

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.548:621.311.243:621.311

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

_____ /Каплун В.В./
(підпис)

_____ /Антипов
Є.О./

« _____ » _____ 2025 р.

_____ (підпис)
« _____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Дослідження ефективності роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Кривоносов В.Є.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

А. В. Петренко
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

С. Я. Поліщук
(ПІБ)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

к.т.н. доцент _____ Антипов Є.О.
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Поліщуку Сергію Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської роботи «Дослідження ефективності роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення» затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від 26.09.2024 р. №1665«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.05.2025

Вихідні дані до магістерської роботи: план даху будівлі, нормативні чинні документи, місця геолокації, каталоги обладнання.

Перелік питань, що підлягають дослідженню: які є особливості електричних навантажень приватного домогосподарства? Як розробити ефективну схему електроживлення споживачів від комбінованої вітросонячної установки? Яким чином виконується розрахунок електротехнічного обладнання вітросонячної системи? Як змодельовати роботу вітросонячної установки в умовах автономного електроживлення? Наскільки ефективно працює комбінована установка за різних параметрів і навантажень? Якими є екологічні переваги та перспективи розвитку вітросонячних систем в Україні? Яких заходів охорони праці та техніки безпеки слід дотримуватись при проєктуванні та експлуатації таких установок?

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «26» 09 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

А. В. Петренко

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

С. Я. Поліщук

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Київ, 2025 р.

Метою роботи є дослідження ефективності роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення приватного домогосподарства.

Об'єктом дослідження є вітросонячна установка для автономного електроживлення.

Предметом дослідження виступає її ефективність у забезпеченні стабільного електроживлення приватного домогосподарства.

У роботі проаналізовано навантаження приватного домогосподарства, визначено технічні вимоги до енергетичної системи, розроблено електричну схему установки, виконано вибір основного обладнання, здійснено електротехнічні розрахунки, а також проведено моделювання роботи системи у програмних середовищах PVsyst 7.3 та SAM. Окрему увагу приділено питанням енергетичної ефективності, екологічної доцільності та перспективам розвитку таких систем в Україні.

Загальний висновок цієї роботи полягає в тому, що вітросонячні установки є ефективним рішенням для забезпечення енергонезалежності приватних споживачів, особливо в умовах нестабільного електропостачання. Комбінування сонячної та вітрової генерації дозволяє компенсувати сезонні коливання виробництва енергії та оптимізувати використання акумуляторних ресурсів. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні автономних систем у сільській місцевості або районах із низькою надійністю централізованого енергопостачання.

До складу магістерської кваліфікаційної роботи входить 7 розділів, 77 сторінки, 42 рисунки, 4 таблиці, 8 формул, 30 використаних джерел інформації.

Ключові слова: вітросонячна установка, автономне електроживлення, сонячна електростанція, вітрогенератор, моделювання, енергонезалежність.

ABSTRACT

The master's qualification thesis in the specialty 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics" was completed at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2025.

The aim of the thesis is to investigate the efficiency of a wind-solar installation for autonomous power supply of a private household.

The object of the study is a wind-solar installation for autonomous power supply. The subject of the study is its efficiency in providing stable electricity supply to a private household.

The work analyzes the load profile of a private household, determines the technical requirements for the energy system, develops the electrical circuit of the installation, selects the main equipment, performs electrical calculations, and conducts system modeling using PVsyst 7.3 and SAM software environments. Particular attention is paid to issues of energy efficiency, environmental feasibility, and the prospects for the development of such systems in Ukraine.

The general conclusion of this work is that wind-solar installations are an effective solution for ensuring energy independence of private consumers, especially under conditions of unstable power supply. The combination of solar and wind generation helps to compensate for seasonal fluctuations in energy production and optimize the use of battery resources. The obtained results can be used in the design of autonomous systems in rural areas or regions with low reliability of centralized energy supply.

The master's qualification thesis includes 7 chapters, 77 pages, 42 figures, 4 tables, 8 formulas, and 30 sources of information.

Keywords: wind-solar installation, autonomous power supply, solar power plant, wind turbine, modeling, energy independenc

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЛІ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА ТА АНАЛІЗ УМОВ ЇЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	11
1.1. Характеристика навантаження будівлі приватного домогосподарства.....	11
1.2. Обґрунтування технічних і кліматичних вимог та параметрів для вибору вітросонячної установки.....	14
1.3. Аналіз вимог нормативних документів до систем автономного електроживлення.....	17
Висновки до розділу 1.....	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ВІД ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	19
2.1. Обґрунтування схеми для автономного електроживлення.....	19
2.2. Розробка електричної схеми вітросонячної установки.....	20
2.3. Опис методики розрахунку та вибору обладнання.....	22
Висновки до розділу 2.....	25
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	27
3.1. Розрахунок електричного навантаження.....	27

3.2. Вибір силового електричного обладнання.....	
29	
3.3. Розрахунок і вибір автономного інвертора напруги.....	30
3.4. Розрахунок ємності і вибір акумуляторних батарей.....	31
3.5. Розрахунок коефіцієнту корисної дії сонячної електричної системи.....	31
3.6. Розрахунок потужності вітросонячної установки.....	32
Висновки до розділу	
3.....	32
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.....	33

4.1. Опис схеми підключення вітросонячної установки до мережі домогосподарства.....	33
4.2. Вибір програми для моделювання роботи вітросонячної установки.....	34
4.3. Розробка моделі дослідження ефективності роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення.....	38
4.4. Моделювання роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення.....	39
Висновки до розділу	
4.....	47
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.....	48
5.1. Аналіз результатів моделювання роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення.....	48
5.2. Порівняння декількох варіантів використання вітросонячної установки з різними параметрами.....	51
5.3. Опис рекомендацій по застосуванні варіанту вітросонячної установки з кращими характеристиками.....	53
Висновки до розділу	
5.....	55
РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТРОСОНЯЧНИХ УСТАНОВОК В УКРАЇНІ	
.....	56
6.1. Вплив вітросонячних установок на довкілля та порівняння з традиційними джерелами енергії.....	56
6.2. Проблема утилізації сонячних панелей та акумуляторів.....	58
6.3. Перспективи впровадження автономних систем в Україні.....	61
Висновки до розділу	
6.....	63

РОЗДІЛ 7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	65
7.1. Загальні положення при автономному електроживленні будинку.....	65
7.2. Заземлення вітросонячної установки.....	66
7.3. Техніка безпеки при експлуатації вітросонячної установки.....	68
Висновки до розділу	
7.....	70

ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АС – змінний струм;
DC – постійний струм;
кВт – кіловат;
кВт·год – кіловат-година;
СЕС – сонячна електростанція;
ВЕС – вітроенергетична установка;
АКБ – акумуляторна батарея;
Інвертор – пристрій для перетворення постійного струму у змінний;
PVsyst – програмне забезпечення для моделювання сонячних енергосистем;
SAM – System Advisor Model – програмне забезпечення для моделювання енергетичних систем.

ВСТУП

Розвиток відновлюваної енергетики є одним із ключових напрямків сучасної науки і техніки, що сприяє зменшенню залежності від традиційних джерел енергії та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище. Одним із перспективних напрямків автономного електроживлення є використання комбінованих вітросонячних установок, які поєднують переваги сонячної та вітрової енергетики. Значне зростання попиту на енергетичну незалежність серед власників приватних домогосподарств вимагає розробки ефективних рішень для забезпечення стабільного та надійного електроживлення.

Поєднання сонячних панелей і вітрогенераторів дозволяє забезпечити безперервне постачання електроенергії протягом усього року, навіть за умов змінної погоди. Однак ефективність таких систем залежить від ряду факторів, зокрема від характеристик навантаження, кліматичних умов, а також правильного вибору обладнання. В Україні рівень інсоляції та швидкість вітру можуть суттєво змінюватися залежно від регіону, що впливає на стабільність роботи станцій. Крім того, для зберігання виробленої електроенергії необхідні акумуляторні батареї, які мають обмежений термін служби та високу вартість.

Світова статистика свідчить про зростаючу частку відновлюваних джерел енергії у загальному енергетичному балансі. В Україні також спостерігається позитивна динаміка розвитку альтернативної енергетики, зокрема завдяки державним програмам підтримки. Проте темпи впровадження таких систем поки що поступаються багатьом європейським країнам.

Актуальність дослідження обумовлена зростанням тарифів на електроенергію, підвищеним попитом на енергетичну незалежність, а також необхідністю розвитку екологічно чистих джерел енергії [1]. Методологія дослідження базується на математичному моделюванні, аналізі кліматичних факторів та розрахунках ефективності роботи системи за різних умов експлуатації. Використання спеціалізованих програм, таких як PVsyst [2] та SAM [3], дозволяє оцінити роботу

системи, розрахувати оптимальну конфігурацію обладнання та передбачити можливі втрати енергії.

Екологічні переваги таких систем полягають у зменшенні викидів парникових газів та зниженні залежності від викопного палива. Вони не створюють шкідливих викидів у процесі експлуатації та сприяють збереженню природних ресурсів. З економічної точки зору, попри значні початкові витрати, вітросонячні станції можуть бути вигідними у довгостроковій перспективі, оскільки дозволяють зменшити витрати на електроенергію. Водночас основними недоліками є висока вартість обладнання, необхідність періодичного технічного обслуговування та можливі перебої у виробленні енергії через нестабільні погодні умови.

Практична значущість роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для проектування автономних систем електроживлення. Дослідження ефективності вітросонячних електростанцій є важливим кроком для подальшого розвитку відновлюваної енергетики [4] та підвищення енергетичної незалежності [5] споживачів.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЛІ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА ТА АНАЛІЗ УМОВ ЇЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Характеристика навантаження будівлі приватного домогосподарства

Електричне навантаження приватного домогосподарства формується на основі сукупного використання побутових електроприладів, систем забезпечення життєдіяльності, освітлення, кухонного, опалювального, насосного та іншого електрообладнання, що необхідне для повсякденного комфортного проживання мешканців. Конкретні показники споживання значною мірою залежать від загальної площі будівлі, кількості осіб, які постійно проживають, а також від рівня електрифікації, наявності сучасної побутової техніки, систем автоматизації та сезонного режиму користування.

У середньому електроспоживання умовного приватного будинку, площею до 200 м², розташованого в сільській або приміській зоні, включає основні потреби в освітленні, приготуванні їжі, пранні, нагріві води, опаленні (у разі відсутності газу), а також у роботі систем водопостачання, охорони та зв'язку. Враховуючи типову конфігурацію таких житлових будівель, можна відзначити, що базове навантаження забезпечується побутовими електроприладами: холодильником, телевізором, комп'ютером, роутером, пральною машиною, зарядними пристроями тощо. Також суттєву частку споживання формують кухонні пристрої — електроплита, мікрохвильова піч, чайник, духовка. За наявності електричного бойлера для підігріву води, його добове споживання може складати відчутну частину загального навантаження.

Особливо важливим фактором при аналізі навантаження є наявність або відсутність електричного опалення. Якщо в будинку використовується електрокотел або тепловий насос, то добове навантаження зростає майже вдвічі, особливо в осінньо-зимовий період. Відповідно, влітку основну частину енергії споживає побутова техніка, освітлення та насосне обладнання, а в холодну пору року до них

додаються системи опалення, що створює пікові навантаження. В таких умовах необхідно враховувати добовий графік споживання: найбільша активність спостерігається зранку та у вечірній час, що відповідає періоду перебування мешканців удома.

Для оцінки середнього споживання електроенергії будинку площею 150-200 м² сформована таблиця середнього електроспоживання:

Таблиця 1.1.

Середнє добове електроспоживання будинку

Категорія споживання	Прилади	К-сть	Середня потужність, Вт	Час роботи, год/добу	Середнє споживання, кВт·год/добу
1	2	3	4	5	6
Освітлення	LED-лампи (10-12 Вт)	10-15	12	6	0,72 - 1,08
Холодильне обладнання	Холодильник	1	150	12	1,8
Кухонна техніка	Електроплита	1	2000	2	4
	Духова шафа	1	2500	1	2,5
	Мікрохвильова піч	1	1000	0,5	0,5
	Чайник електричний	1	2000	0,5	1
Опалювальні системи	Електричний котел / Тепловий насос	1	5000	5	2,5
Водопостачання	Насос для води	1	750	2	1,5
	Бойлер (100-150л)	1	1500	3	4,5

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6
Розважальна та побутова техніка	Телевізор	1-2	150	5	0,75 - 1,5
	Комп'ютер / ноутбук	1-2	200	4	0,8 - 1,6
	Wi-Fi роутер	1	15	24	0,36
Системи безпеки та автоматизації	Камери відеоспостереження	2-4	10	24	0,24 - 0,48
	Сигналізація	1	20	24	0,48
Додаткове обладнання	Зарядка електромобіля (за наявності)	1	7000	2	14
	Електроінструменти (періодичне використання)	-	1500	0,5	0,75

Загальне середньодобове споживання будинку залежить від сезону та характеру використання електроприладів:

Без електричного опалення $\approx 15-20$ кВт·год/добу

З електричним опаленням (електрокотел/тепловий насос) $\approx 40-50$ кВт·год/добу

Графік добового навантаження

Електроспоживання домогосподарства має змінний характер протягом доби:

Ранковий пік (6:00 - 9:00) - активне використання освітлення, приготування їжі, бойлер.

Денний спад (9:00 - 17:00) - зниження навантаження через відсутність мешканців.

Вечірній пік (17:00 - 23:00) - максимальне навантаження через активне користування освітленням, побутовими електроприладами та системами опалення.

Нічний мінімум (23:00 - 6:00) - робота холодильника, Wi-Fi роутера, сигналізації, зарядних пристроїв.

При проектуванні автономної енергосистеми важливо не лише визначити середньодобове енергоспоживання, але й врахувати нерівномірність навантаження, оскільки саме ці піки мають визначальний вплив на вибір потужності інвертора, ємності акумуляторної батареї, а також потужності генерації з відновлюваних джерел. Крім того, необхідно враховувати втрати енергії при її зберіганні та перетворенні, що вимагає додаткового запасу генерації та резерву потужності.

Наявність нічного споживання, яке покривається переважно за рахунок акумульованої енергії, створює потребу в якісній системі накопичення електроенергії. В умовах слабкої інсоляції або низької швидкості вітру в певні періоди, накопичена енергія стає критично важливою для забезпечення стабільної роботи будинку. Саме тому на етапі аналізу електричного навантаження важливо не лише оцінити середні показники, але й врахувати екстремальні сценарії споживання та погодні умови.

Загалом, розуміння структури та особливостей електричного навантаження домогосподарства є одним з ключових факторів при створенні ефективної системи автономного електроживлення. Це дозволяє не лише оптимізувати конфігурацію обладнання, а й досягти максимальної ефективності в умовах змінного навантаження та обмежених ресурсів генерації.

1.2. Обґрунтування технічних і кліматичних вимог та параметрів для вибору вітросонячної установки

Автономна вітросонячна установка для електроживлення приватного домогосподарства повинна відповідати технічним і кліматичним умовам місцевості, а також потребам споживачів. Для правильного вибору її параметрів необхідно враховувати такі фактори:

Ключовими параметрами, що впливають на ефективність роботи сонячних панелей та вітрогенераторів, є:

Сонячна інсоляція (кількість сонячної енергії, що надходить на одиницю площі), середньорічна швидкість вітру та її сезонні коливання, температурний режим та його вплив на продуктивність обладнання, тривалість світлового дня у різні періоди року.

Для України середні значення сонячної інсоляції становлять 3,0-4,5 кВт·год/м²/день у літній період та 1,0-2,5 кВт·год/м²/день взимку. Найбільш сприятливі регіони для встановлення сонячних електростанцій - південь і центр країни.

Щодо вітроенергетики, ефективність роботи вітрогенератора визначається середньорічною швидкістю вітру. Для стабільної роботи необхідно, щоб середня швидкість вітру на висоті установки була не менше 3-4 м/с, а оптимально - 5-7 м/с. Найкращі умови для вітроенергетики в Україні спостерігаються на узбережжі Чорного та Азовського морів, у відкритих степових зонах та Карпатах.

Вибір параметрів сонячної електростанції

Основні параметри, які слід врахувати при виборі сонячних панелей:

Загальна потужність сонячних панелей - визначається на основі середньодобового споживання електроенергії. Для домогосподарства з середнім споживанням 15-20 кВт·год/добу потрібно встановити сонячні панелі потужністю 30 кВт.

Тип панелей - монокристалічні (висока ефективність, але дорожчі) або полікристалічні (дешевші, але менш ефективні).

