

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## *Пояснювальна записка*

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розроблення проєкту вітрової станції для приватного  
житлового будинку»

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Палієнко А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.

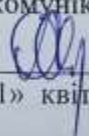
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

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

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
автоматики, електроніки та  
телекомунікацій

 О.В. Шефер  
«01» квітня 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

**Палієнсу Арсенію Олексійовичу**


1. Тема роботи «Розроблення проєкту вітрової станції для приватного житлового будинку»  
керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 08.12.2023 року  
№1481/фа.
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10.06.2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Документація на електрообладнання житлового будинку. Документація на побутові прилади, що використовуються в будинку. Номінальна напруга 380/220В. Забезпечити надійне безперебійне електропостачання житлового будинку з мінімальними капіталовкладеннями.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Види систем енергозабезпечення приватних житлових будинків. Сучасні типи вітрогенераторів. Зелений тариф в Україні. Постановка задач на кваліфікаційну роботу. Опис структури та основного обладнання вітрової станції, що проєктується. Характеристика об'єкту з точки зору енергоспоживання на зимовий та літній періоди. Розрахунок потужності та вибір вітрогенератора. Вибір обладнання вітрової станції. Розрахунок орієнтовної вартості вітрової станції
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) види систем енергозабезпечення;
- 2) схема житлового будинку;
- 3) таблиця споживання електроенергії по періодах року;
- 4) графік середньої швидкості вітру по місяцях у Полтавській області;
- 5) схема підключення обладнання вітрової станції;
- 6) графіки генерації електроенергії по місяцям;
- 7) таблиця обладнання вітрової станції;
- 8) висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Види систем енергозабезпечення приватних житлових будинків. Сучасні типи вітрогенераторів. Зелений тариф в Україні. Постановка задач на кваліфікаційну роботу	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Опис структури та основного обладнання вітрової станції, що проектується. Характеристика об'єкту з точки зору енергоспоживання на зимовий та літній періоди	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Розрахунок потужності та вибір вітрогенератора. Вибір обладнання вітрової станції	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Розрахунок орієнтовної вартості вітрової станції	30.05.24		80 %	Пл. 6,7
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 8

Студент  Палієнко А.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Єрмілова Н.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи " Розроблення проєкту вітрової станції для приватного житлового будинку "

Робота містить 46 сторінок, 16 ілюстрацій, 5 таблиць, 17 використаних джерел.

Ключові слова: вітрова електростанція, вітрогенератор, електропривод, контролер, інвертор, акумулятор.

Предметом дослідження кваліфікаційної роботи є вітрова станція для приватного житлового будинку. Об'єктом дослідження є розрахунок та вибір обладнання вітрової електростанції.

Метою даної кваліфікаційної роботи є організація, закріплення та застосуванні набутих знань з професійних дисциплін під час виконання розрахунків для електричних мереж, вибору відповідного електричного обладнання при плануванні схем електропостачання.

## ABSTRACT

qualification work "Development of a wind farm project for a private residential building"

The work contains 46 pages, 16 illustrations, 5 tables, 17 used sources.

Keywords: wind power plant, wind generator, electric drive, controller, inverter, battery.

The subject of the qualification work research is a wind farm for a private residential building. The object of the study is the calculation and selection of wind power plant equipment.

The purpose of this qualification work is to organize, consolidate and apply the acquired knowledge from professional disciplines when performing calculations for electrical networks, choosing appropriate electrical equipment when planning power supply schemes.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. ВИДИ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	8
1.1 Автономна вітрова станція.....	8
1.2 Автономна вітро-сонячна станція.....	9
1.3 Вітрова станція з підключення до мережі.....	12
1.4 Зелений тариф в Україні.....	14
1.5 Принцип роботи вітрогенератора.....	15
1.6 Сучасні види вітрогенераторів.....	16
1.7 Місце вітроенергетики в світі.....	19
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Розрахунок навантажень будинку у зимовий та латній періоди.....	22
2.2 Розрахунок параметрів вітроустановки.....	24
2.3 Попереднє визначення енергоспоживання і потужності інвертора.....	35
2.4 Визначення необхідного обсягу акумуляторної батареї та їх необхідної кількості.....	37
РОЗДІЛ 3. МОНТАЖ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ.....	41
3.1 Монтаж обладнання ВЕС.....	41
3.2 Місце встановлення вітрогенератора.....	42
3.3 Обслуговування ВЕС.....	43
Висновок.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

## Вступ

Вітроенергетика - це галузь енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері на електричну, механічну, теплову або іншу форму енергії, придатну для використання в народному господарстві. Це перетворення здійснюється за допомогою різних пристроїв, таких як вітрогенератори (для вироблення електричної енергії), вітряки (для перетворення на механічну енергію), вітрила (для застосування в транспорті) та інших.

- оцінити енергоспоживання житлового будинку;
- провести аналіз вітрового потенціалу поблизу території житлового будинку;
- виконати розрахунок навантажень будинку та вибрати відповідну вітрову установку та інше обладнання;
- виконати схему підключення до мережі.

Мета цієї роботи полягає в систематизації, закріпленні та практичному застосуванні отриманих знань з професійних дисциплін при розрахунках для електричних мереж, виборі відповідного обладнання та плануванні схем електропостачання.

Основними завданнями у цій роботі є проведення розрахунків та аналізу вітрової установки для компенсації власних потреб житлового будинку у електроенергії. Додатковими завданнями є розробка приблизного проекту для підключення житла до вітроенергетичної установки та загальної мережі електропостачання.

## РОЗДІЛ 1. ВИДИ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 1.1 Автономна вітрова станція

Автономні вітрові енергосистеми є найбільш практичними в місцях, значно віддалених від електричної мережі. Їх часто поєднують із сонячними батареями, щоб повною мірою використовувати сезонні та добові коливання вітрових та сонячних ресурсів.

Для невеликих автономних вітрових установок, як правило, мінімальна середньорічна швидкість вітру має бути не менше ніж 4-5 м/с. Тільки у цьому випадку система буде рентабельна. Автоматичні метеорологічні станції зазвичай контролюють швидкість вітру на висоті 10 метрів над рівнем землі.

Для створення моделі швидкості вітру зазвичай оцінюють швидкість вітру на висоті 50-80 м. При цьому потрібно звертати увагу на висоту, де отримані річні дані. Якщо вона не зовсім така сама, як висота обраної установки, то швидкість вітру потрібно ще раз оцінити саме на такій висоті. Інакше ефективність вітрогенератора буде під великим питанням. Високі щогли та гарне розташування дозволяють вітрогенераторам отримувати вищі швидкості вітру. Виробники повинні вказати стартову швидкість вітру вітрогенератора. Швидкість, за якої турбіна починає обертатися і генерувати енергію: у районах із частими легкими вітрами для максимальної потужності важлива низька стартова швидкість.

Максимально ефективно працюють вітрогенератори на піднесених, відкритих ділянках, де на шляху вітру немає дерев і будівель. Якщо уникнути перешкод немає можливості, то допоможе лише збільшення висоти установки.

Часто для невеликих вітрових систем вибирають недостатньо високу щоглу. Це все одно, що встановлювати сонячні батареї в тіні. Цю помилку дуже важливо не допускати в жодному разі. Вихід вітрогенератора прив'язаний до швидкості вітру кубічної залежності. Подвоєння швидкості, доступної вітрогенератору, збільшує потужність у вісім разів.

Високі щогли, які забезпечують доступ до великих швидкостей вітру, підвищують ефективність вітрогенератора. До того ж, зі збільшенням висоти знижується і турбулентність вітру. Все, що нижче 20 м загрожує уповільненням швидкості вітру внаслідок тертя вітру та землі та турбулентністю.

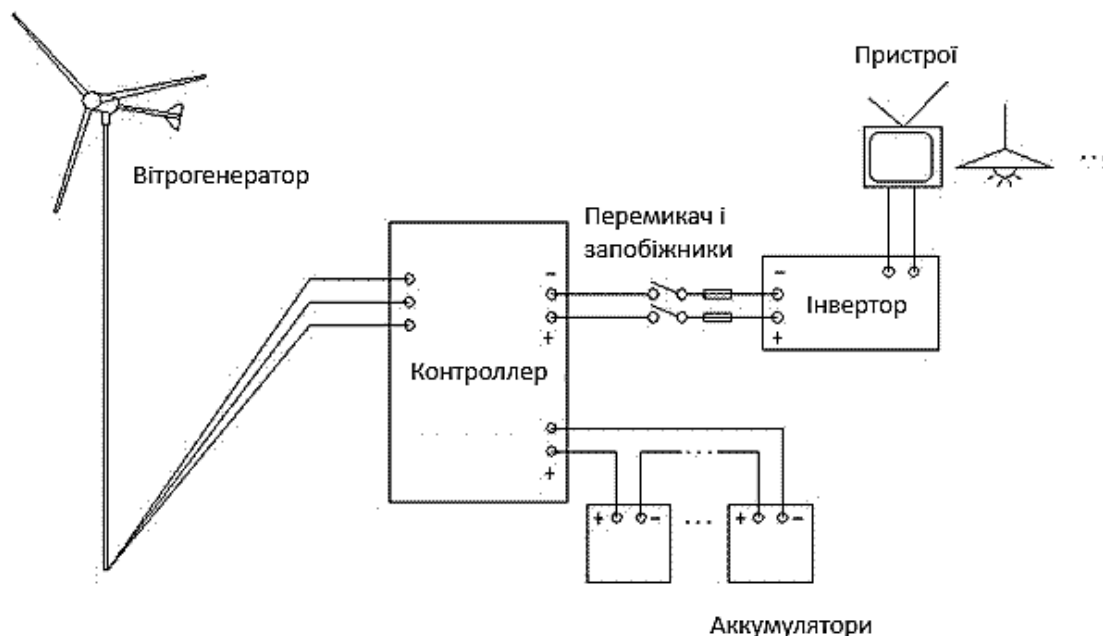


Рис. 1.1 – Схема автономної вітрової станції

Усі вітрогенератори потребують регулярного технічного обслуговування. Добре спроектовані вітрові турбіни прогноуються на 20-30 років. Щоб забезпечити продуктивність системи, дотримуються режиму технічного обслуговування. Більша частина технічного обслуговування полягає у ретельній перевірці турбіни і щогли. Остання має бути спроектована таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до механічних компонентів (підшипників).

## 1.2 Автономна вітро-сонячна станція

У більшості районів сонячна радіація і вітрові умови часто не співпадають: коли на небі ясно і світить сонце, зазвичай немає вітру, і навпаки, коли дме сильний вітер, часто хмарно або темно. Отже, для

забезпечення надійного електропостачання автономних об'єктів, зниження необхідної потужності вітряної та сонячної енергетики, а також ємності акумуляторів та оптимізації робочих режимів станції, часто доцільним є використання гібридних вітросонячних електростанцій.

Вітрогенератор є головним елементом системи, який виробляє електроенергію і заряджає акумуляторні батареї. Для того, щоб система не залежала від наявності або відсутності одного з енергетичних ресурсів і працювала більш стабільно та ефективно, енергосистема комплектується фотоелектричними модулями, які генерують електроенергію від сонця та заряджають акумуляторні батареї станції.

Гібридна вітро-сонячна електростанція є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку відновлювальної енергетики. Вона не лише допомагає зменшити викиди газів у атмосферу, але й забезпечує стабільне та економічно вигідне джерело електроенергії.

У гібридних електростанціях використовуються як вітряні турбіни, так і сонячні батареї для перетворення природної енергії на електричну. Завдяки такому поєднанню можна отримувати електроенергію за будь-яких умов: при відсутності або слабкому освітленні, а також при недостатньому або відсутньому вітрі. Це робить гібридні станції більш універсальними порівняно з традиційними системами на основі одного джерела енергії, підвищуючи їх ефективність та економічну вигоду.

Вибір місця для встановлення гібридної вітро-сонячної електростанції є критично важливим етапом у створенні цього типу енергетичного комплексу. Оптимальне розташування повинно забезпечувати достатню кількість як сонячної, так і вітрової енергії для стабільної роботи станції.

При виборі місця розташування необхідно враховувати такі фактори, як швидкість вітру, інтенсивність сонячного випромінювання, навколишні об'єкти та рельєф місцевості. Наприклад, для вітрогенераторів важливими критеріями є висота місцевості та середня швидкість вітру, а для сонячних панелей – наявність достатнього прямого сонячного освітлення.

Також важливо враховувати можливість підключення станції до енергосистеми та доступність транспортних комунікацій. Кожен з цих факторів може бути вирішальним при виборі оптимального місця розташування.

Одним з головних переваг вітро-сонячних станцій є те, що їм легко працювати без перебоїв протягом доби. Вдень сонце забезпечує високу продуктивність, а вночі спостерігається мінімальна концентрація сонячного випромінювання. Вітер же більш непередбачуваний, іноді він буває дуже сильним, а іноді, навпаки, дуже слабким. З цього виходить, що вітро-сонячні електростанції дозволяють компенсувати недоліки сонячних панелей та вітрогенератора та забезпечити стабільне вироблення електроенергії.

Концепція гібридної системи також включає використання накопичувачів енергії, таких як акумуляторні батареї або інші пристрої для зберігання виробленої енергії до моменту її необхідності.

Важливим компонентом гібридних систем є моніторинг і контроль. Спеціальне програмне забезпечення дозволяє оптимізувати роботу станції в режимі реального часу та керувати процесами заряджання і розряджання акумуляторів.

Загалом вітро-сонячні гібридні електростанції є перспективним підходом до виробництва чистої енергії. Вони можуть бути особливо корисними для віддалених або ізольованих районів, де немає підключення до центральної електромережі.

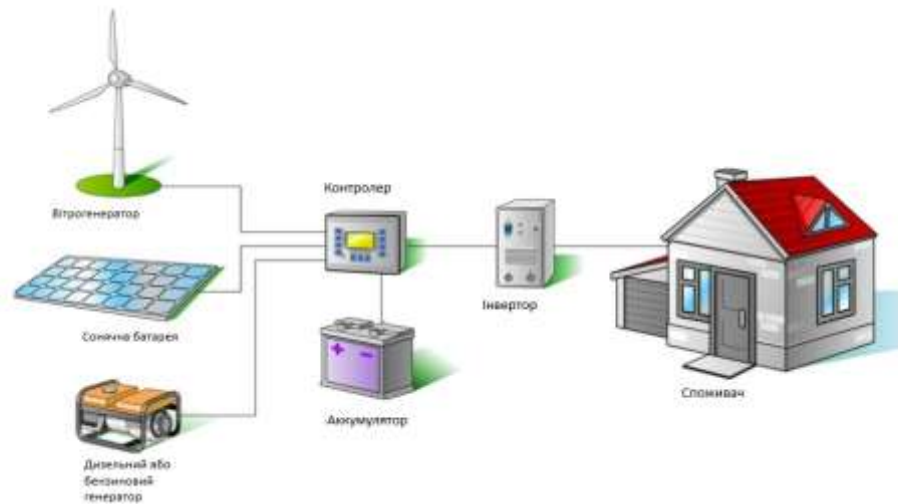


Рис. 1.2 – Схема автономної вітро-сонячної станції

Загалом гібридна вітро-сонячна станція має такі складові частини:

1. Контролер заряду (може бути вбудований у гібридний контролер для вітрогенератора)
2. Вітротурбіна, щогла, баластне навантаження, блок контролю та управління зарядом акумуляторної батареї
3. Сонячні фотоелектричні модулі
4. Інвертор необхідної потужності
5. Сполучні кабелі
6. Акумуляторні батареї, які витримують режими глибокого циклування: свинцево-кислотні з вуглецевим компонентом, гелеві, і, ще краще, літій-залізо-фосфатні. Сполучних кабелів, інше електромонтажне обладнання.

