

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:  
«ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ С.  
ЛЕШНІВ БРОДІВСЬКОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ»

Виконав: студент II курсу  
групи Ен – 22сп спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_ Мозіль Богдан  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ Гошко М.О.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ 2023**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
д.т.н., професор Калахан О. С.  
(вч. звання, прізвище, ініціали)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Мозілю Богдану

Тема роботи: «Проектування вітроустановки для житлового будинку с. Лешнів Бродівського району Львівської області»

Керівник роботи к.т.н. Гошко М.О.  
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НАУ 453/к-с від 30.12.22 р.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.23 р.

3. Вихідні дані  
технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

ВСТУП

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

2 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ У ВІТРОЕНЕРГЕТИЦІ

3 РОЗРОБКА ВІТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

4 ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  | Відмітка про виконання |
|--------|---|----------------|------------------|------------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |                        |
|        |   |                |                  |                        |

Отформатовано

|                |   |  |  |  |
|----------------|---|--|--|--|
| <b>1,2,3,5</b> | <u>Гошко М.О.</u> , к.т.н., доцент        |  |  |  |
| <b>4</b>       | <u>Городецький І. М.</u> , к.т.н., доцент |  |  |  |

7. Дата видачі завдання 30.12.22 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи           | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1     | Характеристика об'єкту                        | 30.12.22-<br>31.01.23         |          |
| 2     | Огляд стану питання у вітроенергетиці         | 1.02.23-<br>17.03.23          |          |
| 3     | Розробка вітроустановки для житлового будинку | 20.03.23-<br>21.04.23         |          |
| 4     | Охорона довкілля                              | 24.04.23-<br>5.05.23          |          |
| 5     | Охорона праці та захисту населення            | 8.05.23-<br>19.05.23          |          |
| 6     | Економічна ефективність розробки              | 22.05.23-<br>2.06.23          |          |
| 7     | Завершення роботи в цілому                    | 5.06.23-<br>16.05.23          |          |

Студент \_\_\_\_\_ Мозіль Богдан  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Гошко М.О.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

УДК 621.320

### РЕФЕРАТ

Проектування вітроустановки для житлового будинку с. Лешнів Бродівського району Львівської області. Мозіль Богдан Васильович. – Кваліфікаційна робота. Кафедра електротехнічних систем. Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2023р.

42 с. текст. част., 18 рис., 12 табл., 15 бібл. джерел.

**Актуальність роботи:** дефіцит електроенергії в Україні стимулює до впровадження сучасних відновлювальних джерел електроенергії.

**Мета роботи:** проектування та розробка вітроустановки для житлового будинку.

**Об'єкт дослідження:** заходи та засоби оптимізації роботи системи на базі вітроустановки.

**Предмет дослідження:** вітроустановки для житлового будинку.

При виконанні проекту ми вибираємо житловий будинок або якесь підприємство, знаходимо його споживчі потреби.

Після оцінки об'єкту ми підбираємо вітрову установку, яка б максимально підходила для даної місцевості і забезпечувала потреби в електричній енергії житловий будинок.

Також розглянуто питання охорони праці.

Задля визначення доцільності впровадження запропонованих рішень, проведені техніко – економічні розрахунки.

**Ключові слова:** вітроустановка, вітер, поновлювані джерела енергії.

## Вступ

Дана тема проекту на даний час є досить актуальною. При виконанні проекту ми вибираємо житловий будинок або якесь підприємство, знаходимо його споживчі потреби. Після оцінки об'єкту ми підбираємо вітрову установку, яка б максимально підходила для даної місцевості і забезпечувала потреби в електричній енергії житловий будинок.

Електрозабезпечення всіх галузей народного господарства, широке використання електричної енергії в промисловості, на транспорті і в сільськогосподарському виробництві є основою науково-технічного прогресу, важливим фактором не лише технічних, а й соціально-економічних перетворень.

Розвиток народного господарства на сучасному рівні потребує певну кількість електроенергії. Проте, враховуючи той факт, що з кожним роком на Землі зменшується кількість енергоресурсів, а вартість 1 кВт електроенергії зростає, то необхідно знаходити джерела енергії, котрі будуть набагато дешевшими від тих, що поширені на даний час. Одним з таких джерел є енергія вітру.

В даному проекті буде проведено проектування вітрової електроустановки для комбінованого електрозабезпечення житлового будинку.

