

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

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження комбінованих систем на основі енерговітроустановок для приватних господарств Сумської області»

Виконав

(підпис)

Ляшко М.Ю.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-1м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Чепіжний А.В.
(прізвище, ініціали)

Суми – 2024

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

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

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

«_____» _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ляшко Михайло Юрійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження комбінованих систем на основі енерговітроустановок для приватних господарств Сумської області

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

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

3. Вихідні дані до роботи показники з електричної мережі, технічні характеристики установок, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, постанови

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

1 Аналіз комбінованих систем на основі енерговітроустановок.

2 Проектування та вибір компонентів вітро-сонячної комбінованої енергетичної системи.

3 Розрахунок енергетичних показників для відновлюваних джерел енергії.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки.

Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

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

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Ляшко М.Ю.)

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

(підпис)

(Чепіжний А.В.)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дослідження комбінованих систем на основі енерговітроустановок для приватних господарств Сумської області. Магістерська робота / Ляшко Михайло Юрійович – Суми: СНАУ, 2024 р. – 50 с.

У роботі досліджується потенціал впровадження комбінованих систем на основі вітроустановок, а також досліджуються поточні проекти незалежних систем електропостачання, які використовують вітрову та сонячну генерацію. Висновки дослідження свідчать про те, що комбіновані системи, структуровані навколо вітро-сонячної станції, є найбільш перспективними для розвитку автономних систем енергопостачання для приватних господарств Сумської області.

Було проведено проектування, розрахунок та вибір компонентів вітро-сонячної комбінованої енергетичної системи, що потребує врахування географічних, кліматичних і технічних особливостей місцевості. При виборі компонентів було також враховано показники потужності, продуктивності, а також передбачили систему накопичення енергії для стабільного електропостачання. Важливо забезпечити сумісність усіх елементів системи для їх ефективного функціонування в умовах змінних погодних факторів.

Розраховано енергетичні показники для відновлюваних джерел енергії, що включає визначення ефективності, потужності та потенціалу виробництва енергії. Враховано наступні фактори, як інтенсивність сонячного випромінювання, швидкість вітру, тип джерела. Ці показники дозволяють оцінити продуктивність систем і оптимізувати їх використання для максимальної генерації енергії з мінімальними втратами. Результати дозволяють визначити необхідне обладнання для автономної системи приватних господарств Сумської області.

Ключові слова: вітрогенератор, комбіновані системи, сонячна радіація, відновлювальні джерела енергії.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕНЕРГОВІТРОУСТАНОВОК.....	8
1.1. Принципи роботи комбінованих систем з використанням енерговітроустановок.	8
1.1.1. Аналіз вітрів Сумської області.....	8
1.1.2. Інтеграція комбінованої системи на основі енерговітроустановок з іншими відновлювальними джерелами.....	9
1.1.3. Ключові компоненти та технології, що використовуються в комбінованих системах.....	11
1.1.4. Стратегії підвищення ефективності використання комбінованих систем.....	12
1.2. Недоліки комбінованих систем на основі енерговітроустановок та відмінність від автономних систем вітрових турбін.....	13
1.2.1. Основні недоліки комбінованих систем.....	13
1.2.2. Відмінність комбінованих систем від автономних систем вітрових турбін.....	14
Висновки до розділу.....	14
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	16
2.1. Основні принципи побудови вітро-сонячної комбінованої системи.	16
2.2. Обрання вітряної установки.	20
2.3. Дослідження припливу енергії від сонячної радіації.	22
2.4. Обрання сонячної панелі.	24
2.5. Обрання інвертора та акумулятора.....	26
Висновки до розділу.	27

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	29
3.1. Розрахунок загального споживання енергії за тиждень.....	29
3.2. Розрахунок потужність вітроелектричної установки.....	30
3.3. Розрахунок потужність сонячної панелі.	32
Висновки до розділу.	36
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	37
4.1. Загальні вимоги охорони праці в галузі енергетичних установок.	37
4.2. Специфічні ризики при роботі з комбінованими енерговітроустановками.....	38
Висновки до розділу.....	40
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	42
5.1. Затрати на обладнання.....	42
5.2. Економічна вигода.....	43
Висновки до розділу.....	44
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	48

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні тенденції розвитку енергетичного сектору підкреслюють необхідність переходу на відновлювані джерела енергії для зниження викидів парникових газів і забезпечення сталого енергопостачання. Комбіновані енергетичні системи, що поєднують енерговітроустановки з іншими відновлюваними джерелами, такими як сонячні панелі, мають значний потенціал для забезпечення стабільного енергопостачання, особливо в регіонах із різними кліматичними умовами. Зокрема, для Сумської області, де швидкість та стабільність вітрів можуть коливатися, інтеграція енерговітроустановок з іншими джерелами енергії дозволяє підвищити ефективність і стабільність енергозабезпечення.

Важливість дослідження в цьому напрямку обумовлена також необхідністю підвищення ефективності роботи таких комбінованих систем та забезпечення їхньої економічної доцільності. Водночас, розробка технологій інтеграції енерговітроустановок із сонячними панелями, інверторами та акумуляторами потребує чіткого розуміння умов і принципів їхньої роботи та вибору оптимальних компонентів, щоб досягти максимальної ефективності системи.

Мета та задачі дослідження. Основною метою роботи є аналіз принципів роботи, вибір компонентів та розрахунок ефективності комбінованої вітро-сонячної енергетичної системи для умов Сумської області. Для досягнення цієї мети поставлені наступні задачі:

- провести аналіз кліматичних умов, зокрема вітрової активності в Сумській області;
- розробити принципи інтеграції енерговітроустановок з іншими відновлюваними джерелами енергії;
- обрати оптимальні компоненти для комбінованої системи, зокрема вітрові установки, сонячні панелі, інвертори та акумулятори;

- виконати розрахунок енергетичних показників системи для забезпечення потреб енергозабезпечення;
- провести економічне обґрунтування створення такої системи та її рентабельності.

Об'єктом дослідження є комбіновані енергетичні системи, які працюють на базі вітрової та сонячної енергії.

Предметом дослідження є процеси інтеграції енерговітроустановок з іншими джерелами відновлюваної енергії та вибір ключових компонентів для досягнення оптимальної продуктивності та економічної ефективності комбінованих систем.

Методи дослідження. У роботі застосовані методи математичного моделювання та аналізу кліматичних даних. Виконані розрахунки енергетичних показників з використанням даних щодо сонячної радіації та швидкості вітру в Сумській області, а також оцінка економічної ефективності системи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні рекомендацій щодо вибору компонентів та підходів до інтеграції енерговітроустановок з іншими джерелами відновлюваної енергії, що сприяє підвищенню ефективності комбінованих систем для застосування в регіонах із варіативними кліматичними умовами, зокрема у Сумській області.

1 АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕНЕРГОВІТРОУСТАНОВОК

1.1 Принципи роботи комбінованих систем з використанням енерговітроустановок

1.1.1 Аналіз вітрів Сумської області

Сумська область розташована на північному сході України. На заході область межує з Чернігівською, на південному заході – з Полтавською, а на південному сході – з Харківською областями України.

Географічне розташування Сумщини визначає її кліматичні особливості: помірно-континентальний клімат із помірною, холодною зимою та теплим літом. Завдяки рівнинному рельєфу та близькості до східних і північно-східних рівнин, на території області часто спостерігаються помірні вітри. Вітрова активність змінюється залежно від сезону, що зумовлено сезонними коливаннями температури та атмосферного тиску, типових для цієї частини України [2].

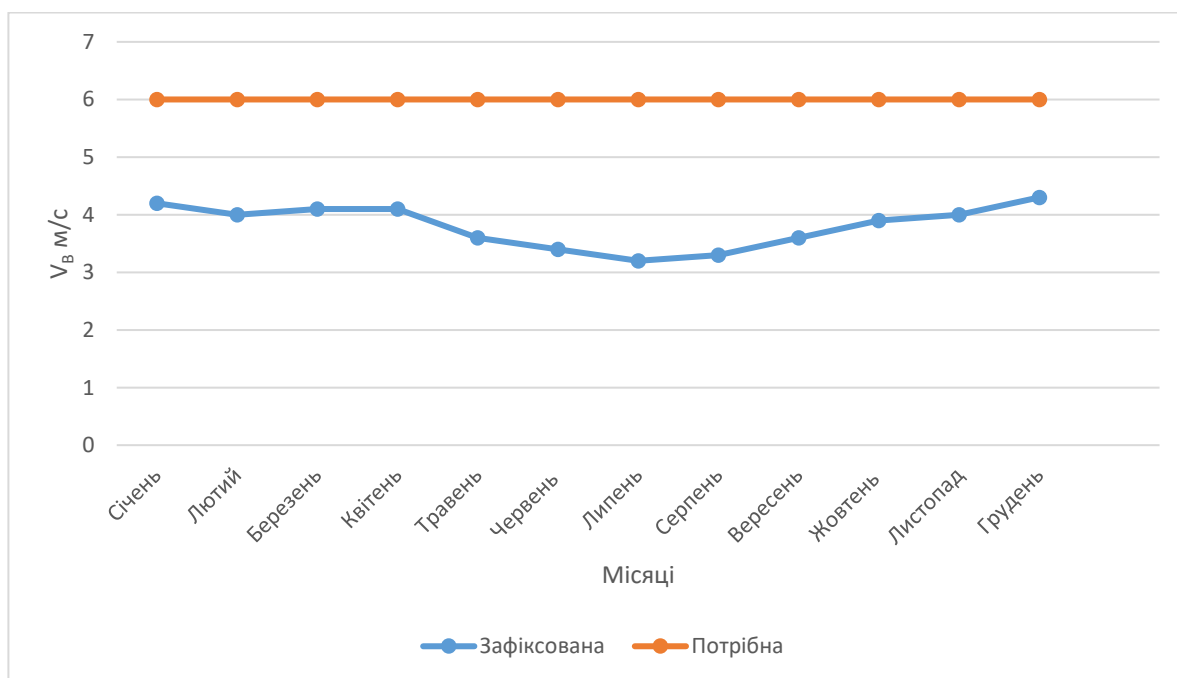


Рисунок 1.1 – Графік усереднених показників сили вітку за рік, в Сумській області

Графік демонструє середньомісячні показники сили вітру в Сумській області за рік, де представлено два параметри: зафіксована сила вітру (синя лінія), яка відображає реальні середні значення сили вітру кожного місяця, та потрібна сила вітру для нормальної роботи вітроустановки (помаранчева лінія), яка має бути стабільною на рівні 6 м/с протягом усього року.

