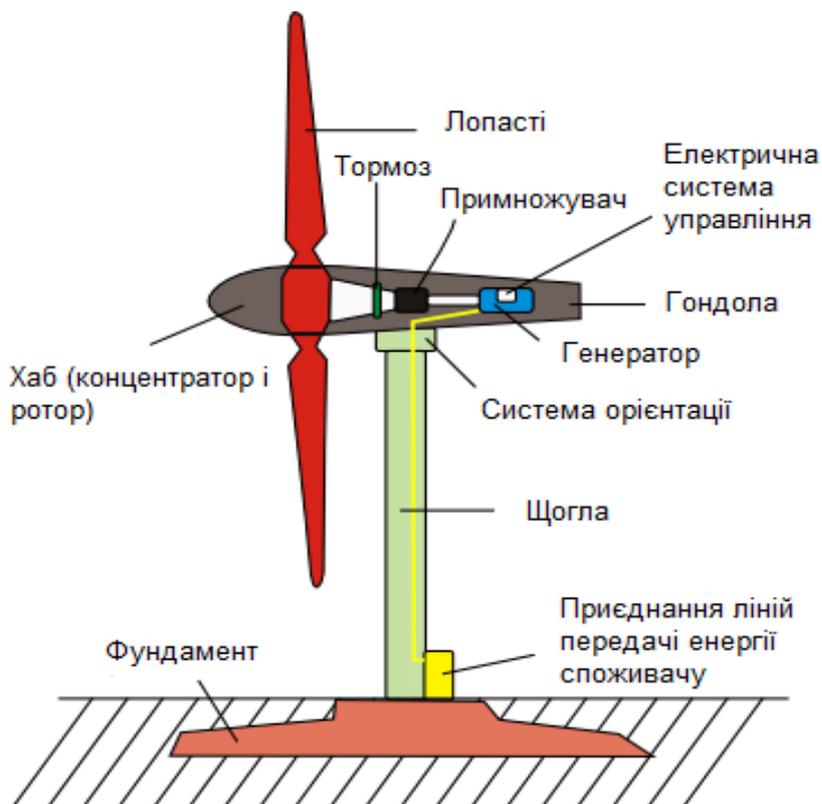


Рисунок 1.4 Структура вітрогенератора [4]

Для ефективної роботи вітроелектричного генератора необхідно забезпечити максимальну ефективність збирання енергії вітру. Для цього він повинен мати правильну форму та розміри лопастей, оптимальну швидкість обертання ротора, а також повинен бути розташований на підходящій висоті.

Найбільш перспективні зони для розміщення ВЕС - це високі гірські хребти, відкриті ділянки земної поверхні, віддалені від населених пунктів, а також морські узбережжя. Однак, враховуючи кліматичні особливості та географічне положення України, можна зазначити, що потенціал ВЕС в

країні знаходиться на досить низькому рівні, особливо у порівнянні з Європою.

Крім того, важливим елементом є контролер системи, який забезпечує оптимальну роботу вітроелектричного генератора. Контролер відповідає за регулювання швидкості обертання ротора, забезпечення безпеки електростанції, а також за моніторинг параметрів роботи системи. [4]

1.3.3 Типи вітроелектричних установок

В цьому розділі розглянуті різні типи вітроелектричних установок, які можуть бути використані для реалізації вітрової складової вітро-сонячної електростанції на даху Національного університету. Кожен тип має свої особливості, переваги та обмеження, які потрібно врахувати при виборі оптимального рішення.

Горизонтальнооснащені вітроелектричні установки є найбільш поширеним типом вітроустановок. Вони складаються з горизонтально розташованого ротора, який обертається навколо вертикальної осі. Вітроустановки цього типу можуть бути поділені на два основних підтипи:

Однороторні вітроелектричні установки складаються з одного ротора, який має велику діаметральну розмірність. Вони використовуються переважно для великих масштабних електростанцій, де великі потужності можуть бути забезпечені декількома однороторними вітроустановками, розташованими поруч одна з одною.

Багатороторні вітроелектричні установки мають кілька роторів, розташованих поруч або на одній вісі. Вони забезпечують високу потужність при менших розмірах порівняно з однороторними установками. Багатороторні вітроустановки можуть бути ефективним рішенням.

Вертикальнооснащені вітроелектричні установки відрізняються від горизонтальнооснащених тим, що їх ротор розташований вертикально. Цей тип вітроустановок має свої переваги, такі як можливість працювати в будь-якому напрямку вітру і займати менше місця.

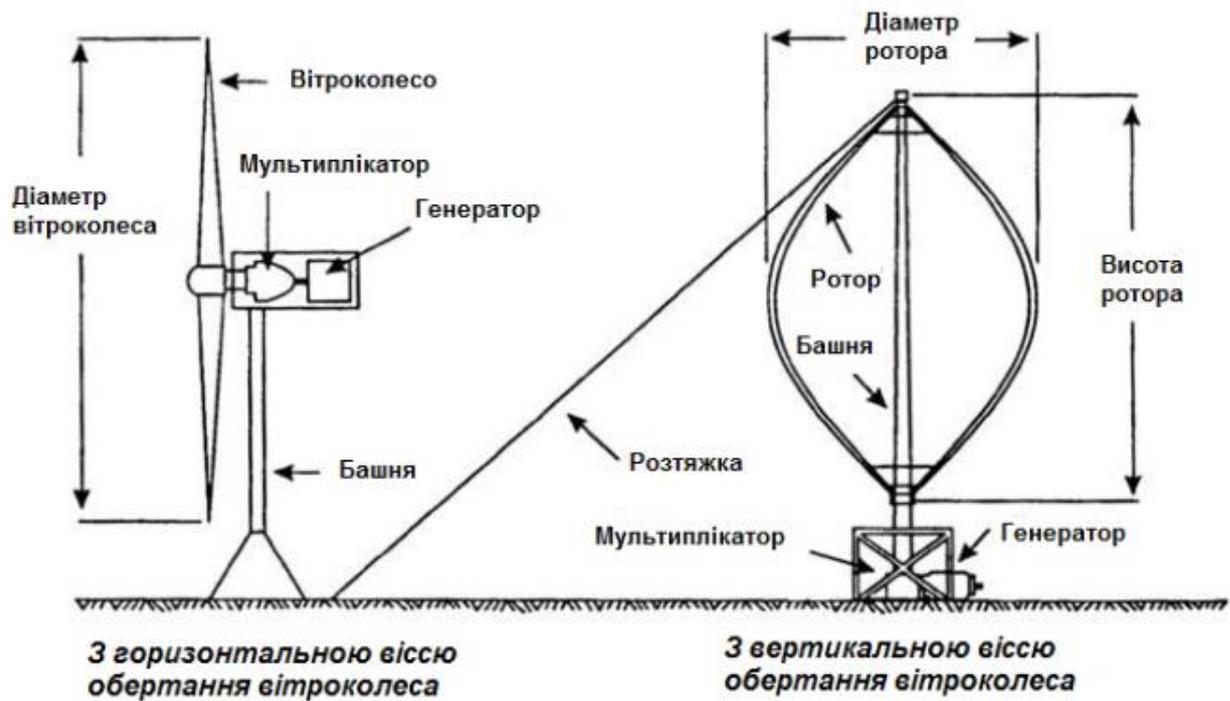


Рисунок 1.5 Типи вітроелектричних установок [4]

1.4 Гібридні системи

Гібридні системи електроживлення, як правило, поєднують у собі кілька джерел енергії, таких як сонячна енергія, вітрова енергія, генератори на паливі та акумуляторні батареї. Такі системи можуть допомогти забезпечити енергетичну стабільність в умовах коливань навколишнього середовища та погодних умов.

Гібридні системи дозволяють максимально використовувати переваги різних джерел енергії, що дозволяє знизити вартість електроенергії та забезпечити її безперебійний постійний постачання. В залежності від умов експлуатації, може бути вигідніше використовувати гібридну систему електроживлення, ніж окремі джерела енергії.

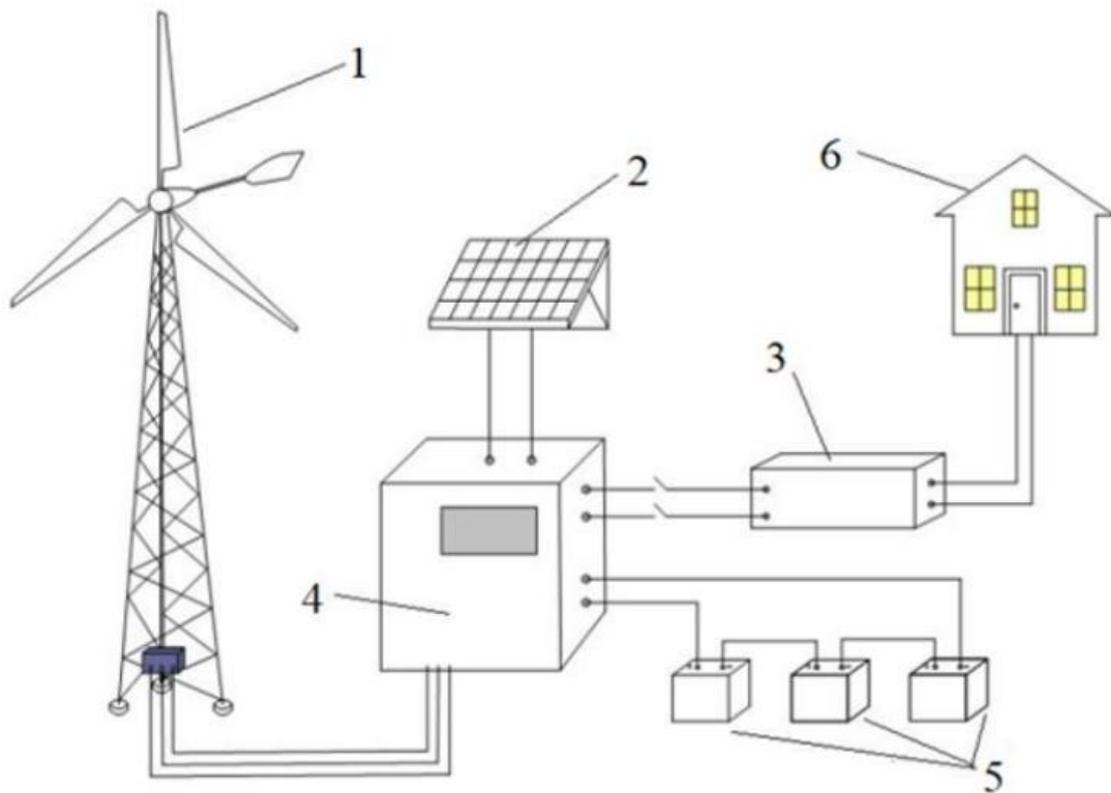


Рис. 1.6 Схема вітро-сонячної гібридної електроустановки [8]

Однак, важливо пам'ятати про високу вартість встановлення та обслуговування гібридних систем, що може бути недосяжним для деяких підприємств та організацій. У кожному конкретному випадку потрібно здійснювати ретельний аналіз витрат та можливостей, щоб визначити оптимальний варіант електроживлення.

1.4.1 Принцип роботи гібридних систем

Принцип роботи гібридних систем електроживлення базується на комбінації різних джерел енергії для забезпечення стабільного та безперебійного постачання електроенергії. Основними компонентами гібридних систем є сонячні панелі, вітрогенератори, генератори на паливі (дизельні, газові тощо) та акумуляторні батареї.

Принцип роботи гібридної системи полягає в наступних етапах:

1. Збір сонячної енергії: Сонячні панелі конвертують сонячну енергію в електричну енергію за допомогою фотоелектричного ефекту. Вони збирають сонячні промені і генерують постійний струм (DC).
2. Вітроенергетика: Вітрогенератори працюють на основі використання кінетичної енергії вітру. Вони перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну енергію, генеруючи змінний струм (AC).
3. Зберігання енергії: Зайва електроенергія, отримана від сонячних панелей та вітрогенераторів, може бути збережена у акумуляторних батареях. Акумулятори перетворюють та зберігають електричну енергію у формі хімічної енергії, яка може бути використана пізніше.
4. Допоміжний генератор: У випадку, коли сонячна енергія та вітроенергія не забезпечують достатньо електроенергії для потреб, допоміжний генератор на паливі (наприклад, дизельний генератор) може автоматично включатися для забезпечення додаткової електроенергії.
5. Управління гібридною системою є важливою складовою, яка дозволяє оптимізувати роботу системи та забезпечити ефективне використання доступних джерел енергії.

Основні аспекти управління гібридною системою включають:

1. Керування енергетичним потоком: Управління розподілом електроенергії між різними джерелами (сонячними панелями, вітрогенераторами, акумуляторними батареями та допоміжним генератором) залежно від наявної потужності та вимог споживачів.
2. Навантаження та резервне живлення: Визначення пріоритетів живлення різних навантажень у системі та забезпечення резервного живлення в разі відмови основного джерела енергії.
3. Моніторинг та діагностика: Система управління забезпечує моніторинг параметрів роботи гібридної системи, виявлення відхилень та вирішення проблем шляхом діагностики та відповідних корекцій.

4. Керування зарядом акумуляторів: Оптимальне керування процесом заряду та розряду акумуляторних батарей забезпечує максимальну ефективність та тривалість роботи системи.
5. Система автоматичного перемикачів: Управління автоматичним перемикачів між джерелами енергії (наприклад, між сонячними панелями та вітрогенераторами) залежно від умов оточуючого середовища та наявності енергії.
6. Прогнозування та оптимізація: Використання алгоритмів прогнозування погодних умов та споживання електроенергії дозволяє оптимізувати роботу гібридної системи

1.4.2 Технологічні вимоги та обмеження

Технологічні вимоги та обмеження гібридних систем включають ряд факторів, які необхідно враховувати при їхньому проектуванні та використанні:

Вимоги до компонентів: Кожен компонент гібридної системи, такий як сонячні панелі, вітрогенератори, акумуляторні батареї та допоміжні генератори, має свої технічні вимоги. При виборі та встановленні компонентів потрібно враховувати їх сумісність, ефективність, надійність та вартість.