Кут нахилу та орієнтація - для України оптимальний кут нахилу становить 30-40°, орієнтація - на південь.

Сезонний коефіцієнт генерації - враховує зменшення виробітку взимку через короткий світловий день і снігове покриття.

Вибір параметрів вітрогенератора

Для підвищення автономності системи рекомендується встановлення вітрогенератора, який буде забезпечувати енергопостачання у нічний час та в періоди низької сонячної активності. Основні критерії вибору:

Потужність - для домогосподарства рекомендується вітрогенератор 1-3 кВт залежно від середньої швидкості вітру.

Тип генератора - осьові (традиційні) або вертикальні (краще підходять для малих швидкостей вітру).

Висота щогли - зазвичай 6-12 м, щоб уникати турбулентності.

Мінімальна робоча швидкість вітру - для більшості моделей це 3-4 м/с.

Вибір акумуляторної системи

Для забезпечення безперервного живлення вітросонячна установка повинна мати накопичувальну систему - акумуляторні батареї. Основні параметри вибору:

Загальна ємність АКБ - розраховується виходячи з добового споживання та часу резервного живлення (оптимально - на 1-2 доби). Наприклад, для будинку зі споживанням 15-20 кВт·год/добу потрібно батареї на 20-30 кВт·год.

Тип АКБ - літій-іонні (довговічніші, вищий ККД) або свинцево-кислотні (дешевші, але потребують частішої заміни).

Глибина розряду - для літій-іонних батарей рекомендується не перевищувати 80%, для свинцево-кислотних - 50%.

Ефективність комбінування сонячної та вітрової генерації

Поєднання сонячної генерації вдень та вітрової генерації вночі дозволяє зменшити потребу в акумуляторних батареях та забезпечити стабільне енергопостачання.

При проектуванні системи важливо провести аналіз генерації та споживання для визначення оптимального співвідношення потужностей сонячних панелей і вітрогенератора. Для типового домогосподарства з річним споживанням 5000-7000 кВт·год рекомендується:

Сонячні панелі - 30 кВт

Вітрогенератор - 2-3 кВт

Акумуляторна система - 20-30 кВт·год

1.3. Аналіз вимог нормативних документів до систем автономного електроживлення

При проектуванні автономної вітросонячної установки необхідно враховувати чинні нормативні документи, які регламентують безпечну експлуатацію, технічні вимоги та підключення обладнання. Основними нормативно-правовими актами, що регулюють питання автономного електроживлення в Україні, є:

ДБН В.2.5-23:2010 - регулює вимоги до інженерних мереж та споруд, зокрема до електропостачання приватних житлових будинків [6].

ПУЕ (Правила улаштування електроустановок) - містить вимоги щодо безпечного монтажу, підключення та експлуатації електроустановок, включаючи альтернативні джерела енергії [7].

Закон України "Про ринок електричної енергії" - визначає правові засади використання альтернативних джерел енергії, включаючи можливість продажу надлишкової електроенергії в мережу [8].

ДСТУ ІЕС 60364-7-712:2019 - визначає вимоги щодо проектування та безпечного монтажу фотоелектричних систем [9].

Ключовими вимогами до автономних електроустановок є забезпечення безперервного електропостачання, дотримання заходів електробезпеки та ефективне використання енергії. Для цього необхідно виконати правильний вибір і розрахунок обладнання, забезпечити надійний захист від перенапруг та коротких замикань, а також передбачити системи заземлення та грозозахисту.

Щодо фотоелектричних модулів, вони повинні відповідати міжнародним стандартам ІЕС 61215 (для кристалічних кремнієвих панелей) [10] та ІЕС 61730 (вимоги безпеки для сонячних модулів). [11] Інвертори мають відповідати стандарту ІЕС 62109 [12], який регулює їх безпеку, а акумуляторні батареї повинні відповідати стандартам ІЕС 60896 (для стаціонарних акумуляторів) [13] та ІЕС 61427 (вимоги до батарей у фотоелектричних системах) [14].

Для монтажу системи автономного електроживлення необхідно дотримуватися вимог ПУЕ [7] щодо розташування кабелів, способу їх прокладання та рівня

електромагнітного випромінювання. Окрему увагу потрібно приділити заземленню системи – воно має відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 60364-5-54:2012, [15] щоб запобігти ураженню електричним струмом і пошкодженню обладнання внаслідок грозових перенапруг.

Таким чином, при розробці автономної вітросонячної установки необхідно враховувати як міжнародні, так і українські стандарти. Це забезпечить не лише її безпечну експлуатацію, але й відповідність технічним нормам, що є важливим у разі інтеграції з існуючими мережами або подальшої сертифікації.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто основні аспекти автономного електропостачання приватного домогосподарства, включаючи характеристики навантаження, вимоги до вибору вітросонячної установки та нормативні документи. Аналіз показав, що для ефективного електропостачання будинку площею 150-200 м² доцільно використовувати сонячні панелі потужністю 30 кВт, вітрогенератор на 2-3 кВт та акумуляторну систему на 20-30 кВт·год. Вибір обладнання має базуватися на технічних, кліматичних та нормативних вимогах, щоб забезпечити стабільне та безпечне функціонування системи.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ВІД ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Обґрунтування схеми для автономного електроживлення

Автономне електроживлення приватного домогосподарства вимагає стабільного та безперервного постачання електроенергії. Вибір джерел електроживлення залежить від особливостей енергоспоживання будинку, кліматичних умов та можливостей накопичення енергії.

У випадку села Мирогоща Дубенського району Рівненської області, де середній час відсутності електроенергії може становити 8-12 годин, доцільно використовувати комбіновану вітросонячну установку. Вона дозволяє:

- використовувати сонячну енергію у світлий час доби;
- використовувати енергію вітру під час недостатньої сонячної активності;
- накопичувати електроенергію в акумуляторних батареях для використання в нічний час або у періоди низької генерації;
- забезпечити резервне живлення основних побутових приладів при зникненні електроенергії в мережі.

На основі проведених розрахунків розроблено блок-схему автономного електроживлення (див. рис. 2.1).

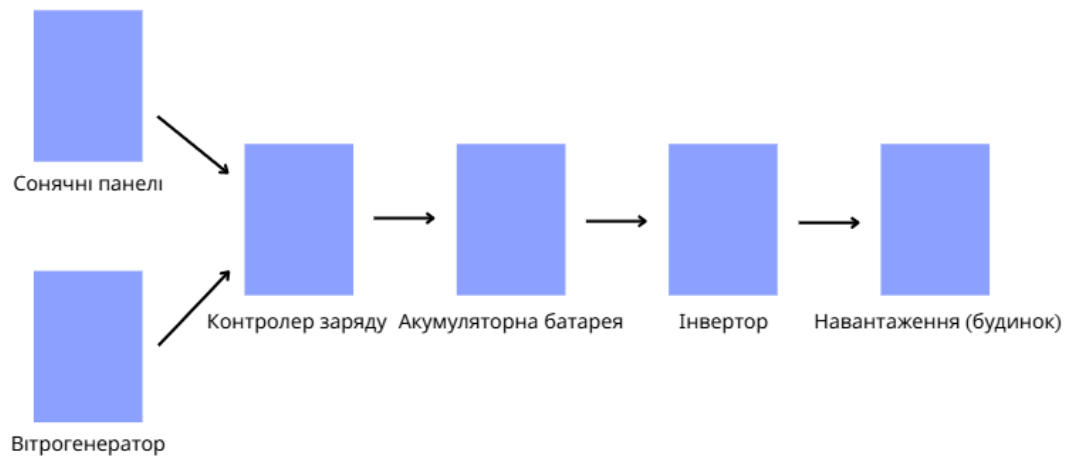


Рис. 2.1. Блок-схема автономної вітросонячної установки

Основні елементи системи:

1. Сонячні панелі - встановлені на даху, орієнтовані на південь.
2. Вітрогенератор - встановлений на щоглі 8-12 м, оптимізований для середньорічної швидкості вітру 4-6 м/с.
3. Акумуляторна батарея (ємність буде розрахована в наступному розділі).
4. Контролер заряду МРРТ - забезпечує ефективне використання енергії.
5. Інвертор.
6. Система автоматичного управління – розподіляє енергію між навантаженням і АКБ.

2.2. Розробка електричної схеми вітросонячної установки

Для забезпечення безперервного та ефективного електропостачання споживачів у автономній системі енергоживлення була розроблена структурна електрична схема вітросонячної установки (рис. 2.2).

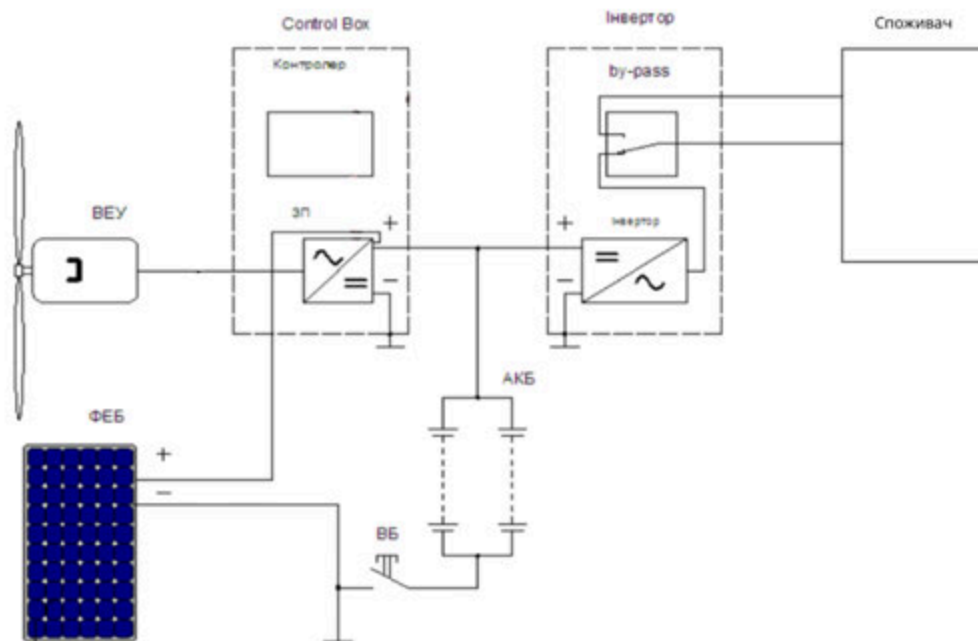


Рис. 2.2. Електрична схема вітросонячної установки

Система призначена для поєднання енергії з двох альтернативних джерел - сонячної фотоелектричної батареї (ФЕБ) та вітроелектричної установки (ВЕУ) - з метою накопичення енергії в акумуляторній батареї (АКБ) та її подальшого розподілу серед побутових і господарських споживачів.

Основними елементами схеми є:

Вітроелектрична установка (ВЕУ) - забезпечує перетворення енергії вітру в електричну енергію змінного струму. Через вузол захисту (УБ) та контролер здійснюється її стабілізація та передача до накопичувальної системи.

Фотоелектрична батарея (ФЕБ) - служить джерелом постійного струму, енергія з якої подається через вузол захисту (ВБ) на акумуляторну батарею (АКБ).

Акумуляторна батарея (АКБ) - призначена для накопичення електроенергії від ФЕБ та ВЕУ. Забезпечує енергопостачання споживачів у моменти відсутності вітру та сонячного випромінювання.

Інвертор з функцією by-pass - виконує перетворення постійного струму з АКБ у змінний для живлення споживачів. Ву-pass режим дозволяє напряму підключати споживачів до зовнішньої електромережі у разі недостатнього заряду акумуляторів.

Розроблена схема дозволяє забезпечити стабільність електропостачання незалежно від погодних умов та сезонних коливань. Завдяки використанню комбінованого джерела енергії та системи автоматичного контролю споживання, відбувається раціональне використання наявних ресурсів та мінімізація витрат на електроенергію.

2.3. Опис методики розрахунку та вибору обладнання

У процесі розробки проєкту комбінованої вітросонячної установки для автономного електроживлення важливо правильно підібрати як саму методику розрахунків, так і програмні засоби, які будуть використані для моделювання та аналізу ефективності системи. Точність вихідних даних, коректне врахування кліматичних особливостей регіону та характеристик споживання дозволяють створити робочу, економічно доцільну та технічно обґрунтовану модель системи. Враховуючи, що джерела живлення базуються на відновлюваній енергетиці, важливо не лише забезпечити стабільну генерацію, а й ефективно поєднати роботу обох компонентів – сонячної та вітрової частин – з метою досягнення максимальної автономності.

Основним інструментом для моделювання роботи сонячної електростанції обрано програмне забезпечення PVsyst версії 7.3 [2] (зображено на рис. 2.2.), яке є одним з найпоширеніших рішень у сфері сонячної енергетики.



Рис. 2.2. Програмне забезпечення PVsyst 7.3

Ця програма дозволяє проводити детальне проектування фотоелектричних систем із врахуванням географічного розташування, кута нахилу панелей, орієнтації відносно сторін світу, типу обладнання (інверторів, модулів, трекерів), а також втрат на етапах передачі енергії. В PVsyst реалізовано великий набір баз даних з кліматичних параметрів, включаючи інсоляцію, температуру навколишнього середовища, а також змодельовані погодні сценарії для конкретного регіону. Крім того, це програмне забезпечення дозволяє візуально оцінити результат у вигляді графіків виробітку, сезонного розподілу генерації, добових циклів та втрат.

Для аналізу роботи вітрової частини системи передбачається використання програмного комплексу SAM (System Advisor Model) [3] (зображено на рис. 2.3.), розробленого Національною лабораторією відновлюваної енергетики США (NREL).



Рис. 2.3. Програмне забезпечення SAM

Ця програма дозволяє будувати математичну модель вітроенергетичної установки з урахуванням висоти щогли, діаметра ротора, розрахункової потужності, коефіцієнта турбулентності (shear coefficient), а також погодних умов (середньорічна швидкість вітру, напрямок, сезонні коливання). SAM дає змогу змодельовати профіль генерації вітряка протягом року, визначити моменти максимуму та мінімуму

генерації, а також оцінити вплив мікрокліматичних умов на продуктивність установки. Крім того, ця програма дозволяє виконувати техніко-економічний аналіз проекту, з урахуванням вартості обладнання, монтажу, обслуговування, терміну окупності, амортизації, що є цінним при складанні повного техніко-економічного обґрунтування.

Крім цих двох основних програм, для окремих обчислень використовуються базові розрахункові методики, які передбачають аналіз середньодобового енергоспоживання на основі переліку електроприладів, їх потужності та часу роботи. Визначення пікового навантаження та добового енергетичного балансу є важливим етапом для правильного підбору інвертора, а також ємності акумуляторної батареї. Для акумуляторів береться до уваги не лише добове споживання, а й бажаний рівень автономії в умовах відсутності генерації, що передбачає обсяг накопичення енергії на 1–3 доби. Це дозволяє врахувати похмурі дні взимку, нічний період, а також низькі температури, які впливають на ефективність зарядно-розрядних циклів.

При виборі обладнання застосовуються технічні характеристики конкретних моделей, зібрані з офіційних каталогів виробників, інтернет-платформ дистриб'юторів та сертифікатів відповідності. При підборі інвертора враховується запас потужності не менше 10-20% від максимальної величини навантаження, а також коефіцієнт перевантаження. Окремо проводиться оцінка втрат в лініях, трансформації постійного струму в змінний, а також втрати на погодні умови, запилення панелей, температурні коливання.

Важливою частиною методології є також нормативно-правова база, яка регламентує вимоги до проектування та експлуатації сонячних і вітрових електростанцій в Україні. Зокрема, при розрахунках і виборі обладнання враховуються вимоги таких документів, як:

- ДСТУ Б В.2.5-38:2008 - регламентує правила проектування інженерного обладнання будівель із застосуванням сонячних енергетичних систем; [16]

- ДСТУ EN 61400-1:2018 - визначає технічні вимоги до проектування вітроустановок, їх стійкість до вітрових навантажень, вібрацій та довговічність; [17]
- ДСТУ ISO 9459-2:2019 - описує методологію випробувань сонячних систем гарячого водопостачання, що частково дотичне при застосуванні сонячних установок; [18]
- ДСТУ 8635:2016 - визначає загальні вимоги до енергоефективності будівель, що враховуються при розрахунку споживання [19].

Крім того, в якості додаткових джерел даних використовуються метеорологічні та кліматичні бази даних, такі як PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [20], база NASA Power Data [21], а також ресурси Global Solar Atlas [22] та Global Wind Atlas [23]. Це дозволяє отримати погодинну або щомісячну статистику по сонячній радіації та швидкості вітру для конкретної місцевості, що значно підвищує точність моделювання.