У зимові місяці (січень, лютий) зафіксована сила вітру починає з рівня близько 4 м/с і трохи зростає у лютому. Весною (березень - травень) спостерігається деяке зниження сили вітру, хоча показники залишаються стабільними, коливаючись біля значення 4 м/с. Влітку (червень - серпень) сила вітру значно зменшується, досягаючи мінімуму в липні (близько 3 м/с), що свідчить про менш інтенсивні вітри в цей період. Осінню (вересень - листопад) зафіксована сила вітру починає повільно зростати з вересня, досягаючи рівня 4 м/с у листопаді. У грудні сила вітру продовжує поступово збільшуватися, що може свідчити про тенденцію до посилення вітру з наближенням зимового періоду.

Протягом року зафіксована сила вітру в Сумській області змінюється, досягаючи максимуму взимку та мінімуму влітку. У той час як потрібна сила вітру 6 м/с не досягається, фактичні значення переважно нижчі за цей стандарт, що може вказувати на нестачу вітрових ресурсів у деякі періоди року для виконання певних норм чи вимог.

Тому було прийняте рішення про використання комбінованих систем на основі енерговітроустановок, які покривають недоліки одне одного.

1.1.2 Інтеграція комбінованої системи на основі енерговітроустановок з іншими відновлювальними джерелами

Комбіновані енергетичні системи розроблені для використання сильних сторін багатьох відновлюваних джерел енергії, розглянемо кілька комбінацій на основі енерговітроустановок, а саме: вітро-сонячні системи, вітро-дизельні установки та вітро-гідроакумуючі системи [3].

- Вітро-сонячні системи: поєднують вітрові турбіни з сонячними панелями. Це один з найбільш популярних видів комбінованих систем, оскільки вітрова енергія є більш доступною вночі та в холодну пору року, а сонячна – в сонячні дні та влітку. Таким чином, ці джерела енергії доповнюють одне одного.

- Вітро-дизельні установки: включають вітрові турбіни та дизель-генератори. Це рішення використовують у віддалених регіонах, де важко підключитися до централізованих мереж електропостачання. Дизельні генератори працюють як резервне джерело, забезпечуючи електроенергією у періоди низької вітрової активності.

- Вітро-гідроакumuлюючі системи: включають вітрові турбіни та гідроакumuлюючі станції. Коли вітрові турбіни виробляють надлишок енергії, ця енергія використовується для перекачування води у верхній резервуар. У моменти високого попиту на електроенергію, коли вітер слабкий, вода спускається з верхнього резервуару, виробляючи електроенергію.

Так як система призначена для приватних домогосподарств, було прийняте рішення, про вибір вітро-сонячні системи, так як система не вибаглива до розташування та не потребує постійного споживання палива.

Інтегруючи вітряні та сонячні електростанції, ці системи можуть отримати вигоду від їх взаємодоповнювальної природи, у той час як сонячні батареї виробляють електроенергію протягом дня, вітрові турбіни можуть виробляти енергію як вдень, так і вночі, особливо у вітряні умови. Ця синергія ще більше посилюється завдяки використанню високоевольтних систем, які допомагають зменшити втрати енергії та підвищити ефективність. Наприклад, комбіновані системи часто використовують інвертори для перетворення постійного струму низької напруги, що генерується сонячними панелями та зберігається в батареях, у стандартний змінний струм 220 В, 50 Гц, який використовується в більшості побутових приладів. Крім того, вітрові турбіни зазвичай генерують змінний струм із змінною амплітудою та частотою, що вимагає перетворення на постійний струм для ефективного зберігання та

використання акумулятора. Цим постійним струмом потім може керувати контролер, щоб запобігти перезаряду акумулятора або глибокому розряду, забезпечуючи довговічність і надійність системи зберігання енергії. Крім того, інтеграція системи накопичення енергії на основі акумулятора дозволяє комбінованій системі зберігати надлишок енергії, виробленої як від вітрових, так і від сонячних джерел, забезпечуючи буфер під час періодів низької генерації та забезпечуючи безперервне електропостачання [5-7].

По суті, успішна інтеграція енергії вітру з іншими відновлюваними джерелами в гібридних системах значною мірою залежить від складних систем управління та рішень для зберігання енергії. Ці компоненти працюють в унісон для оптимізації генерації, перетворення та зберігання енергії, тим самим підвищуючи загальну ефективність і надійність джерела живлення.

Отже, комбіновані системи пропонують багатообіцяюче рішення для зменшення залежності від викопного палива та підвищення стійкості енергетичної інфраструктури.

1.1.3 Ключові компоненти та технології, що використовуються в комбінованих системах

Ключовим компонентом гібридних систем, що використовують енергію вітру, є вітряна турбіна, яка відіграє вирішальну роль у процесі перетворення.

Вітрові турбіни перетворюють кінетичну енергію вітру в механічну енергію через ротор, яка згодом перетворюється в електричну енергію. Цей процес перетворення підкреслює принцип роботи вітрових електростанцій, що дозволяє виробляти електроенергію альтернативним і автономним способом, який особливо корисний для віддалених або автономних місць [6].

Інтеграція енергії вітру з іншими відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячна, створює синергетичний ефект, який підвищує загальну ефективність і надійність гібридної системи. Вітер, будучи нескінченним і повністю відновлюваним джерелом енергії, суттєво сприяє боротьбі зі зміною

клімату, що робить його незамінним компонентом стійких енергетичних рішень.

Щоб оптимізувати продуктивність і забезпечити безперервну доступність електроенергії, комбіновані системи часто включають рішення для зберігання енергії, які збалансовують переривчастість вітрових і сонячних ресурсів, забезпечуючи тим самим стабільне і надійне електропостачання. Тому інтеграція цих технологій не тільки максимізує виробництво енергії але також узгоджується з глобальними зусиллями щодо переходу до більш стійких і стійких енергетичних систем.

1.1.4 Стратегії підвищення ефективності використання комбінованих систем

Однією з ефективних операційних стратегій для підвищення ефективності використання енергії вітру в гібридних системах є впровадження спільної шини постійного струму та загального інвертора. Ця стратегія дозволяє безперебійно з'єднувати різні джерела генерації, такі як вітрові турбіни та сонячні батареї, тим самим підвищуючи робочу гнучкість і ефективність.

Інтегруючи сонячні та вітрові ресурси в оптимальну комбінацію, система може максимізувати ефективність використання енергії вітру. Сонячна енергія може компенсувати мінливість енергії вітру, зменшуючи потребу у великій ємності для накопичення енергії та відповідно знижуючи загальну вартість системи. Крім того, надлишкова потужність, вироблена одним джерелом, може компенсувати недостатню потужність іншого, значно підвищуючи надійність енергетичної системи. Цей взаємопов'язаний підхід має вирішальне значення, особливо у віддалених місцях або регіонах з ненадійним централізованим електропостачанням, оскільки він забезпечує постійний і надійний вихід енергії. Таким чином, оптимальне поєднання та інтеграція сонячних і вітрових ресурсів у поєднанні з передовими технологіями, такими як звичайні шини постійного струму та інвертори, є

фундаментальними для підвищення ефективності та надійності використання енергії вітру в гібридних системах [8].

1.2 Недоліки комбінованих систем на основі енерговітроустановок та відмінність від автономних систем вітрових турбін

1.2.1 Основні недоліки комбінованих систем

Одним із головних недоліків комбінованих вітрогенераторів є складність конструкції, яка суттєво впливає на їхню надійність та ефективність роботи.

Необхідність для цих систем орієнтуватися за напрямком вітру загострює цю проблему. Ця потреба в орієнтації ускладнює проектування вітроелектростанцій, що призводить до зниження їх загальної надійності, про що свідчить той факт, що до 13% загальних відмов у цих системах можна віднести до механізмів орієнтації. Крім того, система орієнтації порушує жорсткий зв'язок між гондолою та опорною вежею, що призводить до автоколивань та розбіжностей частотних характеристик, що ще більше знижує надійність установки [1].

Залежність від напрямку вітру для оптимальної роботи також становить значну проблему. Інерційність механізмів орієнтації та нерівномірний розподіл швидкості вітру роблять практично неможливим ефективне орієнтування вітряків при зміні напрямку вітру.

У сукупності ці фактори висвітлюють фундаментальні недоліки, пов'язані з комбінованими системами вітрових турбін, і підкреслюють потребу в інноваціях, які можуть зменшити складність і підвищити надійність у цих рішеннях для відновлюваної енергії.

1.2.2 Відмінність комбінованих систем від автономних систем вітрових турбін

На відміну від автономних систем вітрових турбін, комбіновані системи на основі вітряних турбін, які об'єднують численні відновлювані джерела енергії, такі як мікро гідроелектростанції, пропонують унікальні переваги з точки зору ефективності та надійності.

Однією з значних переваг цих комбінованих систем є їх здатність використовувати різноманітні джерела енергії, тим самим підвищуючи загальний вихід енергії та стабільність. Наприклад, гідроенергетичний потенціал малих річок в Україні оцінюється приблизно в 12,5 мільярдів кВт/год, що є значною цифрою, яка, якщо її використати поряд із енергією вітру, може значно зміцнити енергетичну мережу. Ця комбінація не тільки максимізує використання наявних відновлюваних ресурсів, але й пом'якшує проблеми переривчастості, властиві вітровій енергії [10].

Вітрові турбіни, відомі своєю високою ефективністю навіть при помірних швидкостях вітру, забезпечують постійний вихід енергії, який доповнює безперервний потік гідроенергії, тим самим створюючи більш надійне енергопостачання. Крім того, інтеграція систем акумуляції енергії в ці комбіновані установки допомагає зберігати надлишкову енергію в періоди пікового виробництва, яку можна використовувати в періоди слабкого вітру або потоку води, що ще більше підвищує надійність системи [13].

Таким чином, у той час як автономні вітрові турбіни ефективні самі по собі, їх інтеграція з іншими відновлюваними джерелами енергії в комбінованих системах призводить до чудової ефективності та надійності, що робить їх більш надійним рішенням для сталого виробництва енергії.