## **1 Характеристика об'єкту**

### **1.1 Місце знаходження**

В даному проєкті використано двоповерховий житловий будинок, який знаходиться в с. Лешнів Бродівського р-ну Львівської обл. Відстань до обласного центру 100 км, а відстань до районного центру 20 км. Найближче транспортне сполучення яке має економічне значення знаходиться на відстані 20 км від населеного пункту, це сполучення Київ-Львів. До 1960 року село забезпечувалося електричним струмом від власної ГЕС. Потужність її не була великою, але на той час і потреби села в електричній енергії були в порівнянні теперішніми невеликі. Із зростанням потреб села в електричній енергії використання ГЕС стало економічно не вигідним. До села було підведено лінію електропередач від загальної мережі.

### **1.2 Природно-кліматичні умови**

Об'єкт знаходиться в помірної-кліматичному поясі на рівнинній місцевості. Незважаючи на невелику швидкість вітру в даному районі, енергетичний потенціал його достатньо великий для того, щоб успішно розвивати вітроенергетичну галузь. Зміна середньої швидкості вітру протягом року в регіоні, де безпосередньо знаходиться об'єкт, наведена в таблиці 1.1.

До вибору місця розташування вітрогенератора необхідно виявляти особливу увагу в зв'язку з впливом дотичних напруг і підгорнутого горизонтального вітрового потоку, що проходить над поверхнею землі. Ці напруги виникають при малих швидкостях вітру поблизу підстилаючої поверхні, а не на висотах, де швидкість вільного потоку досить велика. Швидкість вітрового потоку на досить великій висоті, де виключений вплив поверхневого тертя, як правило, значно більше, ніж поблизу поверхні або на стандартній висоті розташування анемометра, де звичайно вимірюється швидкість вітру. На практиці приймають, що швидкість вітру на висоті збільшується в ступені  $1/7$  відносно швидкості на поверхні землі. Дотичні напруги вітрового потоку і, отже, можлива енергія вітру залежать від шорсткості поверхні землі в даному місці, у тому числі від споруджень, дерев, вітрогенераторів та інших перешкод. Істотний вплив на роботу

ВЕУ роблять зтискання і прискорення вітрового потоку, що проходить над височинами. Часто виявляється можливим збільшити середнє вироблення електроенергії вітродвигуном, якщо при його установці звертати увагу на збільшення середньої швидкості вітру в результаті явищ, подібних зазначеним.

До місця установки ВЕУ висуваються наступні вимоги:

- велика середньорічна швидкість вітру;
- відсутність високих перешкод з підвітренної сторони на відстані, що визначається висотою перешкоди;
- плоска вершина;
- вирівнююча височина (з пологими схилами ) на плоскій рівнині, островах, озерах, морях;
- відкриті рівнини чи узбережжя;
- гірські ущелини, що утворюють тунелі.

Таблиця 1.1 - Середньомісячні і середньорічна швидкості вітру (м/с)

| Висота вимірювань, м | Місяці |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | За рік |
|----------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
|                      | 1      | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |        |
| 10                   | 5,4    | 5,9 | 5,5 | 4,7 | 4,8 | 4,0 | 3,9 | 3,7 | 3,9 | 4,4 | 5,2 | 5,8 | 5,2    |

### 1.3 Енергетична характеристика об'єкту

Об'єктом, для якого проектується вітрова енергоустановка, є одноповерховий житловий будинок. Він характеризується малою кількістю споживаної електроенергії. Його основні числові значення занесені в таблицю 1.2.

Великою проблемою для постачання електроенергією житлового будинку є непостійність її споживання. В моменти часу пік споживання електричної енергії є максимально великим і навантаження на мережу зростає в декілька раз. В свою чергу навантаження не в час пік зменшується в декілька разів.