Таким чином, у процесі моделювання та проектування автономної вітросонячної установки передбачається комплексне використання як програмних засобів світового рівня, так і класичних методик технічного розрахунку з урахуванням українських нормативів. Такий підхід дозволяє не лише отримати максимально точні результати, але й забезпечує узгодженість проекту з чинною нормативною базою, а також практичну реалізованість установки.

Висновки до розділу 2

Для забезпечення автономного електропостачання приватного будинку в селі Мирогоща Дубенського району Рівненської області було запропоновано використання комбінованої системи електроживлення на основі відновлюваних джерел енергії. У системі поєднуються два типи генераторів – сонячні панелі та вітрогенератор, що дозволяє забезпечити більш стабільне та надійне електропостачання впродовж усього року з урахуванням сезонних змін погодних умов.

Таке рішення обрано з урахуванням географічних та кліматичних особливостей регіону, де сонячна активність проявляється переважно у весняно-літній період, а вітрові ресурси можуть бути ефективно використані в осінньо-зимову пору року. Поєднання цих двох джерел дозволяє вирівняти добовий та сезонний графік генерації електроенергії та значно зменшити потребу в резервних джерелах живлення або надлишкових акумуляторах.

Також передбачено використання системи накопичення енергії та інверторного обладнання для забезпечення безперервності електропостачання, балансування навантажень та перетворення струму до параметрів, необхідних для живлення побутових приладів. Розглядається варіант застосування акумуляторного модуля, який дозволить накопичувати енергію в денний час або в періоди надлишкової генерації, а потім використовувати її вночі або в моменти низької активності природних джерел.

Запропонована система є перспективною для використання у віддалених районах або в умовах нестабільної роботи централізованої електромережі. Вона спрямована на підвищення енергонезалежності домогосподарства, зниження витрат на електроенергію у довгостроковій перспективі та зменшення негативного впливу на довкілля шляхом використання екологічно чистих джерел енергії.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІТРОСОНЯЧНОЇ
УСТАНОВКИ

3.1 Розрахунок електричного навантаження

Для забезпечення автономного електропостачання приватного будинку необхідно визначити основні параметри споживання електроенергії, виходячи з даних таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Електричне навантаження будинку

Прилади	Кількість	Середня потужність, Вт	Час роботи, год/добу	Середнє споживання, кВт·год/добу
1	2	3	4	5
LED-лампи (10-12 Вт)	12	12	6	0,86
Холодильник	1	150	12	1,8
Електроплита	1	2000	2	4
Духова шафа	1	2500	1	2,5
Мікрохвильова піч	1	1000	0,5	0,5
Чайник електричний	1	2000	0,5	1
Насос для води	1	750	2	1,5
Бойлер (100-150 л)	1	1500	3	4,5
Телевізор	2	150	5	1,5
Комп'ютер/ ноутбук	2	200	4	1,6
Wi-Fi роутер	1	15	24	0,36

Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5
Камери відеоспостереження	3	10	24	0,36
Сигналізація	1	20	24	0,48
Разом	-	-	-	19,5 кВт*год

Загальне добове споживання електроенергії:

Сумарна електроенергія, необхідна для живлення всіх електроприладів, становить:

$$W_{\text{доб}} = 19,5 \text{ кВт} \times \text{год} \quad (3.1)$$

Розрахунок пікової потужності:

Пікове навантаження виникає при одночасному увімкненні декількох потужних споживачів, таких як електроплита, духовка шафа, бойлер і насос. Розрахуємо приблизну пікову потужність:

$$P_{\text{max}} = P_{\text{плита}} + P_{\text{духовка}} + P_{\text{бойлер}} + P_{\text{насос}} + P_{\text{холодильник}} \quad (3.2)$$

$$P_{\text{max}} = 2000 + 2500 + 1500 + 750 + 150 = 6900 \text{ Вт} = 6,9 \text{ кВт}$$

Враховуючи коефіцієнт одночасності 0,7 (оскільки всі пристрої рідко працюють одночасно), отримаємо скориговану пікову потужність:

$$P_{\text{кор}} = 6,9 \times 0,7 = 4,83 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

Отже, для системи потрібно підбирати інвертор, здатний витримувати навантаження не менше 5 кВт.

3.2. Вибір силового електричного обладнання

Для забезпечення електроживлення необхідно підібрати такі основні компоненти:

- сонячні панелі – визначають потужність сонячної частини системи.
- вітрогенератор – компенсує недолік генерації в темний час доби.
- акумуляторні батареї – накопичують електроенергію для використання у нічний час.
- інвертор – перетворює постійний струм у змінний і забезпечує стабільність напруги в мережі.

Вибір сонячних панелей

Енергія, яку потрібно отримати від сонячних панелей за день, розраховується так:

$$W_{\text{сон}} = W_{\text{доб}} \times K_{\text{еф}} \quad (3.4)$$

де, $K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності системи ($\approx 0,8$, враховуючи втрати).

$$W_{\text{сон}} = 19,5 \times 1,2 = 23,4 \text{ кВт}$$

Середня сонячна радіація у Рівненській області влітку ≈ 4 кВт·год/м²/добу. Для підрахунку необхідної потужності панелей:

$$P_{\text{пан}} = \frac{W_{\text{сон}}}{4 \times \eta_{\text{пан}}} \quad (3.5)$$

де, $\eta_{\text{пан}}$ – середній ККД сонячних панелей ($\approx 0,18$).

$$P_{\text{пан}} = \frac{23,4}{4 \times 0,18} \approx 32,5 \text{ кВт}$$

При використанні панелей потужністю 500 Вт, потрібно:

$$N_{\text{пан}} = \frac{32,5}{0,5} = 65 \text{ панелей}$$

(3.6)

Вибір вітрогенератора

Для компенсації нестачі сонячної генерації в нічний час потрібно забезпечити хоча б 30-40% від добового споживання.

$$W_{\text{вітро}} = 0,35 \times W_{\text{доб}}$$

(3.7)

$$W_{\text{вітро}} = 0,35 \times 19,5 = 6,83 \text{ кВт/год}$$

При середній швидкості вітру 4 м/с та ефективності вітрогенератора 30%, обираємо установку потужністю 2-3 кВт.

3.3. Розрахунок інвертора

Вибираємо інвертор з урахуванням:

- пікового навантаження: ≈ 30 кВт
- напруги акумуляторної системи: 48 В

Рекомендована модель - інвертор 30 кВт, 48 В.

3.4. Розрахунок ємності акумуляторів

Зберігання електроенергії на нічне споживання:

$$W_{\text{акб}} = 0,5 \times W_{\text{доб}}$$

(3.8)

$$W_{\text{акб}} = 0,5 \times 19,5 = 9,75 \text{ кВт/год}$$

При напрузі 48 В потрібна ємність:

$$C_{\text{акум}} = \frac{W_{\text{акб}}}{U_{\text{акб}} \times \text{ефективність}}$$

(3.9)

Вибираємо акумуляторні батареї LiFePO4 48 В, 250 А·год.

3.5. Розрахунок ККД сонячної електросистеми

Коефіцієнт корисної дії (ККД) визначається як відношення корисної енергії до спожитої:

$$\eta = \frac{W_{\text{кор}}}{W_{\text{вх}}} \times 100\%$$

(3.10)

З урахуванням втрат на інверторі, АКБ та проводах:

$$\eta = \frac{19,5}{23,4} \times 100\% = 83\%$$

3.6. Розрахунок потужності вітросонячної установки

Сумарна потужність:

$$P_{\text{система}} = P_{\text{сон}} + P_{\text{вітро}}$$

(3.11)

$$P_{\text{система}} = 32,5 + 3 = 35,5 \text{ кВт}$$

З урахуванням запасу, обираємо систему $\approx 36\text{-}38$ кВт.

Висновки до розділу 3

У даному розділі проведено розрахунок необхідної потужності вітросонячної енергетичної установки для забезпечення електропостачання житлового будинку площею 150 м². В результаті аналізу добового енергоспоживання визначено, що середнє споживання електроенергії становить $\approx 19,5$ кВт·год/добу, що є основним параметром для вибору відповідного обладнання.

На основі отриманих даних було здійснено підбір сонячних панелей, вітрогенератора, акумуляторної системи та інвертора. Загальна встановлена потужність системи дозволяє повністю покрити потреби домогосподарства, а також створити резерв енергії для менш сонячних або вітряних днів.

Отримані результати показують, що обрані параметри системи є достатніми для автономного живлення будинку, а правильний вибір обладнання сприяє стабільній роботі всієї енергетичної установки.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

4.1. Опис схеми підключення вітросонячної установки до мережі домогосподарства

Для забезпечення автономного електропостачання житлового будинку використовується комбінована вітросонячна енергетична установка. Основними елементами цієї системи є:

Сонячні панелі - перетворюють сонячну енергію в електричну.

Вітрогенератор - генерує електроенергію за рахунок сили вітру.

Контролер заряду - регулює процес заряджання акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї (АКБ) - накопичують електроенергію для використання в періоди низької генерації.

Інвертор - перетворює постійну напругу від АКБ у змінну напругу 220 В, необхідну для роботи побутових приладів.

Автоматичні перемикачі та захисне обладнання - забезпечують безпеку роботи системи.

Схема підключення будується таким чином, щоб максимально ефективно використовувати отриману електроенергію. Сонячні панелі та вітрогенератор підключаються до контролера заряду, який регулює подачу енергії до акумуляторів. Від АКБ живлення подається на інвертор, де відбувається перетворення в змінну напругу.

За нормальних умов роботи система функціонує автономно, використовуючи відновлювані джерела енергії. Якщо ж виробленої енергії недостатньо (наприклад, у безвітряні чи похмурі дні), передбачається можливість підключення до зовнішньої електромережі як резервного джерела живлення.

Схема підключення вітросонячної установки зображена на рис 4.1

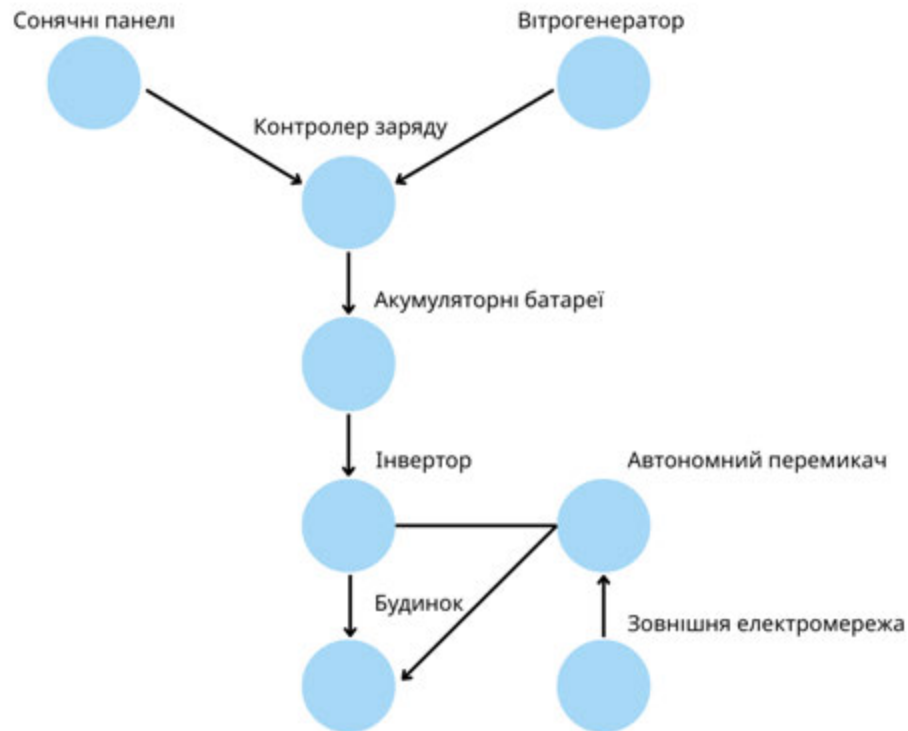


Рис. 4.1. Схема підключення вітросонячної установки

Завдяки такій схемі можна забезпечити стабільне електропостачання будинку, мінімізуючи залежність від централізованої мережі.

4.2. Вибір програми для моделювання роботи вітросонячної установки

Для моделювання ефективності роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення використано програмне забезпечення PVsyst 7.3 [2]. Це одна з найпоширеніших програм для аналізу фотовольтаїчних (сонячних) електростанцій, яка дозволяє виконувати детальні розрахунки, оцінювати виробіток енергії та враховувати кліматичні умови конкретного регіону.

Основні можливості PVsyst 7.3 [2]:

- програма дозволяє оцінити, скільки енергії вироблятиме система на основі даних про сонячну радіацію та ефективність панелей.
- можна задати тип панелей, кут їх нахилу, тип акумуляторних батарей, характеристики інвертора тощо.

- модуль моделювання тіньових ефектів дозволяє проаналізувати втрати через затінення від будівель або дерев.

- PVsyst використовує метеорологічні бази [22] [23], що дозволяють отримати реальні погодні умови для заданої місцевості.

- у програмі можна змоделювати, як система працюватиме в умовах автономного електроживлення та чи вистачить накопиченої енергії для покриття потреб споживачів.

Обґрунтування вибору PVsyst 7.3 [2].

PVsyst 7.3 [2] було обрано для моделювання, оскільки:

- програма дозволяє проводити детальні розрахунки роботи не лише сонячних, а й комбінованих енергосистем, що включають вітрогенератори та акумуляторні батареї.

- інтерфейс програми інтуїтивно зрозумілий і дозволяє вводити параметри обладнання вручну або вибирати з великої бази готових моделей.

- PVsyst широко використовується в наукових дослідженнях та реальних проєктах для аналізу роботи сонячних та гібридних систем.

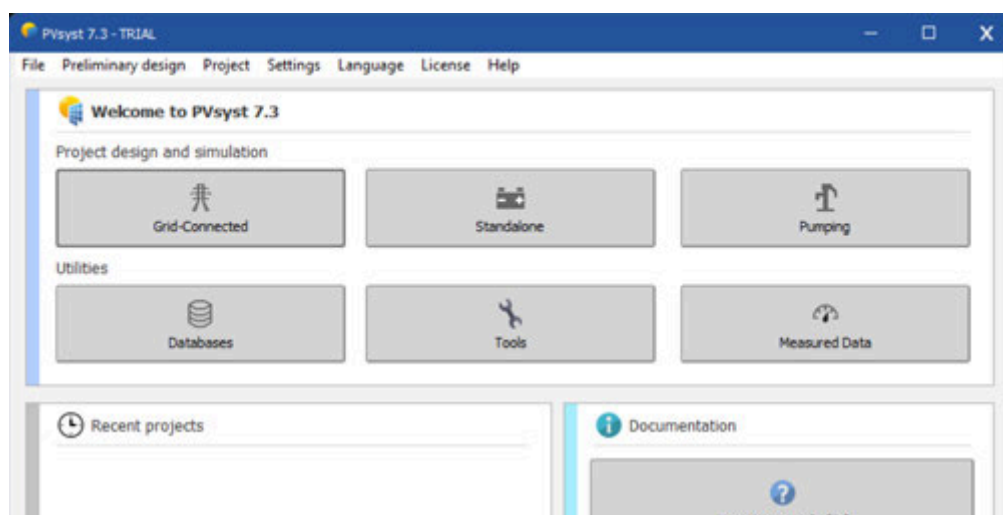


Рис. 4.2. Головне меню PVsyst 7.3

На основі обраної програми буде здійснено подальше моделювання роботи вітросонячної установки, що дозволить оцінити її ефективність у конкретних умовах експлуатації.

Для моделювання роботи вітрової складової комбінованої вітросонячної установки, а також для загальної оцінки ефективності автономного енергозабезпечення, використано програмне забезпечення System Advisor Model (SAM) [3]. Цей програмний продукт був розроблений Національною лабораторією відновлюваної енергетики США (NREL) та є одним із найпотужніших безкоштовних інструментів для техніко-економічного аналізу енергетичних систем, зокрема таких, що базуються на відновлюваних джерелах енергії.