Висновки до розділу

З проведеного аналізу можна визначити, що комбіновані системи з використанням енерговітроустановок представляють собою складні

енергетичні установки, що інтегрують вітрову енергію з іншими відновлюваними джерелами, такими як сонячна енергія або біомаса.

Інтеграція таких систем забезпечує більш стабільне і надійне постачання енергії, особливо в регіонах з мінливими кліматичними умовами.

Основні компоненти таких систем включають вітрові турбіни, сонячні панелі, акумулятори для зберігання енергії та контролери, які управляють розподілом електроенергії між різними джерелами.

Ключовими технологіями, що використовуються в комбінованих системах, є сучасні інвертори та акумуляторні системи зберігання, які дозволяють ефективно управляти енергетичними потоками. Для підвищення ефективності комбінованих систем застосовуються стратегії оптимального розподілу навантаження, використання прогнозів погоди для керування генерацією та споживанням енергії, а також впровадження новітніх технологій зберігання енергії [1].

Проте комбіновані системи також мають свої недоліки. Основними з них є складність конструкції та проектування. Крім того, на відміну від автономних систем вітрових турбін, які можуть працювати незалежно, комбіновані системи вимагають координації між різними джерелами енергії, що може призвести до додаткових витрат та складнощів в експлуатації.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Основні принципи побудови вітро-сонячної комбінованої системи

Проблема підтримки стабільного та надійного енергопостачання є важливою для всіх країн світу, особливо для тих, які експортують та імпортують енергетичні ресурси. Загострення енергетичних питань у 21 столітті змушує нас шукати альтернативи звичайним джерелам енергії. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії стали життєздатними варіантами. Вичерпання глобальних запасів традиційного палива в поєднанні з постійним зростанням цін на енергоносії сприяло швидкому розвитку альтернативної енергетики з використанням відновлюваних ресурсів. Стає все більш очевидним, що в 21 столітті газ і нафта перетворяться з переважно економічних товарів на політичні інструменти. Щоб досягти енергетичної незалежності, країни, які не мають достатніх ресурсів і сировини, повинні активно розвивати альтернативні джерела енергії. Отже, експерти прогнозують, що частка «зеленої» енергії у світовому виробництві електроенергії продовжить зростати в майбутньому.

Незважаючи на значну присутність як критиків, так і прихильників розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, все більше країн, які покладаються на імпорт традиційної енергії, інвестують у цю сферу. Відновлювані джерела енергії дозволяють створювати самодостатні системи та цінність місцевих ресурсів можна підвищити за рахунок децентралізованого енергопостачання, усунувши залежність від імпорту та необхідність створення дорогих енергетичних мереж. Це особливо актуально для територій, де відсутні сучасні енергетичні системи, або для економік, що розвиваються, які мають зростаючий попит на енергію. Зростає значення автономних децентралізованих систем електропостачання.

При оцінці плюсів і мінусів різних джерел енергії найбільш перспективним варіантом комбінованого електропостачання виступають вітро-сонячні системи. Ці системи об'єднують невеликий вітряний генератор разом із сонячними панелями. Використовуючи цей комбінований підхід, вироблення електроенергії покращується порівняно з використанням лише вітрових або фотоелектричних систем. Сонячні фотоелектричні модулі можуть бути підключені до системи вітрогенератора через гібридний контролер або через незалежний контролер, призначений для сонячних систем [15].

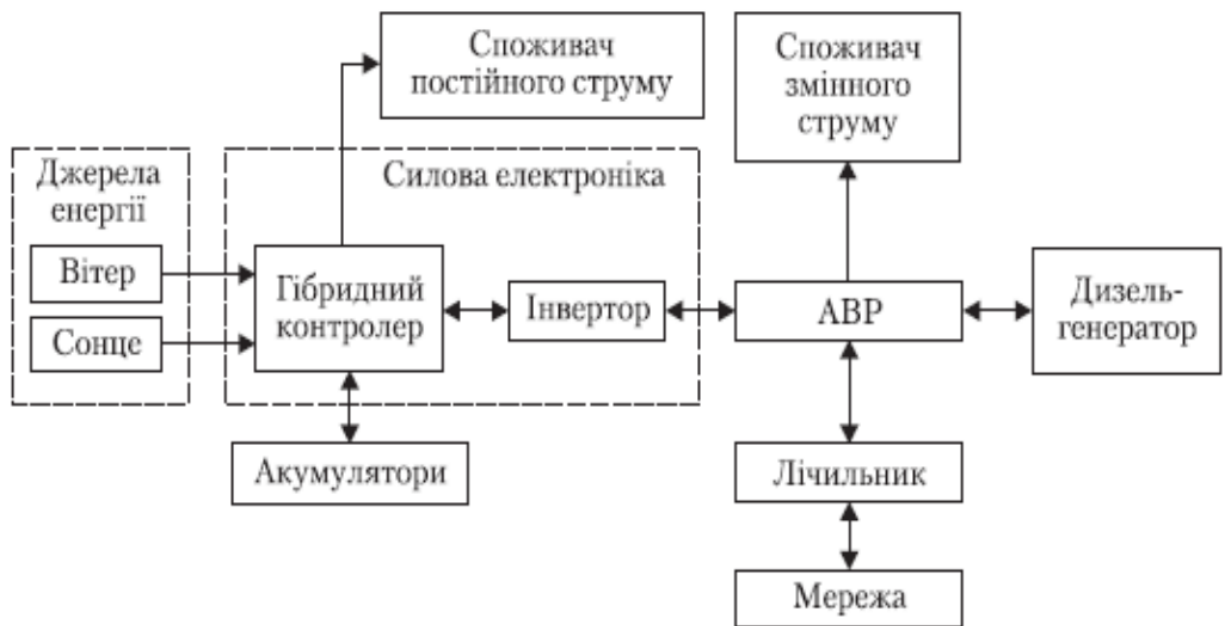


Рисунок. 2.1 Схематичне зображення системи електропостачання, що використовує комбіновану установку, що поєднує вітрову та сонячну енергію.

Комбінована вітро-сонячна система націлена на забезпечення споживачів енергією 220 В/50 Гц. Бажано встановлювати автоматизовану систему в місці з достатнім простором і вільним від будь-яких перешкод у навколишньому ландшафті. Цю технологію може використовувати як незалежне джерело електроенергії, так і система додаткового живлення. Комбіновані вітро-сонячні системи розроблені на основі інформації щодо споживання електроенергії, а також сонячного та вітрового потенціалу,

характерного для місцевості. Крім того, бензиновий або дизельний генератор може бути інтегрований у фотоелектричну або вітро-сонячну систему, щоб служити резервним джерелом живлення.

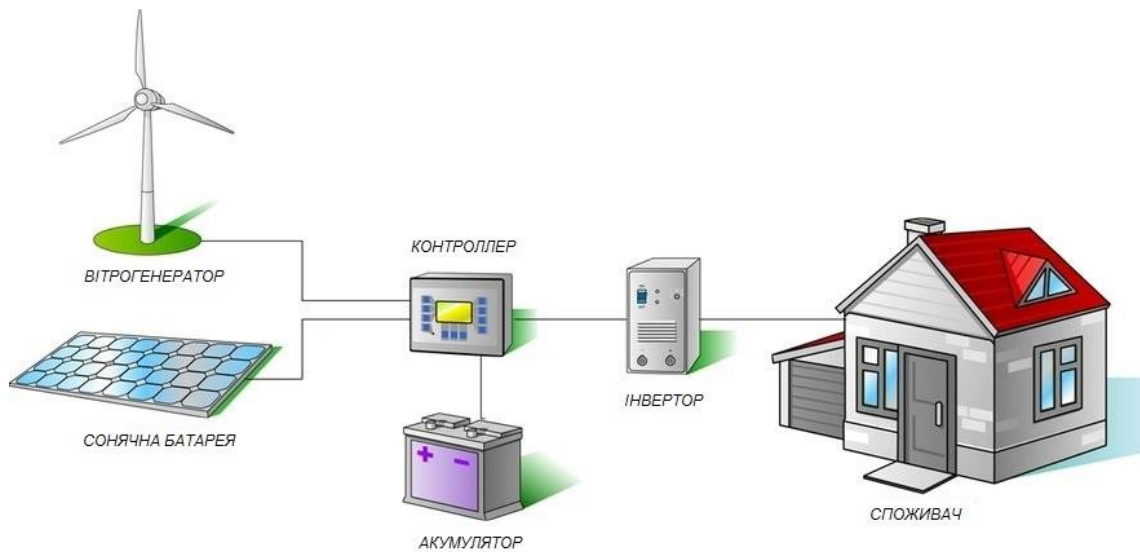


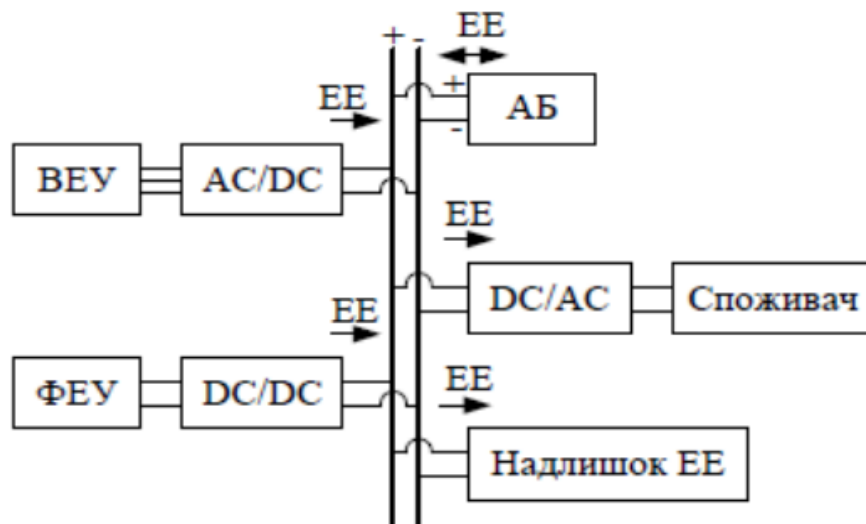
Рисунок 2.2- Схема підключення комбінованої системи.