Виробництво та установка: Розробка та виробництво гібридних систем потребує дотримання вимог щодо якості, стандартів та нормативів. Установка системи повинна відповідати вимогам щодо безпеки та ефективності.

Електричні підключення: Гібридні системи потребують правильного підключення до електричних мереж або споживачів електроенергії. Це вимагає дотримання електричних норм та стандартів, а також врахування протоколів комунікації.

Управління та контроль: Гібридні системи потребують ефективного управління та контролю для оптимального використання різних джерел енергії. Це включає розробку алгоритмів керування, моніторингу параметрів, діагностики та захисту системи.

Експлуатаційні вимоги: Гібридні системи потребують регулярного технічного обслуговування та планових перевірок, щоб забезпечити їх безперебійну роботу. Вимоги до обслуговування включають перевірку компонентів, заміну акумуляторних батарей.

1.5 Висновки першого розділу

У результаті аналізу альтернативних джерел електроенергії було встановлено, що вітрова та сонячна енергетика є одними з найбільш перспективних інструментів для вирішення проблеми з енергопостачанням. Обидва види енергетики мають свої переваги та недоліки, проте розглядаючи конкретні умови живлення аварійного освітлення навчального корпусу, було вирішено використовувати вітро-сонячну електростанцію. У подальшому розділі буде описано розробку та реалізацію такої електростанції, що дозволить забезпечити електроенергією аварійне освітлення навчального корпусу в разі відключення основного джерела живлення.

РОЗДІЛ 2. Розробка вітро-сонячної електростанції

2.1 Розробка структури вітро-сонячної електростанції

У рамках даної роботи розробимо вітро-сонячну електростанцію для будівлі Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" навчальний корпус Ф (рисунок 2.1).

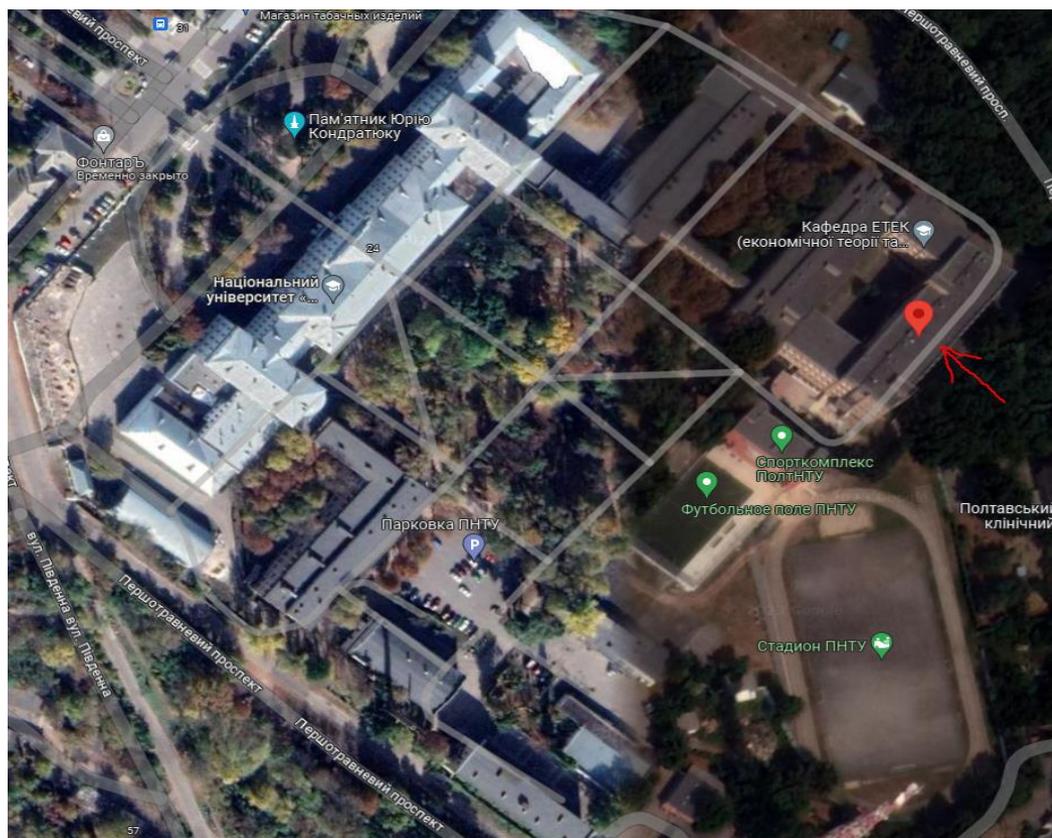


Рисунок 2.1 – Фрагмент карти міста з розташуванням об'єкту проєктування

Споживачами електроенергії у будівлі є :

- Освітлювальне обладнання
- Офісне обладнання
- Навчальне обладнання
- Протипожежне обладнання

Згідно ДБН В2.5-23-2010, споживачі будівлі відносяться до другої категорії електропостачання.

Дах будівлі плоский, площа досить велика, тому труднощів з розташуванням та монтуванням фотопанелей та вітрогенератора виникнути не повинно. Далі що б вибрати конкретне обладнання необхідно виконати розрахунок потужності що споживатиметься згаданими системами.

Згідно схеми ВРП будівлі (див. додаток А) для вказаних споживачів необхідне навантаження складає 1,5кВт. Алгоритм роботи схеми приймемо наступний: Системи пожежного спостереження живляться постійно від фотоелектростанції, також, у разі потреби, вмикається система аварійного освітлення. У випадку недостатньої потужності електростанції (розряду АКБ) споживачі автоматично перемикаються на мережеве живлення. Система пожежного спостереження додатково має свої джерело безперебійного живлення.



Рисунок 2.2 - Структурна схема типової гібридної енергетичної системи

У цій схемі робота споживачів можлива від сонячних модулів, від вітрогенератора, від АКБ у темний час доби чи за відсутності вітру та від централізованої мережі електропостачання у разі розряду АКБ або виходу з ладу компонентів станції.

2.2 Вибір обладнання

Вітро-сонячну електричну енергосистему створюють такі основні елементи: сонячні панелі, вітрогенератор, інвертор, контролер, банк акумуляторних батарей. Така схема виробництва електроенергії працює у більшості електростанцій. Її мета - не тільки забезпечувати електроенергією житлові будинки, школи, підприємства, аеропорти, але і отримувати значні доходи, продаючи чисту енергію енергетичним компаніям.

Елементи сонячної енергосистеми:

1. Фотоелектричні панелі перетворюють сонячну енергію в електричну.
2. Вітрогенератор перетворює кінетичну енергію вітру в електричну.
3. Інвертор перетворює постійний електричний струм від сонячних батарей та вітряка в змінний, необхідний для живлення електроприладів.
4. Контролер - це пульт управління енергетичною системою. Контролер не допускає перевантаження системи або зворотного струму в нічний час.
5. Акумуляторні батареї – накопичують електричну енергію для тимчасового зберігання.

2.2.1 Елементи сонячної батареї та їх додаткові компоненти

Модулі сонячної батареї наземного застосування, як правило, конструюються для зарядки свинцево-кислотних акумуляторних батарей з номінальною напругою 12В. При цьому послідовно з'єднуються 36 сонячних елементів, і далі збирають в модуль. Отриманий пакет, як правило, обрамляють в алюмінієву раму, яка полегшує кріплення до несучої (опорної) конструкції. Потужність модулів сонячної батареї може досягати 10-300Вт (рисунок 2.3) [7].

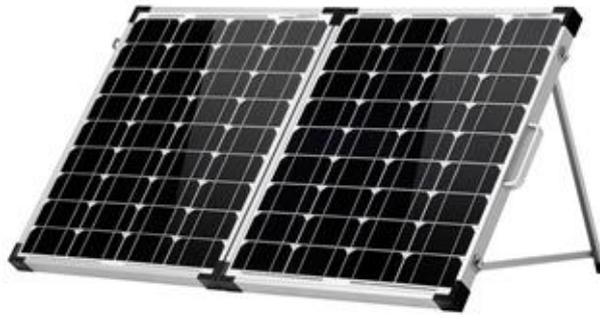


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд сонячної батареї

Електричні параметри таких модулів відображаються у вольт-амперній характеристиці, визначеній при стандартних умовах (тобто коли потужність сонячної радіації дорівнює 1000 Вт / м^2 , температура елементів - 25° C і сонячний спектр - на широті 45°). Точка перетину кривої з віссю напруги називається напругою холостого ходу $U_{\text{х.х.}}$, а з віссю струму - струмом короткого замикання $I_{\text{к.з.}}$ (рисунок 2.4) [7].

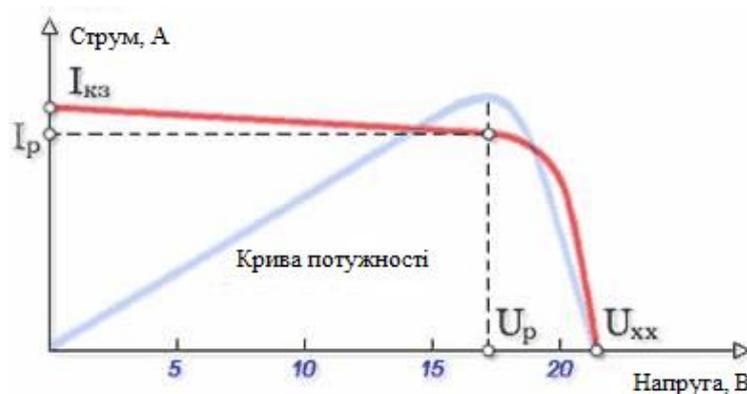


Рисунок 2.4 – Вольт-амперна характеристика сонячної батареї

На цьому ж графіку наведена крива потужності, одержуваної від сонячних елементів в залежності від навантаження. Номінальна потужність модуля визначається як найбільша потужність при стандартних умовах. Значення напруги, що відповідає максимальній потужності іменується робочою напругою $U_{\text{р}}$, а відповідний струм - робочим струмом $I_{\text{р}}$. Значення робочої напруги для модуля, що складається з 36 елементів приблизно дорівнює 16-17В ($0,45\text{-}0,47\text{В / елемент}$) при 25° C . Такий запас по напрузі

потрібен для того, щоб компенсувати зменшення робочої напруги при розігріві модуля сонячним випромінюванням. Напруга холостого ходу сонячного модуля мало змінюється при зміні освітленості, в той час як струм короткого замикання прямо пропорційний освітленості. ККД сонячного модуля визначається як відношення максимальної потужності модуля до загальної потужності випромінювання, що падає на його поверхню при стандартних умовах, і складає 15-40% [7].

З метою досягнення необхідної потужності та робочої напруги, сонячні модулі можуть бути з'єднані послідовно та паралельно для створення сонячної батареї. Процес з'єднання дозволяє отримати більшу потужність, ніж сума потужностей окремих модулів. Однак, важливо враховувати, що потужність сонячної батареї завжди буде трохи нижчою, ніж сума потужностей модулів, через втрати, що виникають внаслідок різниці характеристик модулів (такі як ефективність чи виробничі толерантності). Чим менша різниця в характеристиках модулів і краще вони підібрані, тим менші будуть втрати, обумовлені різницею між ними. Наприклад, при послідовному з'єднанні десяти ФМ з розкидом характеристик 10% втрати становлять приблизно 6%, а при розкиді 5% - знижуються до 2%.

Вольт-амперна характеристика сонячної батареї має аналогічний вигляд до характеристики одного модуля. Робоча точка сонячної батареї, коли вона підключена до навантаження, може відрізнятись від точки максимальної потужності, особливо з урахуванням змінних умов освітленості та температури навколишнього середовища. Підключення навантажень, таких як електродвигун, може змістити робочу точку системи в напрямок мінімальної або навіть нульової потужності, що може завдати проблем з функціонуванням навантаження (наприклад, двигун може не запуститися). З цієї причини важливим компонентом сонячної батареї є перетворювачі напруги, які дозволяють узгоджувати робочу точку сонячної батареї з вимогами навантаження.

2.2.2 Інвертори

Сонячний генератор, незалежно від своєї складності та розміру, здатний виробляти лише постійний струм. Наразі існує значна кількість споживачів, які працюють на постійному струмі, таких як зарядка акумуляторів, освітлення, радіоапаратура тощо. Однак, також існує значна кількість споживачів, які працюють на змінній напрузі 220 В. Для перетворення постійного струму, який надходить від акумуляторної батареї, в змінний струм синусоїдальної форми необхідне використання інвертора (рисунок 2.5) [5].



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд інвертора для сонячної електростанції

Інвертор - це пристрій, призначений для перетворення постійного струму в змінний. Розрізняють два типи інверторів: інвертори, ведені мережею, мережні (залежні інвертори) і автономні (незалежні інвертори).

2.2.3 Контролери

Контролер, також відомий як регулятор зарядки і розрядки акумуляторів, є важливою складовою системи. Цей пристрій відповідає за ефективне зарядження акумуляторів і захист їх від перевантажень або

надмірного розряду. Вартість сонячного контролера становить незначну частку (не більше 5%) від загальної вартості системи, проте якість використовуваного контролера має велике значення, оскільки вона впливає на тривалість експлуатації акумуляторів. Деякі моделі регуляторів мають вбудований звуковий сигнал, який інформує користувача про швидке відключення живлення або інші події (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Гібридний контролер

Раніше наведені відомості стосуються регуляторів, що використовуються у невеликих автономних сонячних електростанціях з потужністю до 1 кВт. У випадку більш потужних сонячних систем, функції контролю зарядки і розрядки виконує системний контролер, який також відповідає за управління всією системою. Зазвичай цей пристрій зв'язаний з комп'ютером, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг роботи

компонентів із записом значень освітленості, температури, струму і напруги для подальшого аналізу.