Основні можливості програми SAM:

- програма дозволяє моделювати як окремі типи установок (вітрові, сонячні, біоенергетичні, гідроелектричні тощо), так і комбіновані системи.
- для вітрових установок користувач може вибирати як готові турбіни з вбудованої бібліотеки, так і вводити власні параметри вручну (висота щогли, діаметр ротора, коефіцієнт турбулентності, графік потужності тощо).
- враховується вплив середньорічної та сезонної швидкості вітру, напрямку вітрових потоків, густини повітря, а також метеорологічні параметри регіону, які можна завантажити із кліматичних баз NREL [24] або ввести самостійно.
- можна моделювати профіль генерації за годинами, днями та місяцями, аналізувати втрати, ефективність, графіки виробітку та навантаження.
- окремим блоком реалізовано економічну оцінку: розраховується вартість установки, експлуатаційні витрати, прогнозується термін окупності, можливість отримання доходу за «зеленим тарифом» (якщо система підключена до мережі).
- підтримується введення даних для повністю автономних систем з акумуляторами, резервними генераторами, сонячними панелями та вітровими турбінами.

Програма SAM [3] була обрана для моделювання вітрової складової системи з кількох причин. По-перше, вона надає можливість детально врахувати параметри конкретної турбіни або ввести індивідуальні значення. Це важливо, оскільки багато

недорогих побутових вітряків не мають стандартних паспортів у міжнародних бібліотеках, і дані потрібно вводити вручну. По-друге, SAM [3] дозволяє враховувати саме ті погодні умови, які характерні для конкретної місцевості, що підвищує точність розрахунків. Програма використовує потужну кліматичну базу даних NREL AWS Truerpower [24], яка охоплює широкий спектр географічних регіонів, у тому числі й схожі до клімату України умови. По-третє, SAM [3] дає змогу моделювати сценарії автономної роботи з оцінкою впливу розмірів акумуляторної системи на стабільність енергопостачання, що є критично важливим для проєктів автономних домогосподарств. І додатковою перевагою є можливість одразу оцінити економічну доцільність впровадження такої системи, її окупність, щорічну генерацію та потенційне зменшення витрат на електроенергію.

Інтерфейс програми SAM [3] побудований таким чином, що користувач крок за кроком проходить усі етапи моделювання: введення технічних характеристик установки, вибір кліматичних даних, налаштування системи акумуляції та графіка споживання. Після цього система автоматично формує таблиці та графіки з результатами, які можна експортувати у вигляді PDF-звітів, таблиць Excel або використовувати для візуалізації.

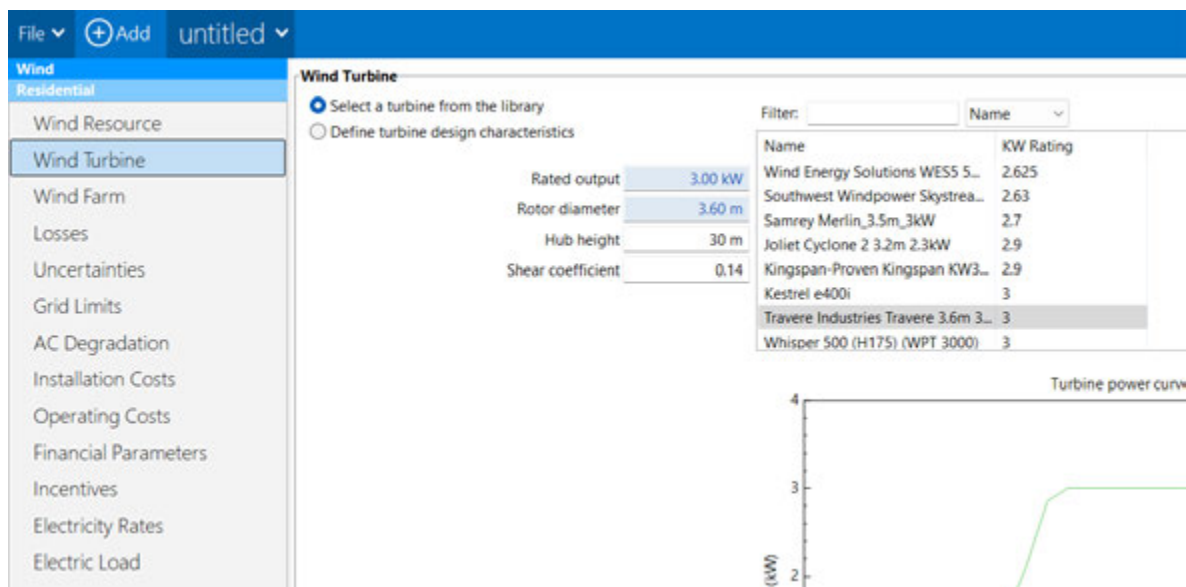


Рис. 4.3. Головне вікно модуля Wind Turbine в програмі SAM, приклад з налаштованою моделлю автономної турбіни потужністю 3 кВт

На основі обраної програми буде змодельовано роботу вітрової частини системи в умовах, наближених до реального клімату Рівненської області, що дозволить визначити її внесок у загальну генерацію, оцінити продуктивність у холодний період року та прийняти обґрунтоване рішення щодо вибору вітротурбіни в проєкті.

4.3. Розробка моделі дослідження ефективності роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення

Щоб зрозуміти, як працюватиме вітросонячна установка у реальних умовах, необхідно створити її модель у програмі PVsyst 7.3 [2]. Це дозволить оцінити, скільки електроенергії система може виробляти в різні періоди року, як впливатимуть погодні умови на її роботу та чи зможе вона забезпечити всі потреби будинку.

Вихідні дані для моделювання

Перед початком моделювання потрібно вказати основні параметри:

- місце встановлення - с. Мирогоща, Дубенський район, Рівненська область.
- середня швидкість вітру - 3-5 м/с.
- середнє добове споживання електроенергії розраховане у попередніх розділах.
- обрана потужність сонячних панелей та вітрогенератора враховуючи потреби будинку.

- акумуляторні батареї необхідні для накопичення енергії та забезпечення живлення у вечірній та нічний час.

Процес моделювання у PVsyst [2].

У програмі PVsyst [2] вводяться всі вихідні дані, після чого вона виконує розрахунки та аналізує роботу системи. Основні етапи моделювання:

1. Введення кліматичних даних місцевості.
2. Вибір і налаштування параметрів сонячних панелей (кут нахилу, кількість).

3. Визначення характеристик вітрогенератора.
4. Вибір акумуляторної системи та її параметрів.
5. Аналіз втрат у системі.

Очікувані результати.

Після моделювання можна буде отримати такі результати:

1. Очікуваний рівень генерації електроенергії протягом року.
2. Вплив погодних умов на роботу системи.
3. Чи достатньо потужності для забезпечення автономного електроживлення будинку.
4. Які параметри можна покращити для ефективнішої роботи системи.

Отримані результати допоможуть зробити висновки щодо доцільності встановлення такої системи та можливих шляхів її оптимізації.

4.4. Моделювання роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення

Після внесення всіх необхідних даних у програму PVsyst 7.3 [2] проводиться моделювання роботи вітросонячної установки. Це дозволяє отримати оцінку ефективності генерації електроенергії за різних умов та визначити, наскільки система може покрити потреби домогосподарства.

Місцем проектування станції обрано с. Мирогоща Друга Рівненської області зображене на рис. 4.4.

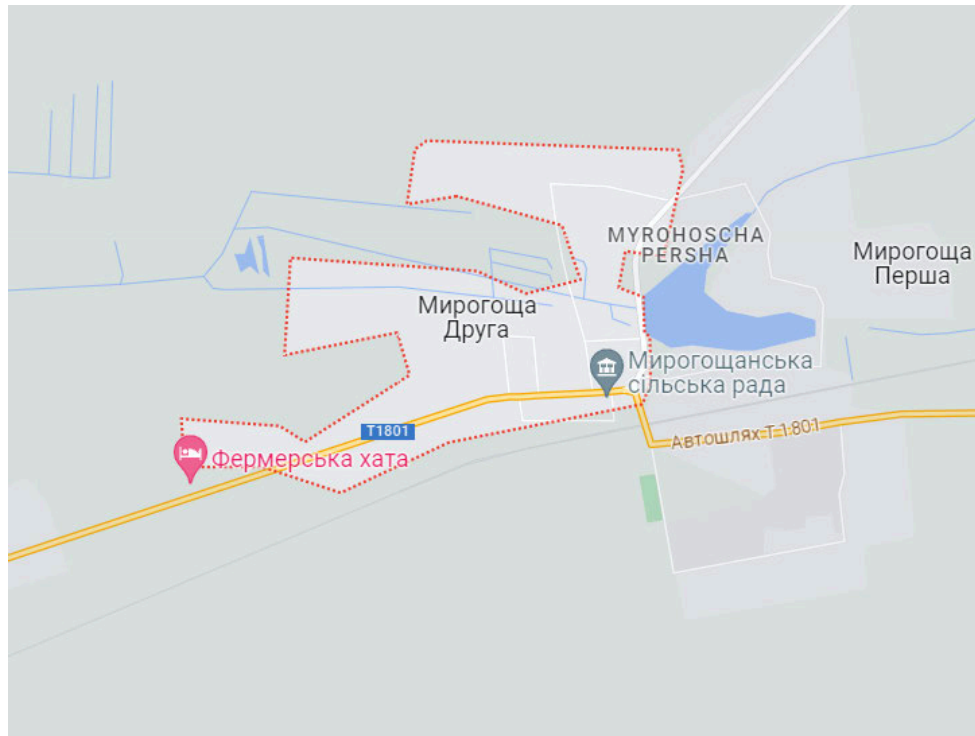


Рис. 4.4. Розташування с. Мирогоща Друга в Google Maps

Після вибору місця необхідно обрати кут нахилу та розташування в просторі сонячних панелей для найбільш ефективного виробництва сонячної енергії яке зображено на рис. 4.5.

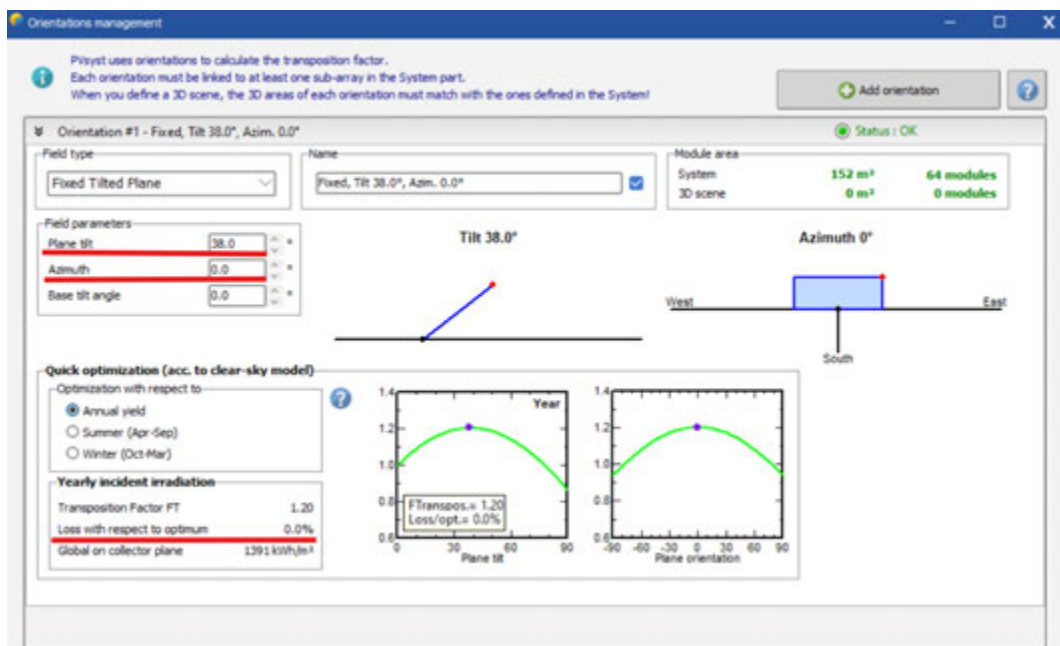


Рис. 4.5. Кут нахилу та розташування сонячних панелей

Вирахувано що при куті нахилу 38° перетворення сонячної енергії в електричну енергію буде найефективніше.

Наступним кроком в проектуванні є вибір фотомодулів та інвертора зображених на рис. 4.6.

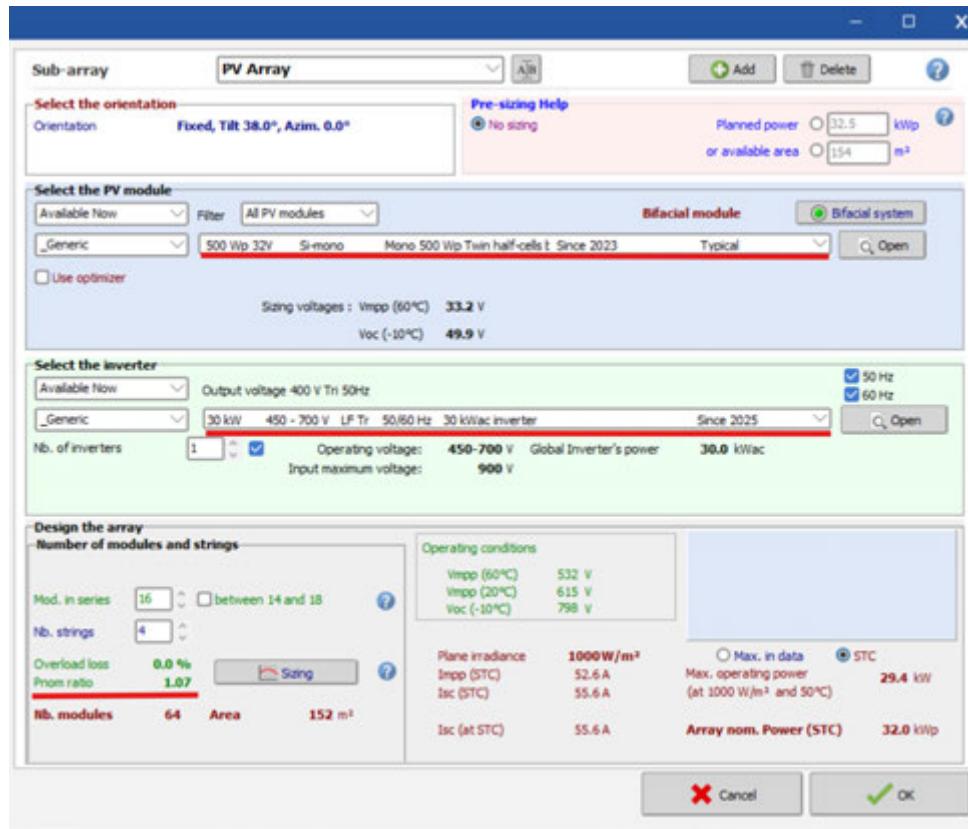


Рис. 4.6. Вибір фотомодулів та інвертора

Отже після виконання таких дій розраховано, що сонячна станція потужністю 36 кВт розташована на площі 154 m^2 і складається з:

- 64 сонячних панелей, кожна потужністю 500 Вт,
- одного інвертора потужністю 30 кВт.

Результат проектування у програмі PVsyst 7.3 [2] зображений на рис. 4.7.

List of subarrays		
Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
PV Array		
Generic - Mono 500 Wp Twin h...	16	4
Generic - 30 kWac inverter	1	1

Global system summary	
Nb. of modules	64
Module area	152 m ²
Nb. of inverters	1
Nominal PV Power	32.0 kWp
Nominal AC Power	30.0 kWAC
<u>Pnom ratio</u>	<u>1.067</u>

Рис. 4.7. Результат проектування у програмі PVsyst 7.3

На рис. 4.8. зображені графіки на яких показано що сонячна система спроектована правильно і працює в нормальному режимі.