### 1.3 Вітрова станція з підключення до мережі

Автоматичний вимикач (АВР) — це система автоматичного перемикавання електрообладнання з основного джерела живлення на резервне у разі його відмови, забезпечуючи безперебійну роботу обладнання та збереження даних під час збою в основній системі.

АВР складається з кількох компонентів: автоматичних вимикачів, контролерів, трансформаторів та батарей. При виході з ладу основного джерела живлення контролер АВР автоматично перемикає електрообладнання на резервне джерело живлення, запобігаючи виходу з ладу обладнання та втраті даних протягом кількох секунд.

АВР використовуються в різних галузях, таких як медицина, телекомунікації, банківська справа та виробництво. У сфері охорони здоров'я АВР забезпечує безперервну роботу медичного обладнання, що може бути життєво важливим для пацієнтів. У телекомунікаційних компаніях АВР гарантує безперебійність комунікаційних мереж, запобігаючи перебоям у зв'язку та втраті доходу. У банківській справі АВР забезпечує безпеку даних і безперервність роботи банківських систем.

У приватних будинках у сільській місцевості АВР автоматично перемикає електропостачання з основного джерела (центральної електромережі) на аварійне джерело (електрогенератор) у разі відключення основної електроенергії. Це забезпечує безперебійну роботу систем безпеки, відеозапису, кондиціонування повітря, опалення або осушення. Під час тривалих відключень електроенергії побутова техніка також може працювати безперервно.

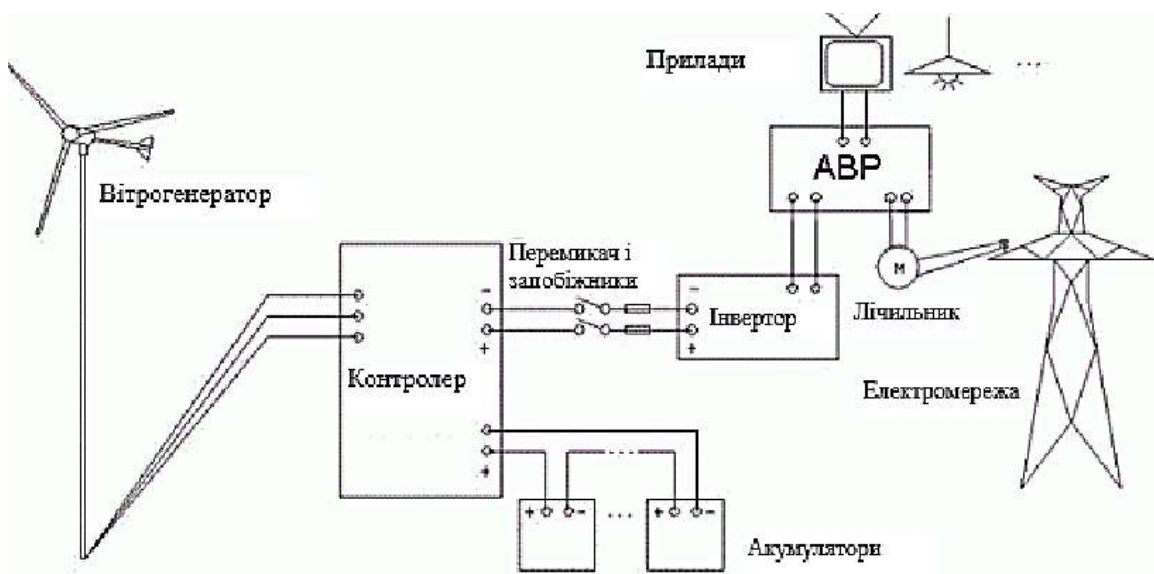


Рис. 1.3 – Схема вітрової станції з підключенням до мережі

## 1.4 Зелений тариф в Україні

Зелений тариф - це регулятивний механізм, що розвиток електроенергетики з використанням джерел енергії, які є відновлюваними. Ідея полягає в тому, щоб створити стимули для інвестицій у відновлювальну енергетику, сприяючи зменшенню використання вуглецю і негативного впливу на навколишнє середовище.

Зелений тариф передбачає, що виробники електроенергії з відновлювальних джерел мають право на гарантований викуп та продаж електричної енергії за сталою ціною протягом тривалого періоду, який зазвичай становить кілька років. Ці тарифи встановлюються державним органом енергетичного регулювання і зазвичай вищі за ринкову ціну електроенергії, щоб забезпечити інвестиційну привабливість для джерел енергії, які є відновлюваними. На сьогоднішній день вартість зеленого тарифу в Україні поступово зростає. У травні 2023 року це 430,25 грн/МВт·год, а з 1 липня – зросте на 12,7%, до 485,1 грн/МВт·год.

Основна мета Зеленого тарифу полягає в тому, щоб підтримати перехід до екологічно чистої енергетики, зменшити залежність від імпорту енергоносіїв і зменшити викиди шкідливих газів у атмосферу. Це сприяє створенню стійкого та екологічно відповідального енергетичного сектору.

Зелений тариф може мати позитивний вплив на розвиток відновлювальних джерел енергії, залучення інвестицій, створення робочих місць та зменшення негативного впливу на довкілля. Однак, він також потребує ефективного моніторингу та регулювання, щоб запобігти зловживанням та забезпечити справедливість для всіх учасників енергетичного ринку. Це означає, що розподіл та використання зеленого тарифу повинні бути прозорими, прогнозованими і безперешкодними для всіх зацікавлених сторін, включаючи виробників, споживачів та державні органи. Правила та умови отримання зеленого тарифу повинні бути розроблені з урахуванням принципів рівності, конкуренції та прозорості.

Крім того, справедливість передбачає врахування соціальних аспектів, зокрема доступності енергії для всіх верств населення. Це означає, що розробка тарифів повинна враховувати можливості енергетичного доступу для уразливих груп, забезпечуючи, щоб перехід до відновлювальної енергетики не створював додаткових нерівностей або енергетичної відчуженості.

Таким чином, зелений тариф має бути не лише екологічно ефективним, але й справедливим, що дозволить всім сторонам вигідно брати участь у розвитку відновлювальної енергетики та сприятиме сталому та включеному розвитку.

### **1.5 Принцип роботи вітрогенератора**

Енергія вітру є одним із видів відновлюваної та екологічно чистої енергії, яку ми отримуємо з природи. Вона утворюється через переміщення повітряних мас внаслідок різниці температур у різних шарах атмосфери.

#### **Стапи роботи вітрогенератора:**

- Вітер обертає лопаті вітрової турбіни.
- Обертання передає кінетичну енергію через коробку передач до генератора, який перетворює її на електричну енергію.
- Вироблена електроенергія зберігається в батареях, а потім подається в мережу або використовується для живлення різних пристроїв.

Після запуску вітрогенератора експлуатаційні витрати практично відсутні. Масове використання турбін здатне забезпечити електроенергією не тільки приватні будинки, а й цілі населені пункти та житлові райони міст.

Принцип роботи установки описується наступним чином: сила вітру приводить у рух лопаті вітрогенератора, які через привід обертають ротор. Внутрішня обмотка статора перетворює механічну енергію в електричну. Завдяки аеродинамічним властивостям пропелери швидко крутять турбіну генератора.

При сильному вітрі лопаті посилюють свою роботу. Постійне обертання турбіни, перетворене в електроенергію, накопичується в акумуляторних батареях. На швидкість роботи пристрою впливає конструкція лопатей: одна сторона плоска, а інша злегка закруглена. Це закруглення створює розрідження повітря, збільшуючи утворення енергії, що обертає механізм.

На роторі генератора встановлено 12 нерухомих магнітів, які створюють у статорі змінний струм, що передається на великі відстані. Усередині турбіни утворюється постійний електричний ланцюг: гвинти обертають вісь, з'єднану з ротором.

Змінна електроенергія, аналогічна за частотою до тієї, що подається в розетки споживачів, важко накопичується, але може передаватися на значні відстані. Промислові установки, у порівнянні з побутовими, дозволяють отримати більшу кількість електроенергії.

## **1.6 Сучасні види вітрогенераторів**

Вітрогенератори можна класифікувати за конструкцією та принципом дії. Ось основні типи вітрогенераторів:

- Горизонтальна вісь:

Цей тип вітрової турбіни має горизонтальну вісь обертання і складається з лопатей, генератора та вежі. Вони є найбільш ефективними та здатні виробляти найбільшу кількість енергії, але вони також найдорожчі та найскладніші в установці.



Рис. 1.4 – Вітрогенератор з горизонтальною віссю обертання

Існує кілька типів вітрогенераторів з горизонтальною віссю:

З фіксованим кроком: Це найпоширеніший тип вітрогенератора. Лопаті мають фіксований кут нахилу відносно вітру, що забезпечує оптимальну ефективність при різних швидкостях вітру.

З регульованим кроком: У цих вітрогенераторах кут нахилу лопатей можна змінювати залежно від швидкості вітру, що дозволяє підвищити загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) пристрою.

Шаблеподібні: Лопаті цих вітрогенераторів мають особливу форму, яка дозволяє їм більш ефективно працювати при високій швидкості вітру. Вони також демонструють високу продуктивність при низькій швидкості вітру.

- Вертикальна вісь:

У цього типу вітрогенераторів вісь обертання розташована вертикально, що дозволяє їм працювати при будь-якому напрямку вітру. Вони менш ефективні, ніж горизонтальні вітрогенератори, але простіші в установці та дешевші.



Рис. 1.5 – Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання

Такі "вітряки" мають кілька різних конфігурацій. Нижче представлені три найпоширеніші типи:

**З ротором Савоніуса:** Цей тип має дві або більше вигнутих лопатей, що мають форму синусоїдальної кривої. Вони працюють за принципом створення підйомної сили на лопатях, яка призводить до обертання осі вітрогенератора.

**Вітрогенератор Дар'є:** Має одну або кілька лопатей, розташованих уздовж вертикальної осі. Лопаті мають особливу форму, яка дозволяє їм створювати підйомну силу при русі по повітрю. Це створює крутний момент на осі вітрової турбіни, змушуючи її обертатися.

**Вітрогенератор Фена:** Використовує циліндричну турбіну з кількома лопатями для виробництва електроенергії. Лопаті обертаються навколо вертикальної осі, і коли вітер проходить через них, вони створюють крутний момент, який змушує турбіну обертатися.

- **Роторні:**

Ці вітрогенератори використовують спеціальні ротори, які вловлюють вітер і перетворюють його в енергію. Вони більш ефективні, але складніші в установці та вимагають особливих умов.

Роторні вітрогенератори складаються з ротора, генератора, вежі, контролера та щогли. Процес роботи роторного вітрогенератора включає вплив вітру на лопаті ротора, привід ротора і вироблення електроенергії

генератором, регулювання параметрів електроенергії контролером та передачу її на розподільний пристрій.



Рис. 1.6 – Роторні вітрогенератори

До переваг роторних вітрогенераторів належать висока ефективність перетворення енергії, здатність працювати в різних умовах, а також менші витрати на виробництво і монтаж.

Недоліки включають шум, ризик пошкодження лопатей та обмежену висоту вежі. Загалом, роторні вітрогенератори є ефективним і надійним способом отримання екологічно чистої енергії.

- Карусельні:

Це особливий вид вітрогенераторів, що мають кілька лопатей, які обертаються навколо центральної осі. Вони характеризуються високою ефективністю та надійністю, проте потребують спеціального обладнання для установки.

### **1.7 Місце вітроенергетики в світі**

У багатьох країнах вітроенергетика розвинулася настільки, що може виступати основним джерелом енергії. Збільшення частки вітроенергетики в розвинутих державах, особливо в Європі, значною мірою пов'язане з необхідністю боротьби з глобальними змінами клімату.

Зміна клімату – складна та серйозна проблема. Якщо уряди не вживуть заходів щодо скорочення парникових емісій, руйнівна сила таких ураганів, як Катріна та Рита виявиться нічим порівняно з тими бідами, які можуть обрушитися на планету внаслідок зміни клімату. Скорочення викидів парникових газів має як економічне, так і екологічне значення. Щоб уникнути

руйнівних кліматичних наслідків міжнародна політика в області збереження клімату має бути спрямована на те, щоб утримати зростання середньої глобальної температури не більше ніж на 2 градуси за Цельсієм порівняно з доіндустріальним періодом. Для вирішення цієї задачі світу в найближче десятиліття необхідно кардинально змінити підходи до вироблення та споживання енергії.

Зростанню ринку вітрової енергетики сприяє низка чинників. Сукупність цих факторів спонукала уряди деяких держав надати розвитку вітрової промисловості політичну підтримку.

*Енергетична безпека:* Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) прогнозує, що без активних заходів в області енергозбереження світова потреба в енергії до 2030 р. зросте на 60%. У той же час, постачання викопного палива скорочуються. Деякі найбільші світові економічні системи змушені все більше покладатися на імпорт палива з регіонів, де конфлікти та політична нестабільність ставлять під загрозу безпеку постачання енергоресурсів.

*Проблеми довкілля:* Необхідність термінових заходів для запобігання подальшим змінам клімату стала стимулом для розвитку вітрової енергетики. мінових заходів для запобігання подальшим змінам клімату стала стимулом для розвитку вітрової енергетики. Зміна клімату визнана найсерйознішою глобальною проблемою. Кіотський протокол (1997 р.) поклав на країни Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD) зобов'язання щодо скорочення викидів CO<sub>2</sub> у середньому на 5,2%. У країнах третього світу найбільше занепокоєння викликає безпосередній

вплив спалювання органічного палива на довкілля (насамперед забруднення повітря). Інші екологічні проблеми, пов'язані з використанням викопних ресурсів для

вироблення енергії, що виникають при геологорозвідувальних роботах, розробках родовищ викопного палива, розливах нафти, радіаційному впливі. Використання відновлюваних джерел енергії, у тому числі енергії вітру, що дозволяє уникнути цих ризиків і загроз.

*Економіка:* Зростання глобального ринку вітроенергетики призвело до значного здешевлення енергії, отриманої з вітру. Сучасні вітрові турбіни виробляють у 180 разів більше електрики щороку, ніж 20 років тому. Завдяки вигідному розташуванню, вітроелектростанції можуть змагатися за економічною ефективністю з тепловими електростанціями на вугіллі та газі.