2.2.4 Акумулятори в системі вітро-сонячної електростанції

Згенеровану сонячними батареями енергію можна зберігати в різних формах:

- теплова енергія в теплових акумуляторах;
- потенційна енергія води в резервуарах;
- хімічна енергія в електрохімічних акумуляторах;
- кінетична енергія обертових мас.

Для сонячних батарей більше підходять електроакумулятори, так як сонячні батареї генерують, а споживач споживає електроенергію, яка безпосередньо і запасується в акумуляторі (рисунок 2.7).

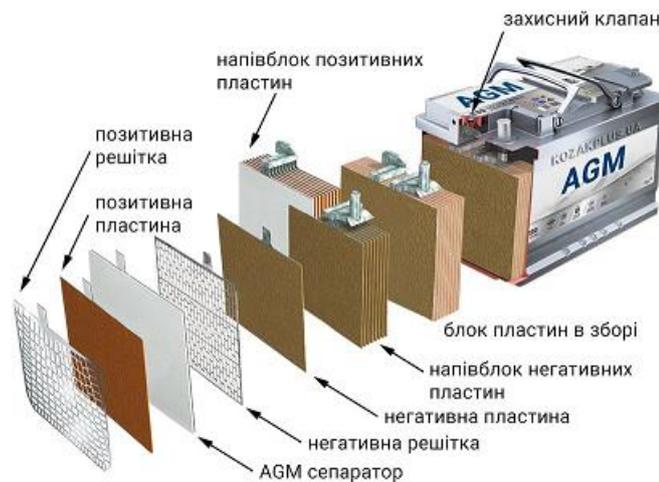


Рисунок 2.7 – Акумулятор для вітро-сонячної електростанції

В більшості фотоелектричних систем використовуються спеціальні свинцево-кислотні акумулятори, які призначені спеціально для сонячних батарей та подібних систем. Варто відзначити, що ці акумулятори суттєво відрізняються від стартерних автомобільних акумуляторів, хоча базуються на тій самій технології.

Головними умовами за вибором акумуляторів є:

- стійкість до циклічного режиму роботи;
- здатність переносити без наслідків глибокий розряд;
- низький саморозряд акумулятора;
- не критичність до порушення умов заряджання та розряджання;
- довговічність;
- простота в обслуговуванні;
- компактність і герметичність (важливий критерій для переносних або

тих що періодично демонтуються, сонячних батарей).

З метою отримання необхідної робочої напруги акумулятори або акумуляторні батареї з'єднують послідовно, паралельно або змішано.

При послідовному підключенні виконується з'єднання полюсів акумуляторів в ланцюжок, при цьому негативний полюс попереднього з'єднується з позитивним полюсом наступного. Перший позитивний полюс стає «плюсом», останній негативний полюс стає «мінусом» зібраної схеми, рисунок 2.8.

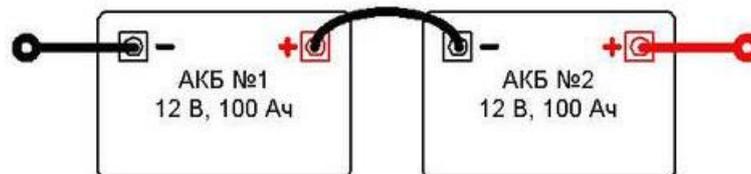


Рисунок 2.8 – Послідовне з'єднання акумуляторів

При такому способі з'єднання напруги (U) осередків складаються, загальну напругу батареї дорівнює сумі напруг всіх складових елементів:

$U_{заг} = U_{G1} + U_{G2} + U_{G3}$. Відповідно, при використанні батарейок з різним потенціалом, сумарна напруга буде різною.

Оскільки струм навантаження і заряду (I) буде протікати через всі складові частини послідовно, $I_{заг} = I_{G1} = I_{G2} = I_{G3}$.

Паралельне з'єднання застосовується для збільшення максимального струму, що віддається джерелом енергії. При такому способі збирання однойменні полюси осередків з'єднуються між собою, рисунок 2.9.

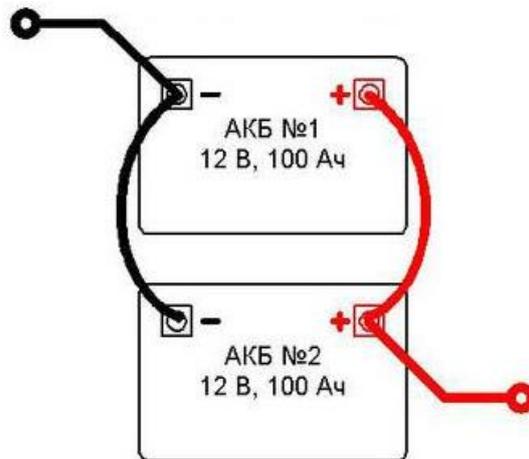


Рисунок 2.9 – Паралельне з'єднання акумуляторів

Загальний потенціал схеми має дорівнювати напрузі кожного окремого джерела $U_{заг} = U_{G1} = U_{G2} = U_{G3}$. Сумарний струм навантаження буде складатися з струмів окремих елементів: $I_{заг} = I_{G1} + I_{G2} + I_{G3}$.

Комбінована схема застосовується якщо потрібно одночасно збільшити напругу і максимальний струм, рисунок 2.10.

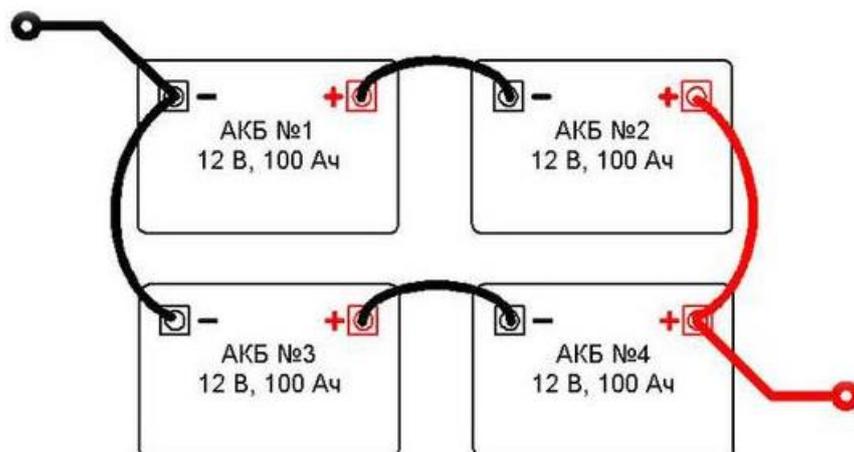


Рисунок 2.10 – Комбінована схема з'єднання акумуляторів

Дана схема може бути модифікована будь-яким іншим співвідношенням елементів для досягнення необхідної величини потужності.

При з'єднанні акумуляторів за будь-якою схемою необхідно дотримуватись наступних правил:

- використовують акумулятори тільки одного типу, виготовлені одним виробником;
- експлуатують все акумулятори одночасно, не роблячи відводів від окремих акумуляторів складових акумуляторну батарею;
- не об'єднують акумулятори з різницею в даті випуску більш ніж на місяць в одну акумуляторну батарею;
- забезпечують різницю температур окремих акумуляторів не більше 3° С.

Заради збереження тривалості експлуатації акумуляторів у сонячних батареях при циклічному режимі роботи, важливо уникати глибокого розряду. Глибина розряду вимірюється у відсотках від номінальної ємності акумулятора та впливає на його термін служби. Застосування акумуляторів при глибокому розряді призводить до частішої заміни та збільшує вартість системи. З метою обмеження глибини розряду сонячних акумуляторів, зазвичай використовують рівень 30-40%, досягнення якого можливе шляхом відключення навантаження (або зниження його потужності) або використання акумуляторів з більшою ємністю. З цією метою, в систему сонячної електростанції обов'язково включають контролери зарядки-розрядки акумуляторних батарей для управління процесом зарядки та вибору оптимального режиму роботи.

2.3 Розрахунок фотоелектричної системи з акумуляторними батареями

Розрахунок системи включає наступні етапи:

1. Визначення навантаження, споживаної енергії і необхідної потужності інвертора.
2. Визначення значення ємності акумуляторної батареї і їх кількості.
3. Визначення необхідної кількості сонячних батарей.

4. Визначення енергоспоживання і потужності інвертора.

2.3.1 Розрахунок необхідної потужності

Виконаємо розрахунок навантажень змінного струму і споживаної енергії. Для цього перерахуємо все навантаження змінного струму із зазначенням номінальної потужності і числа годин роботи в тиждень. Помножимо потужність на число годин роботи для кожного приладу і підсумуємо отримані значення для визначення сумарної споживаної енергії змінного струму в тиждень $W_{\text{пер}}$. Значення потужностей приладів представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Навантаження змінного струму

Навантаження змінного струму	$P_{\text{ср}}$, кВт	Годин в тиждень	кВт·г/тиждень
Чергове освітлення	0,1	84	8,4
Система пожежного спостереження	0,3	168	50,4
Аварійне освітлення	0,9	-	-
Сума	1,3		58,8

Для розрахунку необхідної кількості енергії $W_{\text{тр}}$, Постійного струму множимо отримане значення сумарного навантаження змінного струму на коефіцієнт $k = 1,2$, що враховує втрати в інверторі:

$$W_{\text{тр}} = W_{\text{пер}} * k , \quad (2.1)$$

Енергії постійного струму з урахуванням втрат в інверторі потрібно:

$$W_{\text{тр}} = 58,8 * 1,2 = 70,56 \text{ кВт} * \text{г}$$

Визначасмо значення вхідної напруги інвертора $U_{\text{інв}}$.

По характеристикам обраного інвертора. Зазвичай це 12 або 24 В, для потужних систем 48 В і більше. Інвертор вибираємо таким чином, щоб його потужність була вищою від потужності змінного струму помноженої на k .

Інвертор вибираємо по активній потужності $P_{інв}$, для цього розділимо значення $W_{тр}$ на число годин за тиждень, тобто на $7 \cdot 24 = 168$ год:

$$P_{інв} = \frac{W_{тр}}{168}, \quad (2.2)$$

$$P_{інв} = \frac{70,56}{168} = 0,42 \text{ кВт}$$

При виборі інвертора для нашої системи ми керуємося принципами простоти і надійність конструкції, простоти в експлуатації, невисокої вартості одночасно з такими характеристиками, як висока точність підтримки частоти і значення вихідної напруги, висока перевантажувальна здатність, синусоїдальна форма вихідної напруги.

Обрали інвертор Altek AXL-600-480W. Його паспортні дані наведені у Таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Характеристика обраного інвертора

Характеристика	Значення
Тип ДБЖ	Off-line
Струм заряду	12А
Частота струму	50Гц
Форма вихідної напруги	Синусоїда
Вихідна напруга	220В
Вихідна потужність	480Вт
Коефіцієнт потужності	1,0
ККД, не менше	93%
Напруга акумулятора	12В
Час перемикання	10мс
Час роботи при повному навантаженні	постійно
Тип монтажу	настінний
індикація	цифрова
Захист від перевантаження	так
Захист від короткого замикання	так
Захист від перегріву	так

Зовнішній вигляд інвертора приведено на рисунку 2.5

Таким чином, для роботи в даній системі приймаємо інвертор Altek AXL-600-480W, який має повну вихідну потужність 480Вт, вхідна напруга постійного струму 12 В. Вибрана потужності, є більшою, ніж розрахункова активна (420Вт), це обумовлено необхідністю мати запас потужності для забезпечення пускових струмів обладнання [5].

Число Ампер-годин на тиждень, необхідне для покриття навантаження змінного струму, визначається по формулі:

$$q_{\text{нед}}^{\text{пер}} = \frac{W_{\text{тр}}}{U_{\text{інв}}}, \quad (2.3)$$
$$q_{\text{нед}}^{\text{пер}} = \frac{70,56}{12} = 5,88 * 10^3 \text{ А * год}$$

Приймаємо, що в будівлі немає навантаження постійного струму $W_{\text{пост}} = 0$. Сумарна необхідна ємність акумуляторної батареї, тобто кількість А•год (Ампер-годин), споживаних в тиждень:

$$q_{\text{нед}} = q_{\text{нед}}^{\text{пер}}, \quad (2.4)$$
$$q_{\text{нед}} = 5,88 * 10^3 \text{ А * год}$$

Добове значення споживаних ампер-годин, визначається рівнянням $q_{\text{нед}}$. на 7 днів:

$$q_{\text{доб}} = \frac{q_{\text{нед}}}{7}, \quad (2.5)$$
$$q_{\text{доб}} = \frac{5880}{7} = 840 \text{ А * год}$$

2.3.2 Визначення необхідної ємності акумуляторних батарей і їх кількості

Визначаємо максимальну кількість послідовних "днів без сонця" N_{bc} (тобто, коли сонячної енергії недостатньо для роботи навантаження через хмарність) і орієнтуємось на режим експлуатації. При цілорічній експлуатації фотоелектричної системи з дублером, в тому числі при роботі із загальною енергомережею, для зменшення витрат можна вибрати мінімально можливу кількість днів без сонця - 1. Це обумовлено підзарядкою від резервного джерела в будь-який час. Також приймаємо за цей параметр вибрану кількість днів, протягом яких акумуляторні батареї буде жити навантаження самостійно без підзарядки [13].

Приймаємо, що максимальне число послідовних "днів без сонця" в зв'язку з цілорічним режимом роботи і використанням загальної енергомережі, тобто в умовах, коли підзарядка акумуляторних батарей може здійснюватись в будь-який час доби і в будь-який день $N_{bc} = 1$.

Сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця:

$$q_N = q_{\text{доб}} * N_{bc}, \quad (2.6)$$
$$q_N = 840 * 1 = 840 \text{ А * год}$$

Задаємося величиною глибини допустимого розряду акумуляторної батареї 70%. Відповідно коефіцієнт використання $\gamma = 0,7$.

Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma}, \quad (2.7)$$
$$q_\gamma = \frac{840}{0,7} = 1200 \text{ А * год}$$

Якщо акумуляторні батареї розташовуються в будівлі, то при 15,6С, $\alpha = 1,11$ -температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї.

Загальна необхідна ємність акумуляторних батарей:

$$q_{\text{заг}} = q_{\gamma} * \alpha, \quad (2.8)$$
$$q_{\text{заг}} = 1200 * 1,11 = 1332 \text{ А} * \text{год}$$

Номинальна напруга $U_{\text{ном. АКБ}} = 12 \text{ В}$, ємність $Q_{\text{ном. АКБ}} = 200 \text{ А} \cdot \text{г}$.

Розділити загальну необхідну ємність батарей $Q_{\text{заг}}$ на номінальну ємність обраної акумуляторної батареї $Q_{\text{ном}}$ і округлити отримане значення до найближчого більшого цілого. Це буде кількість батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{заг}}}{q_{\text{номАКБ}}}, \quad (2.9)$$
$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{1332}{200} \sim 7 \text{ шт}$$

Розділити номінальну напругу постійного струму системи $U_{\text{інв.}}$ на номінальну напругу акумуляторної батареї $U_{\text{ном. АКБ}}$. Округлити отримане значення до найближчого більшого цілого. В результаті отримаємо кількість послідовно з'єднаних батарей:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{інв.}}}{U_{\text{номАКБ}}}, \quad (2.10)$$
$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{12}{12} \sim 1 \text{ шт}$$

де $U_{\text{інв}}$ – номінальна, вхідна напруга інвертора, В.

Підрахувати необхідну кількість акумуляторних батарей $N^{\text{АКБ}}$:

$$N^{\text{АКБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} * N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}}, \quad (2.11)$$
$$N^{\text{АКБ}} = 7 * 1 = 7 \text{ шт}$$

Вибираємо акумуляторні батареї Solar-GEL AS12-200, 12В 200 А · год вартістю 21050 грн.

Сумарні капітальні витрати на АКБ:

$$K = N^{\text{АКБ}} \cdot C, \quad (2.12)$$

$$K = 7 * 21050 = 147350 \text{ грн}$$

де C – вартість однієї АКБ, грн.

2.3.3 Визначення необхідної кількості сонячних батарей

Для того щоб визначити число пікових сонце-годин, потрібно знати значення середньомісячного надходження сонячного випромінювання в Полтаві.

Розрахунок проводимо за середньорічної кількості пікових сонце-годин, щоб зменшити витрати на фотоелектричні систему. Це представляється можливо за рахунок використання загальної енергосистеми в якості дублера. У теплу пору року вироблювана енергія може передаватися в загальну мережу, а в холодну відповідно забиратися.

Якщо сонячні батареї встановлюються під кутом β до горизонту, то середньомісячне денний сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню E_H , може бути знайдена за формулою:

$$E_H = R * E, \quad (2.13)$$

де E - середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню;

R - відношення середньомісячних денних кількостей сонячної радіації, що надходить на похилу і горизонтальну поверхні.

Коефіцієнт перерахунку з горизонтальної площини на похилу з південної орієнтацією дорівнює сумі трьох складових, відповідних прямому, розсіяному і відбитому сонячному випромінюванню:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \times R_n + \frac{E_p}{E} \times \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \times \frac{1 - \cos\beta}{2}, \quad (2.14)$$

де E_p - середньомісячне денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню, кВт · год / м²;

$\frac{E_p}{E}$ - середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання, кВт · год / м²;

R_n - середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню;

β - кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;

ρ - коефіцієнт відображення (альbedo) поверхні Землі і навколишніх тіл, зазвичай приймається рівним 0,7 для зими і 0,2 для літа.

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню:

$$R_n = \frac{\cos(f - \beta) \times \cos\delta \times \sin\omega_{zn} + \frac{\pi}{180} \times \omega_{zn} \times \sin(f - \beta) \times \sin\delta}{\cos f \times \cos\delta \times \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \times \omega_s \times \sin f \times \sin\delta}, \quad (2.15)$$

де ϕ - широта місцевості, град;

β - кут нахилу сонячної батареї до горизонту, град;

δ - схилення Сонця (кут між лінією, що з'єднує центри Землі і Сонця, і її проекцією на площину екватора) в середній день місяця, град:

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right), \quad (2.16)$$

де n - порядковий номер дня, відрахований від 1 січня (номер середнього розрахункового дня для кожного місяця року).

Значення можна взяти з таблиці 2.3 [7]

Таблиця 2.3 - Кут нахилу Сонця

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345
δ , град	-23,1	-13,6	-2,4	9,4	18,8	23,3	21,7	14,4	3,4	-8,5	-18,2	-23,1

Часовий кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні визначиться як:

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg}\phi \cdot \operatorname{tg}\delta) \quad (2.17)$$

Часовий кут заходу Сонця для похилій поверхні з південною орієнтацією $\omega_{3н}$:

$$\omega_{3н} = \arccos[-\operatorname{tg}(\phi - \beta) \cdot \operatorname{tg}\delta] \quad (2.18)$$

Генерація електроенергії сонячної фотоелектричною батареєю (СБ) залежить від кута падіння сонячних променів на СБ України. Максимум буває при куті 90 градусів. При відхиленні від цього кута все більшу кількість променів відбивається, а не поглинається СБ України.

Взимку прихід радіації значно менше через те, що дні коротше, хмарних днів більше, Сонце стоїть нижче на небосхилі. Якщо використовуєте систему тільки влітку, використовують літні значення, якщо цілий рік, використовують значення для зими. Для надійного електропостачання вибирають з середньо-місячних значень найменше для періоду, протягом якого буде використовуватись ФЕС. [7]

Враховуючи вищезазначені факти, з метою ефективнішого використання сонячних батарей в нашій системі, планується використовувати штативи для батарей, які дозволяють змінювати кут нахилу батарей відповідно до сезону - літнього або зимового. Оптимальний кут нахилу буде визначатися на основі середніх значень для кожного сезону. Це дозволить досягти більш раціонального використання сонячної енергії протягом усього року.

З формули коефіцієнта перерахунку з горизонтальною на похилу поверхню видно, що це коефіцієнт залежить від кута нахилу β , тому потрібно дізнатися при якому куті нахилу функція набуде максимальне значення. Даний розрахунок виконаємо в програмі MathCad.

Розглянемо виконання на прикладі січня місяця. Для цього задаємо наступні параметри:

- величину середньомісячної денної частки розсіяного сонячного випромінювання, $E_p/E = 0,62$ - це відношення розсіяного випромінювання до повного, середнє за січень місяць;
- коефіцієнт відображення (альbedo) поверхні Землі і навколишніх тіл, зазвичай приймається рівним $\rho = 0,7$ для зими;
- кут між лінією, що з'єднує центри Землі і Сонця, і її проекціями її на площину екватора = $-21,3$, град;
- годинний кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні = 65 ;
- годинний кут заходу Сонця для похилій поверхні з південної орієнтацією = 69 ;
- широта місцевості = 49 , град;
- умова, за яким визначається оптимальний кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту β , при максимальному R :
 - $\beta = 0$;
 - Given:
 - $-10^{10} < \beta < 10^{10}$;
 - $\beta = \text{Maximize}(R, \beta) = 75.345$;
 - $R(\beta) = 1,997$.

В результаті численних проведених розрахунків визначено залежності коефіцієнта перерахунку з горизонтальній площині на похилу від кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту. Для прикладу, на рисунку 2.11 показана залежність коефіцієнта перерахунку з горизонтальною площини на похилу від кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту в січні для широти місцевості $\phi = 49$.

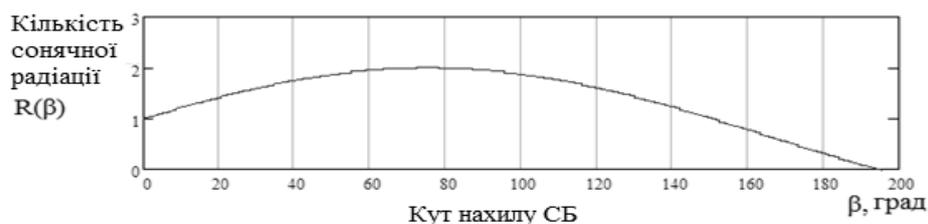


Рисунок 2.11 - Залежність коефіцієнта перерахунку з горизонтальної площини на похилу від кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту в січні для широти місцевості $\phi = 49$, град

Таким чином, визначимо максимальні значення коефіцієнта перерахунку з горизонтальній площині на похилу з південною орієнтацією R при куті нахилу сонячної батареї до горизонту β .

Таблиця 2.4 - Величини оптимальних кутів нахилу сонячних батарей

Місяць	Кут нахилу
Січень	$\beta=75^{\circ}$;
Лютий	$\beta=70^{\circ}$;
Березень	$\beta=56^{\circ}$;
Квітень	$\beta=28^{\circ}$;
Травень	$\beta=16^{\circ}$;
червень	$\beta=11^{\circ}$;
Липень	$\beta=14^{\circ}$;
Серпень	$\beta=23^{\circ}$;
Вересень	$\beta=38^{\circ}$;

Жовтень	$\beta=66^{\circ}$;
Листопад	$\beta=77^{\circ}$;
Грудень	$\beta=81^{\circ}$.

Таким чином, можна зробити наступні висновки. З таблиці видно, що кут нахилу сонячних батарей для холодної пори року (з жовтня по березень) на порядок вище, ніж для теплих місяців. У зв'язку з цим, для оптимізації роботи електростанції доцільно прийняти рішення про зміну кута нахилу панелей при переході з теплої пори на холодну, і навпаки.

Отже, середні значення по місяцях визначаться наступним чином:

- теплий період (квітень-вересень) $\beta = 200$;
- холодний період $\beta = 750$.

Визначення пікових сонце-годин для грудня, в якому середньомісячне значення сонячної радіації міста Полтава широта 49° , становить:

$$P_{\text{сум. випр.}} = 50,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2.$$

Обране середньомісячне значення $P_{\text{сум. випр.}}$ для гіршого місяця розділимо на число днів у місяці. Отримуємо середньомісячна кількість число пікових сонце-годин і пік. годин, яке буде використовуватися для розрахунку СБ:

$$i_{\text{пик.час.}} = \frac{(P_{\text{сум.випр.}} \cdot R)}{n_{\text{днів}}} = \frac{2,16 \cdot 50,7}{31} = 3,53;$$

Покажемо залежність числа пікових сонце-годин від місяця року для широти місцевості = 49° на рисунку 2.12

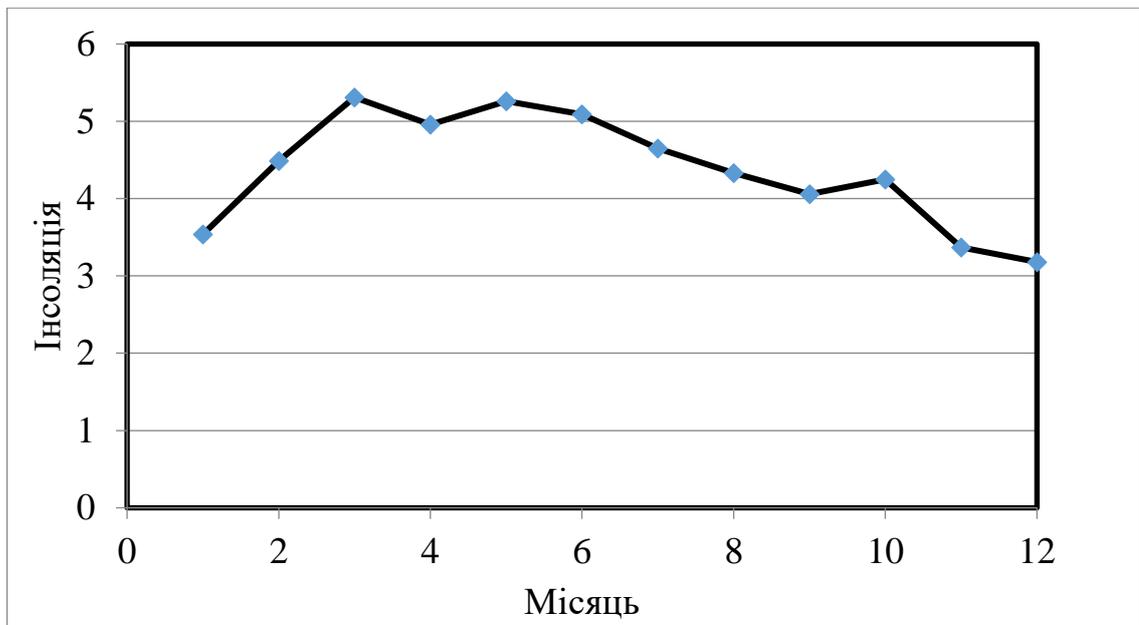


Рисунок 2.12 - Залежність середньомісячного числа пікових сонце-годин від місяця року

2.3.4 Вибір сонячних батарей і основного обладнання для варіанту електропостачання з акумуляторними батареями

Для вибору підходящих сонячних батарей для даного проекту, необхідно врахувати три основних типи, які доступні.

Монокристалічні кремнієві пластини є найбільш ефективними і компактними, що дозволяє їм займати менше місця на даху будівлі. Однак, вони також є найдорожчим варіантом.

Полікристалічні батареї, виготовлені з полікристалічного кремнію, є досить ефективними і, ймовірно, є найпопулярнішим вибором, оскільки вони забезпечують збалансований компроміс між практичністю і економічністю. Останні досягнення в технології виготовлення полікристалічних панелей дозволяють їм наблизитись до монокристалічних за розмірами та ефективністю. На європейському ринку в даний час полікристалічні батареї є стандартом.