У статті Є.Ю. Катаєва та В.Ю. Теличко, автори стверджують, що початкова точка перш ніж приступити до встановлення комбінованої системи, важливо провести ретельне дослідження та оцінити всі доступні варіанти вітрової, сонячної та гібридної установок. Крім того, важливо оцінити вітрові та сонячні характеристики, характерні для майбутнього місця розташування системи. Необхідно провести огляд усіх поточних аналогів, щоб визначити їхні характеристики, разом з аналізом основних переваг і недоліків, пов'язаних із такими системами. Необхідно також розрахувати середнє споживання електроенергії будівлею в різний час протягом дня та в різні сезони. Після аналізу всіх даних слід розрахувати загальну потужність усієї системи. Важливо враховувати підвищену потребу будівлі в електроенергії в періоди, коли установка може не виробляти достатньо електроенергії. Щоб задовольнити цю вимогу, у вас є можливість використовувати міську електромережу або використовувати паливні генератори необхідної потужності [19].

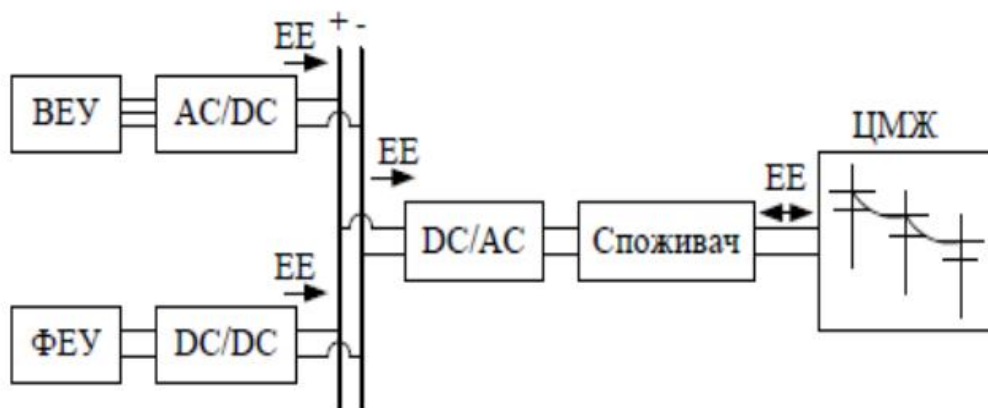
Переглянувши та проаналізувавши всі дані, ви можете створити проект, який включає вибір відповідної потужності для вітрової турбіни. Якщо цієї потужності виявиться недостатньо, ви можете розглянути можливість встановлення додаткової вітряної турбіни або розміщення фотоелектричних панелей високої потужності з високим коефіцієнтом поглинання сонячного випромінювання на даху будівлі.

Вітро-сонячні енергетичні системи (ВСЕС) можуть бути встановлені за допомогою трьох різних типів структур [20]:

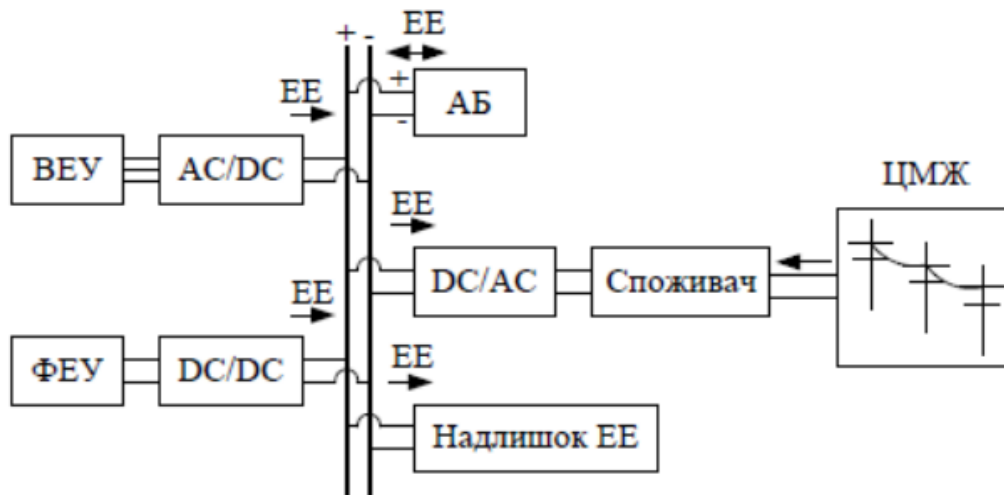
- Незалежний ВСЕС.
- Мережевий ВСЕС.
- Незалежно – мережевий ВСЕС.



а)



б)



в)

Рисунок 2.3. Структура ВСЕС: а) незалежна; б) мережева; в) незалежна-мережева

2.2. Обрання вітряної установки

Як зазначалося раніше, існують різні види вітроенергетичних систем.

1. Осьово-горизонтальний;
2. Осьово-вертикальний.

Вітрові турбіни з горизонтальною віссю, як правило, використовуються в районах зі стабільними або вищими коефіцієнтами вітру. Однак, оскільки в нашому місці недостатньо вітру, ми виберемо вітряний генератор з вертикальною віссю для підвищення ефективності виробництва енергії. Іншим помітним недоліком горизонтально-осьової конструкції є необхідність додаткової лопатки для відстеження напрямку вітру, що значно сповільнює швидкість обертання лопатей турбіни. Ротори Н-типу користуються великим попитом завдяки своїй простоті та надійності в експлуатації. Ці ротори можуть бути сконструйовані як з однією лопаттю, так і з кількома лопатями, але в даний час найбільш часто використовуються ротори з трьома лопатями, оскільки вони ідеальні для невеликих застосувань. На швидкість вітру впливає поєднання початкових і робочих характеристик. Крім того, Н-ротори з трьома лопатями мають більш високі швидкості, ніж ротори Savonius, що дозволяє безпосередньо підключати електричні

генератори до вітрового ротора (ВР) [6]. Цей прямий привід спрощує конструкцію вітрової турбіни, одночасно підвищуючи її пускові можливості та експлуатаційну надійність. Хоча гвинтові лопаті можна використовувати для поліпшення пускових характеристик Н-ротора, їх виробництво є більш складним і дорогим. Якщо розглядати мінімальний період окупності як ключовий фактор економічної життєздатності установки, Н-ротори з прямими лопатями є значно привабливішими.



Рисунок.2.4. Ротор Н-типу

Обрання вітряної установки буде виконуватися за наступними середньорічними даними: Середня швидкість вітру становить – 4 м/с, найвища температура протягом року в серпні $+26,7^{\circ}\text{C}$, а найнижча в січні $-5,3^{\circ}\text{C}$, а середня протягом року $+11,9^{\circ}\text{C}$, барометричний тиск $B=752$ мм.рт.ст. Коефіцієнт використання сили вітру обраний $C_p = 0,36$. Число лопатей $Z_{\text{л}} = 3$.

Обираємо вітроустановку RX-HV3K 3 кВт.

Таблиця 2.1 - Характеристика RX-HV3K 3 кВт

Тип генератора	Синхронний генератор з постійними магнітами
Номінальна потужність P_{BEU} , Вт	3000
Вихідна напруга U , В	220
Тип вертикального ротора	H-rotor
Радіус вертикального ротора R , м	2,8
Висота лопаті вертикального ротора, м	3,6
Кількість лопатей	3
Номінальна швидкість, м/с	10
Мінімальна швидкість, м/с	1,3
Максимальна швидкість, м/с	40

2.3. Дослідження припливу енергії від сонячної радіації

Виробництво енергії від сонця досягається за допомогою різних типів фотоелектричних панелей, які включають монокристалічні, полікристалічні, аморфні та органічні варіанти. Монокристалічні фотоелектричні панелі, відомі своєю високою ефективністю, переважно використовуються в системах електропостачання. Щоб максимізувати отримання енергії з фотоелектричної панелі в регіонах з обмеженими сонячними ресурсами, необхідно виконати точні розрахунки. На сумарне сонячне випромінювання, яке досягає фотоелектричної панелі, впливає кілька факторів, включаючи розташування та орієнтацію панелі, кут її нахилу відносно горизонту, пору року, час доби, погодні умови та інші. Загальна сонячна радіація складається з прямої сонячної радіації, яка потрапляє на світло поглинаючу поверхню, і випромінювання, розсіяного небом. У похмурі дні єдиним джерелом енергії в приземних шарах атмосфери є розсіяна сонячна радіація. Навіть мінімальної енергії, виробленої фотоелектричною панеллю у похмурі дні, може бути достатньо, щоб задовольнити електричні потреби споживачів малої потужності [17].

Загальний сонячну радіацію S [Вт/м²] можна визначити наступним чином:

$$S = S_P + S_{II}, \quad (2.1)$$

Де S_P та S_{Π} – потужності надходження як розсіяної так і прямої сонячної радіації.

Питома потужність надходження прямої сонячної радіації знаходиться за наступною формулою:

$$S_{\Pi} = S_M \cdot \cos \theta, \quad (2.2)$$

Де S_M - Питома потужність надходження прямої сонячної радіації, що досягає перпендикулярно до земної поверхні.

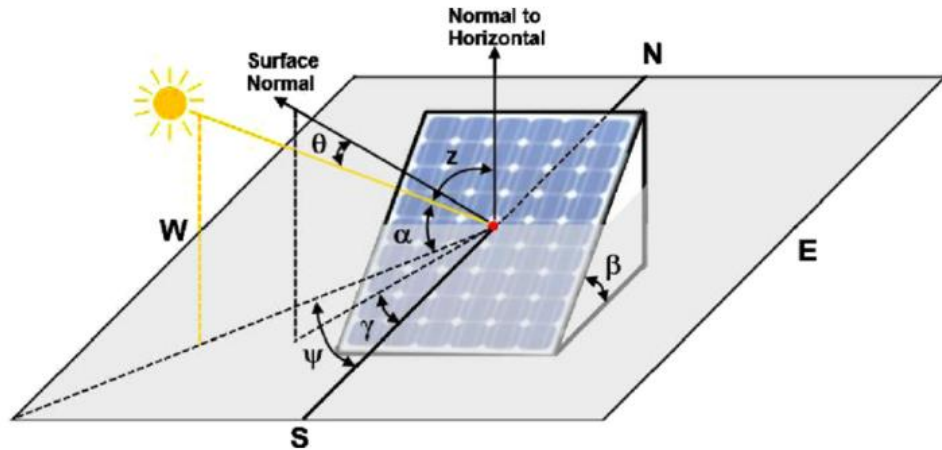


Рисунок.2.5. Схема надходження S_{Π} і S_P сонячної радіації та параметри фотоелектричної панелі стосовно горизонтальної площини.