Конкурентоспроможність вітрової енергетики збільшилася завдяки підвищенню цін на викопне паливо. Крім того, якщо б приховані витрати, пов'язані з впливом на довкілля та здоров'я людей при використанні викопного палива та ядерної енергії, були б включені у вартість електроенергії, вироблення електроенергії вітровими електростанціями виявилось б ще дешевшим. Вітрова енергетика також дає економічний ефект за рахунок створення нових робочих місць. У країнах, що розвиваються, вітрова енергетика відкриває економічні можливості для віддалених територій, що не мають доступу до електричних мереж.

*Технології та індустріальний розвиток:* З 1980-х років, коли розпочали використовувати перші комерційні вітрові установки, відбулося значне підвищення одиничної потужності та ефективності вітрових турбін, удосконалився їхній зовнішній дизайн. Одна сучасна турбіна 2 МВт-класу може виробляти енергії більше, ніж 200 установок зразка 1980-х років. Найбільші на сьогоднішній день турбіни мають потужність понад 5 МВт та діаметр вітроколеса понад 100 метрів. Сучасні вітроустановки складаються з модулів та легко зводяться. Вітрові станції можуть бути різної потужності – від одного до кількох сотень мегават.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок навантажень будинку у зимовий та латній періоди

Для обчислення навантаження змінного струму та визначення потрібного обсягу енергії, яка споживається необхідно виконати наступні дії:

1. Необхідно обчислити загальну кількість навантаження змінного струму шляхом додавання потужностей на всіх пристроях, вказаних в Таблиці 2.1, а також зазначити їх номінальну потужність і час роботи в годинах протягом тижня.

2. Ще одним кроком потрібно порахувати енергію, споживану на протязі тижня, шляхом перемноження потужності кожного пристрою на час його роботи в годинах, а потім додати всі отримані добутки. Результат позначається як Вт. Потужність пристроїв наведені в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Споживання електроенергії в зимовий період

Назва	Потужність $P_{ср}$ , <i>Вт</i>	Час роботи, годин за тиждень	Вт*год/ тиждень
Телевізор	170	55	9350
Комп'ютер	130	35	4940
Лампа світлодіодна	35	38	1330
Холодильник	350	160	56000
Пральна машина	900	3	2700
Праска	1700	4	6800
Бойлер	1500	25	37500
Фен	2000	2	4000
Пилосос	1300	1.5	1950
Електроплита	670	14	9380
<b>Всього:</b>	<b>8755</b>		<b>133950</b>

Таблиця 2.2 – Споживання електроенергії в літній період

Назва	Потужність P <sub>ср</sub> , Вт	Час роботи, год/тиждень	Вт*год/тиждень
Телевізор	170	25	4250
Холодильник	350	160	56000
Комп'ютер	130	20	2600
Лампа світлодіодна	35	25	875
Електроплита	670	14	9380
Пральна машина	900	4	3600
Праска	1700	3.5	5950
Фен	2000	1	2000
Пилосос	1300	1	1300
Кондиціонер	1200	12	14400
<b>Всього:</b>	<b>8455</b>		<b>100355</b>

З цих обрахунків можна дізнатись, що найбільше споживання електроенергії припадає на зимовий період року, тому обрахунки будуть вестись враховуючи, що  $W_{зм}=134$  кВт·год/тиждень.

Щоб визначити потрібну потужність постійного струму  $W_H$ , почнемо з множення загальної потужності змінного струму  $W_{зм}$  на коефіцієнт  $k = 1,2$ , який враховує опір інвертора.:

$$W_H = W_{зм} \cdot k \quad (2.1)$$

Отже, потужність постійного струму, яка необхідна з врахуванням опору інвертора становить:

$$W_H = 134 \cdot 1,2 = 160 \text{ кВт}$$

## 2.2 Розрахунок параметрів вітроустановки

Виберемо вітроустановку відповідної потужності, здатну забезпечити виробництво необхідної кількості електроенергії для живлення цієї будівлі. Якщо сила вітру недостатня, то можна використовувати енергію з мережі

Таблиця 2.3 - Результати статистичної обробки вимірювань швидкості вітру

$V, \text{м/с}$	1:00	5:00	9:00	13:00	17:00	21:00	$\Delta N(V)/$ $\Delta V$	$\Phi_v,$ $(\text{м/с})^{-1}$	$\Phi_{v>V}$	$P_v,$ $\text{Вт/м}^2$	$P_v \cdot \Phi_v,$ $\text{Вт} \cdot \text{с/м}^3$
0	89	71	38	28	58	82	366	0,1671	1,0	0,00	0,0000
1	1	0	0	0	0	0	1	0,0005	0,8329	0,65	0,0003
2	75	67	20	25	58	66	311	0,1420	0,8324	5,20	0,7384
3	55	67	42	47	71	77	359	0,1639	0,6904	17,55	2,8769
4	64	69	94	90	68	68	453	0,2068	0,5265	41,60	8,6049
5	35	51	73	64	54	33	310	0,1416	0,3196	81,25	11,5011
6	13	12	29	32	22	12	120	0,0548	0,1781	140,40	7,6932
7	20	12	31	32	14	14	123	0,0562	0,1233	222,95	12,5218
8	7	9	26	37	17	6	102	0,0466	0,0671	332,80	15,5003
9	5	4	7	6	3	6	31	0,0142	0,0205	473,85	6,7075
10	1	1	2	3	0	1	8	0,0037	0,0064	650,00	2,3744
11	0	1	2	1	0	0	4	0,0018	0,0027	865,15	1,5802
12	0	1	0	0	0	0	1	0,0005	0,0009	1123,2	0,5129
13	0	0	1	0	0	0	1	0,0005	0,0005	1428,05	0,6521
$\Sigma$							2190	1,0000			

Процедура обробки результатів вимірювань має такий вигляд:

1. Результати вимірювань швидкості вітру сортирують у групи за величиною з кроком  $\Delta V=1$  м/с, тобто в групи зі швидкостями 0 м/с, 1 м/с, 2 м/с, 3 м/с і т. д. Загальна кількість вимірювань  $N = 2190$ .

2. В кожній групі підраховується кількість вимірювань і визначається відношення  $\Delta N(V) / \Delta V$ . Величина  $\Delta N(V) / \Delta V$  – кількість вимірювань в одиничному швидкісному інтервалі або щільність функції розподілу швидкості вітру. При цьому слід враховувати, яким є швидкісний інтервал (в нашому випадку  $\Delta V=1$  м/с, але він може братися й більшим). Гістограма розподілу швидкостей вітру наведена на рис 2.1.

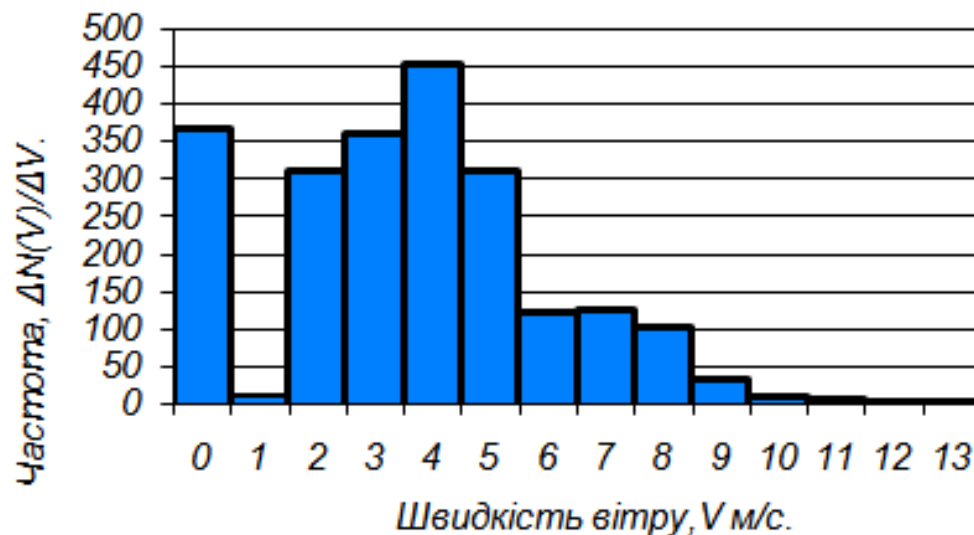


Рис. 2.1 – Гістограма розподілу швидкостей вітру

3. Визначається величина  $\Delta N(V) / N = \Phi_V$  – імовірнісний розподіл швидкості вітру. На рис. 2.2 наведено залежність  $\Phi_V$  від  $V$ . Значення функції  $\Phi_V$  зворотно пропорційне швидкісному інтервалу. Добуток  $\Phi_V \cdot \Delta V$  можна інтерпретувати як частина часу року, на протязі якої швидкість вітру має значення, поміщені в інтервал  $V + \Delta V$ .

4. Для визначення імовірності  $\Phi_{V>V'}$  появи вітру із швидкістю  $V$ , більшою деякої заданої величини  $V'$ , необхідно скласти імовірності всіх швидкісних інтервалів  $\Phi_V \cdot \Delta V$ , в яких  $V > V'$ . Інша інтерпретація імовірності  $\Phi_{V>V'}$  – частина року, на протязі якої дмуть вітри зі швидкостями, більшими

за  $V'$ . Імовірність  $\Phi_{V>V'}$ , неважко помітити, – безрозмірна величина. Її графік наведений на рис. 2.3.

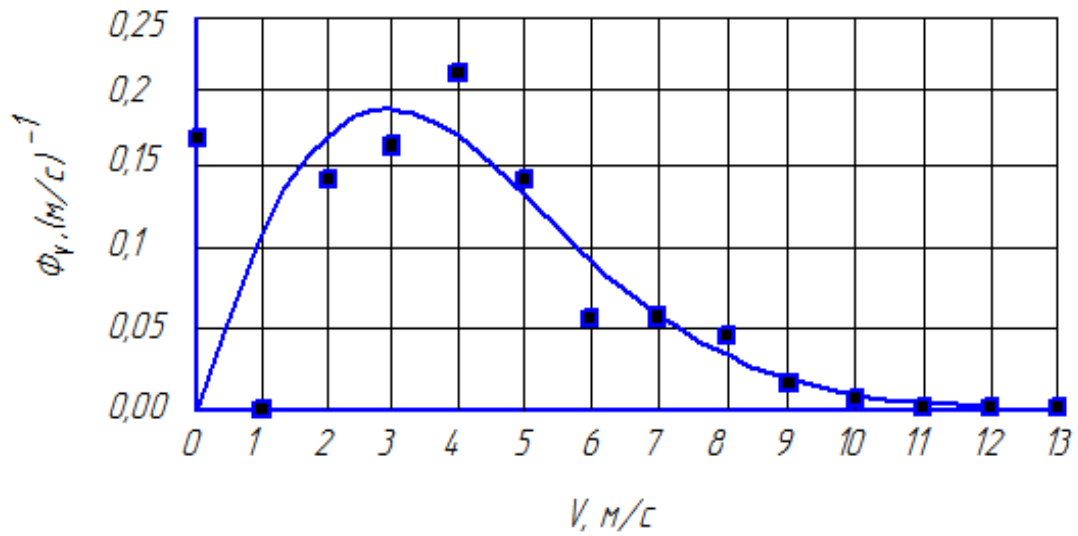


Рис. 2.2 - Імовірнісний розподіл швидкості вітру.

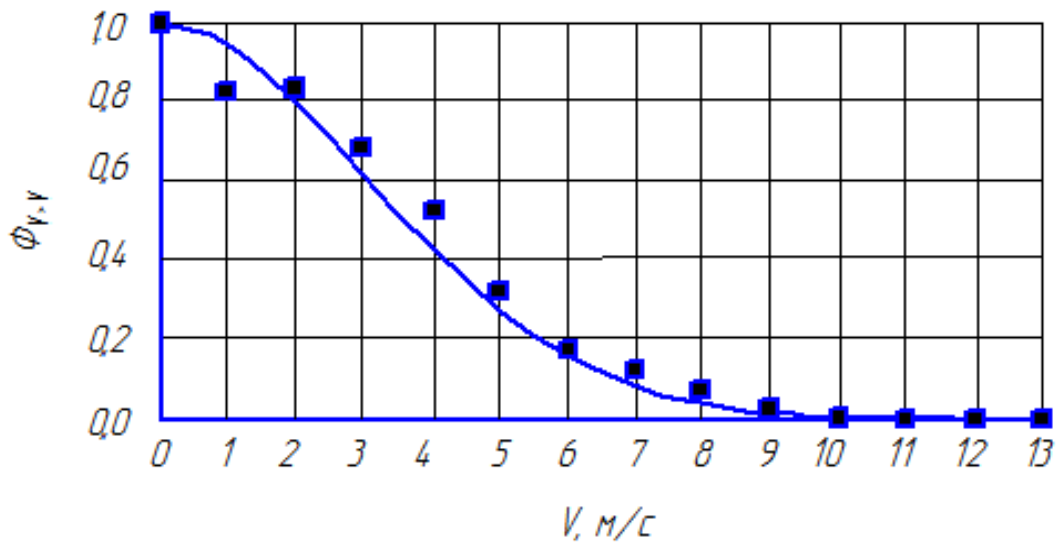


Рис. 2.3 - Імовірність появи швидкості вітру, більшої за задану  $V'$ .

5. Середнє значення швидкості вітру  $\bar{V}$  можна визначити за співвідношеннями:

$$\bar{V} = \frac{\sum((\Delta N / \Delta V) \cdot V)}{N} \quad (2.2)$$

$$\bar{V} = \sum(\Phi_V \cdot V) \quad (2.3)$$

Середнє значення швидкості, згідно з даними вимірювань становить  $\bar{V} = 3,6014$  м/с.

6. Потужність вітрового потоку одиничного перетину (питома потужність)  $P_V = \rho \cdot V^3 / 2$ . Якщо в середньому  $\rho = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>, то  $P_V = k \cdot V^3$ , де  $k = 0,65$  кг/м<sup>3</sup>. Очевидно, що  $P_V \cdot \Phi_V$  є функцією розподілу енергії вітру (рис.2.5).

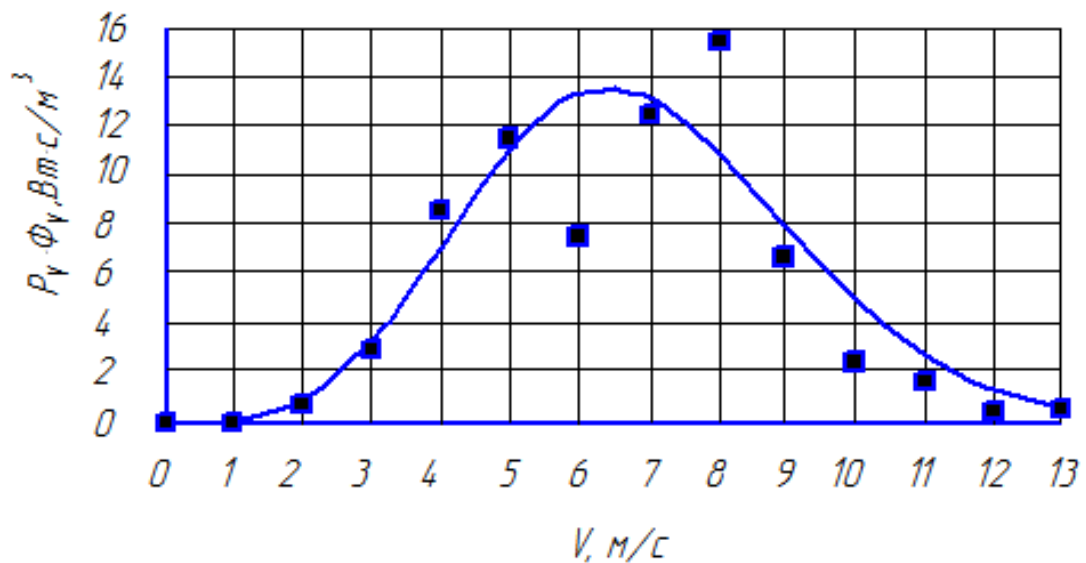


Рис. 2.4 - Функція розподілу енергії вітру.