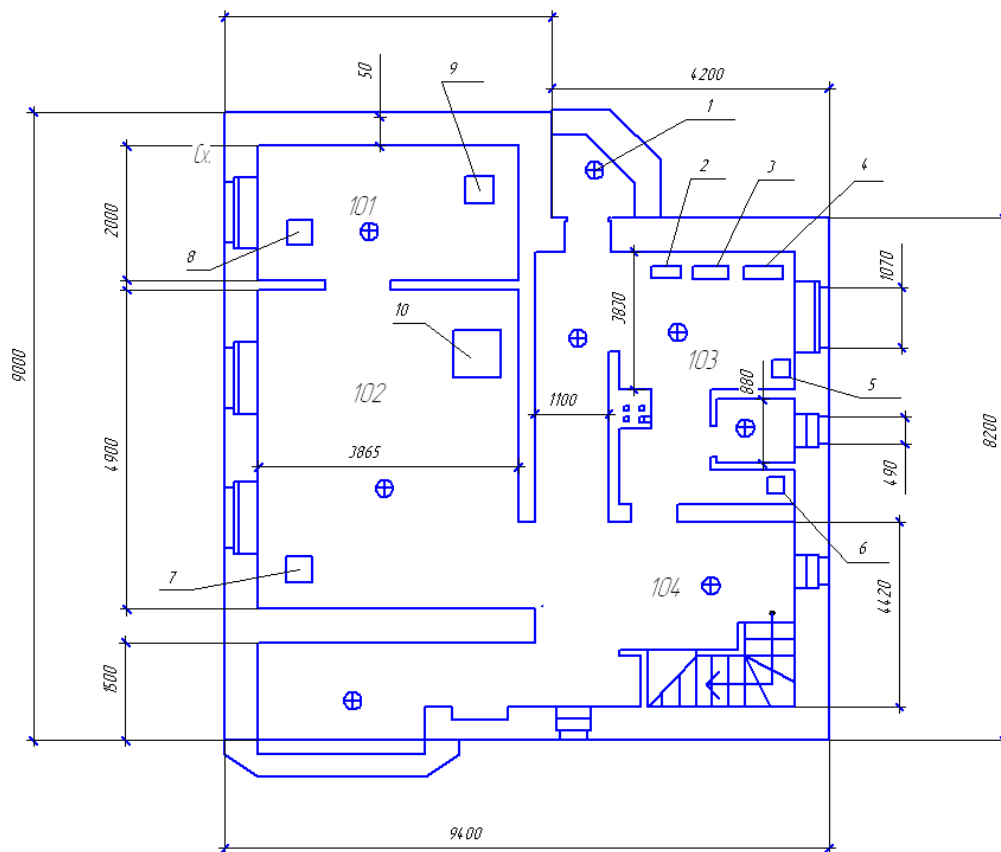


Рисунок 1.1 - План першого поверху:

101 -робочий кабінет; 102- вітальня; 103 -кухня; 104 -прихожа



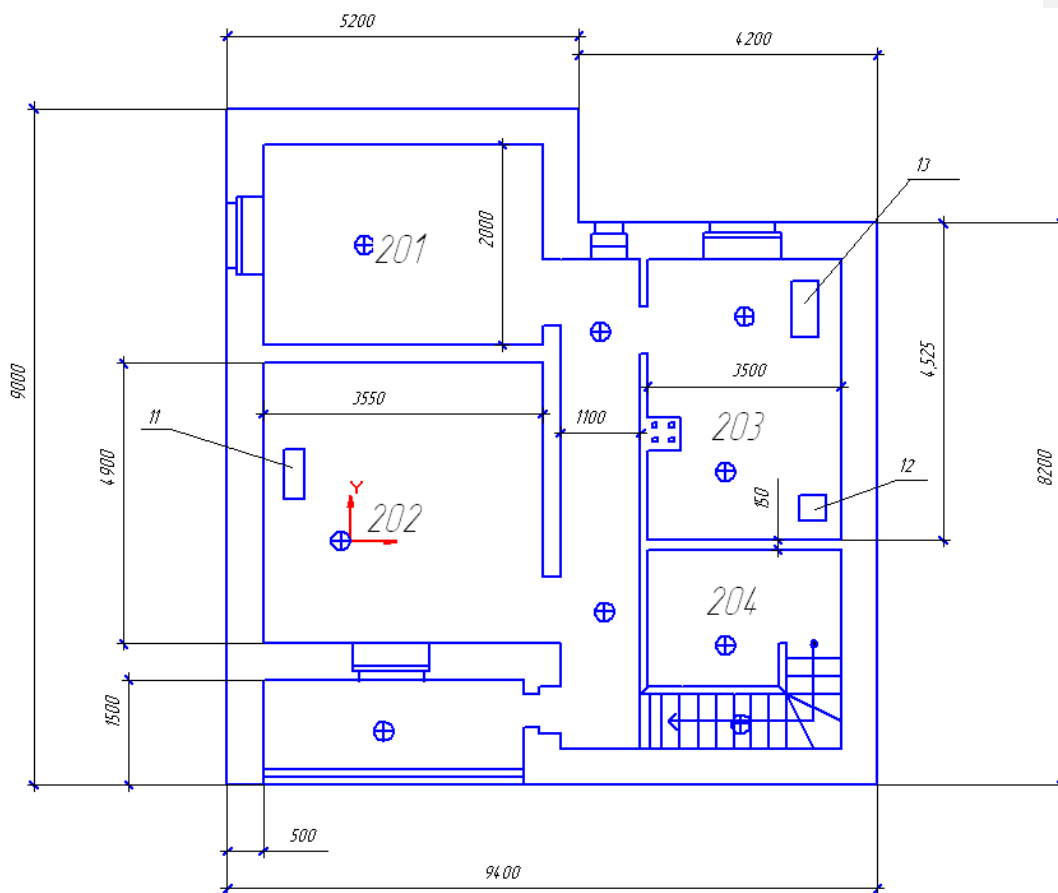


Рисунок 1.2 - План другого поверху:

201 -спальня; 202-- кімната відпочинку; 203-- дитяча кімната; 204 -сходова клітка.

Таблиця 1.2 - Основні енергетичні показники об'єкта кВт/добу

| Показник  | Значення |
|---|----------|
| Максимальна споживана потужність                            | 6.75 кВт |
| Номінальна споживана потужність                             | 3.1 кВт  |
| Термін споживання максимального значення потужності за добу | 2 год    |

Таблиця 1.3 - Споживання електроенергії деякими побутовими приладами

| Електроприлад            | Споживання, кВт*год/рік                    |
|--------------------------|--|
| Лампа розжарювання 70 Вт | 127 (з розрахунку 12 годин роботи на добу) |
| Морозильний апарат       | 657  |
| Електропіч               | 480  |
| Пральна машинка          | 365  |
| Холодильник              | 803  |
| Телевізор                | 235  |
| Пилосос                  | 96   |
| Комп'ютер                | 1650                                       |
| Аудіоапаратура           | 45   |
| Праска                   | 34   |

## 2 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ У ВІТРОЕНЕРГЕТИЦІ

### 2.1 Загальний стан питання

Вітри дують скрізь, можуть дуети і влітку, і узимку, і вдень, і вночі, тому люди використовують енергію вітру з незапам'ятних часів — досить згадати вітрильний флот, який був вже в древніх фінікійців і інших народів, які жили одночасно з ними.

Вітряні млини слугували людству досить тривалий час, тому є цілком зрозумілим численні спроби "запрягти вітер" і змусити його виробляти електричний струм, замінивши мірошницькі жорна електрогенератором.

Вітрове колесо, розміщене у вільному потоці повітря, може в кращому випадку теоретично перетворити в потужність на його валу  $16/27 = 0,59$  (критерій Бетца) потужності потоку повітря, що проходить через площу перетину, яке захоплюється вітровим колесом. Цей коефіцієнт можна назвати теоретичним КПД ідеального вітрового колеса.

Перетворення енергії вітру в механічну, електричну чи теплову здійснюється у вітроустановках з горизонтальним чи вертикальним розташуванням вала вітротурбіни. Найбільше поширення одержали вітроенергетичні установки з горизонтальною віссю ротора, які працюють за принципом вітряного млина. Турбіни з горизонтальною віссю мають найбільше значення коефіцієнта використання енергії вітру (0,46-0,48). Вітротурбіни з вертикальним розташуванням осі менш ефективні (0,45), але мають ту перевагу, що не вимагають орієнтації вітрового колеса по напрямку вітру. Найбільшого поширення одержали мережні ВЕУ з одиничною потужністю від 100 до 500 кВт. Питома вартість ВЕУ потужністю 500 кВт складає сьогодні близько 1200 \$/кВт і має тенденцію до зниження.

Найбільш ефективними по нарощуванню встановленої потужності вітростанцій є програми країн Європи, Китаю, Індії, США та Канади. Вітчизняні конструкторські організації неспроможні створити сучасні вітрогенератори -

техніку світового рівня, здатну конкурувати на зовнішніх ринках, тому вітроенергетичну галузь промисловості в нашій країні створено на ліцензійних вітротурбінах, які серійно виготовляються на наших заводах.

Вітроагрегати — досить громіздкі споруди. Так, установка на 100 кВт має ротор діаметром 37 м з масою 907 кг. При створенні потужної вітроенергетичної системи необхідно розмістити поряд велику кількість вітроагрегатів, які близько один від одного ставити не можна, тому що вони можуть створювати взаємні перешкоди в роботі, "віднімаючи вітер" один від іншого. Мінімальна відстань між вітряками повинна бути не менш їхньої потроєної висоти, тому такі енергетичні системи займають велику площу, так ВЕС, потужністю 10 МВт, займе площу один квадратний кілометр, в той час енергетична система на паливних комірках, такої ж потужності, займає майданчик 30 x 60 м.