Аналізуючи статистику сонячного випромінювання за кілька років, ми можемо передбачити потенціал виробництва електроенергії фотоелектричними модулями в Сумській області. У таблиці 2.2 наведені середньомісячні рівні сонячної радіації, виміряні в кВт-год/м²/добу, на основі даних НАСА за останні 22 роки.

Виробництво енергії, що вимірюється у Вт·год, вироблене сонячною панеллю протягом дня, можна визначити за наступною формулою:

$$W_{EE}^{\text{ФЕМ}} = P^{\text{ФЕМ}} \cdot k_{\text{ФЕМ}} \cdot T_{\text{hФЕМ}} \quad (2.3)$$

Де $P^{\text{ФЕМ}}$ – дана потужність фотоелектричного модуля, Вт;

$k_{\text{ФЕМ}}$ – коефіцієнт, що дорівнює 0,5 в зимовий та 0,7 в літній час.

$T_{\text{hФЕМ}}$ – час протягом якого сила сонячного світла 1000 Вт/м², знаходиться як:

$$T_{h\Phi EM} = \frac{E_{CI}^{cc}}{1000} \quad (2.4)$$

Де E_{CI}^{cc} - значення середньодобової сили випромінювання сонячного, за місяць, Вт·год/м² /день.

Таблиця 2.2 - Сили сонячного світла за останні 22 роки

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86

2.4. Обрання сонячної панелі

Впровадження сонячних електростанцій у всьому світі сприяє значному зростанню ринку компонентів для сонячних електростанцій. В даний час існує високий попит на китайські фотоелектричні панелі через їх значно нижчу вартість.

Виробничі системи в Європі та США доповнюються пропозиціями японських виробників, продукція яких оцінюється так само, як і їхні американські та європейські конкуренти [5]. У таблиці 2.4 представлена інформація про найпопулярніші сонячні модулі.

Таблиця 2.3 - Характеристика сонячних панелей

Виробник	Країна	Характеристика	Вартість,грн
Jinko Solar JKM580N-72HL4	Китай	Тип кремнію: Монокристал Ном потужність: 580Вт Навантаження при макс. потужності: 43,35В. Струм макс. потужності: 13,38А. Струм КЗ: 14,47 А. Навантаження холостого ходу:52,31В Розміри:2278x1134x35 мм	5824
Longi Solar LR5-54НТН-440М	Китай	Тип кремнію:Монокристал Ном потужність:440Вт Навантаження при макс. потужності:33,24В Струм макс. потужності:13,24А Струм КЗ:14,3А	6285

		Навантаження холостого ходу:39,53В Розміри:1722x1134x30 мм	
Longi Solar LR5-72HTH-575M	Китай	Тип кремнію: Монокристал Ном потужність:575Вт Навантаження при макс. потужності:43,91В Струм макс. потужності:13,1В Струм КЗ:14,14 Навантаження холостого ходу:52,06В Розміри: 2278x1134x35 мм	6955
Altek ALM265P	Китай	Тип кремнію: Полікристал. Ном потужність:265Вт Навантаження при макс. потужності:32В Струм макс. потужності:8,55А Струм КЗ:9,2А Навантаження холостого ходу:38,16 Розміри:1640x992x35мм	5389

Для майбутніх обчислень, використовуємо монокристалічну модель Jinko Solar JKM580N-72HL4 (рис 2,6), потужністю 580 Вт.

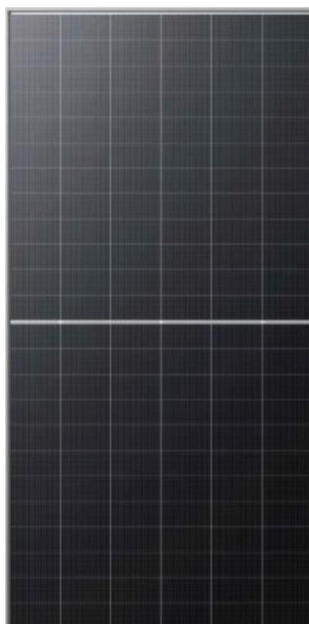


Рисунок.2.6. Сонячна панель Jinko Solar JKM580N-72HL4.

2.5. Обрання інвертора та акумулятора

Вибір інвертора є відповідальним процесом, оскільки від цього залежить надійність роботи електрообладнання, яке він підтримуватиме. Інвертор перетворює постійний струм (наприклад, від акумуляторів або сонячних батареї) у змінний, що використовується для живлення побутових пристроїв. Важливо вибрати інвертор, який відповідає вимогам конкретної системи й споживання електроенергії.

Для нашої системи було обрано інвертор Solis S6-EN3P12K-L.



Рисунок.2.7. Гібридний інвертор Solis S6-EN3P12K-L.

Гібридний інвертор Solis S6-EN3P12K-L перетворює постійний струм у змінний, досягаючи максимальної ефективності 97.6%. Він включає контролер заряду MPPT. Одночасна робота як в мережевому, так і в режимі автономної енергосистеми.

Якщо споживачеві потрібна енергія в певну годину, надлишок енергії буде накопичуватися в батареї, доки він не досягне максимального значення енергії. Коли енергія батареї досягає максимуму в певний момент часу, це призводить до генерації надлишкової електроенергії.

Таблиця 2.4 - Характеристика Solis S6-EN3P12K-L.

Характеристика	Значення
Потужність, кВт	12
Напруга, В	220
Частота, Гц	50
Форма вихідного сигналу	Чиста синусоїда
Струм КЗ, А	80
Габарити	702x422x281 мм
Вага	33.6 кг
Клас захисту	IP66

Надлишок, вироблений з відновлюваних джерел енергії, який не може зберігатися в інверторі, або витрачається внаслідок зменшення генерації, або може бути ефективно використаний, наприклад, для опалення, або інвертор може працювати за «зеленим тарифом».

Щоб мінімізувати можливість пошкодження інвертора, використовуються свинцево-кислотні акумулятори з глибоким розрядом.

Система має акумуляторну батарею ємністю 800 А·год. Було впроваджено систему, яка гарантує безперервне живлення за допомогою батарей CSB Battery GPL121000, характеристики яких наведено в таблиці 2.5. Батареї з'єднані в послідовно-паралельну конфігурацію, що підвищує як ємність, так і напругу акумуляторної системи.

Таблиця 2.5 - Характеристика CSB Battery GPL121000

Характеристики	Значення
Напруга, В	12
Ємність, А * год	100
Робочий температурний діапазон, °С	-15...+50
Струм заряду, А	30
Макс. розрядний струм 5с, А	800
Габарити, мм	217x326x164
Вага, кг	33,5
Технологія виготовлення	AGM

Висновки до розділу.

У результаті проведеного дослідження та аналізу основних принципів побудови вітро-сонячної комбінованої енергетичної системи було визначено

важливість інтеграції двох поновлюваних джерел енергії для підвищення ефективності та стабільності енергопостачання. Вибір вітряної установки RX-NV3K 3 кВт є ключовим етапом, оскільки вона повинна відповідати умовам місцевості та забезпечувати оптимальну потужність для системи. Дослідження припливу енергії від сонячної радіації дозволило оцінити можливості сонячних панелей для максимізації виробництва енергії протягом року. Вибір сонячної панелі Jinko Solar JKM580N-72HL4 здійснювався з урахуванням її ефективності, вартості та відповідності умовам експлуатації. Окрім того, важливими є правильний вибір інвертора Solis S6-EH3P12K-L та акумулятора CSB Battery GPL121000, які повинні забезпечувати безперебійне перетворення і зберігання енергії. У підсумку, комбіновані вітро-сонячні системи є перспективними для забезпечення стабільного і ефективного енергопостачання, що забезпечує зниження залежності від традиційних джерел енергії та має значний екологічний потенціал.

3 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

3.1. Розрахунок загального споживання енергії за тиждень

Створимо прототип моделі для приватного господарства, що знаходиться в Сумській обл. Для наступної розрахунки автономної комбінованої системи електроживлення важливо визначити потужність, яку потрібно забезпечити. Створимо таблицю з деталізацією всіх навантажень змінного струму, із зазначенням їх номінальної потужності та тижневих годин роботи.

Таблиця 3.1 - Загальне споживання за тиждень

Приклад	Кількість	U, В	P, Вт	I, А	Тривалість роботи, год	Потужність споживання Вт
Холодильник	2	220	400	1,8	32	12800
Wi-Fi	1	220	9	0,6	168	1512
Освітлення	13	220	39	0,25	72	2808
Кондиціонер	3	220	2400	10,9	10	24000
Телевізор	2	220	400	1,8	19	7600
Мікроволновка	1	220	700	3,2	1	700
Принтер	1	220	300	1,5	2	600
Комп'ютер	1	220	400	1,8	70	28000

Розрахуємо спожиту потужність за тиждень:

$$P_{заг} = P_{хол} + P_{вф} + P_{осв} + P_{кон} + P_{тел} + P_{мік} + P_{пр} + P_{комп} = 78,02кВт \quad (3.1)$$

де $P_{хол}$ – потужність холодильника ;

$P_{роут}$ - потужність роутера ;

$P_{осв}$ – потужність освітлення ;

$P_{кон}$ -потужність кондиціонера ;

$P_{тел}$ -потужність телевізора ;

$P_{мік}$ - потужність мікроволновки ;

$P_{пр}$ - потужність принтера ;

$P_{комп}$ - потужність компютера ;

Згідно з розрахунками, щотижня нам потрібно виробляти потужність 78,02 кВт.

3.2. Розрахунок потужність вітроелектричної установки

Потужність вітроустановки заходимо за наступною формулою:

$$N_{BEV} = \frac{P}{2} \cdot A \cdot C_p \cdot V^3 \quad (3.2)$$

де N - знайдена потужність ВЕУ.

A - площа робочої поверхні ВР з висотою H_{BP} та радіусом лопаті R .

V - швидкість вітру, м/с.

C_p - коеф.вітру.

ρ - густина повітря, що знаходиться за формулою, кг/м³ :

$$\rho = \frac{M_{\Pi}}{V_{\Pi}}, \quad (3.3)$$

де M - повітряна маса.

V - кількість повітря.