Розглянутий вище аналіз заснований на статистичній обробці результатів систематичних вимірювань швидкості вітру на протязі року. Точно таку методику можна використовувати і при аналізі даних неперервного запису швидкості вітру за більш короткий проміжок часу.

Та даний аналіз має суттєвий недолік. Він потребує великого масиву експериментальних показників, а одержані графіки не однозначно характеризують вид статистичного розподілу. Бачимо, що графіки, наведені на рис. 2.1-2.4, дають лише наближену уяву про функції розподілу швидкостей та енергії вітру в умовах Полтави. В той же час буває дуже зручно мати аналітичні вирази цих функцій, які відповідали б експериментальним даним. В цьому випадку, по-перше, різко скоротилася б

необхідна кількість вимірювань швидкості вітру, і, по-друге, з'явилася б можливість аналітичного розрахунку техніко-економічних характеристик вітроустановок.

Серія експериментальних розрахунків і аналіз спостережень вітрових характеристик показали, що найкращою збіжністю результатів спостережень із розрахунковими величинами володіє закон Вейбула :

$$\Phi_{V>V'} = \exp\left[-\left(\frac{V'}{c}\right)^k\right], \quad (2.4)$$

$$\Phi_V = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right], \quad (2.5)$$

де  $k$  та  $c$  – параметри розподілу.

На користь застосування саме такого апроксимуючого (інтерполяційного) рівняння говорить той факт, що за його допомогою можна записати весь діапазон одномодальних розподілів швидкості вітру, від нормального до суттєво правостороннього асиметричного. Так при  $k = 1$ , розподіл Вейбула співпадає з експоненціальним розподілом, а при  $k = 2$  – з розподілом Релея ( $\chi^2$  розподілом).

Скориставшись засобами програмного пакету Microsoft® Excel , отримаємо значення параметрів  $k$  та  $c$ , при яких вони найкраще відповідатимуть експериментальним даним. При цьому для аналізу використовуватимемо лише робочі швидкості вітру. Після цього можемо побудувати графіки.

Отже, отримуємо для умов Полтави  $k = 1.908785$ ;  $c = 4.413319$ .

Графіки аналітичних функцій  $\Phi_V$  та  $\Phi_{V>V'}$  для умов Полтави наведені на рис. 2.5 та 2.6, квадратиками позначені експериментальні дані.

Можемо визначити, що графік аналітичної функції розподілу енергії вітру  $P_V \Phi_V$  збігається з графіком, зображеним на рис.2.3. Функція розподілу має максимум при  $V= 6,5$  м/с.

Можна також побудувати залежність потужності вітрового потоку одиничного перетину від імовірності  $\Phi_{V>V'}$ , яка дозволяє визначити імовірність сподівання вітрового потоку заданої потужності (забезпеченість потужності), див. рис. 2.7.

На основі розподілу щільності імовірності швидкостей вітрового потоку в якості прийнятної оцінки вітроенергетичного потенціалу слід використовувати імовірну кількість кінетичної енергії вітрового потоку, яку можна мати в досліджуваній місцевості.

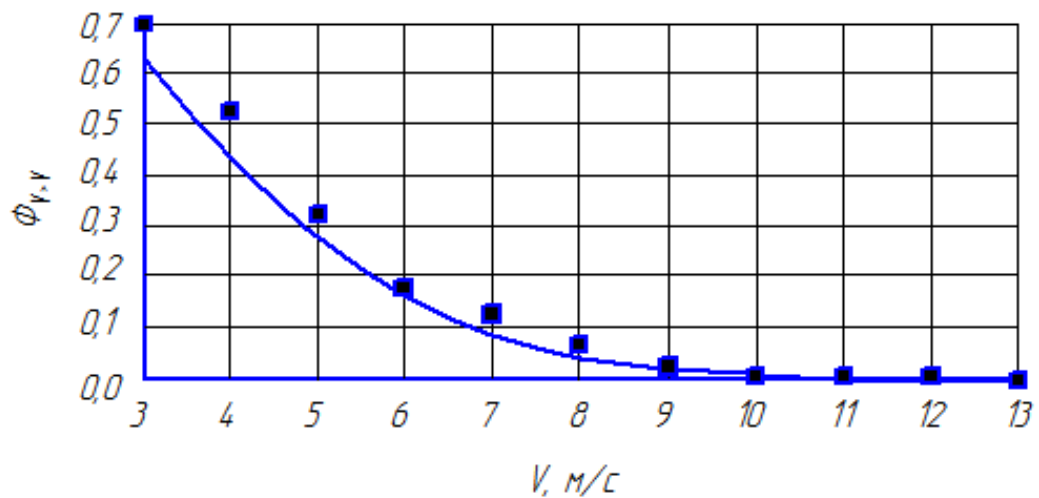


Рис. 2.5 - Аналітична функція імовірності появи швидкості вітру, більшої заданої величини  $V'$ .

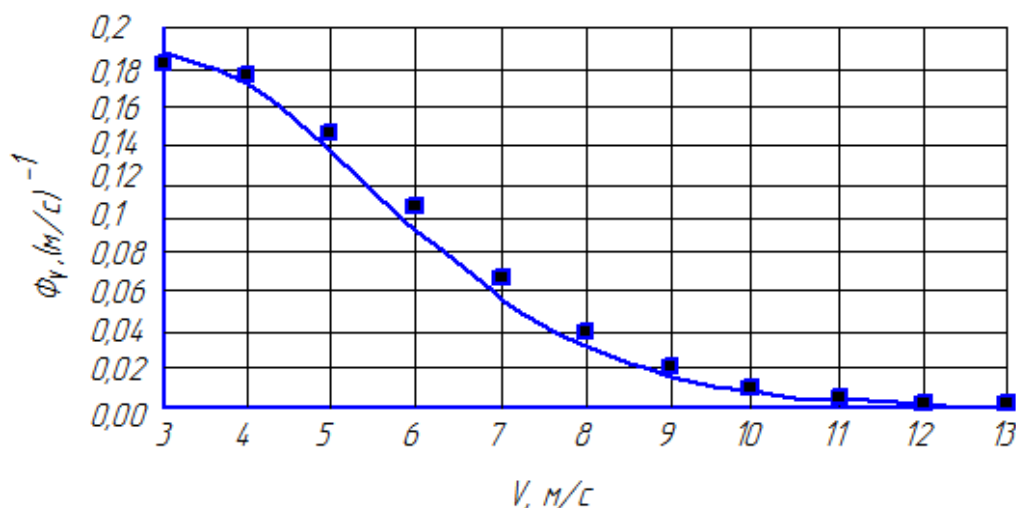


Рис. 2.6 - Імовірнісний розподіл швидкості вітру (розподіл щільності імовірності), отриманий аналітично.

Після знаходження закону повторюваності швидкостей вітру в конкретній місцевості розрахунок загальної кількості питомої енергії вітрового потоку через зведення до третього ступеня середньорічної швидкості вітрового потоку може використовуватися лише в якості наближеної оцінки, оскільки дає занижене значення енергопотенціалу.

Інтенсивність вітрового потоку визначається зведенням до куба ординат розподілу щільності імовірності та забезпеченості швидкостей вітрового потоку.

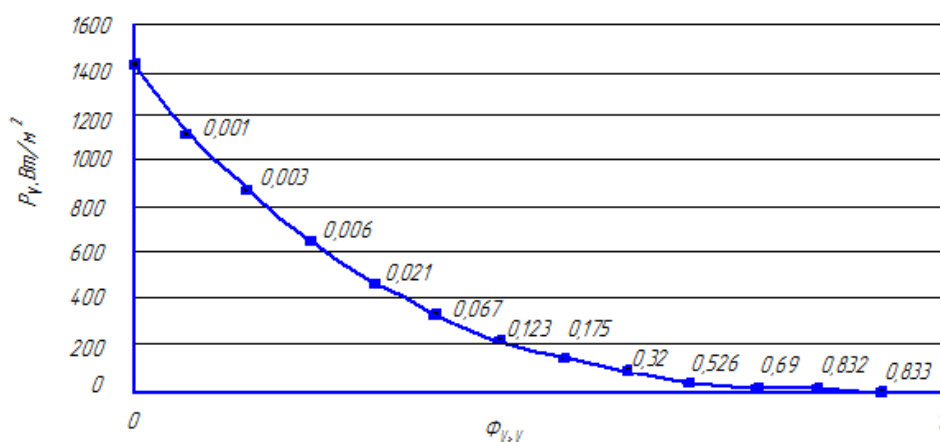


Рис. 2.7 - Залежність питомої потужності вітрового потоку від імовірності  $\Phi_{V>V}$ .

За отриманими результатами статистичної обробки вимірювань швидкості вітру, що були отримані на метеостанції м. Полтави ми маємо вибрати вітроустановку, яка задовольнятиме отримані значення, а саме: середня швидкість вітру  $\bar{V} = 3,6014$  м/с, потужність – до 4 кВт.

Обираємо вітрогенератор типу ENERSUN-3000

Комплектація:

- турбіна;
- хвіст, лопаті, кріплення вітрогенератора;
- трос щогли;
- поворотний механізм;

Характеристики:

Номінальна потужність: 3000 Вт;

Максимальна потужність: 3600 Вт;

Номінальна напруга: 24 В;

Діаметр вітроколеса: 2 м;

Стартова швидкість вітру: 2.5 м/с;

Початкова робоча швидкість вітру: 3 м/с;

Номінальна швидкість вітру: 11 м/с;

Максимальна робоча швидкість вітру: 30 м/с;

Ураганна розрахункова швидкість вітру: 45 м/с;

Номінальна швидкість обертання ротора: 380 об/хв.;

Ступень захисту оболонки: IP54;

Клас нагрівостійкості ізоляції: F;

Матеріал гондоли: литий алюміній;

Матеріал лопатей: FRP;

Тип генератора: Трифазний синхронний генератор змінного струму з постійним магнітом

Тип вихідного сигналу напруги: чиста синусоїда;

Основні параметри ВЕУ :

- 1) номінальна потужність  $P_{\text{ном}}$  [Вт,кВт] - потужність, що розвивається вітроустановкою при розрахунковій швидкості вітру;
- 2) розрахункова швидкість вітру  $V_p$  [м/с] ;
- 3) діаметр віротурбіни  $D$  [м] ;
- 4) вироблення енергії за місяць  $W_m$  [кВт·год] - величина, що залежить від середньої швидкості вітру;
- 5) середня потужність  $P_{\text{ср}}$  [кВт] – Це ключовий параметр вітроустановки, який повинен відповідати відомій або планованій кількості енергії, споживаної навантаженнями протягом того ж періоду. Він визначається середньою швидкістю вітру в місці розташування вітроустановки, розмірами ВЕС (площею обдування, діаметром віротурбіни) та ефективністю конструкції ВЕС.

За умови, що вітроустановка виконана на високому рівні з використанням сучасних технологій, прогнозувати виробництво енергії можна за допомогою спеціального вітрокалькулятора.

Потужність вітроустановки рівна:

$$P_{\text{ВЕУ}} = \eta \cdot P_m, \quad (2.6)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії генератора і трансмісії (зазвичай рівний 0,8 – 0,9);

$P_m$  – потужність віротурбіни.

Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi \cdot P_{II}, \quad (2.7)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт вітровикористання відрізняється від ККД тим, що "недоотримана" потужність, головним чином, не втрачається, а залишається в потоці. Різні теорії вказують на максимальне значення коефіцієнта вітровикористання ідеального пристрою у діапазоні 0,59–0,68. У реальних умовах добре спроектована вітрова турбіна має коефіцієнт вітровикористання у діапазоні 0,4–0,55

$P_{II}$  – потужність вітрового потоку, що проходить через обтікаючу вітро-турбіною площу.

Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_{II} = \frac{\rho \cdot v^3}{2} \cdot S, \quad (2.8)$$

де  $\rho$  – щільність повітря (стандартне значення 1.225 кг/м<sup>3</sup>);

$v$  – швидкість необуреного вітрового потоку; приймаємо  $v = 11$  м/с.

Обтікаюча площа:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.9)$$

$$S = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} = 6,28 \text{ м}^2.$$

Визначимо потужність потоку:

$$P_{II} = \frac{1,225 \cdot 11^3}{2} \cdot 6,28 = 5112 \text{ Вт.}$$

Обчислюємо потужність турбіни:

$$P_m = 0,45 \cdot 5112 = 2300 \text{ Вт.}$$

Отже, потужність вітроустановки дорівнює:

$$P_{BEY} = 0,85 \cdot 2045 = 1955 \text{ Вт.}$$

Даних залежностей достатньо для налаштування таких параметрів ВЕУ, як номінальна потужність, діаметр і розрахункова швидкість вітру. Проте так само важливими є очікуване вироблення енергії і середня потужність вітроустановки. Ці величини можна достатньо точно обчислити, враховуючи діаграму розподілу швидкостей вітру за період, який цікавить.

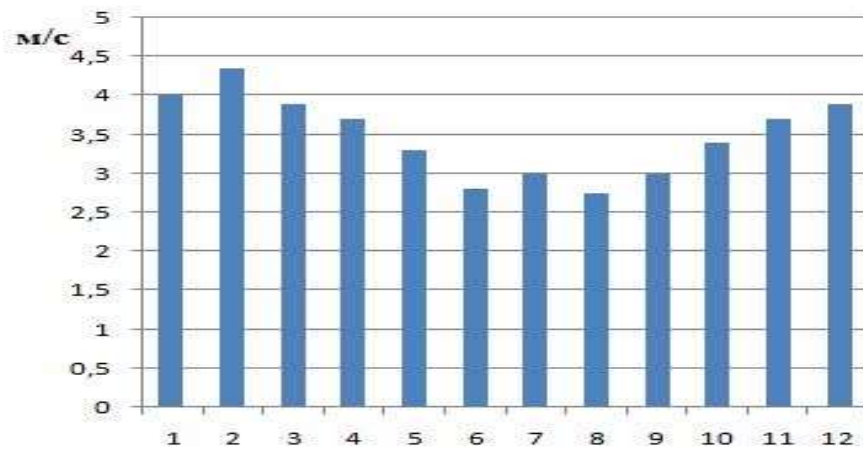


Рис. 2.8 - Середні швидкості вітру по місяцях (Полтава).