Останнім часом, після Чорнобильської трагедії, проблеми розвитку енергетики надзвичайно загострилися, тому що ядерну енергетику перестали вважати єдиним надійним магістральним шляхом енергозабезпечення України. Альтернативними джерелами енергії можуть стати сонце, вітер, теплота Землі, але до останнього часу немає ефективних розробок для їх економічного широкомасштабного використання.

Одним з найбільших споживачів енергії у народному господарстві є сільськогосподарське виробництво. Так, агропромисловий комплекс України споживає 35 млн т умовного палива за рік, половина якого - у вигляді дефіцитного рідкого палива. Тому у найближчі роки необхідно поліпшити енергетичну базу сільськогосподарського виробництва, а насамперед - забезпечити теплотою та енергією житло та комунально-побутові потреби. Однак, поки що ці завдання вирішуються без належного економічного обґрунтування.

Досвід передових зарубіжних країн в питаннях економії енергії важко запозичити, тому що енергетика і сільське господарство у нас розвивалися за іншими економічними схемами, внаслідок чого технологічний рівень сільськогосподарського виробництва значно нижчий від світового.

Останнім часом прийнято ряд урядових постанов про економію паливно-енергетичних ресурсів та розвиток нетрадиційних джерел енергії. Однак через їх недостатню економічну обґрунтованість і недосконалу політику цін бажаних результатів не досягнуто.

При міністерстві організований фонд субсидування і видачі кредитів для будівництва об'єктів ПДЕ. Рішення про видачу кредиту приймається після експертизи проекту при наявності у підприємця 25 % коштів від вартості проекту й угоди про постачання устаткування. Кредит видається на 6 років із звільненням від виплати відсотків по кредиту на 1 рік.

Для об'єктів вітроенергетики введені наступні пільги:

- звільнення від податків на прибуток протягом перших п'яти років після спорудження;
- дозвіл на "100 %" списання вартості ВЕС через один рік експлуатації;
- звільнення від податків із продажу;
- безмитний увіз частин для виробництва ВЕС і запчастин до них;
- гарантована вартість продажу енергії, виробленої ВЕС у розмірі 0,15-0,19 грн/кВт\*год.

Енергозбереження визначено одним із пріоритетних напрямків державної політики України і має реалізуватися як довгострокова та чітко спланована програма дій.

Комплексне вирішення проблеми енергозбереження - один із найбільш вірогідних для України шляхів успішного подолання економічної та енергетичної криз, входження в сім'ю високо розвинутих країн світу. Вирішення цієї проблеми дозволить нашій державі різко зменшити залежність її економіки від імпорту енергоресурсів, вивести з експлуатації низку генеруючих потужностей, провести технологічне переозброєння енергомістких галузей та структурну перебудову господарських комплексів, сформувати оптимальні рівні само енергозабезпечення регіонів та галузей, створити вітчизняну галузь із випуску та впровадженню конкурентоспроможного енергозберігаючого обладнання, суттєво обмежити

вплив техногенних чинників на навколишнє середовище, забезпечити соціально-побутові потреби людини.

Розбудова державності України, входження її повноправним членом у світове співтовариство вимагають передусім вирішення проблеми організації сталих та надійних шляхів забезпечення ПЕР, зменшення залежності від імпорту енергоресурсів та їх ефективного використання. Розвиток та оптимальне функціонування паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) нашої держави є одним із основних чинників забезпечення життєздатності її економіки, задоволення соціальних потреб людини. Вирішення завдань, які стоять перед ПЕК, може виконуватися за кількома напрямками: розвитком традиційної енергетики, диверсифікацією джерел імпорту енергоносіїв, пошуком перспективних нових джерел енергії (насамперед поновлюваних), впровадженням енергозберігаючих заходів та підвищенням енергоефективності.

Найбільш сприятливим з технічної та економічної точки зору для України є проведення політики енергозбереження, що має правовий статус державної політики. У такому контексті енергозберігаюча політика повинна розглядатися як сукупність дій, що відповідають загальнонаціональним інтересам: забезпеченню життєздатності економіки, охороні навколишнього природного середовища, стратегії безпеки.