Для живлення інвертора встановлюємо понижуючий стабілізатор напруги і приймаємо мінімальну напругу на виході сонячної батареї = 31,5 В.

Це забезпечить стабільність роботи енергосистеми при низьких інтенсивностях сонячної радіації.

Поділяємо значення « $Q_{\text{доб}}$ » на число пікових сонце-годин для заданої місцевості « i ». В результаті отримуємо значення струму, який повинні генерувати сонячні батареї:

$$I^{\text{СБ}} = \frac{q_{\text{доб}}}{i}, \quad (2.19)$$
$$I^{\text{СБ}} = \frac{840}{3,53} = 238 \text{ А.}$$

де $I^{\text{СБ}}$ - струм, який повинні генерувати сонячні батареї;

i - число пікових сонце-годин.

Загальна кількість необхідних сонячних батарей $N^{\text{СБ}}$:

$$N^{\text{СБ}} = \frac{I^{\text{СБ}} \times U_{\text{инв}}}{P_{\text{ном}}^{\text{СБ}}}, \quad (2.20)$$
$$N^{\text{СБ}} = \frac{238 * 12}{280} = 11 \text{ шт.}$$

де $P_{\text{ном}}^{\text{СБ}}$ - номінальна потужність сонячних батарей, Вт.

Для визначення числа модулів, з'єднаних послідовно, розділимо напруга постійного струму системи $U_{\text{инв}}$ на номінальну напругу сонячної батареї (31,5 В):

$$N_{\text{посл}}^{\text{СБ}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{мин}}^{\text{СБ}}}, \quad (2.21)$$
$$N_{\text{посл}}^{\text{СБ}} = \frac{12}{31,5} \sim 1 \text{ шт.}$$

де $U_{\text{ном}}^{\text{СБ}}$ - номінальна напруга сонячних батарей, В;

$N_{\text{посл}}^{\text{СБ}}$ - число послідовно з'єднаних модулів, шт.

Число модулів, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{СБ}} = \frac{N^{\text{СБ}}}{N_{\text{посл}}^{\text{СБ}}}, \quad (2.22)$$

$$N_{\text{пар}}^{\text{СБ}} = \frac{11}{1} = 11 \text{ шт.}$$

де $N_{\text{пар}}^{\text{СБ}}$ - число паралельно з'єднаних модулів, шт.

Загальна кількість необхідних фотоелектричних модулів:

$$N^{\text{СБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{СБ}} \times N_{\text{посл}}^{\text{СБ}}, \quad (2.23)$$

$$N^{\text{СБ}} = 1 * 11 = 11 \text{ шт}$$

Площа сонячних батарей:

$$S^{\text{СБ}} = N^{\text{СБ}} \times S_1^{\text{СБ}}, \quad (2.24)$$

$$S^{\text{СБ}} = 11 * 1,63 = 17,93 \text{ м}^2$$

де $S^{\text{СБ}}$ - повна площа сонячних батарей, м^2 ;

$S_1^{\text{СБ}}$ - площа однієї сонячної батареї, м^2 .

2.4 Вибір кабельних ліній

Перетин жил кабелів мережі вибирають по нагріванню тривалим розрахунковим струмом за умовою:

$$I_p \leq I_{\text{дл.доп.}}, \quad (2.25)$$

де I_p – розрахунковий струм, А;

$I_{\text{дл.доп.}}$ – тривало допустимий струм заданого перетину, А.

$$I_p = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (2.26)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електроприймача, кВт;

З огляду на те, що батареї будуть з'єднані в 1 послідовну групу по 11 паралельно, то потужність для цієї групи дорівнює:

$$P_{\text{НОМ}} = n_{\text{ел. групи}} \cdot U_{\text{групи}} \cdot I_{\text{групи}}, \quad (2.27)$$
$$P_{\text{НОМ}} = 1 \cdot 31,5 \cdot 8,9 = 0,28 \text{ кВт.}$$

де $n_{\text{ел. групи}}$ – кількість елементів групи, шт;

$I_{\text{сб}}$ – струм СБ, А;

$U_{\text{сб}}$ – напруга СБ, В.

Струм для однієї з груп дорівнює:

$$I_p = \frac{280}{31,5} = 8,9 \text{ А}$$

Вибираємо кабель ВВГ 2х2,5 перетином 2,5мм²

2.4.1 Перевірка кабелів по втраті напруги

Виконаємо перевірку кабелів на втрату напруги. Втрата напруги в кабелях не повинна перевищувати 5% від $U_{\text{НОМ}}$:

$$\Delta U = I_{\text{НОМ}} \cdot l \cdot r_0, \quad (2.28)$$

де $I_{\text{НОМ}}$ – номінальний струм електроприймача, А;

l – довжина кабельної лінії, м;

r_0 – погонний активний опір кабелю, Ом/м;

Для обраного кабелю

$$r_0 = 0,00755$$
$$\Delta U = 8,9 \cdot 20 \cdot 0,00755 = 1,34 \text{ В,}$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%, \quad (2.29)$$

$$\Delta U\% = \frac{1,34}{31,5} \cdot 100\% = 4,2\%.$$

Кабель такого перетину перевірку на втрату напруги пройшов, його і залишаємо. [10]

2.5 Вибір контролера заряду, конекторів, лічильника

Вибираємо контролер заряду для сонячних батарей SSWC-06-1224-ТА (24-48V 12,5A). Даний контролер встановлюємо на кожну з паралельних груп, для їх захисту. Характеристики контролера заряду представлені в табл.2.5

Особливості контролера полягають у наступному:

- відображення інформації на РК дисплеї;
- можливість змінювати параметри;
- роз'єм USB 5В до 500mA);
- просте управління кнопками;
- автоматичне визначення системи 24 В і 48 В;
- інтелектуальний режим ШІМ заряд;
- автоматична температурна компенсація;
- захист від перевантаження і від короткого замикання;
- захист акумулятора від зворотного розряду;
- захист акумулятора від глибокого розряду;
- захист від переполюсовки при підключенні.

Таблиця 2.5 - Характеристики контролера заряду для сонячних батарей

Характеристика	Величина
• Тип контролера	SSWC-06-1224-ТА 12/24/48 В
• Напруга, В (автовибір)	• 12/24
• Напруга сонячних батарей, В	• до 50
• Макс. струм на вході, А	• 60
• Максимальний струм на виході, А	• 60
• Макс. власне споживання, мА	• 25
• Напруга підзаряду (float) (встановлюється), В	• 13,8/27,6
• Напруга повторного з'єднання. навантаження автоматично, В	• 13/26
• Напруга повторного підключення навантаження вручну, В	• 12,5/25 В
• Захист від низької напруги (встановлюється), В	• 10,7/21,4
• Робоча температура, ° С	• -20...+50

Для підключення сонячних батарей приймаємо до установки конектори типу МС-4.

Для надійного і зручного з'єднання моделей між собою будемо використовувати спеціальний кабель і роз'єми МС-4 для обтиску кабелю на кінцях. Роз'єми розроблені спеціально для застосування в фотоелектричних станціях і відповідають вимогам всіх стандартів в цій галузі. Конструкція роз'ємів забезпечує електробезпеку при випадковому впливі на кабель. Подвійна ізоляція гарантує електробезпеку при напрузі в системі до 600 В. Застосування спеціальних матеріалів при виготовленні кабелю і роз'ємів забезпечує довготривалу стабільність і стійкість до кліматичних впливів (вологість, температура, UV-випромінювання, озон).

Для контролю згенерованої і споживаної з мережі потужності використаємо двонаправлений багатотарифний лічильник НІК 2103 з такими функціями:

- вимірює активну і реактивну електричну енергію;
- встановлений захист від розкрадань енергії (індикація неправильних підключень, зворотного напрямку струму, занижених і завищених фазних напруг);
- вдосконалена колодка зажимів, що забезпечує надійність кріплення проводів;
- підвищений ступінь захисту від впливу постійних і змінних магнітних полів відповідно до вимог СОУ-Н МПЕ 40.1.35.110:2005;
- 2 незалежних інтерфейсу: струмова петля, RS-485 (RS-232, ZigBee) для зчитування даних і застосування в АСКОЕ;
- технологічний запас по класу точності становить не менш 50%;
- зручність монтажу (приєднувальні розміри і компоновка затискної плати забезпечують установку при заміні індукційних лічильників без допрацювання кабельних ліній);
- конструкція корпусу відповідає міжнародним стандартам;
- номер в Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки: У2541-11.

2.6 Вибір вітрової установки

Як згадувалося раніше, існує декілька типів вітроенергетичних установок:

1. Горизонтально-осьові;
2. Вертикально-осьові.

В місцевості з невеликим або нерегулярним вітром, горизонтально-осьові вітрогенератори не є оптимальним вибором, оскільки вони потребують флюгера для слідкування за напрямом вітру. Це значно знижує швидкість обертання їх лопатей і, відповідно, ефективність виробництва енергії. Замість цього, ми вирішили встановити вертикально-осьовий вітрогенератор, який є більш ефективним у місцевостях з недостатнім вітром.

Один з найбільш популярних типів роторів для вертикально-осьових вітрогенераторів - ротори типу Н. Вони можуть мати одну або кілька лопатей, але найчастіше використовуються трилопатеві ротори, оскільки вони мають оптимальну комбінацію стартових і робочих характеристик для низьких швидкостей вітру. Такі ротори дозволяють пряме з'єднання електричних генераторів з вітрогенератором, утворюючи прямий привід. Це спрощує конструкцію вітроустановки, підвищує її стартові можливості та надійність роботи.

Для поліпшення стартових характеристик ротора типу Н можуть використовуватися гелікоподібні лопаті. Однак, вони є складнішими та дорожчими у виробництві. З урахуванням економічних критеріїв, таких як мінімальний термін окупності, прямі лопаті роторів типу Н є більш привабливим варіантом.

2.6.1 Дослідження вітрового потенціалу

Проаналізувавши дані з Електронного ресурсу [12] можна сказати що вітер у м. Полтава постійно змінюється. Найбільшу швидкість вітру має зимою, а найменшу – влітку.

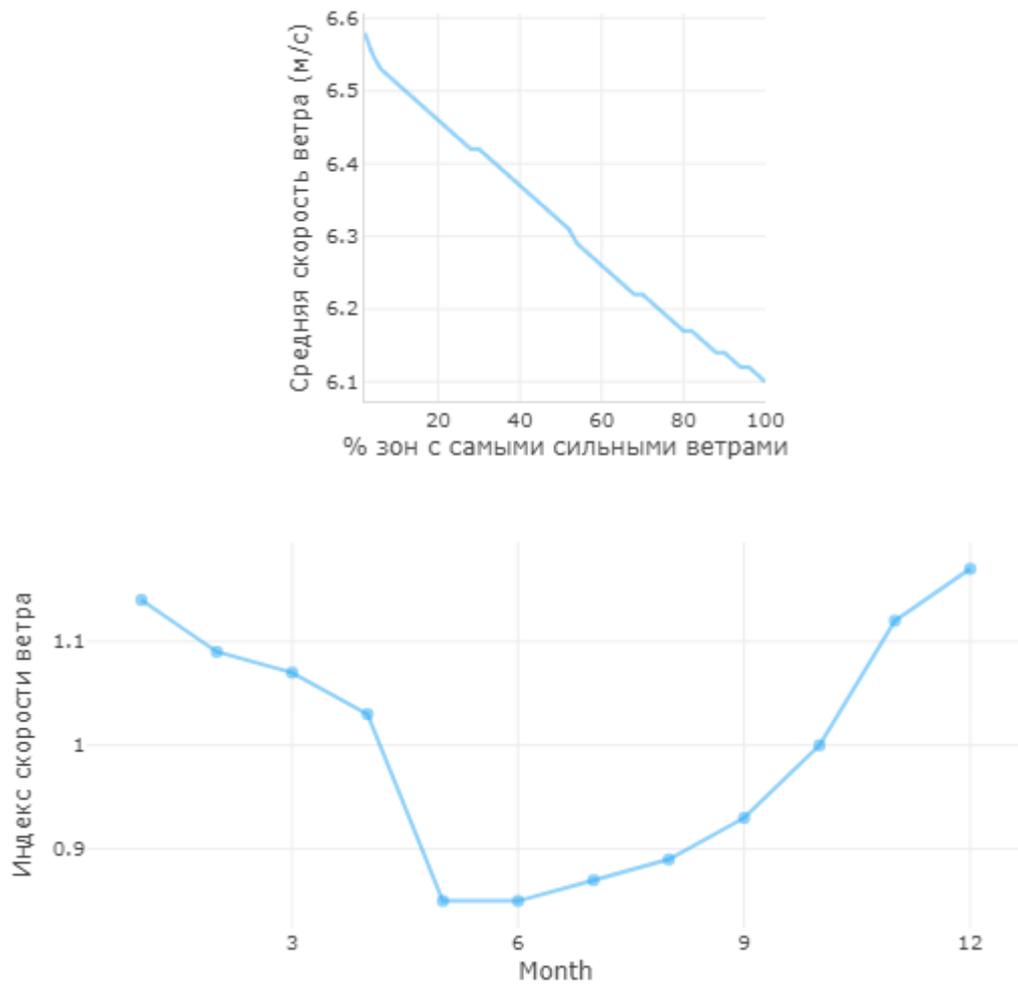


Рис.2.13. – Діаграми середньомісячної швидкості вітру [12]

З рис.2.13. видно, що м. Полтава характеризується слабкими вітрами з переважаючими швидкостями вітру 5 – 7 м/с. Вітер зі швидкістю 6 м/с займає найбільшу кількість годин протягом року.