При обчисленні місячного вироблення енергії приймаються наступні припущення:

- потужність вітрогенератора при швидкості вітру нижче розрахункової зменшується пропорційно кубу швидкості вітру:

$$P = P_{\text{ном}} \cdot (V/V_p)^3;$$

- потужність вітрогенератора при вищій вітровій швидкості відповідає номінальній (обмежується системою управління або генератором);

- розподіл швидкостей вітру по часові підпорядковується закону Гауса:

$$p = A \cdot e^{-\pi \cdot A^2 (V - V_0)^2}, \quad (2.10)$$

де  $V_0$  – середня швидкість вітру м/с;  $A$  - величина, залежна від  $V_0$ .

Таблиця 2.4 - Значення коефіцієнту А при різних швидкостях вітру

$V_0, \text{м/с}$	3	4	5	6
A	0,228	0,185	0,165	0,15

Отже, середня потужність вітроустановки буде залежати від її розрахункової швидкості та середньої швидкості вітру і складе:

$$P_{cp} = \int_0^{\infty} P_{ном} \left[ \frac{V}{V_p} \right]^3 A \cdot e^{-\pi \cdot A^2 (V - V_0)^2} dV \quad (2.11)$$

Маючи дані:  $P_{ном}=3000$  Вт,  $V=11$  м/с,  $V_p=11,431$  м/с,  $A=0,185$  м/с,  $V_0=3,6014$  м/с і за допомогою Mathcad, отримуємо:

$$P_{cp}=647 \text{ Вт.}$$

Відповідно, визначаємо енергію яка буде вироблена протягом місяця:

$$W_M = P_{cp} \cdot N \cdot n, \quad (2.12)$$

де N – кількість днів у місяці;

n – кількість годин на добу.

$$W_M = 0,647 \cdot 30 \cdot 24 = 465,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

### 2.3 Попереднє визначення енергоспоживання і потужності інвертора

Споживання енергії на тиждень складає  $W_{зм} = 144$  кВт·год (табл.2.1). Коли виробництво перевищить споживання, електроенергія буде направлена на зарядку батареї акумуляторів. Потрібна потужність постійного струму з урахуванням втрат у інверторі визначається за формулою:

$$W_{номп} = W_{зм} \cdot k, \quad (2.13)$$

де  $W_{зм}$  – сумарна витрата електроенергії змінного струму протягом тижня

k – коефіцієнт, що враховує втрати в інверторі,  $k=1,2$ .

$$W_{номр} = 144 \cdot 1,2 = 172,8 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Для вибору інвертора потрібно розділити значення  $W_{потр}$  на кількість годин на тиждень,  $7 \cdot 24 = 168$  год:

$$P_{инв} = \frac{W_{номр}}{7 \cdot 24}, \text{ Вт} \quad (2.14)$$

$$P_{инв} = \frac{172,8 \cdot 10^3}{7 \cdot 24} = 1028 \text{ Вт}$$

Вибираємо гібридний інвертор, Модель: ENERSUN - 10224.

Номінальна напруга інвертора  $U_{инв}=12$  В, номінальна потужність:  $P_{ном}=1$  кВт.

Для визначення числа ампер-годин на тиждень, необхідних для покриття навантаження змінного струму, використовуємо таку формулу:

$$q_m^{зм} = \frac{W_{номр}}{U_{инв}}, \quad (2.15)$$

де  $W_{потр}$  – енергія постійного струму з урахуванням втрат у інверторі;

$U_{инв}$  – вхідна напруга інвертора.

Число ампер-годин на тиждень яке виробляє вітрогенератор

$$q_{вг}^{зм} = \frac{132 \cdot 10^3}{12} = 11000 \text{ А}\cdot\text{год}$$

Потрібне для будинку число ампер-годин

$$q_m^{зм} = \frac{172 \cdot 10^3}{12} = 14333 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Таким чином різниця складає

$$q_{m.p}^{зм} = 14333 - 11000 = 3333 \text{ А}\cdot\text{год}$$

Будемо вважати, що в будинках відсутнє споживання постійного струму.

Споживання Ампер-годин за добу:

$$q_{\text{доб}} = \frac{q_m}{7} = \frac{q_m^{3M}}{7}, \quad (2.16)$$

де  $q_m^{3M}$  - кількість ампер-годин, необхідних на тиждень для забезпечення споживання змінного струму..

$$q_{\text{доб}} = \frac{14333}{7} = 2047,57 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

З вітрогенератором

$$q_{\text{доб}} = \frac{3333}{7} = 476,14 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

#### **2.4 Визначення необхідного обсягу акумуляторної батареї та їх необхідної кількості**

Визначимо максимальну послідовність "днів без вітру"  $N_{\text{бв}}$ , коли недостатньо вітрової енергії для зарядки акумуляторної батареї. При постійному використанні системи, включаючи з'єднання з електричною мережею, для зменшення витрат можна вибрати мінімальну кількість днів без вітру на тиждень — 1. Це означає, що можна заряджати від резервного джерела в будь-який час. Також можна врахувати цей параметр як обрану кількість днів, протягом яких акумуляторні батареї будуть жити навантаження самостійно, без потреби в додатковій підзарядці.

Сумарна місткість акумуляторів, що враховує кількість "днів без вітру":

$$q_N = q_{\text{доб}} \cdot N_{\text{бв}}, \quad (2.17)$$

де,  $q_{\text{доб}}$  – добове значення Ампер-годин;

$N_{\text{бв}}$  – дні без вітру. Приймаємо  $N_{\text{бв}}=1$ .

$$q_N = 476,14 \cdot 1 = 476,14 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Задамо величиною глибини розряду акумуляторної батареї - 50%. Відповідно коефіцієнт використання  $\gamma = 0,5$ . Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma}, \quad (2.18)$$

де  $q_N$  – сумарна кількість акумуляторів;

$\gamma$  – коефіцієнт використання акумуляторної батареї.

$$q_\gamma = \frac{476,14}{0,5} = 952,28 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Вибираємо коефіцієнт  $\alpha$  з таблиці 2.5, який урахує температурні умови навколишнього середовища там, де встановлені акумуляторні батареї. Зазвичай це середній рівень температури. Для нашого регіону обираємо  $\alpha=1,19$  при середній температурі  $10^\circ\text{C}$ . Коефіцієнт враховує зменшення ємності при зниженні температури.

Загальна ємність акумуляторних батарей, яка необхідна:

$$q_{\text{заг}} = q_\gamma \cdot \alpha \quad (2.19)$$

де,  $q_\gamma$  - заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду;

$\alpha$  - температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї.

$$q_{\text{заг}} = 952,28 \cdot 1,19 = 1133,21 \text{ А}\cdot\text{год.}$$

Таблиця 2.5 - Температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї

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

Вибираємо акумуляторну батарею Jarrett GEL Battery 250Ah 12V, з номінальною напругою  $U_{\text{ном}}=12$  В та номінальною ємністю  $q_{\text{ном}}=250$  А·год.

Необхідна кількість акумуляторних батарей, які з'єднані паралельно, розраховуємо по такій формулі:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{заг}}}{q_{\text{ном}}}, \quad (2.20)$$

де,  $q_{\text{заг}}$  – необхідна ємність акумуляторних батарей.

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{1133,21}{250} \approx 5.$$

Необхідна кількість акумуляторних батарей, які з'єднані послідовно, розраховуємо по такій формулі:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (2.21)$$

де  $U_{\text{інв}}$  – вхідна напруга інвертора;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга акумуляторної батареї.

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{12}{12} = 1.$$

Загальна необхідна кількість акумуляторних батарей:

$$N^{AKB} = N_{нар}^{AKB} \cdot N_{посл}^{AKB}, \quad (2.22)$$

$$N^{AKB} = 5 \cdot 1 = 5.$$

Найкращим вибором при напрузі 12 В та ємності 250 А·год буде акумулятор Jarrett GEL Battery 250Ah 12V. Враховуючи ринкову вартість, яка становить близько 10000 грн, та додавши вартість 5 таких АБ, кінцеві затрати будуть складатись порядку 50000 грн.

Після проведених розрахунків стало очевидним, що вартість необхідних акумуляторних батарей є значною, до того ж строк експлуатації АБ складає порядку 5 років. Оскільки такі великі капітальні витрати недоцільні, ми вирішили відмовитися від такої кількості акумуляторів і встановити лише декілька на випадок відключення електроспоживання від мережі. Це спричинено аварійними відключеннями через військовий стан в країні.

Взявши до уваги екстренну ситуацію, при якій не буде постачання світла, то для автономної роботи будинку на добу, враховуючи використання найнеобхідніших приладів, таких як холодильник, лампи, бойлер, тощо, досить буде 2х акумуляторів, загальна вартість яких буде становити близько 20000 грн.

## **РОЗДІЛ 3. МОНТАЖ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ**

### **3.1 Монтаж обладнання ВЕС**

Монтаж вітрогенератора включає кілька етапів:

- ракладання фундаменту під основу щогли з розтяжками;
- встановлення першої секції щогли;
- кріплення першої секції щогли до основи за допомогою "пальця";
- підготовка щогли до складання та протягування кабелів усередині щогли;
- складання всіх секцій щогли;
- з'єднання генератора з щоглою;
- з'єднання силових та сигнальних кабелів, закріплення їх усередині турбіни;
- кріплення генератора до щогли;
- монтаж лопатей та обтічника;
- встановлення на турбіні датчика напрямку вітру та підключення до кабелю;
- монтаж другого обтічника;
- кріплення розтяжок до щогли та підйом вітрогенератора;
- регулювання розтяжок, контроль чіткого вертикального положення щогли;
- встановлення анемоскопа;
- підключення решти електричної частини системи.

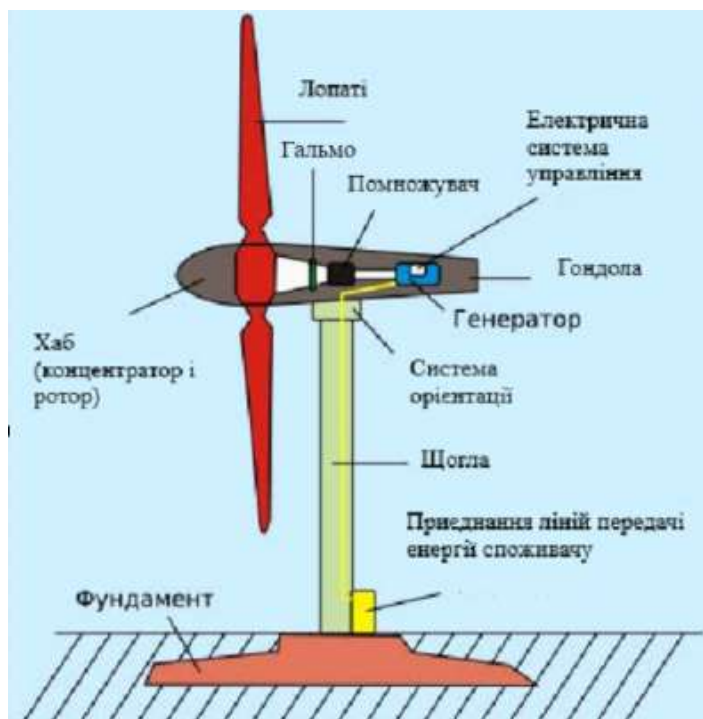


Рис 3.1 – Структура вітрогенератора

### 3.2 Місце встановлення вітрогенератора

Невеликі моделі можна встановлювати на даху будівлі. Особливо, якщо апарат відрізняється не високим рівнем шуму. При цьому варто встановити вітрогенератор не менше ніж на 3 метри над дахом, а також врахувати можливе влучення блискавки. При виборі серйозніших установок рекомендується переносити їх подалі від житлових будівель. Мінімум допустима відстань – 20 м, оптимальний варіант – 30-40 м.



Рис 3.2 – Вітрогенератор на даху будівлі

Також необхідно передбачити і висоту щогли. При максимальній висоті та високій швидкості вітру вітрогенератор працюватиме найбільш ефективно. Деревя та споруди, розташовані на території, перешкоджають потоку вітру. У зв'язку з цим, що вище місце установки, то краще. Оптимальним варіантом є мача, яка за висотою перевершує найвищу точку - це може бути будівля або дерево, висота якого досягає 10 м, розташована в діапазоні 100 метрів. Не рекомендується встановлювати пристрої на місцях із увігнутою формою рельєфу. Відповідно до норм та рекомендацій агрегати мають бути встановлені на територіях, недоступних для сторонніх осіб.

### **3.3 Обслуговування ВЕС**

Обслуговування вітрогенератора є важливою частиною отримання альтернативної енергії.

Вітрогенераторам постійно доводиться працювати у важких умовах, створюваних змінною силою вітру та мінливістю температури навколишнього середовища. Тому рекомендується проводити щорічний техогляд обладнання ВЕС. У першу чергу, технічна перевірка проводиться на ділянках, які особливо схильні до впливу зовнішніх факторів, таких як вітряні бурі або заморозки в холодну пору року.

Необхідно перевіряти стан вузлів і механізмів у системі на наявність скручених кабелів в опорі, утворення тріщин та сколювань на лопатях. Замінити щітки струмознімача (якщо вітрогенератор їм обладнаний).

Перевіряти ступінь окислення та можливе утворення корозій на вітроголовці. Затягнути (при необхідності) ослаблені болти на маточці та сланцях. Якщо ВЕУ обладнана щоглою на відтяжках, перевірити стан тросів. Провести детальну діагностику систем безпеки та налагодженості аварійної зупинки у разі виникнення несправностей і проконтролювати справність роботи акумулятора. Несправність одного акумулятора може призвести до збою в роботі системи.

## Висновки

Під час виконання даної бакалаврської роботи було вирішено всі поставлені завдання по вибору обладнання та встановлення вітрової електростанції для задоволення енергетичних потреб житлового будинку.

Насамперед слід зазначити, що всі розрахунки є приблизними, адже інформації могло не вистачити для більш точних результатів.

За попередніми розрахунками було обрано вітрогенератор ENERSUN-3000 потужністю 3 кВт., який майже повністю задовольняє енергетичні потреби сучасного житлового будинку. Також було обрано 2 акумуляторних батарей Jarrett GEL Battery 250Ah 12V, адже більша їх кількість не є економічно доцільна через їх дороговизну, а також через те, що частину часу будинок підключений до електромережі і може житися від неї. Було обрано гібридний інвертор ENERSUN – 10224.