Енергозбереження та зниження енергоємності бажано проводити в усіх сферах і галузях енергоспоживання навіть при збереженні постійних цін чи в разі їх відносного зниження. Основа зниження енергоємності - оснащення сфери матеріального виробництва, послуг, будівель новітніми технологіями, обладнанням, які відповідатимуть сучасному науково-технічному рівню розвитку людства.

## **2.2 Огляд конструкції**

На даний момент на українському і світовому ринку є широкий вибір вітрових установок. Вони відрізняються між собою за конструктивним виконанням, потужністю, чутливістю до вітру і ін.

Представляється, що важливе значення має використання енергії вітру разом з іншими джерелами енергії, зокрема з традиційним паливом, енергією сонячного випромінювання, енергією, одержуваною за рахунок різниці температур в океані, біологічним перетворенням палива тощо.

Оскільки в більшості місць вітер дує з перервами, то для безперервного одержання енергії від автономно працюючої установки необхідно акумулювати її на тривалі періоди -10 днів і більше. Вартість необхідного акумулюючого пристрою може бути знижена при комбінованому використанні енергії вітру з іншими джерелами енергії.

Наприклад, у більшості місць вітер часто дує в той час, коли не світить сонце, і навпаки, тому комбіновані системи з геліоустановками для перетворення енергії вітру і сонця, наприклад фотоелектричними чи термічними, вимагатимуть менших ємкостей акумулюючих пристроїв, чим системи, що використовують тільки один з цих типів приймачів енергії.

Оскільки швидкість вітру в даний момент часу може значно змінюватися на великих площах, то велике число розміщених на них ВЕУ, що працюють на загальну мережу, також може бути використане для зменшення ємкості акумуляторів при даному базисному навантаженні енергосистеми.

Крильчатий вітродвигун складається з наступних основних елементів: вітроколесо, хвіст, вежа, голівка. Вітроколесо перетворює енергію вітру в механічну роботу; воно може мати одну або багато лопатей, які встановлюються під деяким кутом до площини обертання вітроколеса. Крило складається з лопаті і маху, що закріплюється на валу ветроколеса, як правило, перпендикулярно до осі валу.

Голівка являє собою опору, на якій монтують вал вітроколеса і верхній передавальний механізм. Форма голівки визначається системою передавального механізму, конструкція і число ступенів якого залежать від призначення і потужності вітродвигуна, а також числа обертів вітроколеса і робочої машини. Голівка може вільно повертатися навколо вертикальної осі в опорах вежі.

Хвіст, що закріплюється за голівкою, призначений для установки вітроколеса на вітер, він працює подібно флюгеру.

Вежа служить для підняття вітроколеса на висоту, на якій мало позначається вплив перешкод, що порушують прямолінійний плин повітряного потоку. У залежності від рельєфу місцевості і діаметру вітроколеса висоту вежі для сучасних вітродвигунів приймають рівною 6 - 20 м. Вітродвигуни малої потужності монтують на стовпі чи трубі, зміцнивши їх розтяжками. Відомо, що швидкість вітру збільшується з висотою, тому, здавалося б, правильним будувати вежі настільки високими, наскільки дозволяють технічні можливості. Однак, підвищення потужності є не єдиною вимогою при виборі висоти вежі. Необхідно враховувати також вагу, вартість, умови монтажу, ремонту й обслуговування вітродвигуна. Висота вежі повинна бути обрана з таким розрахунком, щоб було зручно експлуатувати вітродвигун, але вона не повинна бути нижче перешкод, що порушують прямолінійний плин повітряного потоку. Наприклад, у степових районах із сильними вітрами висота веж вітродвигунів малої потужності може бути прийнята не більше 4 - 6 м, а в лісових - не менше 15м.

Редуктор монтують у підніжжі вежі; він призначений для передачі крутячого моменту робочим машинам. Для вітродвигунів, які працюють з поршневим насосом, що має кривошипний механізм, розміщений у голівці вітродвигуна, а також для вітродвигунів, які працюють з генератором, розміщеним у голівці, редуктор у підніжжі вежі не потрібний. Механізм регулювання служить для обмеження числа обертів і крутячого моменту вітроколеса, а також для запобігання виходу з ладу вітродвигуна при буремних вітрах.

Вітроагрегати поділяються на дві групи:

- вітродвигуни з горизонтальною віссю обертання (крильчаті);
- вітродвигуни з вертикальною віссю обертання (карусельні: лопатеві й ортогональні).

Типи крильчатих вітродвигунів відрізняються тільки кількістю лопат.