- за звичайних умов ($P_{cm} = 0,1013 \text{ МПа}$, $T_{cm} = 293 \text{ К}$ або $t_{cm} = 20^{\circ} \text{ C}$).

Площа пeverхні ротора:

$$A = 2RH_{BP}, \quad (3.4)$$

Об'ємну густину повітря визначають за формулою(3.3):

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

Далі за формулою (3.4) розраховується площа проекції робочої поверхні ротора:

$$A = 2 \cdot 2,8 \cdot 3,6 = 20,16 \text{ м}^2$$

Ми визначаємо потужність вітрових турбін за формулою, яка враховує за годину та тиждень кожного місяця(3.2).

Обчислення за січень:

$$N_{\text{січ1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 74 = 323,6 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{січ1год}} = 323,6 \cdot 168 = 54,4 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за лютий:

$$N_{\text{лют1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 64 = 278,85 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{лют1год}} = 278,85 \cdot 168 = 47 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за березень:

$$N_{\text{бер1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 69 = 301,7 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{бер1год}} = 301,7 \cdot 168 = 50,7 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за квітень:

$$N_{\text{квіт1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 69 = 301,7 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{квіт1год}} = 301,7 \cdot 168 = 50,7 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за травень:

$$N_{\text{тра1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 46,7 = 204,2 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{тра1год}} = 204,2 \cdot 168 = 34,3 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за червень:

$$N_{\text{чер1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 39,3 = 171,8 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{чер1год}} = 171,8 \cdot 168 = 28,9 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за липень:

$$N_{\text{лип1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 32,8 = 143,4 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{лип1год}} = 143,4 \cdot 168 = 24,1 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за серпень:

$$N_{\text{сер1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 35,9 = 157 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{сер1год}} = 157 \cdot 168 = 26,4 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за вересень:

$$N_{\text{вер1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 46,7 = 204,2 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{вер1год}} = 204,2 \cdot 168 = 34,3 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за жовтень:

$$N_{\text{жов1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 59,3 = 259,3 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{жов1год}} = 259,3 \cdot 168 = 43,6 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за листопад:

$$N_{\text{лис1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 64 = 279,8 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{лис1год}} = 279,8 \cdot 168 = 47 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за грудень:

$$N_{\text{гру1год}} = \frac{1,205}{2} \cdot 20,16 \cdot 0,36 \cdot 79,5 = 347,6 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$N_{\text{гру1год}} = 347,6 \cdot 168 = 58,4 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

3.3. Розрахунок потужність сонячної панелі

Визначаємо денну та тижневу потужність фотоелектричного модуля за формулами 2,3 та 2,4.

Обчислення за січень

$$T_{h\text{січ}} = \frac{E_{\text{сд,січ}}}{1000} = \frac{1130}{1000} = 1,13 \text{год}$$

$$W_{h\text{січ1д}} = 580 \cdot 0,5 \cdot 1,13 = 327,7 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{січтиж}} = 327,7 \cdot 7 = 2293,9 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за лютий:

$$T_{h\text{лют}} = \frac{E_{\text{сд,лют}}}{1000} = \frac{1930}{1000} = 1,93 \text{год}$$

$$W_{h\text{лют1д}} = 580 \cdot 0,5 \cdot 1,97 = 571,3 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{люйтиж}} = 571,3 \cdot 7 = 3999,1 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за березень:

$$T_{h\text{бер}} = \frac{E_{\text{сд.бер}}}{1000} = \frac{3050}{1000} = 3,05\text{год}$$

$$W_{h\text{бер}1\text{д}} = 580 \cdot 0,5 \cdot 3,05 = 884,5\text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{бертиж}} = 884,5 \cdot 7 = 6191,5\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за квітень:

$$T_{h\text{кві}} = \frac{E_{\text{сд.кві}}}{1000} = \frac{3980}{1000} = 3,98\text{год}$$

$$W_{h\text{кві}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 3,98 = 1615,88\text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{квітиж}} = 1615,88 \cdot 7 = 11311,16\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за травень:

$$T_{h\text{тра}} = \frac{E_{\text{сд.тра}}}{1000} = \frac{5270}{1000} = 5,27\text{год}$$

$$W_{h\text{тра}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 5,27 = 2138,62\text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{тратиж}} = 2138,62 \cdot 7 = 14977,35\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за червень:

$$T_{h\text{чер}} = \frac{E_{\text{сд.чер}}}{1000} = \frac{5320}{1000} = 5,32\text{год}$$

$$W_{h\text{чер}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 5,32 = 2159,92\text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{чертиж}} = 2159,92 \cdot 7 = 15119,44\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за липень:

$$T_{h\text{лип}} = \frac{E_{\text{сд.лип}}}{1000} = \frac{5380}{1000} = 5,38\text{год}$$

$$W_{h\text{лип}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 5,38 = 2184,28\text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{липтиж}} = 2184,28 \cdot 7 = 15289,96\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за серпень:

$$T_{h\text{сеп}} = \frac{E_{\text{сд.сеп}}}{1000} = \frac{4670}{1000} = 4,67\text{год}$$

$$W_{h\text{сеп}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 4,67 = 1896\text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$W_{h\text{септиж}} = 1896 \cdot 7 = 13272,14\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за вересень:

$$T_{h\text{вер}} = \frac{E_{\text{сд.вер}}}{1000} = \frac{3190}{1000} = 3,19\text{год}$$
$$W_{h\text{вер}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 3,19 = 1295,14\text{т} \cdot \text{год}$$
$$W_{h\text{вер}тиж} = 1896 \cdot 7 = 13272,14\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за жовтень:

$$T_{h\text{жов}} = \frac{E_{\text{сд.жов}}}{1000} = \frac{1980}{1000} = 1,98\text{год}$$
$$W_{h\text{жов}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 1,98 = 574,2\text{т} \cdot \text{год}$$
$$W_{h\text{жов}тиж} = 574,2 \cdot 7 = 4019,4\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за листопад:

$$T_{h\text{лис}} = \frac{E_{\text{сд.лис}}}{1000} = \frac{1100}{1000} = 1,10\text{год}$$
$$W_{h\text{лис}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 1,10 = 319\text{т} \cdot \text{год}$$
$$W_{h\text{ли}стиж} = 319 \cdot 7 = 2233\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за грудень:

$$T_{h\text{гру}} = \frac{E_{\text{сд.лис}}}{1000} = \frac{860}{1000} = 0,86\text{год}$$
$$W_{h\text{гру}1\text{д}} = 580 \cdot 0,7 \cdot 0,86 = 249,4\text{т} \cdot \text{год}$$
$$W_{h\text{гру}иж} = 249,4 \cdot 7 = 1745,8\text{Вт} \cdot \text{год}$$

Щоб забезпечити достатню кількість енергії від Jinko Solar JKM580N-72HL4, нам потрібно 15 сонячних панелей. Визначимо загальну енергію, вироблену вітро-сонячними системами електроживлення протягом тижня для кожного місяця.

Обчислення за січень:

$$P_{\text{ФЕУ}1\text{тиж}} = 2293,9 \cdot 15 = 34,4\text{кВт} \cdot \text{год}$$
$$P_{\text{ВСЕ}1\text{тиж}} = 34,4 + 54,4 = 88,8\text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за лютий:

$$P_{\text{ФЕУ}1\text{тиж}} = 3999,1 \cdot 15 = 59,9\text{кВт} \cdot \text{год}$$
$$P_{\text{ВСЕ}1\text{тиж}} = 59,9 + 47 = 106,9\text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за березень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 6191 \cdot 15 = 92,9 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 92,9 + 50,7 = 143,6 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за квітень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 11311,16 \cdot 15 = 169,7 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 169,7 + 50,7 = 220,4 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за травень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 14977,34 \cdot 15 = 224,7 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 224,5 + 34,3 = 259 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за червень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 15119,44 \cdot 15 = 226,7 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 226,7 + 28,9 = 255,6 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за липень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 15289,96 \cdot 15 = 230,8 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 230,8 + 24,1 = 254,9 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за серпень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 13272 \cdot 15 = 199 \text{Вт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 199 + 26,4 = 225,4 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за вересень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 9065,98 \cdot 15 = 135,9 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 135,9 + 34,3 = 170,2 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за жовтень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 4019,4 \cdot 15 = 60,291 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 60,291 + 43,6 = 103,9 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за листопад:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 2233 \cdot 15 = 33,5 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 33,5 + 47 = 80 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення за грудень:

$$P_{\text{ФЕУ1тиж}} = 1745,8 \cdot 15 = 26,187 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$P_{\text{ВСЕ1тиж}} = 26,187 + 58,4 = 84,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

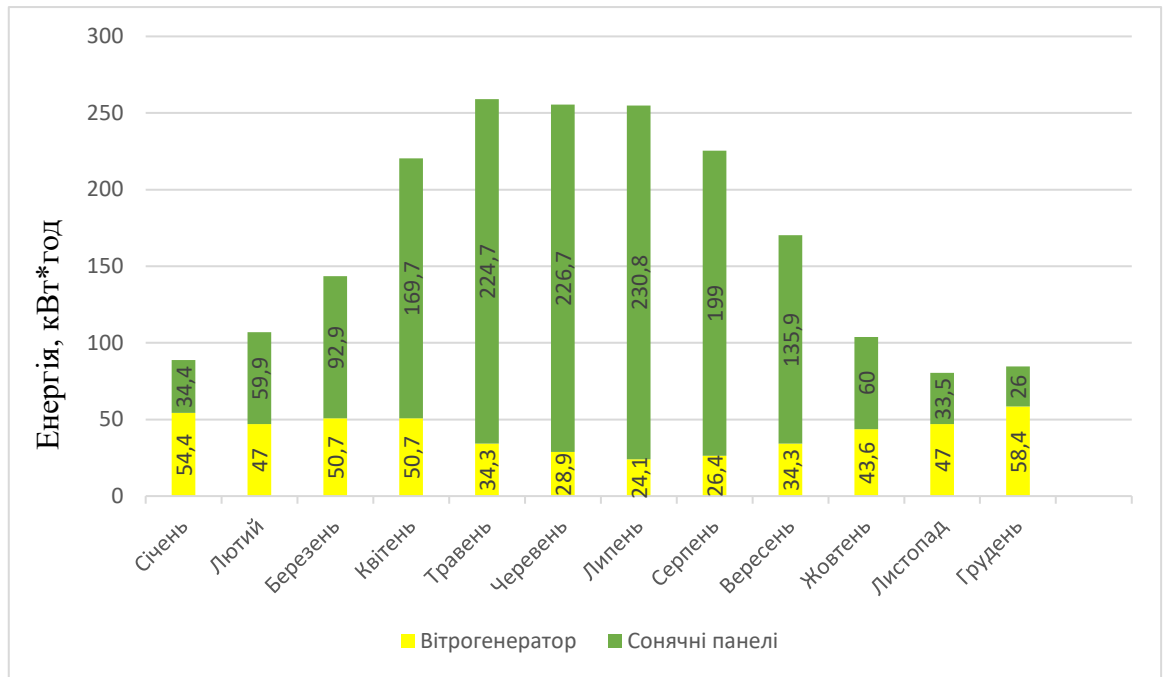


Рисунок 3.1. Зображення сумарного вироблення електричної енергії вітроустановки та сонячних панелей.