Тому для генерування ЕЕ з енергії вітру у м. Полтава необхідно Застосовувати ВЕУ, які зможуть ефективно працювати та генерувати енергію на малих швидкостях вітру. Саме такими є прямопривідні ВЕУ з вертикальною віссю обертання (ВВО), що починають працювати зі швидкості вітру 3 м/с і здатні відбирати потужність від вітру невеликих швидкостей.

2.6.2 Розрахунок вітроустановки

Беремо міні вітрогенератор 600 Вт вертикальний осьовий VAWT

Переваги такого вітрогенератора:

1. Низька швидкість запуску; високе використання енергії вітру; гарний зовнішній вигляд; низька вібрація,
2. Зручний для людини дизайн, простота монтажу, обслуговування та ремонту.
3. Точні лиття леза для лиття під тиском разом з оптимізованою конструкцією аеродинамічного контуру і структури, лопаті мають такі переваги: високе використання енергії вітру, що сприяє річному виведенню енергії.
4. Генератори, прийнявши запатентований генератор маглева, з особливим видом конструкції статора, ефективно знижують крутний момент опору. Тим часом він змушує вітрогенератори досить добре відповідати генераторам і підвищувати його надійність. [14]

Таблиця 2.6 Номінальні характеристики ВЕУ

Назва ВЕУ	RX-SV2-600
Тип генератора	Трифазний постійний магніт ас синхронний генератор
Номінальна потужність $P_{ВЕУ}$, Вт	600 Вт
Вихідна напруга U , В	48 В
Тип вертикального ротора	ротор Савоніуса
Радіус вертикального ротора R , м	0,325 м
Висота лопаті вертикального ротора $H_{ВР}$, м	1,48 м
Кількість лопатей вертикального ротора	12 штук
Стартова швидкість $V_{В ст}$, м/с	1,5 м/с
Номінальна швидкість $V_{В ном}$, м/с	11 м/с
Максимальна швидкість $V_{В макс}$, м/с	45 м/с

Розрахунок геометричних параметрів ротора. [15]

Потужність вітроустановки виражається за формулою:

$$N_{\text{ВЕУ}} = \rho * A * V^3 * \frac{3}{2} \quad (2.30)$$

де N – розрахункова потужність ВЕУ ;

A – площа омивання ВР з радіусом лопаті R та висотою $H_{\text{ВР}}$, м^2 ;

V – швидкість вітру, м/с ;

C_p – коефіцієнт використання вітру;

ρ – об'ємна густина повітря, яка розраховується за формулою, кг/м^3 :

$$\rho = \frac{M_{\text{П}}}{V_{\text{П}}} \quad (2.31)$$

$$\rho = \frac{28,979}{24,055} = 1,205 \text{ кг/м}^3$$

де M – маса повітря

V – об'єм повітря

- за стандартних умов (тиск $P_{\text{ст}}=0,1013$ МПа, температура $T_{\text{ст}}=293$ К
або $t_{\text{ст}} = 20^\circ\text{C}$)

Площа проекції робочої поверхні ротора:

$$A = 2RH_{\text{ВР}} \quad (2.32)$$

$$A = 2 * 0,325 * 1,48 = 0,962\text{м}^2$$

Потужність ВЕУ за годину, обчислюємо за формулою (2.30):

$$N_{\text{ВЕУ 1год}} = 1,205 * 0,962 * 2 * 6 * 3/2 = 20,86 \text{ Вт * год}$$

$$N_{\text{ВЕУ 1тиж}} = 10,43 * 168 = 3504,48 \text{ Вт * год}$$

З розрахунків потужності вітрогенератора стає очевидним, що

ефективність вітрової установки є досить низькою. Та навіть так варто встановити хоча б один вітряк, на випадок довгого періоду підвищеної хмарності чи просто дощу (на випадок затінення).

2.7 Висновки до 2 розділу

У другому розділі було проведено дослідження вітрового потенціалу в місцевості м. Полтава. Виявлено, що ефективність використання вітрогенераторів в цій місцевості є низькою. Це пояснюється постійним характером вітряної погоди та відсутністю вітряних умов, необхідних для оптимальної роботи горизонтально-осьових вітрогенераторів. Враховуючи це, для підвищення ефективності вироблення енергії було рекомендовано використовувати вертикально-осьові вітрогенератори, які показують кращі результати в умовах низького вітрового потенціалу.

Використання контролерів зарядки-розрядки акумуляторної батареї також було рекомендовано для підтримання оптимального рівня розряду акумуляторів та продовження їх терміну служби. Однак, для більш раціонального використання сонячних батарей, було запропоновано використовувати штативи з можливістю зміни кута нахилу батарей, щоб адаптувати їх до зимового та літнього періодів. Зазначено, що для вибору сонячних батарей слід враховувати їх тип, приділяючи увагу монокристалічним і полікристалічним моделям, які мають свої переваги і особливості застосування.

Розділ 3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1 Розрахунок капітальних вкладень

На основі вхідних даних, враховуючи розраховану потужність системи та необхідну кількість обладнання, а також оцінку витрат на будівництво та монтаж, складається таблиця 3.1, в якій відображаються потрібні капітальні витрати.

Таблиця 3.1 - Капітальні вкладення в перший рік роботи проекту

Найменування	Кількість, шт.	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
Інвертор Altek AXL-600	1	3 549,60	3 549,60
Сонячний модуль PSm-250Вт	11	3 861,20	42 473,20
	1	24 000,00	24 000,00
Комплекти кріплення для плоского даху на 11 модулів	11	482,00	5 302,00
Акумуляторні батареї AS12-200 Solar-GEL, 12В 200 А	7	21 050,00	147 350,00
Кабель ВВГнг 2х2,5mm ²	20	8,12	162,40
Контролер заряду для сонячних батарей SSWC-06-1224-ТА 12 /24/48 В	11	3 925,90	43 184,90
Комплект конекторів MC4	11	140,00	1 540,00
Лічильник електроенергії НІК 2103	1	1560,00	1 560,00
АВР-09-85-У3	1	997,00	997,00
АВ 2000 1Р С 16А	1	95,00	95,00
Короб для кабеля	20	9,00	180,00
Монтаж, % від вартості обладнання		7%	18 920,93
Загальна вартість обладнання			270 299,10
		Разом:	289 220,00

Капітальні інвестиції виконуються один раз під час впровадження проекту, а також щорічно для забезпечення його функціонування (капітальний ремонт, поточний ремонт).

Капітальні інвестиції в 1 рік роботи проекту визначаємо за формулою:

$$K_I = \sum_{i=1}^m C_i \times N_i, \quad (3.1)$$

де C_i – вартість одиниці і-обладнання;

N_i – кількість і - обладнання.

Капітальні вкладення в наступні роки роботи проекту для здійснення планових ремонтів визначаємо за формулами:

$$K_{fn} = K_I \times k_n, \quad (3.2)$$

$$K_{fn} = 289220 * 0,01 = 2892,20 \text{ грн}$$

$$K_{fc} = K_I \times k_c, \quad (3.3)$$

$$K_{fc} = 289220 * 0,05 = 14461 \text{ грн}$$

де $k_n = 0,01$ для поточного ремонту;

$k_c = 0,05$ для капітального ремонту.

Капітальний ремонт проводимо кожен 10й рік роботи проекту.

Поточний ремонт - щороку.

ВИСНОВКИ

В результаті вивчення та аналізу вітрового потенціалу та характеристик сонячних систем у місцевості м. Полтава, було отримано наступні важливі висновки:

1. Вітровий потенціал в місті Полтава виявився досить низьким, що свідчить про обмежені можливості використання вітроенергії для виробництва електроенергії. Ефективність вітрових установок виявилася недостатньою для забезпечення значної потужності.
2. Сонячна енергія є більш привабливим варіантом для виробництва електроенергії в м. Полтава. Застосування сонячних батарей дозволяє отримати стабільне джерело енергії з невеликими витратами. Вибір типу сонячних батарей залежить від конкретних вимог проекту, проте полікристалічні батареї є популярним і економічно вигідним варіантом.
3. Для забезпечення оптимальної роботи сонячних батарей необхідно використовувати контролери зарядки-розрядки акумуляторних батарей. Ці контролери дозволяють обмежити глибину розряду акумуляторів, що сприяє продовженню їх терміну служби і зменшенню витрат на заміну.
4. Капітальні вкладення в проект включають витрати на впровадження системи, а також регулярні витрати на підтримку її працездатності. Правильна оцінка капітальних витрат є важливим етапом проектування та планування сонячної електростанції.

Загалом, використання сонячних систем в Полтаві має перспективи.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Сонячні батареї своїми руками, Схема з'єднання елементів сонячної батареї [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://agatelektro.com.ua/uk/soniachni-systemy>
2. Потенціал сонячної енергії на території України [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://solargis.info/>
3. Сонячна енергія. Як працює сонячна батарея? [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://sun-energy.com.ua/articles>
4. Вітрогенератори [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://comfortsellers.com.ua/vitroheneratory>
5. Інвертор для сонячних батарей [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://solarsoul.net/invertor-dlya-solnechnyx-batarej>.
6. Характеристика гібридного інвертора. Режим доступу: URL: <https://epicentrk.ua/ua/shop/invertor-napryazheniya-altek-axl-600>
7. Розрахунок системи автономного енергопостачання з використанням фотоелектричних перетворювачів/А.Н. Гребенюк // Матеріали / М-во освіти і науки України ; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2015. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream.pdf>
8. ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ВІТРО-СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОНОМНИХ СПОЖИВАЧІВ Р. А. Карпишин, Н. В. Бабанін, М.С. Наконечний к.т.н. 2021
Режимдоступу:URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/36565/2/MNPK_2021
9. Обраний акумулятор [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: https://380v.com.ua/product/akkumulyator_12v_200ach_AS12200_SolarGEL
10. Обраний кабель [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://zepg.com.ua/ua/kabel-vvgng-ls-1h25/>
11. Контролер заряду [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://manualzz.com/doc/7278538/sunway-sswc-06-1224-ta-user-manual>
12. Вітровий потенціал [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://globalwindatlas.info/ru>

13. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии / Ю.В.Плесков .- М.: Химия, 1990.176 с.

14. Вітрогенератор [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://ua.rx-generators.com/wind-turbine/vertical-wind-turbine/mini-wind-turbine-600w>

15. Розрахунок вітрогенератора [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://svodzadat.biz.ua/jak-zrobiti-rozrahunok-vitrogeneratora-za/>

ДОДАТКИ

CHAPTER 1. Analytical part

1.2 Analysis of alternative sources of electricity

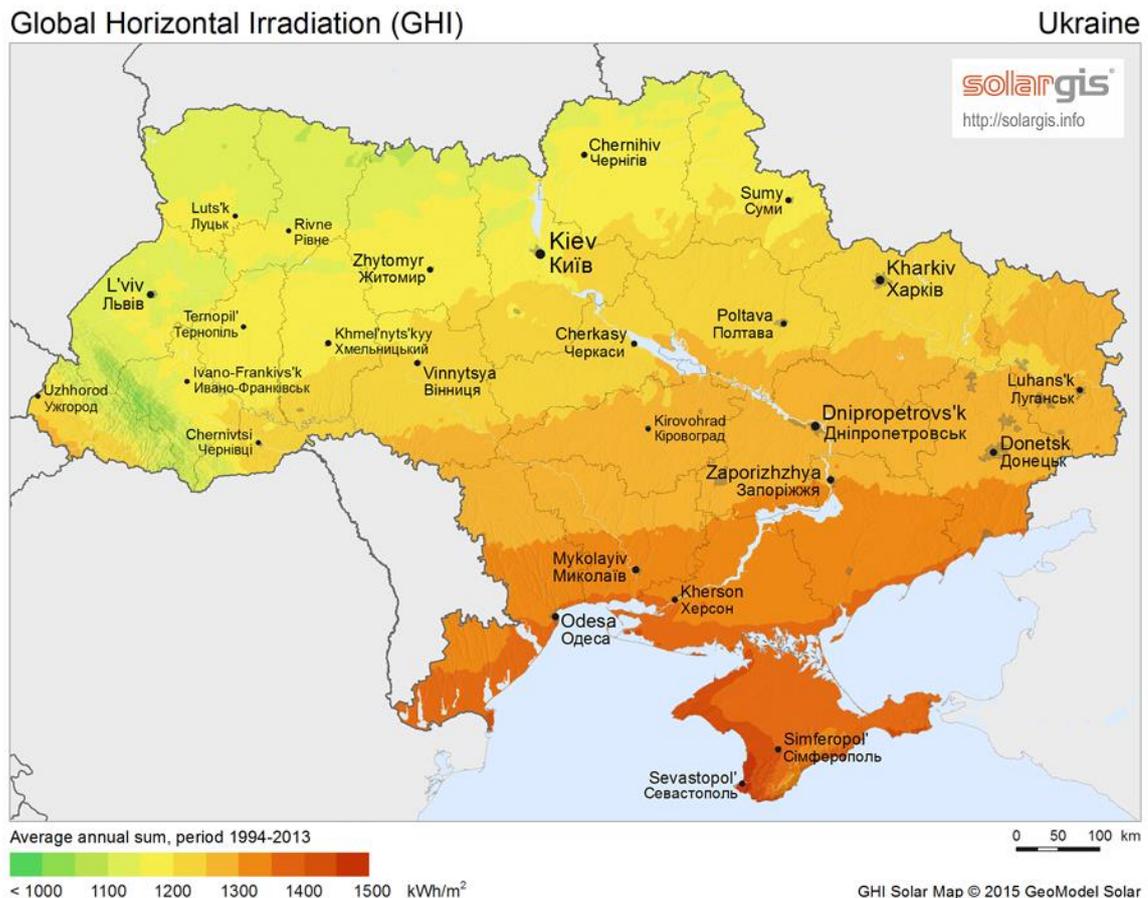
In today's world, the development and use of alternative sources of electricity is becoming more and more relevant. The increase in electricity consumption, climate change and the instability of traditional energy sources push the search for new, more sustainable and environmentally friendly sources of electricity. Thinking about alternative sources of electricity, thoughts about solar and wind energy immediately come to mind. In my opinion, these types of electricity sources are the most affordable, which is why I decided to focus my attention on them.