### **Крильчаті вітродвигуни**



Для крильчатих вітродвиунів, найбільша ефективність яких досягається при дії потоку повітря перпендикулярно до площини обертання лопатей-крил, потрібен пристрій автоматичного повороту осі обертання. З цією метою застосовують кри-стабілізатор. Карусельні вітродвиунни володіють тою перевагою, що можуть працювати при будь-якому напрямку вітру, не змінюючи свого положення.

Коефіцієнт використання енергії вітру в крильчатих вітродвиунах набагато вищий, ніж у карусельних. У той же час, у карусельних двиунах набагато більший момент обертання. Він максимальний для карусельних лопатевих агрегатів при нульовій відносній швидкості вітру.

Поширення крильчатих вітроагрегатів пояснюється величиною швидкості їхнього обертання. Вони можуть безпосередньо з'єднуватися з генератором електричного струму без мультиплікатора. Швидкість обертання крильчатих вітродвиунів обернено пропорційна кількості крил, тому агрегати з кількістю лопатей більше трьох практично не використовуються.

### **Карусельні вітродвиунни**

Розходження в аеродинаміці дає карусельним установкам перевагу в порівнянні з традиційними вітряками. При збільшенні швидкості вітру вони швидко нарощують силу тяги, після чого швидкість обертання стабілізується. Карусельні вітродвиунни тихохідні, і це дозволяє використовувати прості електричні схеми, наприклад, з асинхронним генератором, без ризику потерпіти аварію при випадковому пориві вітру. Тихохідність висуває одну обмежуючу вимогу - використання багатополосного генератора, який працює на малих обертах. Такі генератори не мають широкого поширення, а використання мультиплікаторів не ефективно через низький ККД останніх. Ще більш важливою перевагою карусельної конструкції стала її здатність без додаткових хитрувань стежити за тим, "звідки дує вітер", що дуже істотно для приземних потоків. Вітродвиунни подібного типу будуються в США, Японії, Англії, Німеччині, Канаді.

Карусельний лопатевий вітродвигун найбільш простий в експлуатації. Його конструкція забезпечує максимальний момент при запуску вітродвигуна й автоматичне саморегулювання максимальної швидкості обертання в процесі роботи. Зі збільшенням навантаження зменшується швидкість обертання (обертаючий момент зростає ) аж до повної зупинки.

### **Ортогональні вітродвигуни**

Ортогональні вітроагрегати, на думку фахівців, перспективні для великої енергетики. Сьогодні перед прихильниками ортогональних конструкцій постають певні труднощі. Серед них, зокрема, проблема запуску.

В ортогональних установках використовується той самий профіль крила, що й у дозвуковом літаку. Літак, перш ніж "обпертися" на піднімальну силу крила, повинен розбігтися. Така сама проблема постає й у випадку з ортогональною установкою. Спочатку до неї потрібно підвести енергію - розкрутити і довести до визначених аеродинамічних параметрів, а вже потім вона сама перейде з режиму двигуна в режим генератора.

Добір потужності починається при швидкості вітру близько 5 м/с, а номінальна потужність досягається при швидкості 14...16 м/с. Попередні розрахунки вітроустановок передбачають їхнє використання в діапазоні від 50 до 20 тис. кВт. У реальній установці потужністю 2 тис. кВт діаметр кільця, по якому рухаються крила, складе близько 80 метрів.

У потужного вітродвигуна великі розміри. Однак можна обійтися і малими - взяти числом, а не розміром. Якщо забезпечити кожен електрогенератор окремим перетворювачем, можна отримати сумарну вихідну потужність, вироблювану генераторами. У цьому випадку підвищується надійність і живучість вітроустановки.

## **2.3 Аналіз існуючих конструкцій**

Технічна база вітроенергетики постійно вдосконалюється. Так, якщо в 80-ті роки вона базувалася на вітроенергетичних установках (ВЕУ) потужністю 100-200 кВт, наприкінці 80-х - середині 90-х років потужність промислових ВЕУ збільшилася до 300- 350 кВт, то зараз світова вітроенергетика в промислових

масштабах освоєє нове покоління ВЕУ потужністю від 330 до 600 кВт. Розроблюються і проходять випробування установки потужністю 1-2 МВт. Так, улітку 2001 р. шведська компанія "Vatenfall" запустила демонстраційну вітроустановку потужністю 2 МВт. Ціна 1 кВт\*год. електроенергії на ній, за оцінками, не перевищуватиме 4 центів. До того ж, питома вартість ВЕУ в енергосистемі зменшилася з 4000 \$/кВт до 1000 \$/кВт, тобто в чотири рази.