Висновки до розділу

У результаті проведених розрахунків було визначено загальне споживання енергії об'єктом за тиждень (78,02), що дозволило оцінити необхідний обсяг енергетичних ресурсів для забезпечення його безперебійної роботи. Було розглянуто можливості використання вітроелектричної установки, для чого обчислено її потужність з урахуванням кліматичних умов, ефективності та конструктивних характеристик. Аналогічно проаналізовано параметри та продуктивність сонячної панелі, включаючи інтенсивність сонячного випромінювання. Завдяки цьому отримано оцінку загальної потужності, яку здатна генерувати сонячна установка, і визначено, наскільки вона підходить для забезпечення енергетичних потреб об'єкта. Таким чином, отримані розрахунки дозволяють зробити висновок про доцільність та ефективність використання відновлюваних джерел енергії для сталого енергозабезпечення об'єкта, що сприяє зниженню залежності від традиційних джерел енергії. А саме, при найменше вироблення енергії буде дорівнювати 80 кВт на тиждень, що перекриває загальне споживання енергії за тиждень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні вимоги охорони праці в галузі енергетичних установок

Охорона праці в галузі енергетичних установок є надзвичайно важливою складовою безпеки працівників та забезпечення надійної експлуатації обладнання. Ця галузь, що включає виробництво, транспортування та розподіл електроенергії, пов'язана з високими ризиками, тому передбачає дотримання строгих вимог, які регулюються законодавством та нормативними актами. Дотримання цих вимог мінімізує ризик аварій, нещасних випадків та знижує вплив шкідливих факторів на працівників [17].

Основні вимоги до охорони праці:

1. Забезпечення належної кваліфікації персоналу. Всі працівники, що працюють з енергетичними установками, повинні проходити спеціальне навчання, включаючи інструктаж з техніки безпеки, а також періодичну перевірку знань. До робіт з енергетичним обладнанням допускаються лише ті, хто пройшов атестацію.

2. Організація робочого місця. Робочі місця повинні бути організовані з урахуванням вимог безпеки, включаючи ізоляцію електроустановок, наявність захисних огорожень, попереджувальних знаків та доступ до засобів пожежогасіння. Робоча зона повинна бути чистою, без зайвих предметів, що можуть заважати або становити небезпеку.

3. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, такими як ізолюючі рукавиці, спецодяг, захисні окуляри та взуття. Це важливо для захисту від можливих електричних ударів та інших небезпек, що можуть виникати при роботі з високою напругою.

4. Контроль і профілактика шкідливих факторів. В енергетичних установках існує ряд шкідливих факторів, таких як електромагнітне випромінювання, підвищений рівень шуму, вібрації, а також висока температура. Необхідно проводити регулярний моніторинг цих факторів та

використовувати засоби їхньої мінімізації. Наприклад, для зниження рівня шуму можуть використовуватися шумоізолюючі матеріали або спеціальні навушники.

5. Проведення регулярного технічного обслуговування і перевірок. Обладнання енергетичних установок має проходити регулярне технічне обслуговування, щоб уникнути аварій через зношування чи несправність. Це включає перевірку ізоляції, надійності з'єднань та інших технічних параметрів, які впливають на безпеку.

6. Впровадження автоматизованих систем контролю та безпеки. Використання сучасних автоматизованих систем контролю дозволяє швидко виявляти та усувати несправності, а також оперативно реагувати на аварійні ситуації. Це значно підвищує рівень безпеки та знижує ризик нещасних випадків.

7. Розробка та регулярне оновлення інструкцій з безпеки. Кожне підприємство повинно мати чітко розроблені інструкції з охорони праці, які враховують специфіку діяльності. Ці інструкції мають бути доступні для всіх працівників і регулярно оновлюватися з урахуванням нових технологій та методів роботи.

8. Екстрене реагування та надання першої допомоги. Важливо забезпечити наявність плану дій на випадок аварії, включаючи чітко прописані дії для кожного члена команди. Персонал повинен бути навчений наданню першої допомоги, а також правильним діям під час пожежі, ураження електричним струмом та інших надзвичайних ситуацій.

4.2. Специфічні ризики при роботі з комбінованими енерговітроустановками

Комбіновані енерговітроустановки (КЕВУ), що поєднують в собі різні джерела енергії, такі як вітер та сонячне випромінювання, мають значний потенціал для підвищення ефективності виробництва електроенергії. Втім, їх впровадження супроводжується певними специфічними ризиками, які можуть

вплинути на стабільність, безпеку і рентабельність таких систем. Розглянемо основні ризики, притаманні роботі з КЕВУ [16].

1. Технічні ризики

Технічна складність КЕВУ зумовлена інтеграцією різних технологій, що потребують безперервної взаємодії між компонентами. Основні технічні ризики включають:

- Відмови систем управління та контролю: КЕВУ вимагають комплексного підходу до моніторингу та управління, оскільки робота з різними джерелами енергії (вітровими турбінами та сонячними панелями) вимагає спеціальних алгоритмів координації. Збої в таких системах можуть призвести до дисбалансу, що вплине на стабільність роботи установок.

- Знос обладнання: Через коливання навантаження, яке може залежати від погодних умов, компоненти КЕВУ (як, наприклад, вітрові лопаті або кріплення сонячних панелей) можуть швидше зношуватися. Це підвищує ризик поломок та потребує ретельного обслуговування.

2. Метеорологічні ризики

Комбіновані енерговітроустановки особливо вразливі до метеорологічних факторів, які впливають на обидва джерела енергії.

- Залежність від погодних умов: Як вітрові турбіни, так і сонячні панелі можуть працювати зниженою ефективністю при несприятливих погодних умовах, наприклад, під час затяжних опадів або в умовах сильного вітру, що може пошкодити турбіни.

- Зледеніння та засніження: В регіонах з холодним кліматом накопичення снігу або льоду на вітрових лопатях і сонячних панелях може значно знижувати ефективність установки або навіть призвести до аварійних ситуацій.

3. Економічні ризики

Інвестування в КЕВУ вимагає значних фінансових ресурсів на етапі проектування, встановлення та обслуговування. Це створює низку економічних ризиків:

- Високі витрати на технічне обслуговування: Через специфіку обладнання обслуговування та ремонт КЕВУ можуть бути дорожчими, ніж в разі звичайних вітрових або сонячних установок.

- Ризики інвесторів: Невизначеність щодо ефективності нових комбінованих установок і впливу зовнішніх факторів на їх продуктивність може знижувати інтерес інвесторів або створювати фінансові труднощі для оператора.

4. Екологічні ризики

Хоча комбіновані енерговітроустановки зазвичай вважаються екологічно чистим джерелом енергії, існують певні екологічні ризики:

- Вплив на флору та фауну: Наприклад, робота вітрових турбін може впливати на птахів і місцеву екосистему, а сонячні панелі змінюють природний ландшафт.

- Ризик шумового та вібраційного забруднення: Вітрові турбіни можуть створювати шум та вібрації, що може негативно вплинути на місцевих жителів та екосистему, особливо при недостатній дистанції від населених пунктів.

Висновки до розділу

У сфері експлуатації енергетичних установок дотримання вимог охорони праці є ключовим аспектом, що забезпечує безпеку працівників та стабільну роботу обладнання. Загальні вимоги охорони праці охоплюють технічні, організаційні та гігієнічні заходи, спрямовані на мінімізацію ризиків, пов'язаних з роботою з високовольтним обладнанням, обслуговуванням механізмів та іншими небезпечними факторами.

Робота з комбінованими енерговітроустановками, зокрема з інтеграцією вітрових і традиційних джерел енергії, несе специфічні ризики, пов'язані з нестабільністю кліматичних умов, високими навантаженнями на конструкцію, а також небезпекою для працівників під час обслуговування на висоті та в умовах високої напруги. З урахуванням цих ризиків, особливу увагу приділяють проведенню періодичних інструктажів, використанню

індивідуальних засобів захисту та дотриманню стандартів безпеки під час експлуатації комбінованих енерговітроустановок.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1. Затрати на обладнання

На значній території України, особливо в східному регіоні, потенціал вітрової та сонячної енергетики обмежений. Для ефективної роботи в цих умовах важливо дослідити способи побудови гібридних установок, які забезпечують високу енергоефективність. Таким чином, у цій магістерській роботі представлено розрахунок комбінованої автономної мережевої системи, призначеної для забезпечення ефективного електропостачання малого підприємства, що використовує відновлювані джерела енергії в контексті західної України.

У цьому контексті важливо оцінити як капітальні, так і експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням цієї системи, а також розрахувати термін її окупності.

Оцінка вартості обладнання, необхідного для системи, має вирішальне значення. Зважаючи на те, що комплектуючі для вітряно-сонячної енергосистеми, як правило, імпортовані, на ціну закупівлі впливає курс долара США. Щоб полегшити розрахунки та мінімізувати потребу в коригуваннях через коливання валют, у цьому дослідженні ціни на обладнання, отримані з електронних онлайн-каталогів, представлені в доларах США.

Таблиця 4.1 – Вартість впровадження комбінованої системи

	Назва технічних матеріалів	Кількість	Ціни за одиницю, грн	Сума, грн
1	RX-HV3K 3 кВт	1	231400	150746
2	Jinko Solar JKM580N-72HL4.	15	5824	87360
3	Solis S6-EH3P12K-L.	1	93217	70250
4	CSB Battery GPL121000	6	11700	70200
5	Транспортні витрати	-	8400	8400
6	Монтажні роботи	-	6403	6403
Разом				393356

5.2. Економічна вигода

Даний розрахунок містить вартість технічних матеріалів та робіт, необхідних для впровадження проекту. Загальна сума складає 486,555 грн, що включає витрати на основне обладнання, акумуляторні батареї, транспортні витрати та монтажні роботи.