Проведено збір статистичних даних та виконано всі необхідні розрахунки для визначення доцільності встановлення вітрової електростанції з підключенням до мережі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Циленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
2. Звіт Української Вітроенергетичної асоціації «Вітроенергетичний сектор України 2020». Режим доступу: <http://www.uwea.com.ua/>
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне.  
Міненерговугілля України. – Х: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
4. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру : навч. посіб. / С. В. сиротюк, В. М. Боярчук, В. П. Гальчак. – Львів : «магнолія 2006», 2018. – 182 с
5. Інтернет ресурс. Доступ за посиланням: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ.: ТОВ «ВіолаПрінт», – 2008. – 55 с.
7. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарний, А. В. Щурчков// – К.: ІТТФ, 2002. – С. 151 - 159.
8. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415-il>
9. [http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord\\_database.html](http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html)
10. <http://www.enercon.de>
11. <http://en.wind-turbine-models.com/turbines/26-tacke-tw-600>
12. <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/>
13. <http://www.fuhrlander.com.ua/>
14. <https://enersun.com.ua/>

15. Wind Power Basics. / Dan Chiras. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada. 2010. – 179 p.
16. Wind Power For Dummies. Published by Wiley Publishing, Inc. Indianapolis. 2009. – 387 p.
17. Oleksii B. Ivanov, Fedir P. Shkrabets, Jan Zawilak. Electrical generators driven by renewable energy systems. Wroclaw University of Technology, Wroclaw – 2011. – 169 p.

# ДОДАТКИ

## CHAPTER 1. TYPES OF ENERGY SUPPLY SYSTEMS

### 1.1 Autonomous wind station

Stand-alone wind energy systems are most practical in places far removed from the electricity grid. They are often combined with solar panels to take full advantage of seasonal and diurnal fluctuations in wind and solar resources.

For small autonomous wind turbines, as a rule, the minimum average annual wind speed should be at least 4-5 m/s. Only in this case the system will be profitable. Automatic weather stations usually monitor wind speed at a height of 10 meters above ground level.

To create a wind speed model, the wind speed is usually estimated at a height of 50-80 m. At the same time, you need to pay attention to the height where the annual data is obtained. If it is not exactly the same as the height of the selected installation, then the wind speed must be estimated again at this height. Otherwise, the efficiency of the wind generator will be greatly questioned. Tall masts and a good location allow wind turbines to produce higher wind speeds. Manufacturers must specify the starting wind speed of the wind generator. The speed at which the turbine starts to spin and generate power: In areas with frequent light winds, a low starting speed is important for maximum power.

Wind generators work most efficiently on elevated, open areas where there are no trees or buildings in the wind's path. If it is not possible to avoid obstacles, then only increasing the installation height will help.

Often, a mast that is not high enough is chosen for small wind systems. It is like installing solar panels in the shade. It is very important not to make this mistake in any case. The output of the wind generator is tied to the cubic wind speed. Doubling the speed available to a wind turbine increases power eightfold.

High masts, which provide access to high wind speeds, increase the efficiency of the wind generator. In addition, with an increase in altitude, wind

turbulence also decreases. Anything below 20m is at risk of slowing wind speed due to wind-ground friction and turbulence.

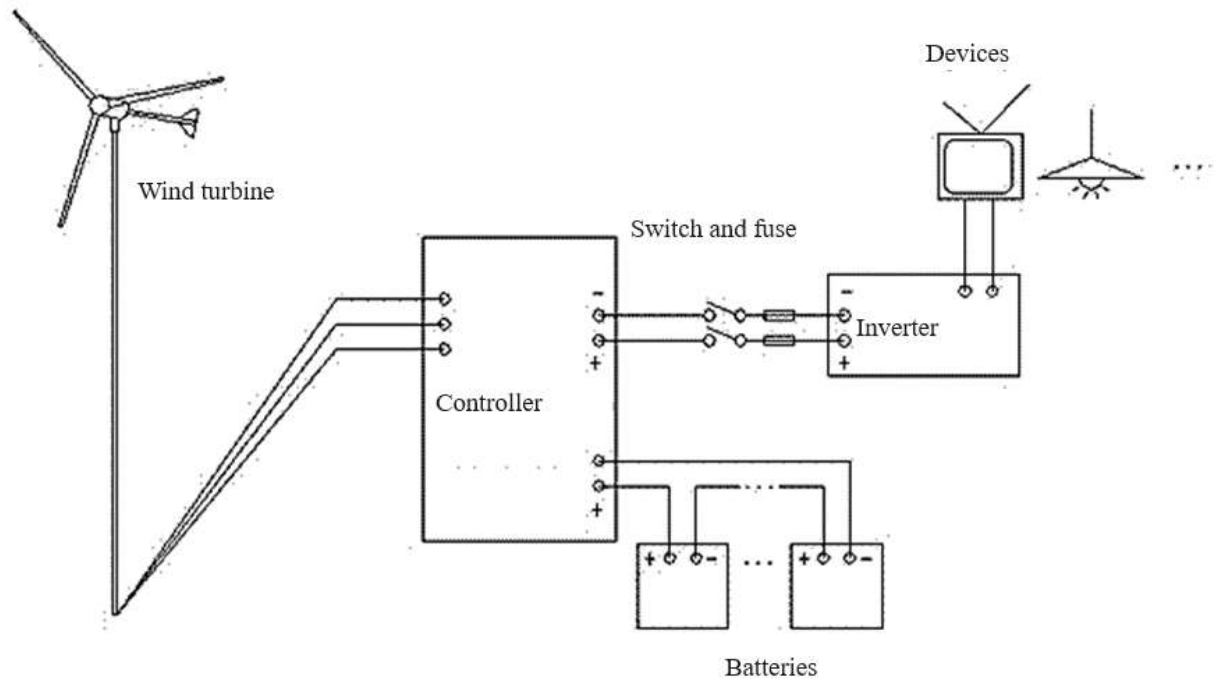


Fig. 1.1 – Diagram of an autonomous wind station

All wind turbines require regular maintenance. Well-designed wind turbines are predicted to last 20-30 years. A maintenance regime is followed to ensure system performance. Most maintenance consists of a thorough inspection of the turbine and mast. The latter must be designed in such a way as to provide free access to mechanical components (bearings).

## 1.2 Autonomous wind-solar station

In most areas, solar radiation and wind conditions often do not coincide: when the sky is clear and the sun is shining, there is usually no wind, and vice versa, when the wind is strong, it is often cloudy or dark. Therefore, in order to ensure a reliable power supply of autonomous objects, reduce the required power of wind and solar energy, as well as battery capacity and optimize the operating modes of the plant, it is often advisable to use hybrid wind and solar power plants.

The wind turbine is the main element of the system, which produces electricity and charges the batteries. In order for the system not to depend on the presence or absence of one of the energy resources and to work more stably and efficiently, the power system is equipped with photovoltaic modules that generate electricity from the sun and charge the station's batteries.

The hybrid wind-solar power plant is one of the most promising areas of renewable energy development. It not only helps to reduce gas emissions into the atmosphere, but also provides a stable and cost-effective source of electricity.

Hybrid power plants use both wind turbines and solar panels to convert natural energy into electricity. Thanks to this combination, it is possible to obtain electricity under any conditions: in the absence or weak lighting, as well as in the absence of sufficient or absent wind. This makes hybrid plants more versatile compared to traditional systems based on a single energy source, increasing their efficiency and economic benefit.

Choosing a place to install a hybrid wind-solar power plant is a critically important stage in the creation of this type of energy complex. The optimal location should provide a sufficient amount of both solar and wind energy for the stable operation of the station.

When choosing a location, it is necessary to take into account such factors as wind speed, intensity of solar radiation, surrounding objects and topography. For example, for wind generators important criteria are terrain height and average wind speed, and for solar panels – availability of sufficient direct sunlight.

It is also important to consider the possibility of connecting the station to the power system and the availability of transport communications. Each of these factors can be decisive in choosing the optimal location.

One of the main advantages of wind-solar plants is that they can easily operate without interruption during the day. During the day, the sun provides high productivity, and at night there is a minimum concentration of solar radiation. The

wind is more unpredictable, sometimes it is very strong, and sometimes, on the contrary, very weak. It follows that wind-solar power plants make it possible to compensate for the shortcomings of solar panels and a wind generator and ensure stable electricity generation.

The concept of a hybrid system also includes the use of energy storage, such as batteries or other devices to store the generated energy until it is needed.

An important component of hybrid systems is monitoring and control. Special software allows you to optimize the operation of the station in real time and manage the processes of charging and discharging batteries.

In general, wind-solar hybrid power plants are a promising approach to clean energy production. They can be particularly useful in remote or isolated areas where there is no connection to the central electricity grid.

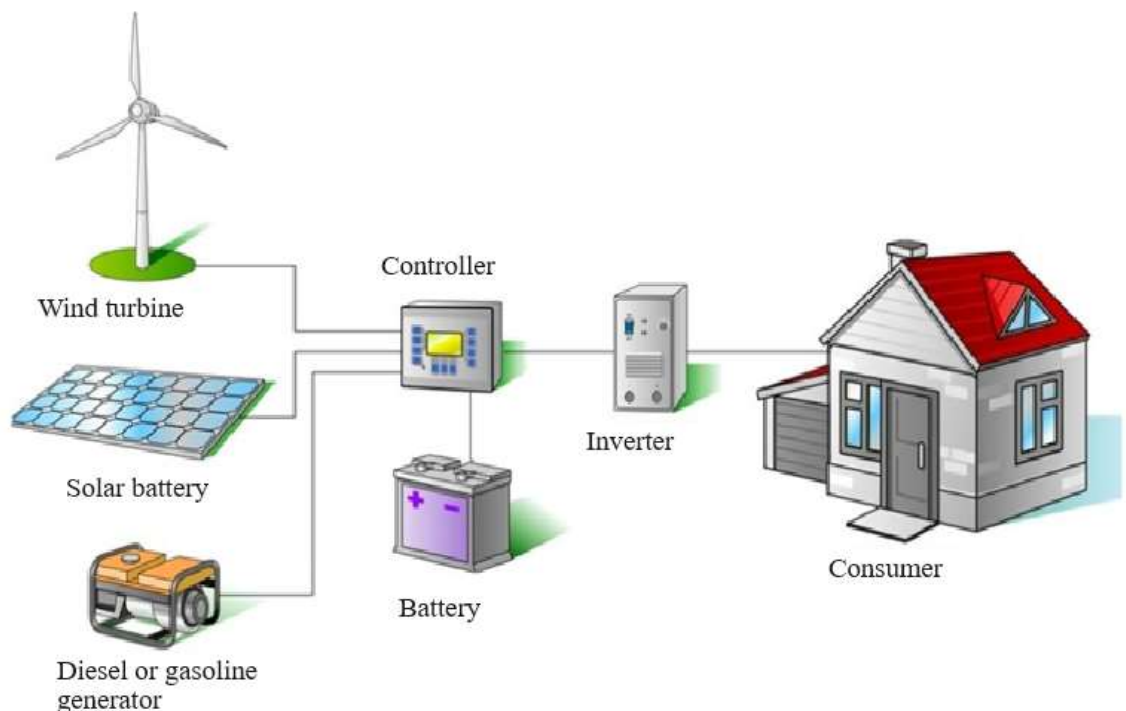


Fig. 1.2 – Diagram of an autonomous wind-solar station

In general, a hybrid wind-solar plant has the following components:

1. Charge controller (can be built into a hybrid controller for a wind generator)
2. Wind turbine, mast, ballast load, battery control and charge control unit

3. Solar photovoltaic modules
4. Inverter of required power
5. Connecting cables
6. Accumulator batteries that withstand deep cycle modes: lead-acid with a carbon component, gel, and, even better, lithium-iron-phosphate. Connecting cables, other electrical installation equipment.

### **1.3 Wind station with connection to the grid**

An automatic circuit breaker is a system of automatic switching of electrical equipment from the main power source to a backup one in the event of its failure, ensuring uninterrupted operation of the equipment and saving data during a failure in the main system.

Automatic circuit breaker consists of several components: circuit breakers, controllers, transformers and batteries. When the main power source fails, the automatic circuit breaker controller automatically switches electrical equipment to a backup power source, preventing equipment failure and data loss within a few seconds.

Automatic circuit breaker are used in various industries such as medicine, telecommunications, banking and manufacturing. In the field of health care automatic circuit breaker ensures uninterrupted operation of medical equipment, which can be vital for patients. In telecommunications companies, automatic circuit breaker guarantees the continuity of communication networks, preventing interruptions in communication and loss of income. In banking, automatic circuit breaker ensures data security and continuity of banking systems.

In private houses in rural areas, the automatic circuit breaker automatically switches the power supply from the main source (central power grid) to the emergency source (electric generator) in the event of a main power outage. This ensures uninterrupted operation of security systems, video recording, air

conditioning, heating or dehumidification. Household appliances can also work continuously during long power outages.

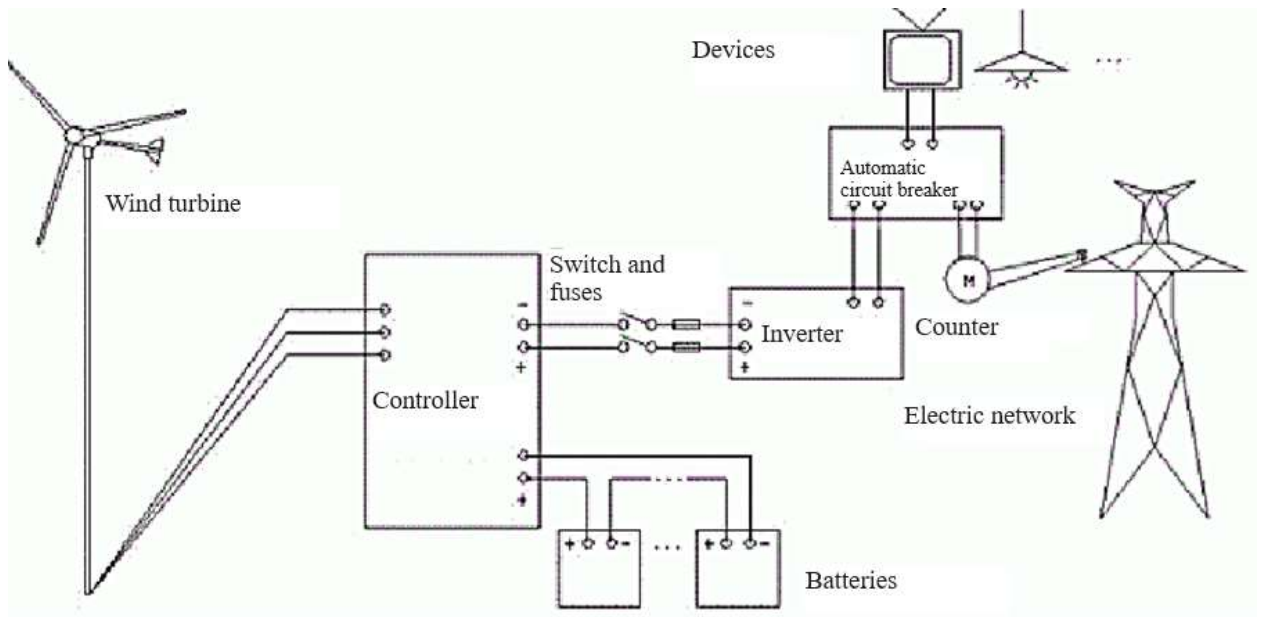


Fig. 1.3 – Diagram of a wind station with connections to the grid

#### 1.4 Green tariff in Ukraine

The green tariff is a regulatory mechanism for the development of electricity using renewable energy sources. The idea is to create incentives for investment in renewable energy, helping to reduce carbon use and negative environmental impact.