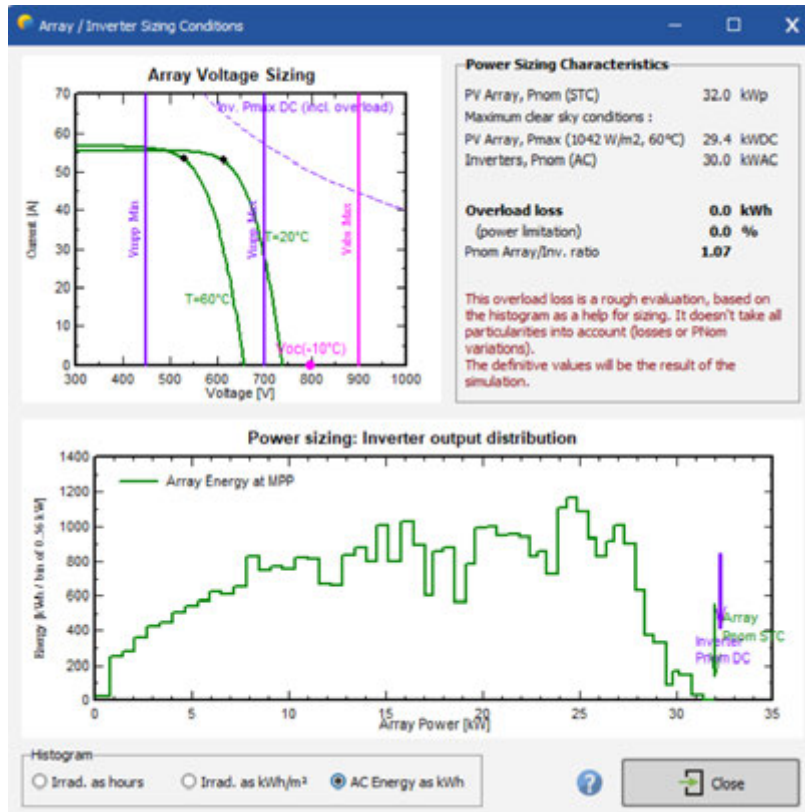


Рис. 4.8. Графіки роботи сонячної електростанції

На рис. 4.9. зображено графік виробництва енергії за добу в середньому по місяцю, аналізуючи який бачимо що найбільше енергії виробляється у літні місяці.

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 32.0 kWp

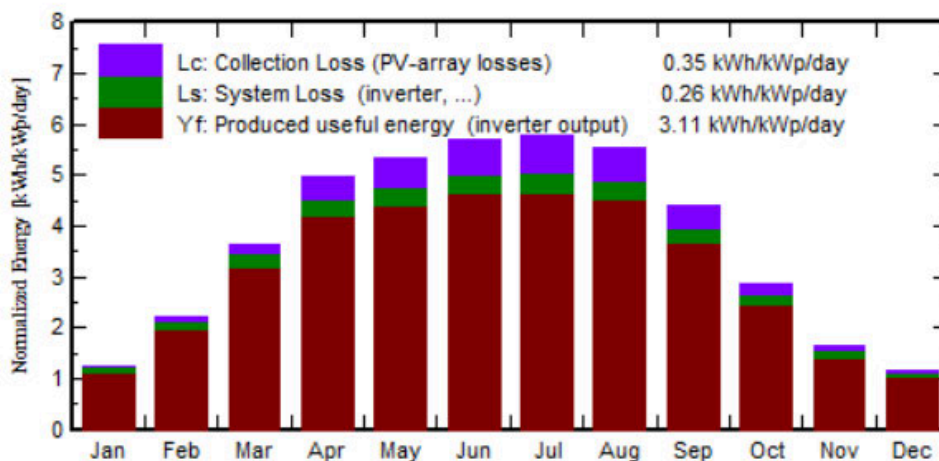


Рис. 4.9. Графік виробництва енергії

Так як і у інших установках в нашій СЕС є втрати які зображені на рис. 4.10.

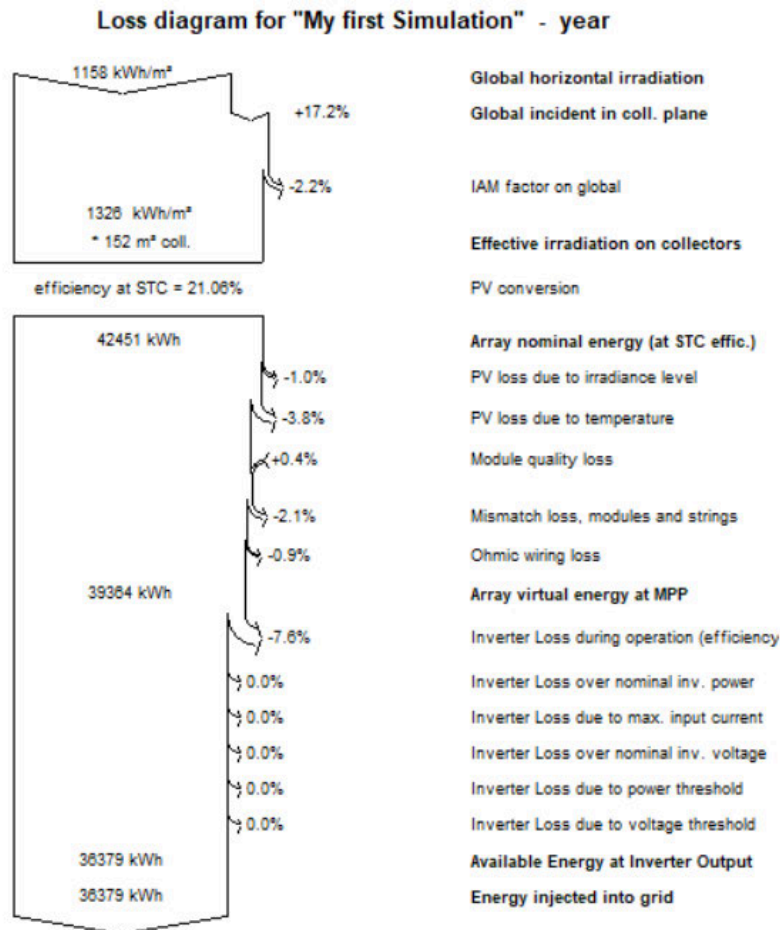


Рис. 4.10. Втрати в СЕС за 1 рік

Після моделювання сонячної станції потрібно змодельовати вітрову установку. Для оцінки ефективності роботи вітрової установки у складі гібридної вітросонячної системи було використано програмне забезпечення System Advisor Model (SAM), яке дозволяє моделювати техніко-економічні характеристики відновлюваних джерел енергії. Нижче описано основні кроки, які виконувались під час моделювання вітрової частини установки.

Для симуляції вітрових умов було обрано метеорологічний набір даних Northwestern AR - flat lands зображений на рис. 4.11. Даний вибір зумовлений відсутністю детальних локальних кліматичних даних для Рівненської області, яка географічно характеризується переважно рівнинною місцевістю та помірно-континентальним кліматом. Використання зазначеного профілю вітру

дозволяє забезпечити максимально наближені умови моделювання до реальної експлуатації в Україні.

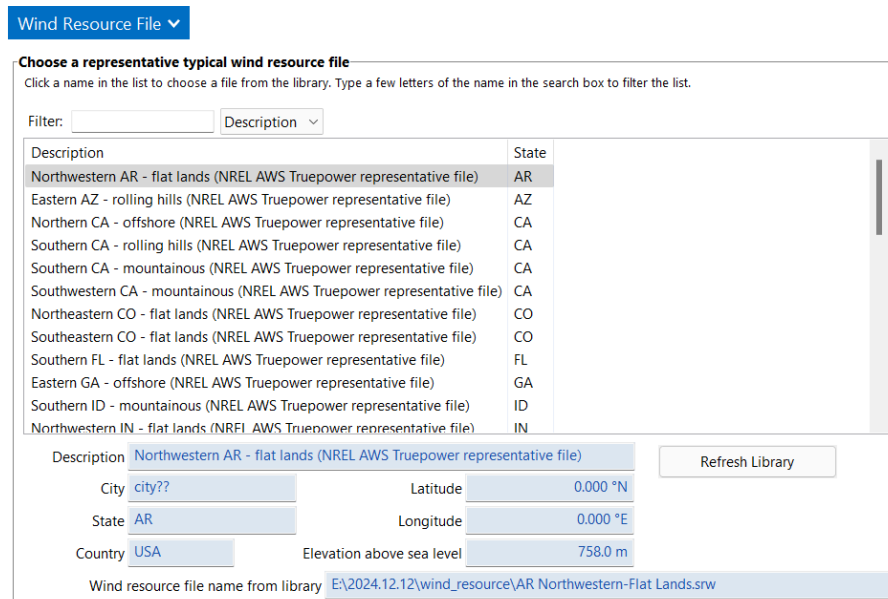


Рис. 4.11. Вибір метеорологічного регіону

При виборі вітрової турбіни зображеної на рис. 4.12. було обрано модель Travers Industries Travers 3.6m 3kW, яка має такі технічні характеристики:

- номінальна потужність - 3,0 кВт;
- діаметр ротора - 3,6 м;
- висота установки гондоли - 30 м;

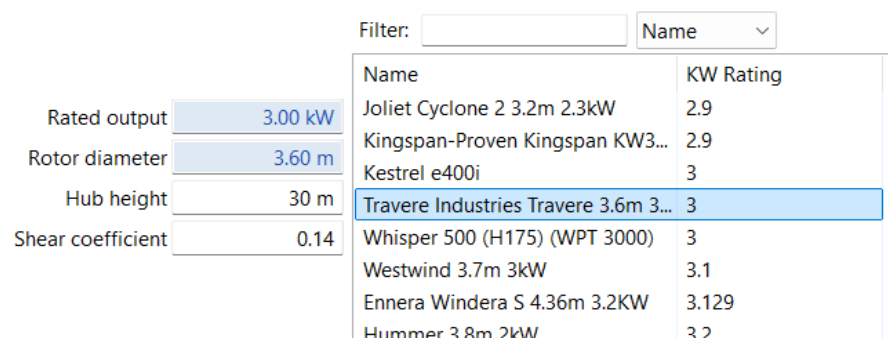


Рис. 4.12. Вибір вітрової турбіни

На основі цих даних програма SAM сформувала характеристику потужності вітрової турбіни що дозволяє оцінити залежність вироблення електроенергії від швидкості вітру. Згідно з цією кривою, яка зображена на рис. 4.13 турбіна починає

виробляти електроенергію при швидкості вітру понад 3 м/с, а виходить на номінальний рівень потужності при швидкостях близько 11-12 м/с.

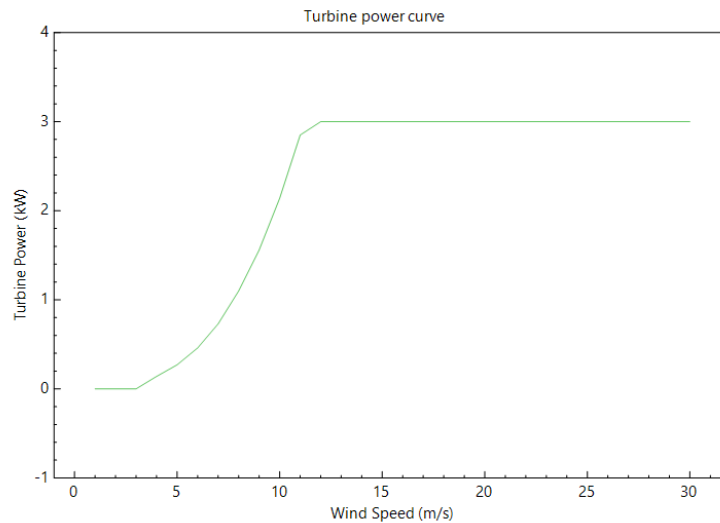


Рис. 4.13. Залежність вироблення електроенергії від швидкості вітру

На рис. 4.14. зображено графік виробництва енергії за добу в середньому по місяцю, аналізуючи який бачимо що найбільше енергії виробляється у зимово-весняні місяці.

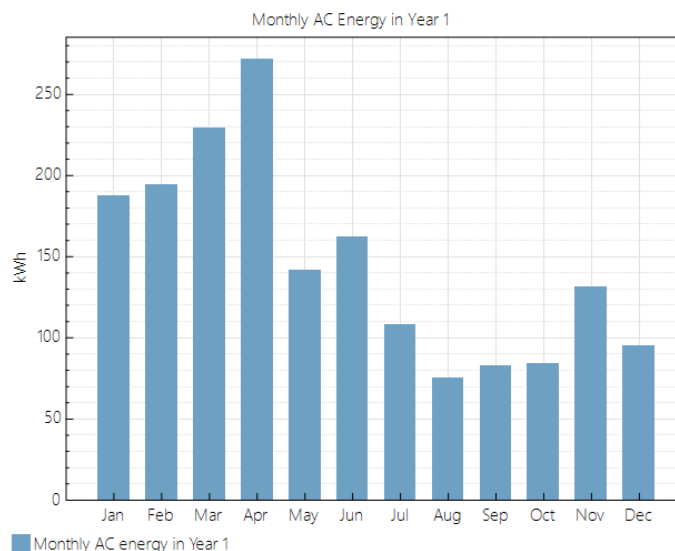


Рис. 4.14. Графік виробництва енергії

Аналіз результатів моделювання підтвердив ефективність комбінованої системи, при якій сонячна енергія забезпечує основне постачання у весняно-літній

період, а вітрова установка - у зимовий. Таке поєднання дозволяє зменшити обсяг необхідних акумуляторних батарей і забезпечити безперервність енергопостачання.

Висновок до розділу 4

У ході роботи проведено моделювання комбінованої вітросонячної електростанції для автономного електроживлення приватного будинку. Для сонячної частини було використано програму PVsyst 7.3. [2], за допомогою якої розраховано оптимальну конфігурацію станції:

- встановлена потужність - 36 кВт;
- кількість панелей - 64 шт. потужністю 500 Вт кожна;
- площа установки - 154 м²;
- інвертор - 30 кВт
- інвертор - 5 кВт.

Для вітрової частини використано програму SAM [3]. Після введення кліматичних даних і вибору моделі турбіни Travers Industries Travers 3.6m 3kW було визначено, що ця установка добре підходить для розглянутого регіону, забезпечуючи стабільне вироблення електроенергії при середніх швидкостях вітру.

Отримані результати підтвердили доцільність використання комбінованої системи, оскільки вона дозволяє компенсувати нестачу енергії в залежності від погодних умов та забезпечує більш стабільне енергопостачання протягом року.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВІТРОСОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

5.1. Аналіз результатів моделювання роботи вітросонячної установки для автономного електроживлення

У ході дослідження було змодельовано роботу вітросонячної установки за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, а саме PVsyst 7.3. [2] для сонячної частини системи та SAM (System Advisor Model) [3] для вітрової складової. Проведене моделювання дозволило оцінити продуктивність, сезонні коливання генерації, втрати, коефіцієнт покриття навантаження, а також загальну ефективність гібридної автономної системи в умовах, наближених до реальних кліматичних і технічних характеристик.

Для сонячної частини установки було обрано 64 фотомодулі, кожен з яких має номінальну потужність 500 Вт, що у сумі дає встановлену потужність 32 кВт. За результатами моделювання в PVsyst 7.3. [2], дана конфігурація дозволяє щорічно виробляти понад 35 МВт·год електроенергії в умовах клімату Рівненської області (підтвердження результатів виробництва енергії зображено на рис. 5.1.).

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	<u>E_Grid</u> kWh	PR ratio
January	23.8	17.42	-3.72	38.6	37.9	1221	1106	0.895
February	39.6	23.55	-2.65	61.9	60.8	1927	1770	0.894
March	85.3	46.72	2.29	113.3	111.1	3433	3178	0.877
April	128.1	58.87	9.38	149.0	145.8	4342	4024	0.844
May	162.0	76.02	15.36	166.0	162.1	4735	4383	0.825
June	176.4	75.50	18.27	170.8	166.4	4808	4449	0.814
July	178.5	75.20	20.66	179.3	174.8	4997	4626	0.806
August	156.0	77.13	20.07	171.6	167.7	4836	4493	0.818
September	101.2	45.78	13.84	131.8	128.9	3789	3510	0.832
October	60.9	36.95	8.46	89.0	87.3	2657	2456	0.862
November	27.3	16.37	3.39	49.1	48.3	1499	1368	0.871
December	18.4	12.29	-1.30	35.8	35.2	1120	1016	0.888
Year	1157.5	561.80	8.74	1356.3	1326.3	39364	<u>36379</u>	0.838

Рис. 5.1. Результати виробництва енергії знімок з звіту програмного забезпечення Pvsyst 7.3

Розрахункова площа розміщення панелей склала близько 154 м², що відповідає типовим параметрам дахового або наземного монтажу на території приватного домогосподарства. У програмі були враховані такі параметри, як кут нахилу панелей (35°), орієнтація на південь, втрати на кабелях, вплив температури, ефективність інвертора, а також часткове затінення в ранкові або вечірні години.

Графіки, отримані з результатів моделювання, чітко демонструють сезонну динаміку генерації: найбільше електроенергії виробляється в період з травня по серпень, коли середньодобова інсоляція сягає свого пікового значення. Влітку денна генерація перевищує 150 кВт·год, що дає змогу не лише повністю покривати поточні потреби будинку, а й накопичувати надлишок енергії в акумуляторних батареях. Водночас, у зимовий період (грудень–лютий) генерація знижується в 2,5-3 рази, що потребує підсилення іншими джерелами або збільшенням ємності систем зберігання енергії.