1.2 Сонячна енергетика

Ukraine is located in Central-Eastern Europe, in South-Eastern Europe part of the Eastern European plain, between 44 ° and 52 ° north latitude and 22 ° and 41 ° east longitude.

Average annual amount of total solar radiation per 1m² surface, on the territory of Ukraine is within the range: from 1000 kWh/m² in the northern part of Ukraine to 1400 kWh/m² in the Autonomous Republic of Crimea. In order to understand in more detail what we are talking about, these figures can be characterized as follows - the solar energy that actually reaches the territory of Ukraine in three days exceeds the energy of the entire annual consumption of electricity in our country. And the duration of sunny hours (NOT solar radiation, but direct solar radiation) during the year in the northwestern part of Ukraine is 1600 - 1700 hours. In the forest-steppe zone, it increases to 1900 - 2000 hours per year. In the steppe zone, on the sea coasts, it reaches 2300 - 2400 hours per year. The maximum sunshine in the Crimean Mountains is 2453 hours per year. Of course, the closer to the equator, the greater the number of sunny hours in a year,

and in such countries as Turkey, Bulgaria, Spain, Portugal, Egypt and Moldova, the effective use of solar systems occurs all year round. [2]



Drawing 1.1 - The potential of solar energy on the territory of Ukraine [2]

Figure 1.1 shows that the greater potential of solar energy is in the east, countries, therefore, the more to the east, the more efficiently the energy supply systems from the solar power plant will work.

1.2.1 The principle of operation of solar panels

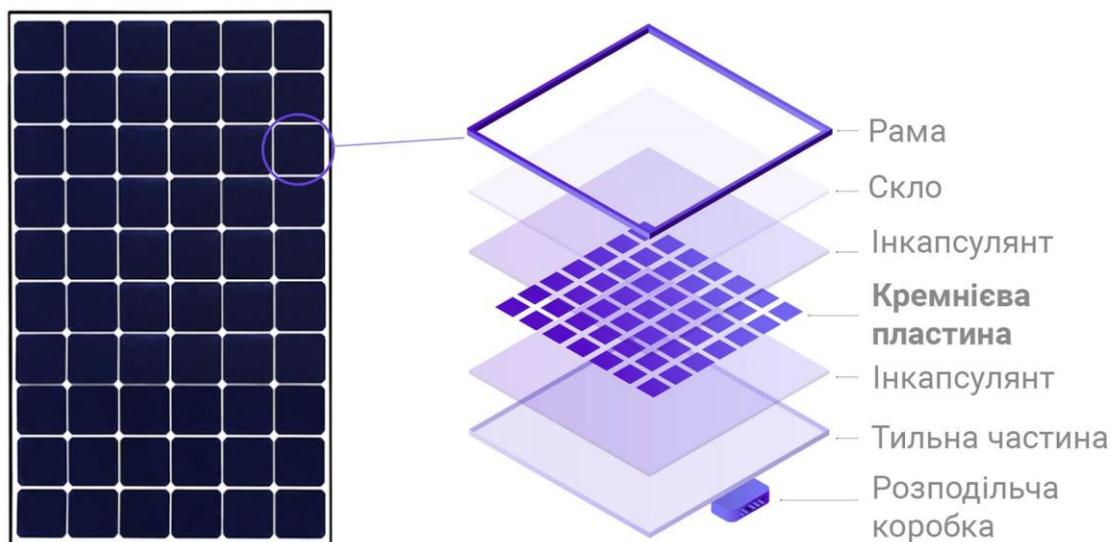
The principle of operation of the solar module, which is the basis of solar electric station, quite simple - the surface of the module catches sunlight and due to the conductive properties of silicon, converts it into electrical energy. [3]

1.2.2 Composition and arrangement of solar power plants

Solar power plants can be placed on the roofs of buildings, on special racks, on land plots, as well as on floating platforms. Solar power plants work on the basis of solar cells, which convert solar radiation into electrical energy. An important advantage of solar power plants is their environmental friendliness and silent operation, as well as independence from fuel and resistance to wind. However, given the weather conditions, solar power plants do not provide constant output.

Solar panels (photoelectric modules) are the main element of the sun power plant. They consist of many individual solar cells, which ensure the conversion of solar energy into electrical energy. Solar cells are made of a semiconductor material, usually silicon.

Solar panels can be of different types: monocrystalline, polycrystalline steel and amorphous. Monocrystalline panels are made from silicon crystals that have the same structure and shape. Polycrystalline panels are made from a larger number of crystals that have a distinct structure and shape. Amorphous panels are made from thin layers of silicon and other semiconductor materials that provide flexibility and ease of installation.



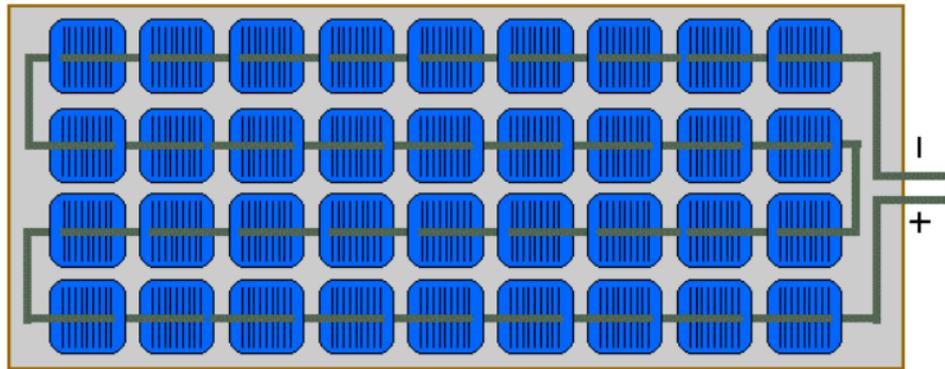
Drawing 1.2 Solar panel structure [3]

Installation of solar panels involves placing them on stands or frames that are attached to the roof or the ground. The panels should face south or northwest, depending on the location relative to the equator. The angle of the panels is also important and should be adjusted to the optimal angle to collect the maximum amount of solar energy.

Factors such as shading, weather conditions and temperature must be taken into account to ensure that solar panels work efficiently. Shading on solar panels can be caused by any objects that block the sun's rays and thereby reduce the amount of solar energy that can be collected by the panels. This can be anything from a tree or a house to clouds or other natural phenomena such as snowfall or rain. Shading can significantly reduce the performance of solar panels, so it is important to carefully choose a location for them and consider the possibility of shading when calculating the number of panels needed.

The number of solar cells is determined by the nominal voltage of the module. Each element of any size is represented by a silicon photodiode, which has a voltage at the point of maximum power of ~ 0.5 Volts. A typical module with a nominal voltage of 12 volts consists of 36 cells. [5]

If you connect 36 elements with a voltage of 0.5 V each in series, then ~ 18 V will be obtained at the point of maximum power. It is with this voltage that a 12-volt battery should be charged, because for full charging the battery voltage should reach 14.2-14.9V, depending on the type of battery, but a certain margin is also needed for losses in the wires, heating of the module, etc. d.



Drawing 1.3 - Connection scheme of solar battery elements [1]

The photovoltaic system (Figure 1.3) includes: one or more solar batteries in parallel connection, a battery charge and discharge controller, several batteries, an inverter. The most common 24-volt systems with simultaneous conversion of direct voltage into 220V alternating voltage [1]

1.3 Wind energy

Wind energy is one of the most promising areas of alternative energy. It is based on the use of wind power to generate electricity. Wind power plants (WEPs) make it possible to produce energy without the use of fuel and emissions of harmful substances into the atmosphere. In addition, they are a reliable source of energy, as they do not depend on fluctuations in fuel prices.

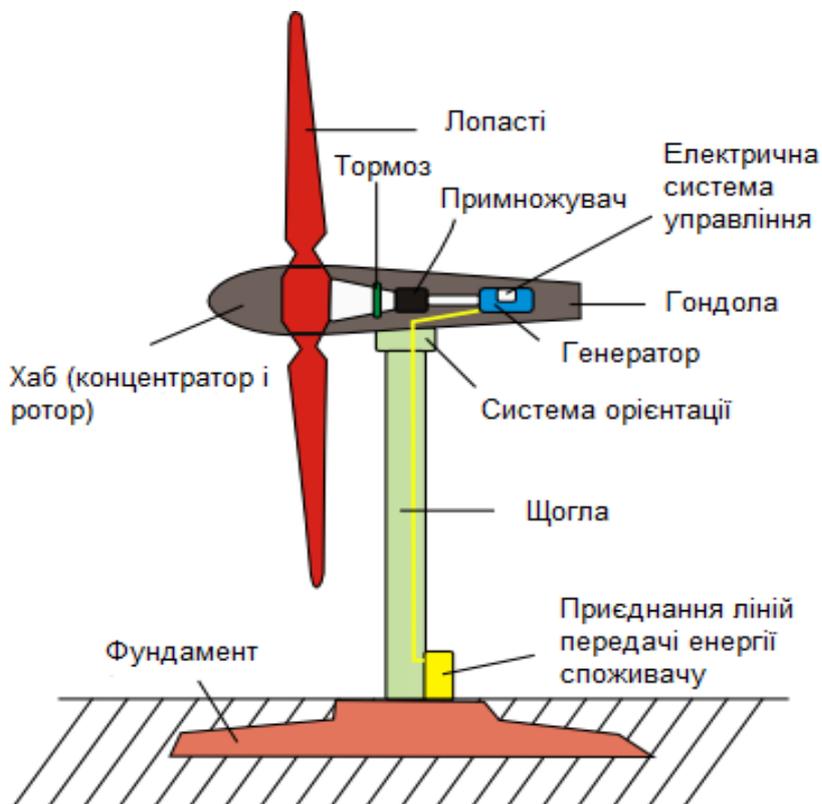
1.3.1 The principle of operation of wind power plants

The principle of operation of wind power plants is that the wind drives the blades of the wind turbine, which in turn drives a generator that converts the kinetic energy of the wind into electrical energy.

1.3.2 Composition and arrangement of wind power plants

One of the main elements of a wind power plant is a wind generator, which

converts the kinetic energy of the wind into electrical energy. A wind generator consists of a rotor and a stator. The rotor usually consists of three-bladed blades that rotate under the influence of the wind. The stator contains a set of coils in which an electric current occurs due to the movement of the magnet on the rotor.



Drawing 1.4 The structure of the wind generator [4]

For the efficient operation of the wind generator, it is necessary to ensure the maximum efficiency of wind energy collection. For this, it must have the correct shape and dimensions of the blades, the optimal speed of rotation of the rotor, and it must also be located at a suitable height.

The most promising areas for the placement of wind turbines are high mountain ranges, open areas of the earth's surface, distant from populated areas, as well as sea coasts. However, taking into account the climatic features and geographical location of Ukraine, it can be noted that the potential of wind turbines in the country is at a rather low level, especially in comparison with Europe.

In addition, an important element is the system controller, which ensures

optimal operation of the wind generator. The controller is responsible for regulating the speed of rotation of the rotor, ensuring the safety of the power plant, as well as monitoring the parameters of the system. [4]

1.3.3 Types of wind power plants

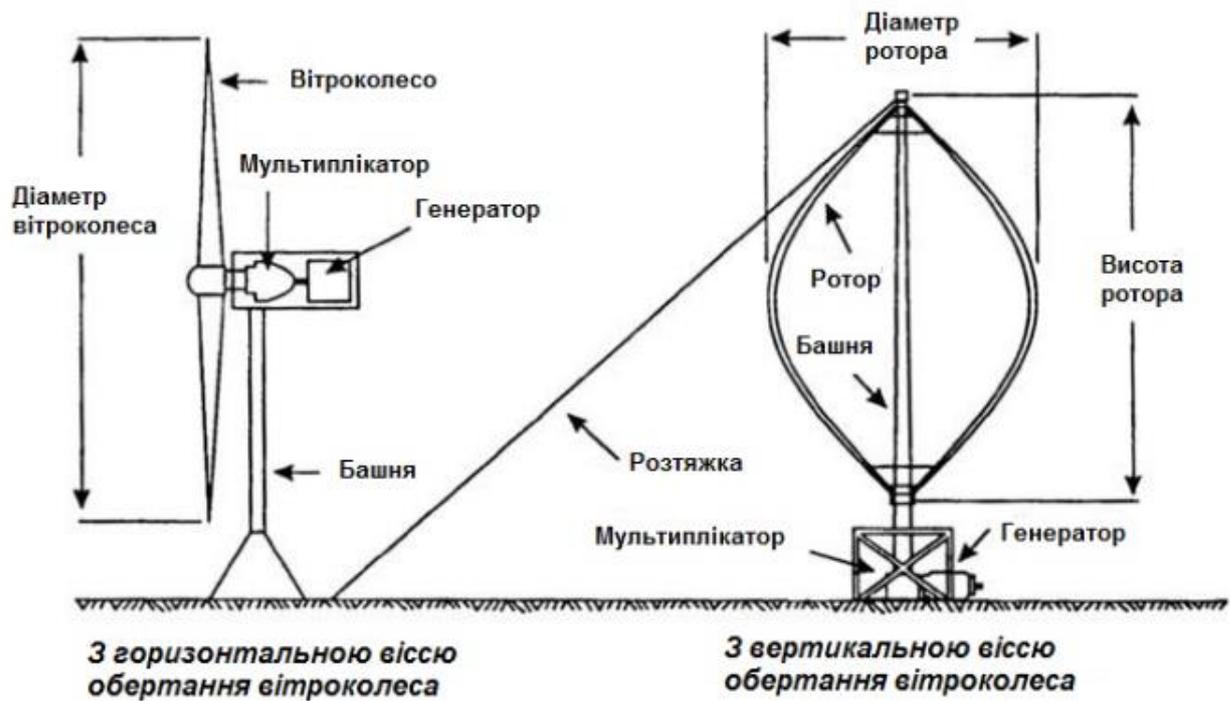
This section discusses various types of wind power plants that can be used to implement the wind component of the wind-solar power plant on the roof of the National University. Each type has its own characteristics, advantages and limitations, which must be taken into account when choosing the optimal solution.