The green tariff provides that producers of electricity from renewable sources have the right to a guaranteed purchase and sale of electricity at a fixed price for a long period, usually several years. These tariffs are set by the government's energy regulatory body and are usually higher than the market price of electricity to ensure investment attractiveness for renewable energy sources. Today, the cost of the green tariff in Ukraine is gradually increasing. In May 2023, it will be 430.25 UAH/MWh, and from July 1 it will increase by 12.7% to 485.1 UAH/MWh.

The main goal of the Green Tariff is to support the transition to environmentally clean energy, reduce dependence on energy imports and reduce

emissions of harmful gases into the atmosphere. This contributes to the creation of a sustainable and environmentally responsible energy sector.

A green tariff can have a positive impact on the development of renewable energy sources, attracting investment, creating jobs and reducing the negative impact on the environment. However, it also needs effective monitoring and regulation to prevent abuse and ensure fairness for all energy market participants. This means that the allocation and use of the green tariff must be transparent, predictable and unobstructed for all stakeholders, including producers, consumers and public authorities. The rules and conditions for obtaining a green tariff must be developed taking into account the principles of equality, competition and transparency.

In addition, equity involves taking into account social aspects, in particular the availability of energy for all segments of the population. This means that tariff design must take into account energy access opportunities for vulnerable groups, ensuring that the transition to renewable energy does not create additional inequalities or energy exclusion.

Thus, the green tariff must be not only environmentally efficient, but also fair, which will allow all parties to profitably participate in the development of renewable energy and promote sustainable and inclusive development.

### **1.5 Principle of operation of the wind generator**

Wind energy is one of the types of renewable and environmentally friendly energy that we get from nature. It is formed due to the movement of air masses due to the difference in temperature in different layers of the atmosphere.

Stages of wind generator operation:

- The wind turns the blades of the wind turbine.
- Rotation transfers kinetic energy through a gearbox to a generator, which converts it into electrical energy.

- Generated electricity is stored in batteries and then fed into the grid or used to power various devices.

After starting up the wind generator, there are practically no operational costs. Mass use of turbines can provide electricity not only to private houses, but also to entire settlements and residential areas of cities.

The principle of operation of the installation is described as follows: the force of the wind is set in motion by the blades of the wind generator, which rotate the rotor through the drive. The inner winding of the stator converts mechanical energy into electrical energy. Thanks to their aerodynamic properties, the propellers quickly turn the turbine of the generator.

In strong wind, the blades intensify their work. The constant rotation of the turbine, converted into electricity, is stored in the batteries. At the speed of operation, the device provides the design of the blades: one side is flat, and the other is slightly rounded. This rounding creates rarefaction of the air, increasing the generation of energy that rotates the mechanism.

12 fixed magnets are installed on the rotor of the generator, which create an alternating current in the stator, which is transmitted over a large width. A permanent electrical circuit is formed in the middle turbine: the screws rotate around an axis connected to the rotor.

Alternating electrical energy, similar in frequency to that supplied in the consumers' socket, is difficult to accumulate, but can be transmitted over a considerable distance. Industrial installations, in comparison with household ones, do not allow to obtain a larger amount of electricity.

### **1.6 Modern types of wind generators**

Wind generators can be classified by design and principle of operation. Here are the main types of wind generators:

- Horizontal axis:

This type of wind turbine has a horizontal axis of rotation and consists of blades, a generator and a tower. They are the most efficient and capable of producing the most energy, but they are also the most expensive and complex to install.



Fig. 1.4 – Wind turbine a horizontal axis of rotation

There are several types of wind turbines with a horizontal axis:

**Fixed pitch:** This is the most common type of wind turbine. The blades have a fixed angle of inclination relative to the wind, which ensures optimal efficiency at different wind speeds.

**With an adjustable step:** In these wind generators, the angle of inclination of the blades can be changed depending on the wind speed, which allows to increase the overall efficiency of the device.

**Saber-shaped:** The blades of these wind generators have a special shape that allows them to work more efficiently at high wind speeds. They also demonstrate high performance at low wind speeds.

- Vertical axis:

In this type of wind generators, the axis of rotation is located vertically, which allows them to work in any wind direction. They are less efficient than horizontal wind turbines, but easier to install and cheaper.



Fig. 1.5 – Wind turbines with a vertical axis of rotation

Such "windmills" have several different configurations. Below are the three most common types:

**With a Savonius rotor:** This type has two or more curved blades shaped like a sinusoidal curve. They work on the principle of creating a lifting force on the blades, which leads to the rotation of the axis of the wind generator.

**Darier wind turbine:** Has one or more blades located along a vertical axis. The blades have a special shape that allows them to create lift when moving through the air. This creates a torque on the axis of the wind turbine, causing it to rotate.

**Fen wind turbine:** Uses a cylindrical turbine with multiple blades to generate electricity. The blades rotate around a vertical axis, and when the wind passes through them, they create a torque that causes the turbine to rotate.

- Rotary:

These wind turbines use special rotors that capture the wind and convert it into energy. They are more effective, but more difficult to install and require special conditions.

Rotary wind turbines consist of a rotor, a generator, a tower, a controller and a mast. The operation process of a rotary wind generator includes the effect of wind on the rotor blades, the rotor drive and the generation of electricity by the generator, the regulation of electricity parameters by the controller and its transmission to the distribution device.



Fig. 1.6 – Rotary wind turbines

The advantages of rotary wind generators include high energy conversion efficiency, the ability to work in various conditions, as well as lower production and installation costs.

Disadvantages include noise, risk of blade damage and limited tower height. In general, rotary wind turbines are an effective and reliable way to obtain environmentally friendly energy.

- Carousels:

This is a special type of wind turbine that has several blades that rotate around a central axis. They are characterized by high efficiency and reliability, but require special equipment for installation.

### **1.7 The place of wind energy in the world**

In many countries, wind energy has developed so much that it can be the main source of energy. The increase in the share of wind energy in developed countries, especially in Europe, is largely related to the need to combat global climate change.

Climate change is a complex and serious problem. Unless governments take action to reduce greenhouse gas emissions, the destructive power of hurricanes like Katrina and Rita will pale in comparison to the disasters that could befall the planet as a result of climate change. Reducing greenhouse gas emissions has both economic and environmental significance.

To avoid destructive climatic consequences, international climate protection policy should be aimed at keeping the increase in the average global temperature no more than 2 degrees Celsius compared to the pre-industrial period. In order to solve this problem of the world in the next decade, it is necessary to radically change the approaches to the production and consumption of energy.

A number of factors contribute to the growth of the wind energy market. The combination of these factors prompted the governments of some countries to provide political support to the development of the wind industry.

Energy security: The International Energy Agency (IEA) predicts that without active energy conservation measures, global energy demand will increase by 60% by 2030. At the same time, fossil fuel supplies are dwindling. Some of the world's largest economies are forced to rely increasingly on fuel imports from regions where conflict and political instability threaten the security of energy supplies.

Environmental problems: The need for urgent measures to prevent further climate change became an incentive for the development of wind energy. Urgent measures to prevent further climate change became an incentive for the development of wind energy. Climate change is recognized as the most serious global problem. The Kyoto Protocol (1997) imposed obligations on the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) to reduce CO<sub>2</sub> emissions by an average of 5.2%. In third world countries, the direct impact of burning organic fuels on the environment (primarily air pollution) is of greatest concern. Other environmental problems associated with the use of fossil resources for energy production arising from geological exploration, development of fossil fuel deposits, oil spills, radiation exposure. Use of renewable energy sources, including wind energy, to avoid these risks and threats.

Economics: The growth of the global wind energy market has led to a significant decrease in the cost of wind energy. Today's wind turbines produce 180 times more electricity each year than they did 20 years ago. Thanks to their favorable location, wind power plants can compete with coal and gas-fired thermal power plants in terms of economic efficiency.

The competitiveness of wind energy has increased due to higher fossil fuel prices. In addition, if the hidden costs associated with the impact on the environment and human health of using fossil fuels and nuclear energy were included in the cost of electricity, the production of electricity by wind farms would be even cheaper. Wind energy also provides an economic effect due to the creation of new jobs. In developing countries, wind energy opens up economic opportunities for remote areas that do not have access to electricity grids.

Міністерство освіти та науки  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

## **Розроблення проєкту вітрової станції для приватного житлового будинку**

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:  
Студент 201 пМЕ групи

Палієнко А.О.

Керівник:  
доцент, канд. техн. наук

Єрмілова Н.В.

Полтава 2024

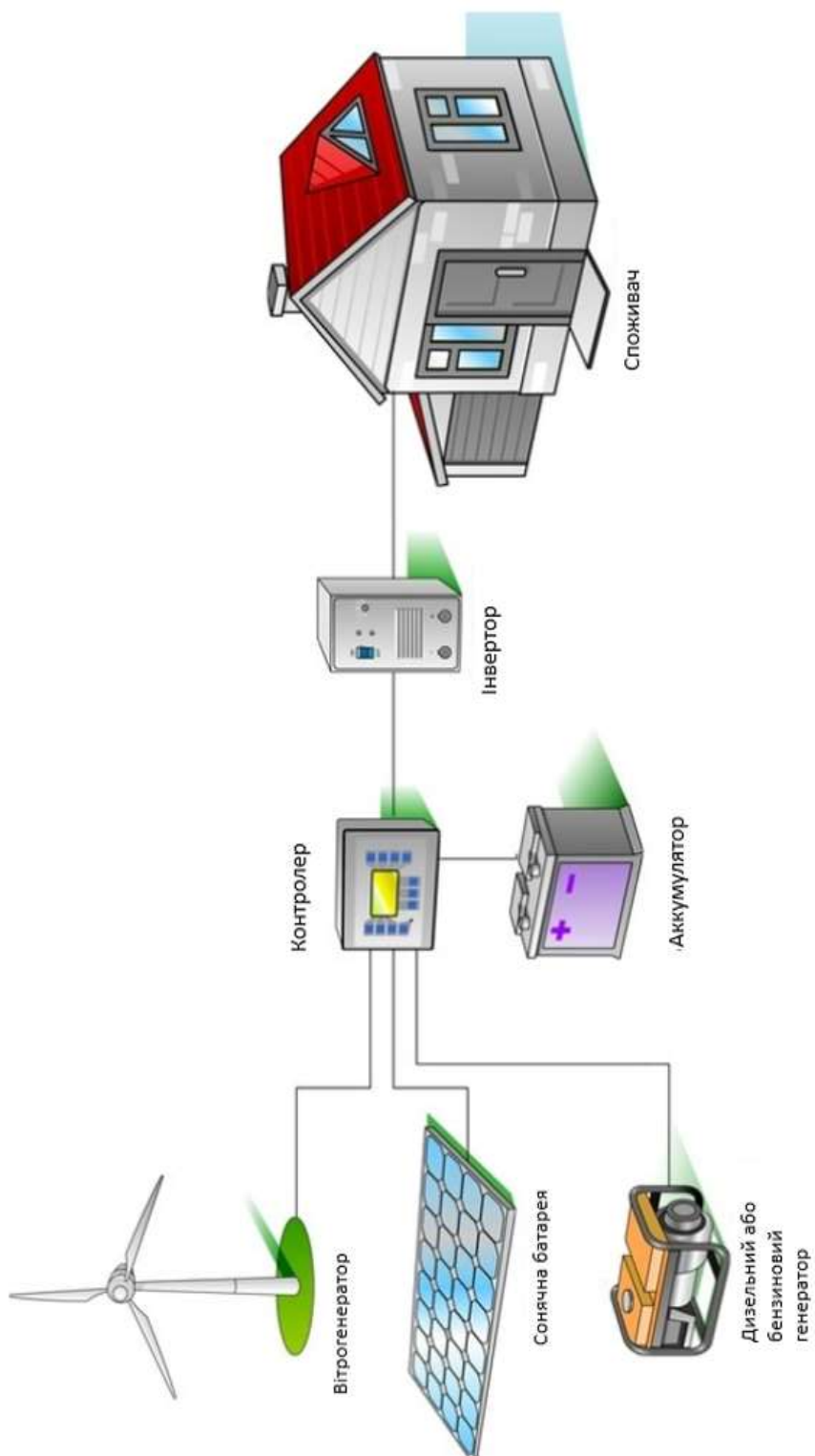
**Актуальність дослідження** полягає в тому, що станом на сьогоднішній день енергетична інфраструктура України перебуває в критичному стані, тому дана тема дозволить розглянути способи уникнути проблем з дефіцитом електроенергії. Також вітер вважається відновлювальний джерелом енергії, яке не забруднює навколишнє середовище, тому перехід на вітрову енергію є доцільним та сприяє збереженню довкілля.

**Метою роботи** є розроблення проєкту вітрової станції для приватного житлового будинку

Для виконання поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні **завдання**:

- оцінити енергоспоживання житлового будинку;
- провести аналіз вітрового потенціалу біля території житлового будинку;
- виконати розрахунок навантажень будинку та вибрати відповідну вітрову установку та інше обладнання;
- розробити схему підключення до мережі.