Щодо вітрової частини системи, було використано модуль Wind Turbine у програмі SAM [3]. Для розрахунку застосовано модель вітрогенератора потужністю 10 кВт із висотою щогли 30 метрів та діаметром ротора 6 м. У регіоні встановлення, відповідно до даних Truerpower та NREL, середньорічна швидкість вітру на висоті 30

м становить приблизно 4,5-5,5 м/с, що є нижньою межею для ефективної роботи малопотужних турбін. Незважаючи на це, моделювання показало, що в осінньо-зимовий період, коли швидкість вітру зростає до 6-7 м/с, вітряк здатен виробляти до 12-15 кВт·год на добу, що істотно покращує загальний баланс енергії в системі.

Особливу увагу в ході аналізу було приділено узгодженню роботи сонячної і вітрової частин у єдиній системі. Завдяки їхньому поєднанню досягається значно рівномірніший профіль генерації протягом року. Влітку основне навантаження бере на себе сонячна станція, тоді як взимку частину функцій покриває вітрова турбіна. Такий підхід дозволяє зменшити розмір необхідного акумуляторного буфера, оскільки генерація надходить до системи з двох джерел, які частково взаємодоповнюють одне одного. Аналіз графіків добової генерації за моделлю PVsyst 7.3. [2] у поєднанні з результатами SAM [3] підтверджує стабільність подачі енергії та мінімізацію провалів у електропостачанні в пікові моменти навантаження.

Також було визначено, що комбінована система демонструє вищий коефіцієнт покриття навантаження (Load Matching) порівняно з системою, яка працює лише на сонячній енергії. За результатами розрахунків, гібридна установка здатна забезпечити автономне живлення домогосподарства протягом більшої частини року. В окремі періоди, особливо у зимові похмурі дні з низьким рівнем вітрової активності, можливий короточасний дефіцит, який компенсується за рахунок акумуляторних батарей ємністю понад 30 кВт·год.

Усі результати моделювання дозволили зробити висновки не тільки про потенційну генерацію, а й про вплив окремих параметрів на ефективність роботи. Наприклад, підбір кута нахилу панелей на 5–10° ближче до оптимального для регіону дозволив би підвищити річну генерацію на 3-4%. Аналогічно, підняття вітряка ще на 10 м (до 40 м) могло б покращити середньорічну генерацію на 10-15% завдяки доступу до стабільніших вітрових потоків. Це свідчить про те, що навіть на етапі проектування невеликі технічні зміни можуть істотно вплинути на кінцеву ефективність системи.

Таким чином, результати моделювання підтвердили, що в умовах Рівненської області поєднання сонячної та вітрової енергії у складі однієї автономної системи є доцільним як з технічної, так і з економічної точки зору. Отримані дані дозволяють стверджувати, що така система здатна забезпечити надійне, стабільне і безпечне енергопостачання приватного житлового об'єкта при відповідному налаштуванні та якісному монтажі.

5.2. Порівняння декількох варіантів використання вітросонячної установки з різними параметрами

Вітросонячні установки можуть мати різні конфігурації, залежно від потужностей вітрогенератора та сонячних панелей. Кожен варіант має свої особливості, які визначають його ефективність, економічність та здатність працювати в різних кліматичних умовах.

У цьому підрозділі буде проведено порівняння кількох варіантів вітросонячних установок з різними параметрами, щоб оцінити їхні показники енергетичної продуктивності, ефективність роботи в умовах змінної погоди, а також економічні характеристики, зокрема вартість установки та термін її окупності. Це порівняння дозволить краще зрозуміти переваги та недоліки кожного варіанту в контексті конкретних експлуатаційних умов.

Для дослідження було розглянуто три варіанти вітросонячних установок, які мають однакову загальну встановлену потужність - 35,5 кВт, але відрізняються співвідношенням сонячної та вітрової складових.

Результати моделювання зведено у таблицю 5.1

Таблиця 5.1

Результати моделювання роботи різних конфігурацій установок

Назва	Установка 1	Установка 2	Установка 3
Сонячні модулі (кВт)	32,5	18	25,5
Вітрогенератор (кВт)	3	17.5	10

Вітросонячна установка (кВт)	35,5	35,5	35,5
Виробництво енергії в рік (кВт*год)	38 141	55 715	64 658

З аналізу таблиці видно, що найбільше річне виробництво електроенергії забезпечує Установка 3, у якій потужність сонячних модулів становить 25,5 кВт, а вітрогенератора — 10 кВт. Така конфігурація є найбільш збалансованою і дозволяє ефективно використовувати енергію як сонця, так і вітру, враховуючи зміни погодних умов протягом року.

Установка 2 має найбільшу частку вітрогенератора (17,5 кВт) та менше сонячних модулів (18 кВт). При такому поєднанні енергії вдається отримати 55 715 кВт·год на рік, що суттєво перевищує показник Установки 1, але поступається Установці 3. Це пов'язано з тим, що вітрові умови нестабільні, тому надмірне збільшення частки вітрогенераторів не завжди забезпечує максимальний результат.

Установка 1 показала найнижчий результат — 38 141 кВт·год на рік. Основна частина потужності тут припадає на сонячні модулі (32,5 кВт) і лише 3 кВт на вітрогенератор. Такий варіант менш ефективний для умов з нестійким сонячним освітленням або в зимовий період. Детальніше діаграму виробництва енергії зображено на рис. 5.2.

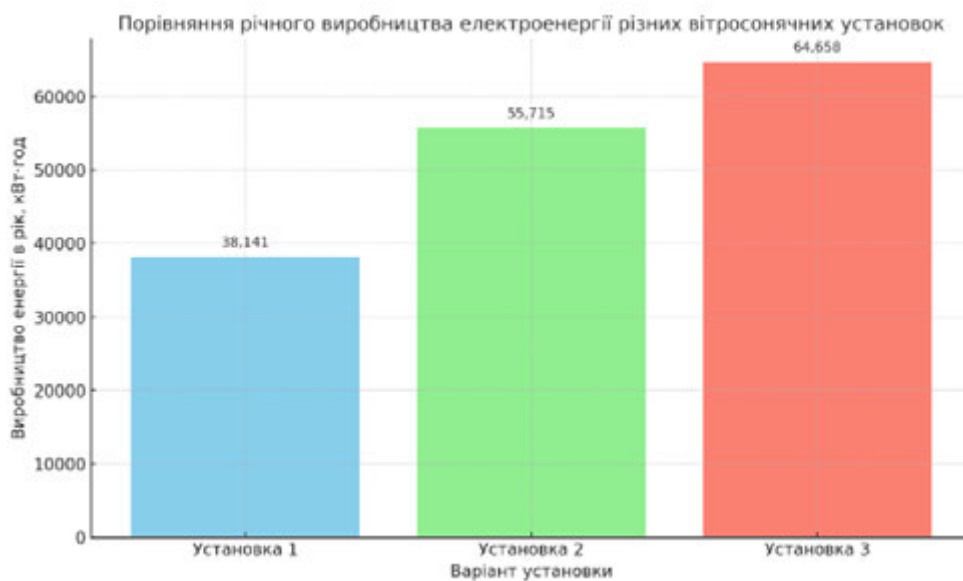


Рис. 5.2. Порівняння річного виробництва електроенергії для різних варіантів вітросонячних установок

5.3 Опис рекомендацій по застосуванні варіанту вітросонячної установки з кращими характеристиками

У результаті порівняння декількох техніко-економічних конфігурацій комбінованих вітросонячних систем для автономного електроживлення було виявлено, що, незважаючи на наявність варіантів з більшою встановленою потужністю та вищим рівнем річної генерації електроенергії, з практичної точки зору оптимальним є обраний варіант, умовно визначений як Варіант 1.

Цей варіант передбачає використання сонячних панелей сумарною потужністю 10,2 кВт та вітрогенератора потужністю 3 кВт, що формує збалансовану систему, яка враховує як сезонність інсоляції, так і вітрову активність, характерну для більшості регіонів України.

Визначальною перевагою цього варіанту є поєднання прийняттого рівня генерації електроенергії з відносно низькими інвестиційними витратами на закупівлю обладнання та його монтаж. Така система, з урахуванням поточних ринкових цін на компоненти, не потребує надмірних фінансових ресурсів, що робить її досяжною для широкого кола потенційних споживачів, зокрема для приватних домогосподарств, сільських жителів, невеликих підприємств, агрофірм або об'єктів побутової та комерційної інфраструктури. Враховуючи обмежені можливості багатьох споживачів у плані інвестування у великі автономні енергосистеми, така конфігурація є реальною альтернативою підключенню до централізованої електромережі.

Досвід впровадження подібних систем, у тому числі за кордоном, свідчить про те, що саме малопотужні гібридні установки є найпоширенішими в умовах децентралізованого енергоживлення. Обраний варіант дозволяє забезпечити енергетичні потреби в діапазоні 10–15 кВт·год на добу, що відповідає середньостатистичному споживанню електроенергії у приватному будинку. Влітку більшість споживання покривається за рахунок сонячної генерації, у зимовий період частково підключається вітровий компонент. Таким чином, формується річний

баланс виробництва енергії, який дозволяє зменшити залежність від акумуляторів або резервного джерела живлення.

З технічної точки зору, перевагою обраного варіанту є також зниження навантаження на систему зберігання. У випадках, коли встановлюється установка надлишкової потужності, часто виникає необхідність в акумуляторах великої ємності, які значно збільшують загальні витрати та потребують складнішого обслуговування. Варіант 1 дозволяє уникнути надмірного запасу потужності, водночас забезпечуючи достатній рівень автономності в межах типового побутового навантаження. Це суттєво знижує вартість системи у довгостроковій перспективі, враховуючи обслуговування, заміну батарей та інші супутні витрати.

Ще однією практичною перевагою такої системи є простота технічного обслуговування. Менша кількість елементів і відносно проста електрична схема спрощує процес контролю, діагностики та ремонту. Це особливо важливо для віддалених територій або споживачів, які не мають постійного доступу до спеціалізованих сервісних служб. Також зменшується ризик виходу з ладу окремих елементів системи, що в більш комплексних установках часто призводить до зупинки всієї генерації або втрати накопиченої енергії.

Варто звернути увагу і на гнучкість застосування такої системи. Вона може бути використана як основне джерело живлення для житлового об'єкта або малого підприємства, або як резервне рішення, що забезпечує електроживлення під час аварійних ситуацій, відключень або в пікові години навантаження. Такий підхід дозволяє уникати перебоїв у роботі побутових або виробничих пристроїв, що особливо критично для об'єктів із холодильним обладнанням, освітленням, засобами зв'язку, системами опалення чи безпеки.

Результати моделювання, проведені в попередніх розділах, підтверджують, що обрана комбінація є достатньо ефективною у більшості типових погодних сценаріїв. Система демонструє стійку генерацію впродовж усього року та забезпечує стабільне покриття навантаження без істотних провалів. У критичні періоди, коли погодні умови несприятливі як для сонячної, так і для вітрової генерації, система забезпечує резервне живлення за рахунок накопиченої енергії в акумуляторах. Таким чином,

забезпечується безперервне живлення критичних споживачів, таких як холодильник, насос, освітлення, електроніка та інші побутові пристрої.

На основі вище зазначеного, можна рекомендувати саме цю конфігурацію системи як базову для подальшого впровадження у схожих умовах. Вона є раціональним компромісом між вартістю, продуктивністю та складністю монтажу. При необхідності її можна легко масштабувати шляхом додавання додаткових панелей, збільшення ємності акумуляторів або встановлення другого вітряка. Така можливість гнучкої модернізації є додатковим аргументом на користь цього варіанту для кінцевого користувача.

Висновок до розділу 5

У результаті проведеного дослідження доведено, що конфігурація вітросонячної установки суттєво впливає на обсяг річного виробництва електроенергії та економічну доцільність системи. Незважаючи на меншу потужність, найбільш оптимальним для впровадження в умовах обмеженого бюджету є Варіант 1, оскільки він дозволяє забезпечити стабільне енергопостачання з мінімальними початковими витратами та швидким терміном окупності. Така система ідеально підходить для приватних господарств та невеликих об'єктів, які прагнуть до енергонезалежності.

РОЗДІЛ 6

ЕКОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТРОСОНЯЧНИХ УСТАНОВОК

6.1. Вплив вітросонячних установок на довкілля та порівняння з традиційними джерелами енергії

На сьогоднішній день питання збереження довкілля стоїть дуже гостро. Через велику кількість електростанцій, які працюють на вугіллі, газі чи мазуті, в повітря викидаються тисячі тон шкідливих речовин. Це впливає і на клімат, і на якість повітря, яке ми щодня вдихаємо. Саме тому все більше уваги приділяється альтернативним джерелам енергії - таким як сонце та вітер.[27]

Основна перевага - відсутність викидів під час роботи. Тобто вітряки та сонячні панелі не створюють диму, не спалюють паливо, не викидають у повітря CO_2 , як це роблять звичайні електростанції. Для прикладу: якщо з вугілля виробити 1 кВт·год електроенергії, в повітря потрапляє приблизно 950 грамів вуглекислого газу. А от сонячна енергія - всього 50 грамів, і то не в процесі роботи, а під час виготовлення обладнання (панелей, контролерів тощо). Вітрова енергія ще «чистіша» - приблизно 20 грамів CO_2 на 1 кВт·год.

Для наочності викиди CO_2 зображено на рис. 6.1

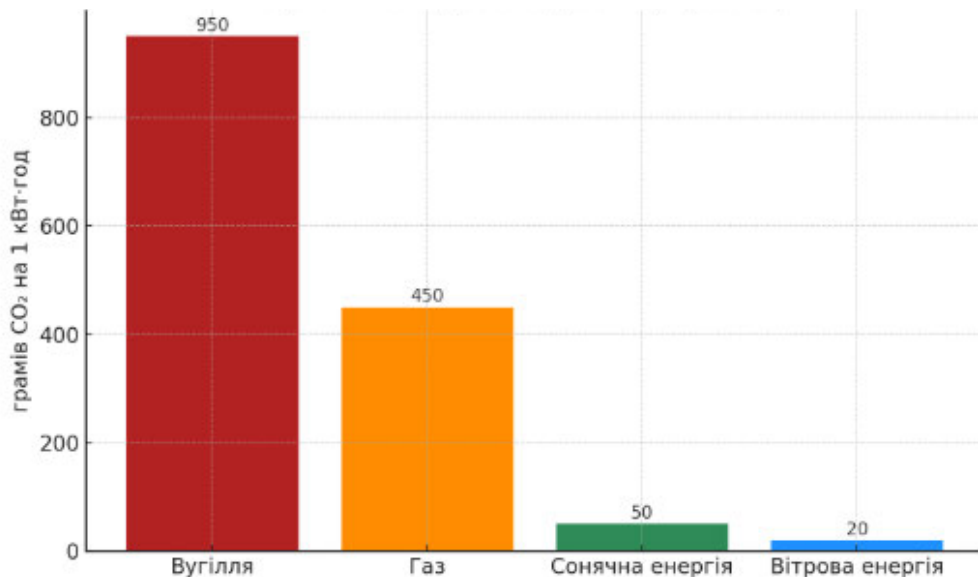


Рис. 6.1. Порівняння викидів CO₂ при виробництві 1 кВт·год електроенергії

Як бачимо, традиційна енергетика суттєво перевищує рівень викидів порівняно з «зеленими» джерелами.

Ще один великий плюс - вітросонячні установки [28] не шкодять землі, воді чи рослинності. Вони не потребують пального, не мають відпрацьованих матеріалів або небезпечних рідин. Якщо все змонтовано правильно, ніякого негативного впливу на довкілля немає.

Крім того, вони не займають багато місця. Панелі можна розмістити на даху будинку або господарських споруд, а вітряк - встановити на щоглі біля будинку. Тобто ніяких дерев рубати не треба, поля чи ліси не зачіпаються. Земля навколо може використовуватись так само, як і раніше.

На відміну від дизель-генераторів, які шумлять, вітросонячні системи працюють дуже тихо. Сонячні панелі взагалі не видають звуків, бо в них немає рухомих частин. Щодо вітряків - сучасні моделі, які використовують у побуті (до 10 кВт), мають дуже низький рівень шуму - приблизно як звичайна розмова. Це особливо важливо для тих, хто живе в приватному секторі й не хоче зайвого шуму у дворі.