За тиждень приватне господарство споживає 78,02 кВт*год, що в грошовому еквіваленті дорівнює 337 грн на тиждень або 17328 грн на рік. Так, як комбінована система повністю покриває енергоспоживання з надлишком, то надлишок буде продаватися, за зеленим тарифом країни, за тарифом 6,48 за 1 кВт*год.

Сумарний надлишок електроенергії за рік становить 4435 кВт*год, знаходимо прибуток від продажу електроенергії:

$$P_n = C \cdot V = 6,48 \cdot 4435 = 28738,8 \text{ грн / рік} \quad (4,1)$$

де: P_n – прибуток від продажу електроенергії.

C – ціна за продаж 1 кВт*год.

V – обсяг проданої електроенергії.

Розрахуємо термін окупності комбінованої системи:

$$T_o = \frac{C_{kc}}{P_n + P_z} = \frac{393356}{28738,8 + 17328} = 8,5 \text{ років} \quad (4,2)$$

де: P_z – зекономлені кошти за рік, грн.

C_{kc} – вартість впровадження комбінованої системи.

Таблиця 4.2 – Техніко – економічні показники

Показники	Значення
Вартість впровадження комбінованої системи, грн.	393356
Прибуток від продажу електроенергії за рік, грн.	28738,8
Економія витрат на електроенергію за рік, грн.	17328
Термін окупності комбінованої системи, років.	8,5

Висновки до розділу

Отримані результати економічного обґрунтування підтверджують ефективність впровадження комбінованої системи в приватне господарство. Зазначимо, що капітальні вкладення в обладнання окупляться протягом 8,5 років. Очікується прибуток у розмірі 46066,8 грн. Важливо підкреслити, що основним показником продовжує залишатися автономність енергоспоживання. Тому такий підхід є як економічно, так і технічно вигідний.

ВИСНОВКИ

1. З проведеного аналізу можна визначити, що комбіновані системи з використанням енерговітроустановок представляють собою складні енергетичні установки, що інтегрують вітрову енергію з іншими відновлюваними джерелами, такими як сонячна енергія або біомаса.

Інтеграція таких систем забезпечує більш стабільне і надійне постачання енергії, особливо в регіонах з мінливими кліматичними умовами.

Основні компоненти таких систем включають вітрові турбіни, сонячні панелі, акумулятори для зберігання енергії та контролери, які управляють розподілом електроенергії між різними джерелами.

Ключовими технологіями, що використовуються в комбінованих системах, є сучасні інвертори та акумуляторні системи зберігання, які дозволяють ефективно управляти енергопотоками. Для підвищення ефективності комбінованих систем застосовуються стратегії оптимального розподілу навантаження, використання прогнозів погоди для керування генерацією та споживанням енергії, а також впровадження новітніх технологій зберігання енергії [1].

Проте комбіновані системи також мають свої недоліки. Основними з них є складність конструкції та проектування. Крім того, на відміну від автономних систем вітрових турбін, які можуть працювати незалежно, комбіновані системи вимагають координації між різними джерелами енергії, що може призвести до додаткових витрат та складнощів в експлуатації.

2. У результаті проведеного дослідження та аналізу основних принципів побудови вітро-сонячної комбінованої енергетичної системи було визначено важливість інтеграції двох поновлюваних джерел енергії для підвищення ефективності та стабільності енергопостачання. Вибір вітряної установки RX-NV3K 3 кВт є ключовим етапом, оскільки вона повинна відповідати умовам місцевості та забезпечувати оптимальну потужність для системи. Дослідження припливу енергії від сонячної радіації дозволило оцінити можливості сонячних панелей для максимізації виробництва енергії протягом року. Вибір

сонячної панелі Jinko Solar JKM580N-72HL4 здійснювався з урахуванням її ефективності, вартості та відповідності умовам експлуатації. Окрім того, важливими є правильний вибір інвертора Solis S6-EH3P12K-L та акумулятора CSB Battery GPL121000, які повинні забезпечувати безперебійне перетворення і зберігання енергії. У підсумку, комбіновані вітро-сонячні системи є перспективними для забезпечення стабільного і ефективного енергопостачання, що забезпечує зниження залежності від традиційних джерел енергії та має значний екологічний потенціал.

3. У результаті проведених розрахунків було визначено загальне споживання енергії об'єктом за тиждень (78,02), що дозволило оцінити необхідний обсяг енергетичних ресурсів для забезпечення його безперебійної роботи. Було розглянуто можливості використання вітроелектричної установки, для чого обчислено її потужність з урахуванням кліматичних умов, ефективності та конструктивних характеристик. Аналогічно проаналізовано параметри та продуктивність сонячної панелі, включаючи інтенсивність сонячного випромінювання. Завдяки цьому отримано оцінку загальної потужності, яку здатна генерувати сонячна установка, і визначено, наскільки вона підходить для забезпечення енергетичних потреб об'єкта. Таким чином, отримані розрахунки дозволяють зробити висновок про доцільність та ефективність використання відновлюваних джерел енергії для сталого енергозабезпечення об'єкта, що сприяє зниженню залежності від традиційних джерел енергії. А саме, при найменше вироблення енергії буде дорівнювати 80 кВт на тиждень, що перебиває загальне споживання енергії за тиждень.

4. У сфері експлуатації енергетичних установок дотримання вимог охорони праці є ключовим аспектом, що забезпечує безпеку працівників та стабільну роботу обладнання. Загальні вимоги охорони праці охоплюють технічні, організаційні та гігієнічні заходи, спрямовані на мінімізацію ризиків, пов'язаних з роботою з високовольтним обладнанням, обслуговуванням механізмів та іншими небезпечними факторами.

Робота з комбінованими енерговітроустановками, зокрема з інтеграцією вітрових і традиційних джерел енергії, несе специфічні ризики, пов'язані з нестабільністю кліматичних умов, високими навантаженнями на конструкцію, а також небезпекою для працівників під час обслуговування на висоті та в умовах високої напруги. З урахуванням цих ризиків, особливу увагу приділяють проведенню періодичних інструктажів, використанню індивідуальних засобів захисту та дотриманню стандартів безпеки під час експлуатації комбінованих енерговітроустановок.

5. Отримані результати економічного обґрунтування підтверджують ефективність впровадження комбінованої системи в приватне господарство. Зазначимо, що капітальні вкладення в обладнання окупляться протягом 8,5 років. Очікується прибуток у розмірі 46066,8 грн. Важливо підкреслити, що основним показником продовжує залишатися автономність енергоспоживання. Тому такий підхід є як економічно, так і технічно вигідний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Циганок О. В. АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЯК ЗАСІБ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ / О. В. Циганок, А. В. Череп. // Випуск 22. – 2018. – С. 688–691.
2. Українська альтернативна енергетика: повільно, але стабільно [Електронний ресурс] // Baker Tilly Ukraine. – 5. – Режим доступу до ресурсу: <https://bakertilly.ua/news/id44270>.
3. Типи сонячних батарей [Електронний ресурс] // ПКП "ТЕХНОНОВАТОР" – Режим доступу до ресурсу: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/types-sun-battery-ua.html>.
4. Хрипко С. Л. Сонячні батареї створенні на основі низько-розмірних нанокompatитних структур / С. Л. Хрипко, В. В. Кідалов. // ЖУРНАЛ НАНОТА ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ. – 2016. – С. Том 8 № 4(2), 04071(10сс).
5. Герасимюк О. Типи сонячних батарей та їх ККД [Електронний ресурс] / О. Герасимюк // Компанія "Концепція Енергозбереження". – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/te7r02e>
6. Які сонячні панелі кращі - монокристалічні чи полікристалічні? [Електронний ресурс] // ГЕКСАГОН-ЕНЕРГІЯ Альтернатива енергії природи. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/me7rDpl>.
7. СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ [Електронний ресурс] // Центр альтернативних та відновлювальних джерел енергії. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: http://aesd.org.ua/?page_id=177.
8. Фотоелектричні панелі та їх типи [Електронний ресурс] // ТЕПЛОЦІЛЬ. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://xn--e1amaldqba1cbe.xn--j1amh/fotoelektricheskiye-paneli-i-ikh-tipy>
9. Синєглазов В. М. Перспективи розвитку гібридних енергетичних систем [Електронний ресурс] / В. М. Синєглазов // enerhodzherela.com.ua – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/ne7tUzD>.

10. Герасимюк О. SolarMill – гібридна установка, яка генерує енергію з вітру та сонячної енергії [Електронний ресурс] / О. Г // Компанія "Концепція Енергозбереження". – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/Ve7tXyT>

11. Гібрид вітрогенератора і сонячних панелей [Електронний ресурс] // ВІР. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://vir.uan.ua/hybrid-wind-turbineand-solar-panels/>.

12. Боровик Ю. Т. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ / Ю. Т. Боровик, Ю. В. Єлагін. // Вісник економіки транспорту і промисловості № 65. – 2019. – С. 68–75.

13. Касич А. О. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко. // Випуск 12. – 2017. – С. 93–99.

14. Patel K. A review about the straight-bladed vertical axis wind turbine (SBvawt) and its performance [Текст] / K. Patel, Y. Sarthi, A. Tirkey, P. K. Sen // International Journal for Innovative Research in Science and Technology. – 2014. – Vol. 1, No. 6. – P. 46-51.

15. ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ. – 2017. – С. 1–28.

16. Екологічні проблеми енергетики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pidruchniki.com/83047/tehnika/ekologichni_vitroenergetiki.

17. Основні причини пожеж [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://buklib.net/books/31855/>.

18. СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БУДИНКУ ТИПУ 0-ЕНЕРГІЇ (ПЛОЩЕЮ 300 м²) НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ. // ISSN 1815-2066. Nauka innov. – 2015. – С. 29–39.

19. Український гідрометеорологічний центр [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: . <https://cutt.ly/xe7yOtD>.

20. Щур І. З. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОКРЕМОГО ОБ'ЄКТА / І. З. Щур, В. І. Климко. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – С. 92–100.