Схема автономної вітро-сонячної станції



**Схема автономної вітрової станції**

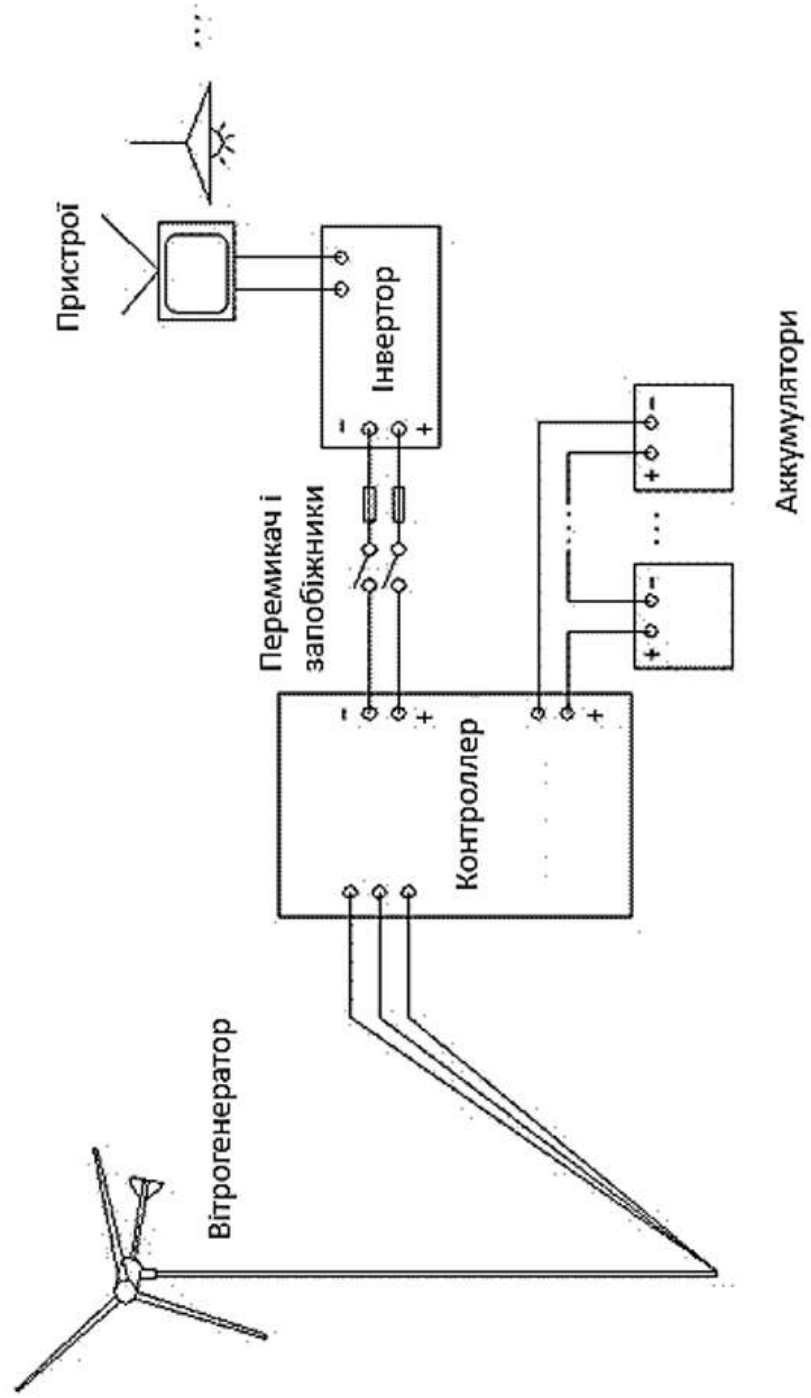
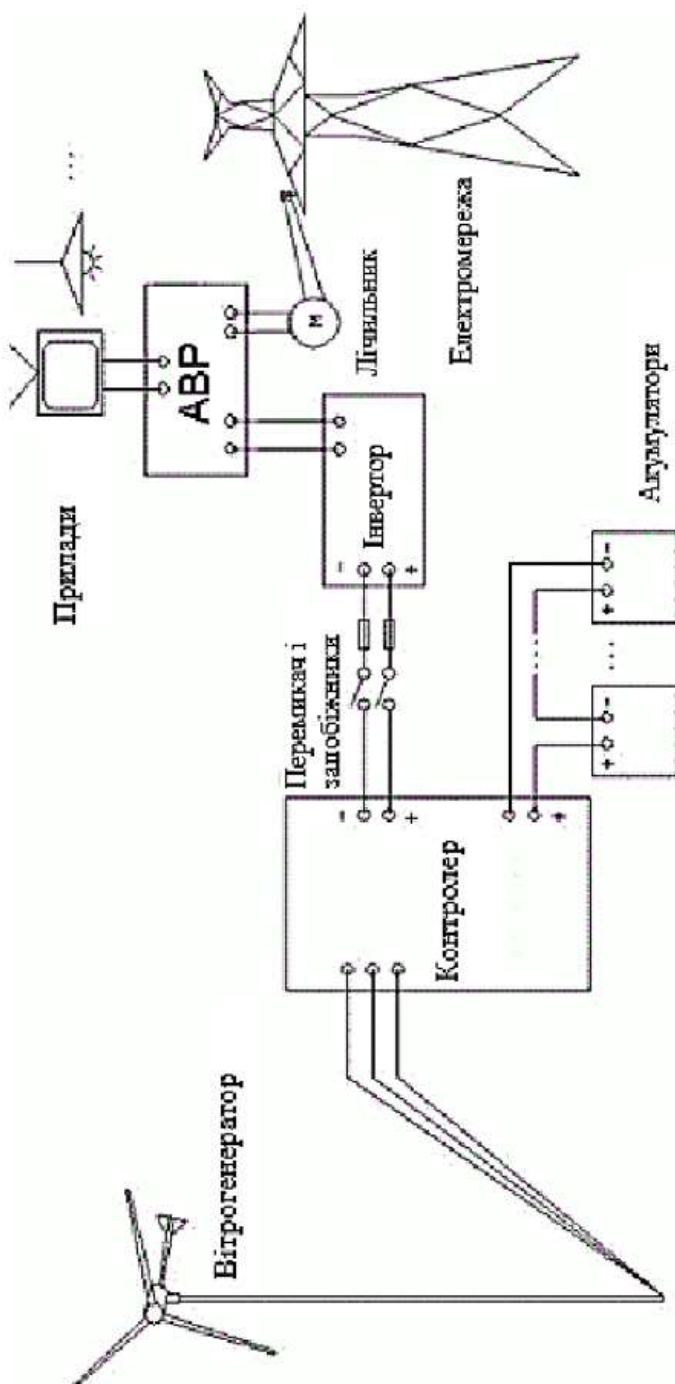


Схема вітрової станції з підключенням до мережі



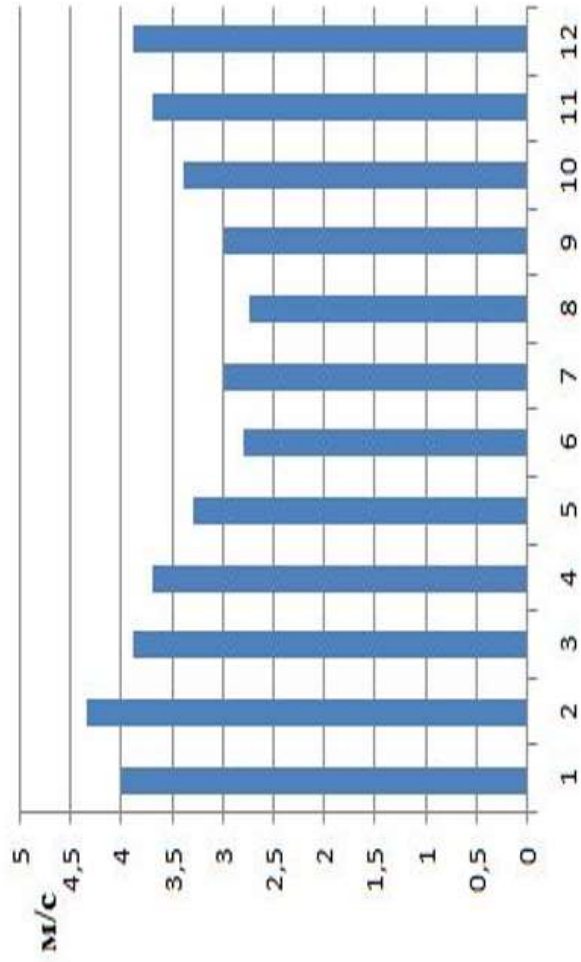
### Споживання електроенергії в літній період

Назва	Потужність P <sub>ср</sub> , Вт	Час роботи, год/тиждень	Вт*год/тиждень
Телевізор	170	25	4250
Холодильник	350	160	56000
Комп'ютер	130	20	2600
Лампа світлодіодна	35	25	875
Електроплита	670	14	9380
Пральна машина	900	4	3600
Праска	1700	3.5	5950
Фен	2000	1	2000
Пилосос	1300	1	1300
Кондиціонер	1200	12	14400
<b>Всього:</b>	<b>8455</b>		<b>100355</b>

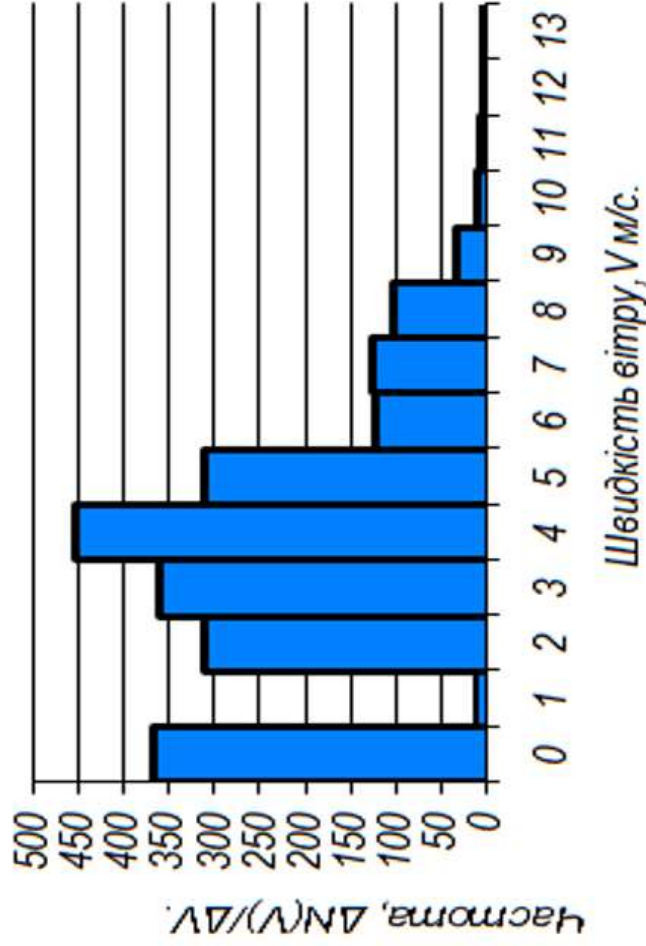
### Споживання електроенергії в зимовий період

Назва	Потужність Рср, Вт	Час роботи, годин за тиждень	Вт*год/ тиждень
Телевізор	170	55	9350
Комп'ютер	130	35	4940
Лампа світлодіодна	35	38	1330
Холодильник	350	160	56000
Пральна машина	900	3	2700
Праска	1700	4	6800
Бойлер	1500	25	37500
Фен	2000	2	4000
Пилосос	1300	1.5	1950
Електроплита	670	14	9380
<b>Всього:</b>	<b>8755</b>		<b>133950</b>

**Швидкість вітру**



Середні швидкості вітру по місяцях (Полтава)



Гістограма розподілу швидкостей вітру

### Вибір обладнання

Пропонується використати таке обладнання:

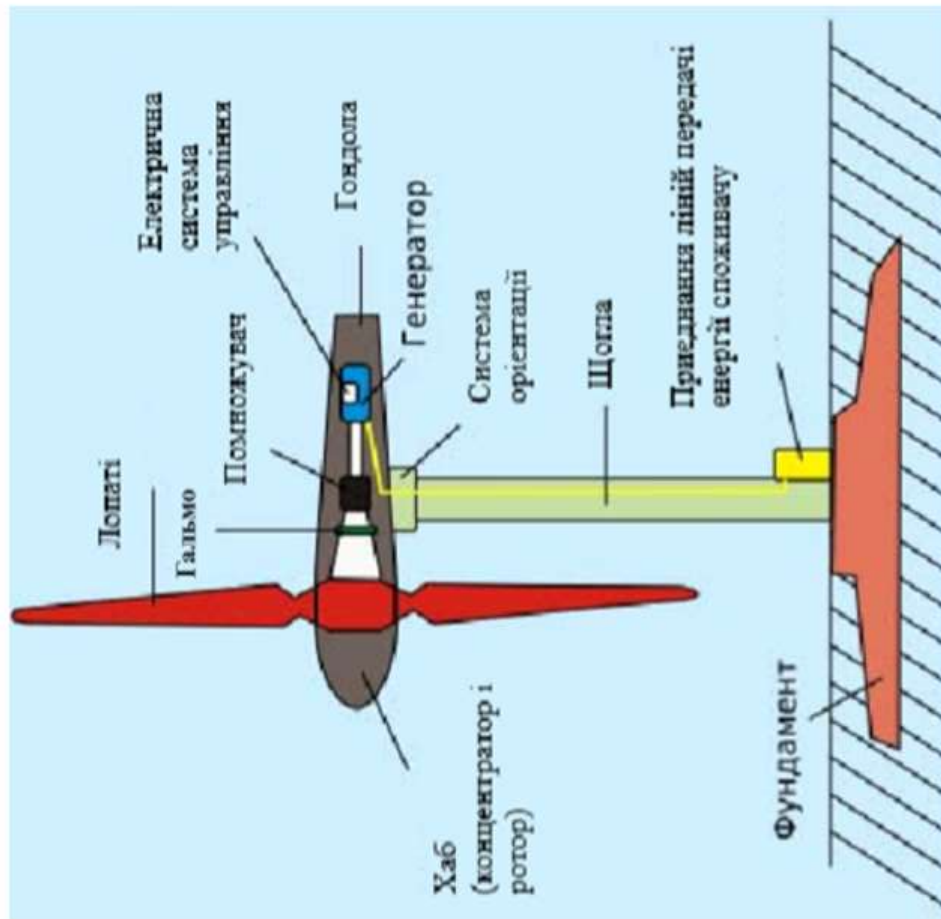
- Вітрогенератор типу ENERSUN-3000 (потужність 3 кВт)
- гібридний інвертор ENERSUN-10224 (час автономної роботи – до 12 годин)
- акумулятор Jarrett GEL Battery (250Ah, 12V)
- лічильник "НІК" 2300 АРЗТ 5 (120А . 380В)



## Загальна вартість обладнання вітрової станції

Найменування елемента	Кількість	Ціна за штуку, грн	Загальна вартість, грн
Вітрогенератор ENERSUN-3000	1	47 000 грн	47 000 грн
Акумулятор Jagrett GEL Battery 250 Ah 12W	2	10 000 грн	20 000 грн
Гібридний інвертор ENERSUN-10224	1	22 700 грн	22 700 грн
Лічильник "НІК" 2300 АРЗГ 5-120А 380В	1	3 400 грн	3 400 грн
<b>Всього:</b>			<b>93 100 грн</b>

## Структура та монтаж вітрогенератора



Монтаж вітрогенератора включає кілька

етапів:

- прокладання фундаменту під основу щогли з розтяжками;
- встановлення секцій щогли;
- з'єднання генератора з щоглою;
- монтаж лопатей та обтічника;
- кріплення розтяжок до щогли та підйом вітрогенератора;
- встановлення на турбіні датчика напругу вітру та підключення до кабелю;
- встановлення анемоскопа;
- підключення решти електричної частини системи.

## Висновки

1. Під час виконання даної бакалаврської роботи було вирішено всі поставлені завдання по вибору обладнання та встановлення вітрової електростанції для задоволення енергетичних потреб житлового будинку.
2. Проведений аналіз можливих типів автономних та гібридних вітрових і вітро-сонячних станцій, обраний для встановлення робочий варіант вітрової станції з підключенням до мережі, як найбільш доцільний для даного будинку.
3. Проведено розрахунок навантажень будинку в зимовий та літній періоди. Насамперед слід зазначити, що всі розрахунки є приблизними, адже інформації могло не вистачити для більш точних результатів.
4. Проведено збір статистичних даних та виконано всі необхідні розрахунки для визначення доцільності встановлення вітрової електростанції з підключенням до мережі.
5. За попередніми розрахунками було обрано вітрогенератор ENERSUN-3000 потужністю 3 кВт., який майже повністю задовольняє енергетичні потреби сучасного житлового будинку. Також було обрано 2 акумуляторні батареї Jagrett GEL Battery 250Ah 12V, адже більша кількість не є економічно доцільною через їх дороговизну, а також через те, що частину часу будинок підключений до електромережі і може живитися від неї. Було обрано гібридний інвертор ENERSUN – 10224.