Вітросонячні установки - це сучасне та екологічно чисте рішення для електропостачання. Вони допомагають зменшити викиди вуглекислого газу, не

забруднюють природу, не шумлять і не потребують пального. Це особливо актуально для сільських або віддалених районів, де складно провести електромережу, або в періоди, коли централізоване живлення нестабільне. Такі системи не тільки корисні для користувача, а й допомагають зберегти довкілля.

6.2 Проблема утилізації сонячних панелей та акумуляторів

Однією з менш обговорюваних, але важливих екологічних проблем, пов'язаних із впровадженням автономних систем на базі відновлюваних джерел енергії, є питання утилізації обладнання після завершення його терміну експлуатації. Найбільш критичними у цьому контексті є сонячні панелі [29], акумуляторні батареї та, у меншій мірі, електронні компоненти інверторів, контролерів і захисних пристроїв.

Сонячні панелі зазвичай мають термін експлуатації приблизно 25-30 років. Після цього їхня ефективність знижується до рівня, який не дозволяє забезпечити необхідну генерацію енергії, і постає питання про їх заміну. З технічної точки зору, сонячні панелі складаються з скла, алюмінієвої рами, кремнієвих елементів, тонкого шару пластмасового покриття, міді, а також слідів свинцю, олова та іноді – кадмію зображено на рис. 6.2.

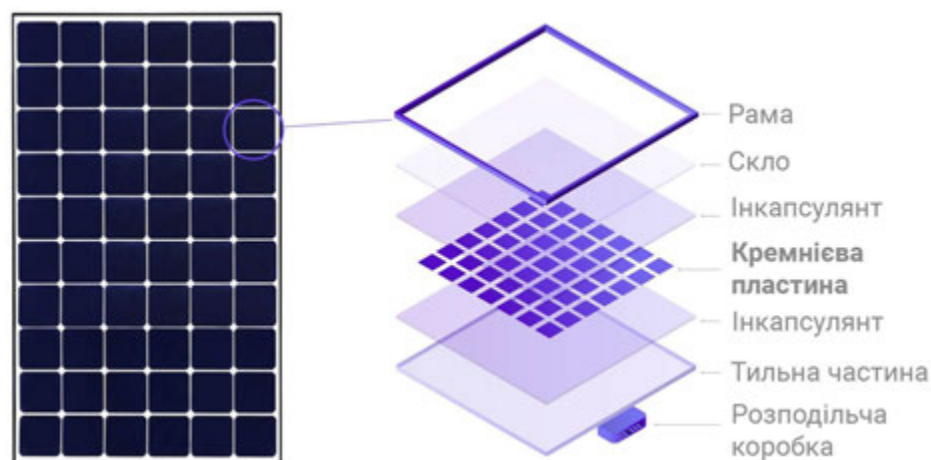


Рис. 6.2. Склад сонячної панелі

Основна складність у їх утилізації полягає в тому, що ці матеріали сполучені між собою шарувато, тому для розділення необхідна спеціалізована технологія, яка зараз не є масово доступною в Україні.

Скло та алюміній - це матеріали, які можна легко переробити, і в розвинених країнах вони справді направляються на повторне використання. Однак в Україні поки що немає розгалуженої системи прийому старих фотомодулів, відповідної техніки або процедур для переробки інших компонентів, як-от кремнієві пластини чи паяння зі свинцем. У більшості випадків такі панелі або складуються, або просто вивозяться на полігони, що несе потенційні ризики забруднення ґрунтів важкими металами при їх поступовому руйнуванні під впливом атмосферних явищ.

Ще більшою проблемою є утилізація акумуляторних батарей. У системах автономного електропостачання використовуються різні типи акумуляторів: свинцево-кислотні (включно з AGM та GEL), літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4), літій-іонні тощо. Свинцеві батареї є традиційними та більш поширеними через відносну дешевизну, але вони містять токсичні речовини: свинець, електроліт (сірчану кислоту), а також пластик. У разі неправильного поводження або порушення герметичності під час зберігання такі батареї можуть створити серйозну загрозу для навколишнього середовища. Потрапляння свинцю в ґрунт і воду є небезпечним для екосистем та здоров'я людини, особливо в умовах відсутності належного контролю за захороненням промислових відходів.

Літій-іонні акумулятори мають інші характеристики. Вони легші, довговічніші та менш вибухонебезпечні, однак теж створюють загрозу у разі неправильного поводження. Вміст металів, таких як літій, кобальт, марганець і нікель, ускладнює їх утилізацію, оскільки ці метали підлягають вторинній переробці, але для цього потрібні спеціалізовані підприємства. У світі вже функціонують переробні заводи, наприклад, у Європі або Південній Кореї, але в Україні національної системи збору та утилізації таких батарей досі немає. Найчастіше після вичерпання ресурсу акумулятори передаються на зберігання або утилізуються як побутові відходи, що є неприпустимим з екологічної точки зору.

Ситуація ускладнюється тим, що нормативна база у сфері поводження з відходами електричного та електронного обладнання в Україні залишається недосконалою. Законодавчі акти лише частково регулюють процедури утилізації такого типу відходів. Немає чітких вимог до користувачів або продавців обладнання щодо зворотного прийому або організації переробки після завершення терміну служби. В умовах швидкого зростання кількості автономних сонячних і вітрових установок, ця прогалина може в майбутньому створити серйозне навантаження на систему поводження з відходами.

Незважаючи на ці виклики, варто зазначити, що більшість матеріалів, які входять до складу панелей та батарей, підлягають переробці. У світі вже створені технології, що дозволяють відновлювати до 95% сировини зі старих фотомодулів, а також до 90% металів з акумуляторів. Крім того, розвиток ринку відновлюваних джерел енергії стимулює появу нових екологічно безпечних технологій, зокрема виробництва «зелених» батарей, які не містять токсичних елементів, або сонячних панелей зі зменшеним вмістом важких металів.

Варто зазначити, що при плануванні автономної системи слід зважати не лише на її ефективність під час роботи, а й на майбутнє поводження з обладнанням. Важливо враховувати можливість вторинного використання, правильного демонтажу та передачі компонентів на утилізацію. Особливо це стосується акумуляторних батарей, які потребують заміни раніше, ніж фотомодулі. Такий підхід дозволяє забезпечити повний екологічний цикл і мінімізувати вплив на довкілля.

Таким чином, утилізація сонячних панелей та акумуляторів є важливим питанням у сфері відновлюваної енергетики, яке не можна ігнорувати. Для України актуальним завданням є створення системи організованого збору, транспортування та переробки обладнання, що відслужило свій термін. Це дозволить не лише зберегти екологічний ефект від використання ВДЕ, але й запобігти появі нових екологічних загроз у майбутньому.

6.3 Перспективи впровадження автономних систем в Україні

На сьогоднішній день розвиток автономних систем електропостачання в Україні є надзвичайно актуальним напрямом у сфері енергетики. [30] Це пов'язано з кількома важливими факторами. По-перше, нестабільна ситуація в країні, включаючи збройний конфлікт, створила серйозні виклики для централізованої енергетичної інфраструктури. Внаслідок пошкоджень ліній електропередач, трансформаторних підстанцій, енергоблоків та інших об'єктів (зображено на рис. 6.3.) багато населених пунктів регулярно залишаються без електроенергії.



Рис. 6.3. Результати атак на Українську енергетику

У таких умовах автономні системи на основі відновлюваних джерел енергії стають не альтернативою, а необхідністю, особливо для об'єктів критичної інфраструктури, житлових будинків, лікарень, навчальних закладів та сільськогосподарських підприємств.

По-друге, Україна має достатній потенціал для розвитку сонячної та вітрової енергетики, що підтверджується географічними, кліматичними та статистичними даними. Більша частина території країни отримує достатньо сонячної радіації протягом року, особливо південні, центральні та східні області. Вітровий потенціал також є досить високим, особливо в регіонах поблизу узбережжя Чорного моря, а також у західних та північних областях. Це створює умови для ефективного

впровадження комбінованих вітросонячних систем, які дозволяють отримувати електроенергію як вдень, так і вночі, а також за різних погодних умов.

Ще однією важливою передумовою розвитку є технологічна доступність обладнання. За останнє десятиліття вартість сонячних панелей, інверторів, вітротурбін та акумуляторних батарей суттєво знизилася. Крім того, на ринку з'явилися локальні виробники і постачальники, які пропонують готові рішення під ключ. Це дозволяє користувачам без спеціальної технічної освіти придбати, змонтувати і користуватися автономною системою енергозабезпечення з мінімальними зусиллями. Водночас зросла кількість спеціалізованих компаній, які надають професійні послуги з проектування, монтажу та обслуговування таких установок.

Окремо варто згадати й про підтримку з боку міжнародних партнерів та програм фінансування. Європейський Союз, Світовий банк, Глобальний екологічний фонд та інші організації активно фінансують програми переходу до відновлюваних джерел енергії, в тому числі в Україні. Наприклад, деякі приватні домогосподарства вже скористалися пільговими кредитами, державними компенсаціями або грантами для встановлення сонячних панелей та гібридних систем. На жаль, наразі ця підтримка не є масовою і має обмежений характер, але сам факт її існування свідчить про перспективність і затребуваність таких рішень.

Слід також враховувати, що існує потреба в диверсифікації джерел енергії. Українська енергетична система традиційно сильно залежала від централізованої генерації, яка зосереджена в кількох великих електростанціях. Уразливість таких об'єктів була особливо яскраво продемонстрована в останні роки. Автономні системи на основі відновлюваних джерел дозволяють розосередити енергетичну генерацію, зменшити навантаження на мережу та підвищити загальну енергетичну стійкість.

Щодо перспектив впровадження на практиці, то вже зараз можна спостерігати зростання кількості приватних будинків, фермерських господарств, шкіл та медичних закладів, які встановлюють вітросонячні установки. Це відбувається не лише в південних чи центральних областях, де сонця більше, а й у північних

регіонах, де ефективно працюють вітрові системи. Такий інтерес обумовлений не лише надійністю, а й економічною доцільністю: після встановлення системи користувач може роками не платити за електроенергію або значно зменшити витрати.

Втім, існує низка проблем, які гальмують активніше впровадження автономних систем. Найперше — це висока вартість стартового обладнання, особливо якщо мова йде про якісні акумуляторні батареї та віротурбіни. Другою важливою проблемою є недостатня інформованість населення. Багато людей просто не знають про існування таких рішень або мають хибні уявлення щодо їх складності чи ненадійності. Також часто відсутні фахівці на місцях, які могли б змонтувати та налаштувати систему. Певною мірою впливає і законодавче регулювання, яке не завжди чітко визначає правила підключення, експлуатації та обліку електроенергії, згенерованої автономною установкою.

У майбутньому очікується, що попит на автономні системи буде тільки зростати. З огляду на сучасні загрози, енергетичну кризу, потребу в екологічній енергії та технологічний розвиток, вітросонячні установки мають усі шанси стати стандартом для нових будинків та об'єктів. Особливо це стосується регіонів з поганим доступом до мережі або з частими аваріями. Згодом такі системи можуть доповнювати навіть міські квартали, бізнес-центри, школи чи лікарні, що значно підвищить енергетичну безпеку країни загалом.

У підсумку варто зазначити, що перспективи впровадження автономних вітросонячних систем в Україні є реальними та виправданими. Вони відповідають як викликам сьогодення, так і вимогам майбутнього. Їх розвиток не тільки дозволить підвищити рівень енергетичної незалежності окремих користувачів, але й сприятиме загальному переходу країни до більш чистої, надійної та стійкої енергетичної моделі.

Висновки до розділу 6

У сьомому розділі розглянуто екологічні аспекти функціонування вітросонячних установок, їхній вплив на довкілля та перспективи подальшого

розвитку таких систем в Україні. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що автономні системи на базі сонячної та вітрової енергії є екологічно доцільною альтернативою традиційним джерелам енергії, особливо в умовах постійних загроз з боку централізованої інфраструктури, високих тарифів на електроенергію та нестабільності енергопостачання.

Встановлено, що вітросонячні установки не створюють прямих шкідливих викидів у повітря, не потребують спалювання пального, не утворюють шумового або вібраційного забруднення, а також не мають негативного впливу на ґрунти та водні ресурси. Їхня робота є екологічно чистою та безпечною для навколишнього середовища за умови належного монтажу, обслуговування та дотримання технічних регламентів.

Разом з тим, у розділі була розкрита і менш позитивна сторона впровадження ВДЕ — проблема утилізації обладнання після завершення його терміну експлуатації. Було встановлено, що сонячні панелі та акумуляторні батареї містять низку елементів, які потребують спеціальної обробки, а в Україні наразі відсутня централізована система збору та переробки таких відходів. Ця проблема вимагає подальшої уваги з боку держави, а також розробки нормативної бази, яка б регулювала процес повернення, демонтажу та утилізації обладнання ВДЕ на рівні законодавства.

Окрему увагу в розділі було приділено перспективам розвитку автономних вітросонячних систем в Україні. Було показано, що країна має значний потенціал для впровадження таких установок завдяки сприятливим кліматичним умовам, наявності доступного обладнання, підтримці з боку міжнародних програм та поступовому формуванню внутрішнього ринку монтажу й обслуговування систем ВДЕ. Зростання частки сонячної та вітрової енергетики в загальному енергобалансі країни підтверджує актуальність обраного напрямку розвитку.

Таким чином, розгляд екологічного аспекту дозволяє не лише підтвердити доцільність застосування вітросонячних установок, але й окреслити ті напрямки, які вимагають подальшого вдосконалення. Мова йде, зокрема, про утилізацію обладнання, законодавче регулювання, розвиток інфраструктури з переробки

відходів ВДЕ та забезпечення прозорих механізмів для стимулювання впровадження таких систем у побутовому та промисловому секторах.

РОЗДІЛ 7

ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

7.1. Загальні вимоги до безпечної експлуатації автономної електростанції

Автономні системи електроживлення на основі вітросонячних установок мають певні особливості, які впливають на правила їх експлуатації та технічного обслуговування [25]. Оскільки такі системи працюють із високою напругою та струмами, важливо дотримуватись основних правил охорони праці та безпеки [26].

Перед встановленням автономної електростанції необхідно провести ретельні розрахунки навантаження, враховуючи споживання електроенергії та характеристики обладнання. Монтаж слід виконувати відповідно до вимог чинних нормативних документів, зокрема ДБН та ПУЕ [7].

Усі елементи системи мають працювати в допустимих режимах. Для цього необхідно встановити системи моніторингу, які контролюють рівень напруги, струму та стан акумуляторних батарей.

Всі струмопровідні частини повинні бути захищені від випадкового дотику. У місцях підключення високої напруги слід встановити відповідні ізолюючі матеріали та захисні кожухи.

Проводка повинна бути прокладена у відповідності до вимог безпеки та мати достатній переріз для запобігання перегріву. Усі електричні з'єднання мають бути надійно закріплені.

Для запобігання пошкодженню обладнання слід встановлювати пристрої захисту.

Автоматичні вимикачі, які спрацьовують при перевантаженні або короткому замиканні.

Захист від грозових перенапруг, зокрема заземлюючі контури та громовідводи.

Акумулятори – один із найважливіших елементів автономної системи. Вони потребують регулярного обслуговування, перевірки рівня заряду та дотримання температурного режиму експлуатації.

Автономні системи встановлюються на відкритих майданчиках, тому потрібно враховувати вплив зовнішніх факторів:

- вітроенергетичні установки слід монтувати на достатній висоті для ефективного використання вітру, але при цьому забезпечувати їхню стійкість.

- сонячні панелі мають бути встановлені під правильним кутом та з урахуванням сезонних змін інсоляції.

Для роботи з автономними електростанціями обслуговуючий персонал повинен мати відповідну кваліфікацію та пройти інструктаж з електробезпеки. При виконанні ремонтних робіт необхідно дотримуватись наступних правил:

- відключати систему від електроживлення перед проведенням технічного обслуговування.

- використовувати засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, спеціальне взуття, окуляри).

- дотримуватись вимог до роботи на висоті (для монтажу вітряків та сонячних панелей).

Дотримання правил експлуатації та технічного обслуговування автономних електростанцій є важливим для забезпечення їхньої безпечної та ефективної роботи. Від правильного монтажу, своєчасного контролю стану обладнання та дотримання норм охорони праці залежить не лише довговічність системи, а й безпека людей, які її використовують.

7.2. Заземлення вітросонячної установки

Заземлення є одним із ключових елементів захисту автономних електростанцій. Воно забезпечує безпечну експлуатацію обладнання, зменшує ризик ураження електричним струмом та запобігає виходу з ладу компонентів системи через перенапругу.

Основні функції заземлення у вітросонячних установках:

1. Захист від ураження струмом - відведення небезпечної напруги в землю при пошкодженні ізоляції чи аварійному стані обладнання.