Horizontal wind turbines are the most common type of wind turbines. They consist of a horizontally located rotor that rotates around a vertical axis. Wind turbines of this type can be divided into two main subtypes:

Single-rotor wind turbines consist of one rotor, which has a large diametrical dimension. They are used mainly for large-scale power plants, where large capacities can be provided by several single-rotor wind turbines located next to each other.

Multi-rotor wind turbines have several rotors located next to each other or on the same axis. They provide high power with smaller dimensions compared to single-rotor installations. Multi-rotor wind turbines can be an effective solution.

Vertically equipped wind turbines differ from horizontally equipped ones in that their rotor is located vertically. This type of wind turbine has its advantages, such as the ability to work in any wind direction and take up less space.

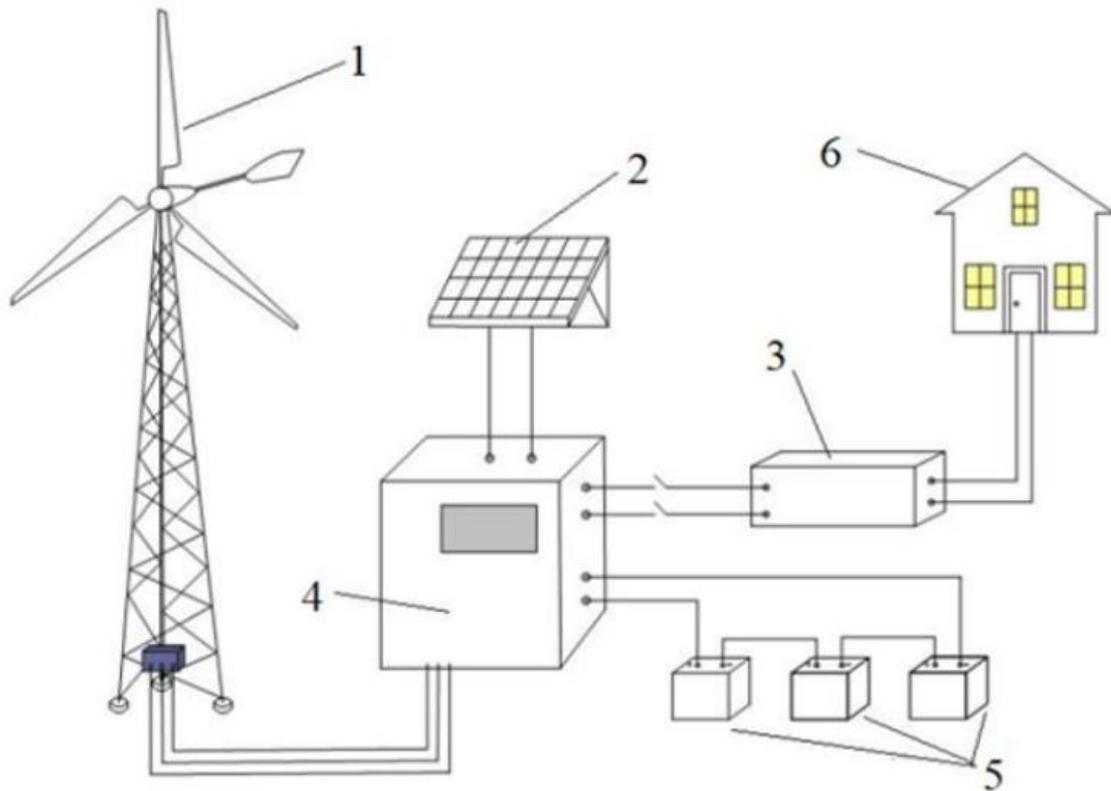


Drawing 1.5 Types of wind power plants [4]

1.4 Hybrid systems

Hybrid power systems typically combine multiple energy sources, such as solar power, wind power, fuel-fired generators, and storage batteries. Such systems can help ensure energy stability in the face of fluctuating environmental and weather conditions.

Hybrid systems make it possible to make maximum use of the advantages of various energy sources, which allows to reduce the cost of electricity and ensure its uninterrupted, constant supply. Depending on the operating conditions, it may be more profitable to use a hybrid power system than separate energy sources.



Draw. 1.6 Scheme of a wind-solar hybrid power plant [8]

However, it is important to remember the high cost of installing and maintaining hybrid systems, which may be out of reach for some businesses and organizations. In each specific case, a thorough analysis of costs and possibilities should be carried out in order to determine the optimal power supply option.

1.4.1 The principle of operation of hybrid systems

The principle of operation of hybrid power supply systems is based on the combination of various energy sources to ensure a stable and uninterrupted supply of electricity. The main components of hybrid systems are solar panels, wind generators, fuel generators (diesel, gas, etc.) and storage batteries.

The principle of operation of the hybrid system consists in the following stages:

6. Harvesting solar energy: Solar panels convert solar energy into electrical energy using the photovoltaic effect. They collect sunlight and generate direct current (DC).

7. Wind energy: Wind generators work on the basis of using the kinetic energy of the wind. They convert the kinetic energy of the wind into electrical energy, generating alternating current (AC).
8. Energy storage: Excess electricity obtained from solar panels and wind generators can be stored in storage batteries. Batteries convert and store electrical energy in the form of chemical energy that can be used later.
9. Auxiliary generator: In the event that solar and wind energy do not provide enough electricity for the needs, an auxiliary fuel generator (such as a diesel generator) can be automatically activated to provide additional electricity.
10. Management of the hybrid system is an important component that allows to optimize the operation of the system and ensure the efficient use of available energy sources.

The main aspects of hybrid system management include:

7. Energy Flow Management: Managing the distribution of electricity between different sources (solar panels, wind turbines, storage batteries and auxiliary generator) depending on the available capacity and customer requirements.
8. Load and backup power: Determining the power priorities of different loads in the system and providing backup power in case of failure of the main power source.
9. Monitoring and diagnostics: The control system provides monitoring of the parameters of the hybrid system, detecting deviations and solving problems through diagnostics and appropriate corrections.
10. Battery charge management: Optimum management of the charge and discharge process of the batteries ensures maximum efficiency and duration of system operation.
11. Automatic switching system: Management of automatic switching between energy sources (eg between solar panels and wind turbines) depending on the environmental conditions and energy availability.

12. Forecasting and optimization: The use of algorithms for forecasting weather conditions and electricity consumption allows to optimize the operation of the hybrid system

1.4.2 Technological requirements and limitations

The technological requirements and limitations of hybrid systems include a number of factors that must be taken into account when designing and using them:

Component requirements: Each component of a hybrid system, such as solar panels, wind turbines, batteries and auxiliary generators, has its own technical requirements. When choosing and installing components, you need to consider their compatibility, efficiency, reliability and cost.

Production and installation: The development and production of hybrid systems requires compliance with quality requirements, standards and regulations. The installation of the system must meet the requirements for safety and efficiency.

Electrical connections: Hybrid systems require proper connection to electrical networks or consumers of electricity. This requires compliance with electrical norms and standards, as well as taking into account communication protocols.

Management and control: Hybrid systems require effective management and control for optimal use of different energy sources. This includes the development of control algorithms, parameter monitoring, diagnostics and system protection.

Operational requirements: Hybrid systems require regular maintenance and scheduled inspections to ensure their smooth operation. Service requirements include checking components, replacing batteries.

1.5 Conclusions of the first chapter

As a result of the analysis of alternative sources of electricity, it was established that wind and solar energy are among the most promising tools for solving the problem of energy supply. Both types of energy have their advantages and disadvantages, however, considering the specific conditions of powering the emergency lighting of the educational building, it was decided to use a wind-solar power plant. The next section will describe the development and implementation of such a power plant, which will provide electricity for the emergency lighting of the educational building in case of disconnection of the main power source.

Таблиця А.1 - Кількість днів без сонця, обумовлених погодними умовами

Широта місцевості	Період		
	Літні місяці	Осінні та Весняні місяці	Зимові місяці
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Таблиця А.2 - Температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї

Температура в градусах		Коефіцієнт
Цельсія	Фаренгейта	
26,7С	80F	1,00
21,2С	70F	1,04
15,6С	60F	1,11
10,0С	50F	1,19
4,4С	40F	1,30
-1,1С	30F	1,40
-6,7С	20F	1,59

Розрахунок оптимального кута нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту, при максимальному значенні коефіцієнта перерахунку з горизонтальної площини на похилу

Результати розрахунків в MathCad:

$$\rho_E := 0.62$$

$$\varphi := 50$$

$$\omega_{3h} := 63$$

$$\delta := 21.3^\circ$$

$$\omega_3 := 65$$

$$\rho := 0.7 \text{ (для зими)} \quad \rho := 0.2 \text{ (для літа)}$$

$$C :=$$

$$C := \frac{\left(\cos[(\varphi - \beta) \text{deg}] \cdot \cos(\delta \cdot \text{deg}) \cdot \sin(\omega_{3h} \cdot \text{deg}) + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{3h} \cdot \sin[(\varphi - \beta) \text{deg}] \cdot \sin(\delta \cdot \text{deg}) \right)}{\cos(\varphi \cdot \text{deg}) \cdot \cos(\delta \cdot \text{deg}) \cdot \sin(\omega_3 \cdot \text{deg}) + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin(\varphi \cdot \text{deg}) \cdot \sin(\delta \cdot \text{deg})}$$

$$D := \rho_E \cdot \frac{1 + \cos(\beta \cdot \text{deg})}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos(\beta \cdot \text{deg})}{2}$$

$$R(\beta) := (1 - \rho_E) \cdot C + D$$

$$\beta := 0$$

Given

$$-10^{10} < \beta < 10^{10}$$

$$\beta := \text{Maximize}(R, \beta) = 75.345$$

$$\beta = 1.997$$

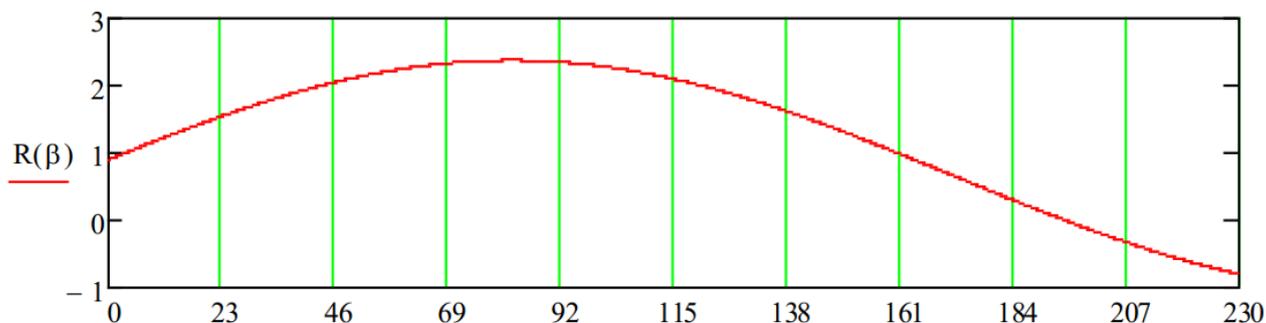


Рисунок Б.1 – Розрахунок оптимального кута для зимового періоду

$$\beta := \text{Maximize}(R, \beta) = 15.432$$

$$\beta = 1.013$$

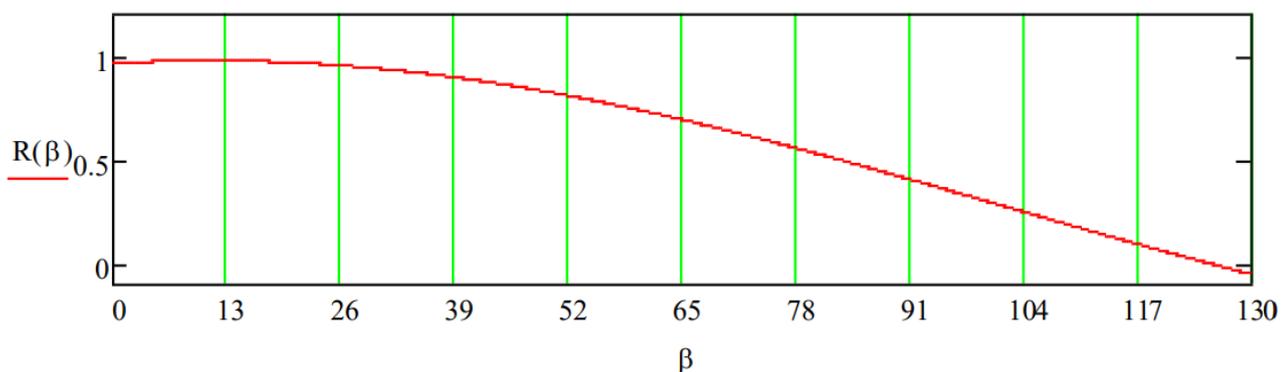


Рисунок Б.2 – Розрахунок оптимального кута для літнього періоду

Широта місцевості	Кут нахилу
0-15 °С	15 °С
15-25 °С	Кут нахилу рівний широті
25-30 °С	+/- 5 °С до широти
30-35 °С	+/- 10 °С до широти
35-40 °С (Полтавська область 35°С)	+/- 15 °С до широти
Більше 40 °С (Львівська область 50 °С)	+/- 20 °С до широти

Табл. Б.1 – Відношення широти місцевості до кута нахилу СБ.