2. Зменшення електромагнітних завад - зменшує вплив перешкод, що виникають при роботі інверторів та інших електронних пристроїв.

3. Грозозахист - захист від ударів блискавки, які можуть спричинити значні пошкодження системи.

4. Захист від статичної електрики - важливо для сонячних панелей, які накопичують статичний заряд.

В залежності від конструкції та вимог безпеки застосовуються такі типи заземлення:

1. Робоче заземлення - використовується для нормальної роботи електрообладнання, зокрема інверторів та акумуляторних батарей.

2. Захисне заземлення - слугує для запобігання ураженню людей електричним струмом.

3. Грозозахист - забезпечує відведення струму блискавки в землю.

Система заземлення повинна відповідати нормативним вимогам, наприклад, опір заземлення для побутових установок не повинен перевищувати 4 Ом. Схема заземлення вітросонячної установки зображено на рис. 7.1.

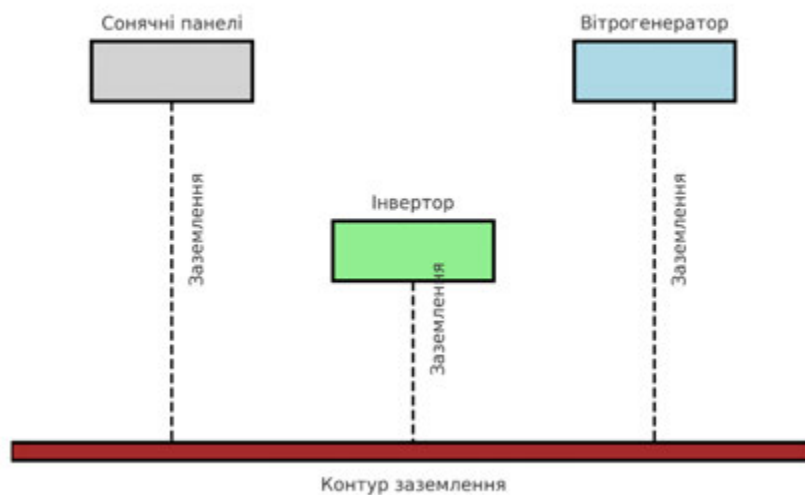


Рис. 7.1. Схема заземлення вітросонячної установки

Методи виконання заземлення

1. Традиційний метод - використання металевих стрижнів (заземлювачів), забитих у ґрунт на глибину 2-3 м.
2. Контурне заземлення - застосовується для великих систем, коли металеві електроди з'єднуються між собою в замкнутий контур.
3. Глибинне заземлення - використовується у скелястих ґрунтах або місцях із низькою провідністю, передбачає забивання довгих металевих стрижнів (до 10 м).

Правильне заземлення автономної електростанції є критично важливим для безпеки та надійності роботи системи. Воно запобігає аварійним ситуаціям, продовжує термін служби обладнання та забезпечує ефективний захист від перенапруги та ударів блискавки.

7.3. Техніка безпеки при використанні вітросонячної електростанції

Робота з вітросонячними електростанціями вимагає дотримання техніки безпеки, оскільки обладнання працює з високою напругою та має механічні рухомі частини. Нехтування правилами експлуатації може призвести до травм, виходу з ладу системи або навіть пожежі. У цьому підрозділі розглянуто основні заходи безпеки, яких необхідно дотримуватися під час встановлення, експлуатації та технічного обслуговування автономних енергетичних систем на основі сонячної та вітрової енергії.

Оскільки вітросонячні електростанції працюють із електричною енергією, важливо забезпечити належний рівень захисту від ураження струмом.

Всі кабелі повинні мати відповідний рівень ізоляції, що відповідає стандартам електробезпеки. Особливо важливо приділяти увагу кабелям постійного струму від сонячних панелей до контролера заряду.

Всі металеві корпуси обладнання (інвертори, контролери, акумуляторні батареї) повинні бути надійно заземлені, щоб уникнути небезпечних потенціалів.

На всіх основних електричних лініях системи мають бути встановлені автоматичні вимикачі, які спрацьовують у разі перевантаження або короткого замикання.

Обслуговування або заміну компонентів необхідно проводити лише після повного відключення системи. Особливо це стосується робіт із акумуляторними батареями, які можуть мати значний заряд навіть у вимкненому стані.

Одним із важливих аспектів експлуатації вітросонячних електростанцій є запобігання перегріву та загорянню обладнання

Розміщення обладнання на безпечній відстані від легкозаймистих матеріалів. Особливо це стосується інверторів та акумуляторних батарей, які можуть нагріватися в процесі роботи.

Забезпечення гарної вентиляції для акумуляторних батарей. У разі використання свинцево-кислотних АКБ необхідно передбачити примусову вентиляцію, оскільки в процесі зарядки вони можуть виділяти гази, здатні спричинити вибух.

Захист кабельних з'єднань від перегріву. Всі проводи повинні мати відповідний переріз, який відповідає максимальному навантаженню мережі, щоб уникнути перегріву та оплавлення ізоляції.

Використання негорючих матеріалів для кріплення обладнання. Наприклад, монтажні конструкції для сонячних панелей та акумуляторних батарей повинні бути виготовлені з металу або інших негорючих матеріалів.

Для забезпечення довготривалої та безперервної роботи вітросонячної електростанції необхідно дотримуватись основних правил експлуатації та своєчасно виконувати технічне обслуговування.

Регулярна перевірка кріплень сонячних панелей і вітрогенератора. Через вплив вітру та опадів болтові з'єднання можуть поступово послаблюватися, що може призвести до механічних пошкоджень.

Очищення сонячних панелей від пилу, снігу та бруду. Забрудненість поверхні панелей зменшує їхню ефективність, тому їх необхідно періодично мити чистою водою без використання агресивних миючих засобів.

Контроль рівня заряду акумуляторних батарей. Надмірний розряд або перезаряд може скоротити термін служби АКБ. Рекомендується встановлювати контролер заряду, який автоматично регулює рівень заряджання.

Відключення системи під час грози. Хоча більшість сучасних систем мають вбудований захист від перенапруги, під час сильної грози бажано вимикати систему, щоб уникнути можливого ураження блискавкою.

Контроль роботи інвертора. Інвертор є важливим компонентом системи, тому періодично необхідно перевіряти його справність, рівень нагріву та відсутність помилок у роботі.

Дотримання цих рекомендацій дозволить підвищити надійність і безпеку роботи вітросонячної електростанції, а також продовжити термін її служби.

Висновки до розділу 7

У цьому розділі розглянуто основні аспекти безпечної експлуатації вітросонячної електростанції. Оскільки такі установки працюють із електричними мережами та мають механічні компоненти, дотримання техніки безпеки є важливим фактором для їхньої надійної та безперервної роботи.

Основна увага була приділена захисту від ураження електричним струмом, пожежній безпеці та правильній експлуатації системи. Було визначено, що для запобігання аварійним ситуаціям необхідно забезпечити якісну ізоляцію проводів, встановлення автоматичних вимикачів та обов'язкове заземлення всіх ключових компонентів системи.

Окрім електричної безпеки, розглянуто питання механічної стабільності конструкцій. Сонячні панелі та вітрогенератори піддаються впливу природних факторів, тому регулярний технічний огляд та обслуговування допомагають уникнути пошкоджень та продовжити термін експлуатації обладнання.

Також було наголошено на необхідності періодичного контролю роботи акумуляторних батарей та інвертора, які є ключовими елементами системи. Виконання планових перевірок, очищення панелей від забруднень і контроль рівня

заряду батарей дозволяють зберегти ефективність станції та уникнути передчасного зносу обладнання.

Отже, дотримання розглянутих заходів безпеки та рекомендацій з обслуговування дозволить забезпечити стабільну та безпечну роботу вітросонячної електростанції протягом багатьох років.

ВИСНОВКИ

У даній роботі проведено всебічне дослідження ефективності роботи комбінованої вітросонячної установки для автономного електроживлення на прикладі приватного домогосподарства. Мета дослідження полягала у визначенні технічної доцільності використання гібридної системи на основі сонячних панелей і вітрогенератора з урахуванням особливостей навантаження, кліматичних умов, характеристик обладнання та можливостей моделювання роботи системи. З урахуванням поточних викликів в енергетичному секторі України, а саме зростаючих тарифів, нестабільності централізованого електропостачання, зношеності інфраструктури та необхідності підвищення енергетичної незалежності, ця тема є актуальною як з технічної, так і з практичної точки зору.

Перш за все, у роботі детально проаналізовано характер навантаження приватного будинку середньої площі, враховуючи типові побутові споживачі, режим їх роботи, добове і пікове споживання електроенергії. Зібрані дані дозволили визначити середньодобову потребу в електроенергії на рівні близько 20–25 кВт·год. Саме ці цифри стали основою для подальших розрахунків потужності всієї установки, вибору типів обладнання та моделювання. Також враховано особливості споживання в осінньо-зимовий період, коли збільшується потреба в опаленні, водопідігріві та освітленні, а також змінюється графік роботи побутових пристроїв. Це дало змогу зробити висновки щодо нерівномірності навантаження впродовж року, що потребує більш гнучкого підходу до формування автономної системи живлення.

Далі розглянуто технічні та кліматичні умови, характерні для регіону встановлення системи, а саме для Рівненської області. За наявними метеорологічними даними, в цьому регіоні середньорічна сонячна активність дозволяє отримувати від сонячної генерації відносно стабільний показник продуктивності, проте взимку її суттєво не вистачає. Для компенсації дефіциту сонячної енергії обґрунтовано доцільність використання вітрової енергетики, яка в холодну пору року, навпаки, демонструє підвищену ефективність. Врахування

сезонної змінності генерації обох джерел дозволило визначити оптимальне співвідношення потужностей сонячної і вітрової частин для досягнення максимального балансу виробництва і споживання протягом року.

В рамках роботи побудована функціональна схема енергоживлення домогосподарства, розраховано потужність вітросонячної установки, виконано підбір відповідного обладнання з урахуванням технічних характеристик, вартості та надійності. Зокрема, обрано 64 сонячні панелі по 500 Вт кожна марки JA Solar JAM66S30 500MR (BFR) MC4 загальною потужністю 32 кВт, інвертор на 30 кВт марки Huawei SUN2000-30KTL-M3, інвертор на 3 кВт DEYE Ongrid 3 кВт Prosumator SUN-3K-G04P1-EU-AM1, акумуляторну батарею з накопичувальною ємністю 30,72 кВт·год Deye BOS-G6 30.72kW 307.2V 100Ah LiFePO4 HVV750V RACK, а також вітрогенератор потужністю 3 кВт L-Series RX-3000L. Далі проведено моделювання роботи системи у програмних середовищах PVsyst [2] і SAM [3], що дозволило візуалізувати щомісячну генерацію енергії, проаналізувати втрати в системі, співвідношення споживання та генерації, а також визначити періоди профіциту й дефіциту енергії. Результати моделювання підтвердили, що система здатна забезпечити стабільне живлення споживачів упродовж року, за умови правильного вибору параметрів акумуляування та коректної конфігурації інверторного обладнання.

Важливим елементом дослідження стало обґрунтування економічної та екологічної доцільності впровадження такої системи. У роботі показано, що, незважаючи на високі початкові капіталовкладення, система має значний потенціал окупності протягом 6–8 років, залежно від тарифів на електроенергію та режиму споживання. З екологічної точки зору, вітросонячна система не продукує викидів парникових газів під час роботи, не створює шкідливого впливу на ґрунти, воду або повітря, і таким чином сприяє зниженню техногенного навантаження на довкілля.

Разом з тим, у роботі також піднято питання, пов'язані з проблемою утилізації сонячних панелей і акумуляторів після завершення строку їх експлуатації. Встановлено, що в Україні поки що відсутня ефективна система збору та переробки відходів ВДЕ-обладнання, що в майбутньому може стати джерелом додаткових

екологічних загроз. Це вказує на необхідність посилення нормативної бази та створення інфраструктури для поводження з таким типом відходів. Крім того, була приділена увага питанням охорони праці під час монтажу та експлуатації вітросонячної установки, що є важливим у контексті безпеки користувача.

Загалом, результати проведеного дослідження підтвердили технічну та практичну доцільність впровадження автономних вітросонячних систем для приватних споживачів в Україні. Така система дозволяє забезпечити енергетичну незалежність, стабільне живлення при відсутності мережі, зменшення витрат на електроенергію та мінімальний вплив на довкілля. Робота може бути використана як базова модель для подальшого вдосконалення та масштабування автономних систем енергопостачання в побутовому та комерційному секторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV. [Інтернет]. Доступно на: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (Дата звернення: 05.06.2025)
2. PVsyst SA. Офіційний сайт програми PVsyst 7.3. [Інтернет]. Доступно на: <https://www.pvsyst.com> (Дата звернення: 05.06.2025)
3. National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model (SAM). [Інтернет]. Доступно на: <https://sam.nrel.gov> (Дата звернення: 05.06.2025)
4. Козлов Ю. М. Вступ до електроенергетики. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 134 с.
5. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР. [Інтернет]. Доступно на: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80> (Дата звернення: 05.06.2025)
6. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Електропостачання. – Київ: Мінрегіон України, 2010. – 56 с.
7. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ): Вид. 6-те, перероб. і доп. – К.: Форт, 2017. – 768 с.
8. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. [Інтернет]. Доступно на: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (Дата звернення: 05.06.2025)
9. IEC 61215:2021. Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements. – Geneva: IEC, 2021. – 60 p.
10. IEC 61730:2016. Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1–2. – Geneva: IEC, 2016. – 78 p.
11. IEC 62109-1:2010. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 1: General requirements. – Geneva: IEC, 2010. – 44 p.
12. IEC 60896-21:2004. Stationary lead-acid batteries – General requirements and methods of test. – Geneva: IEC, 2004. – 56 p.

13. IEC 61427-1:2013. Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General requirements and methods of test – Part 1: Photovoltaic off-grid application. – Geneva: IEC, 2013. – 46 p.
14. ДСТУ IEC 60364-5-54:2012. Електроустановки будівель. Частина 5-54. Вибір і монтаж електрообладнання. Заземлення, захисні провідники та провідники зрівнювання потенціалів. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2012. – 58 с.
15. ДСТУ IEC 60364-7-712:2019. Електроустановки будівель. Частина 7-712. Вимоги до спеціальних електроустановок або місць. Фотоелектричні (PV) системи. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 38 с.
16. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будівель і споруд. Сонячні енергетичні системи. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 75 с.
17. ДСТУ EN 61400-1:2018. Вітроенергетичні установки. Частина 1. Вимоги до проектування. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
18. ДСТУ ISO 9459-2:2019. Сонячні системи гарячого водопостачання. Частина 2. Методологія випробувань.
19. ДСТУ 8635:2016. Енергоефективність будівель. [Інтернет]. Доступно на: <https://online.budstandart.com/> (Дата звернення: 05.06.2025)
20. PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System. Joint Research Centre of the European Commission. [Інтернет]. Доступно на: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (Дата звернення: 05.06.2025)
21. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer. [Інтернет]. Доступно на: <https://power.larc.nasa.gov/> (Дата звернення: 05.06.2025)
22. Global Solar Atlas. The World Bank Group. [Інтернет]. Доступно на: <https://globalsolaratlas.info> (Дата звернення: 05.06.2025)
23. Global Wind Atlas. Technical University of Denmark (DTU), World Bank Group. [Інтернет]. Доступно на: <https://globalwindatlas.info> (Дата звернення: 05.06.2025)
24. Renewable Energy Data Explorer – NREL. [Інтернет]. Доступно на: <https://www.nrel.gov/data/> (Дата звернення: 05.06.2025)

25. Законодавство України. Закон про електроенергетику. [Інтернет]. Доступно на: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (Дата звернення: 05.06.2025)
26. Український інститут стандартизації. Правила технічної експлуатації електроустановок. [PDF]. Доступно на: <https://uis.zp.ua/wp-content/uploads/2018/12/%D0%9F%D0%A2%D0%95%D0%95%D0%A1.pdf> (Дата звернення: 05.06.2025)
27. Гусєв А. С. Відновлювальні джерела енергії: навч. посіб. – Харків: УПА, 2017. – 152 с.
28. Коновалов І. В. Вітроенергетика: навчальний посібник. – К.: Либідь, 2020. – 216 с.
29. Сидоров В. Ф. Сонячна енергетика: основи, техніка, технології. – К.: НАУ-друк, 2019. – 184 с.
30. Міненерго України. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року. – К., 2022. – 62 с.