Завдяки новітнім досягненням електроніки, хімії, електротехніки, металургії вдалося знизити не тільки ціну виробленої вітроелектроенергії, вартість ВЕУ, але і підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності. Найбільша кількість сучасних ВЕУ, підключених до енергосистеми, працює з коефіцієнтом використання встановленої потужності від 25 до 35% (електростанції на непоновлюваних джерелах енергії працюють із коефіцієнтом від 40 до 80%).

У використанні енергії вітру і запровадженні вітроенергетичних потужностей чільне місце посідає Німеччина. Так, починаючи з 1995 року в цій країні вводиться щорічно в експлуатацію ВЕУ загальною потужністю 300- 500 МВт. Вже зараз 5% енергії в країні виробляється за рахунок вітрогенераторів, а впродовж найближчих 30 років (через плановане закриття АЕС) цю цифру планується довести до 50%. На думку експертів, це цілком реально.

Середня потужність ВЕС, випущених у Німеччині в 2000 році, зросла до 1 150 кВт. Тенденція росту одиначної потужності, очевидно, збережеться: німецька фірма De Wind, підготувавши нову конструкцію ВЕС потужністю 2 МВт до виробництва, уже планує створення ВЕС потужністю 3 - 5 МВт.

Звертає на себе увагу більше ніж дворазовий відрив Німеччини від США, які в останні роки різко зменшили темпи приросту потужностей.

Однак успішно розвивається вітроенергетика і в США. До початку 1999 р. потужність установлених ВЕУ не перевищувала 1819 МВт, а до 2010 р. відповідно до затвердженої Міністерством енергетики США "Програми дослідження і розвитку вітроенергетики" вона повинна збільшитися до 10 000 МВт. Крім того, в США планують збільшити до 25% частку вітроенергетики в загальному обсязі споживаної енергії.

Данія почала широкомасштабне використання енергії вітру після нафтової кризи 70-х років. На сьогодні вже діє 6 тис. ВЕС. Їхня сумарна потужність складає 1800 МВт, у рік вони дають країні 15,7 млрд. кВт\*год електроенергії, що дозволяє покривати майже 12 % потреб цієї країни в енергії. Крім того, Данія зараз є провідним світовим виробником устаткування для ВЕС. Відповідно до програми, розробленої керівництвом країни, до 2030 р. у Данії планують 50% потреб в енергії забезпечувати за рахунок вітростанцій, що дозволить до того ж скоротити шкідливі викиди в атмосферу. Досягти поставленої мети датчани планують не тільки завдяки зведенню нових, потужніших ВЕУ на суші, але і шляхом створення великих морських парків вітростанцій. Зокрема, перша у світі морська електростанція Vindeby була зведена в Данії в 1991 р. Вона має 11 ВЕУ потужністю по 450 кВт із діаметром вітроколеса 37 м. З грудня 2000 р. у протоці Ересунн, у трьох кілометрах від копенгагенського порту поетапно вводиться в дію найпотужніший у світі водяний парк ВЕС, що включає 20 ВЕУ, кожна висотою 64 м із лопатями діаметром 38 м. Цей морський парк вироблятиме 0,35 млрд. кВт\*год електроенергії на рік, що дозволить забезпечити потреби 32 тис. квартир у Копенгагені.

Затвердивши план будівництва ВЕС сумарною потужністю 400 МВт, Великобританія розраховує до 2010 року ввести в експлуатацію ВЕС загальною потужністю 6 000 МВт, довівши внесок поновлюваних джерел енергії в енергетику країни до 10 %. При цьому 40 % ВЕС буде встановлено в прибережній зоні, на мілководді.

Швеція також розраховує розширювати свій парк ВЕС за рахунок їхнього спорудження в прибережній зоні. Нідерландська фірма Enron Wind вже установила у Швеції сім ВЕС мегаваттного класу на мілководді. Та ж фірма за півроку після початку будівництва ввела в експлуатацію вітрову ферму в Німеччині потужністю 31,5 МВт на базі ВЕС Enron-1,5 (потужність 1,5 МВт, діаметр вітроколеса 70,5 м, висота щогли 85 м).

Високими темпами вітроенергетики розвивається в Китаї. Вперше використовувати енергію вітру в цій країні стали на початку 80-х років із метою

електрифікації сільської місцевості. Було встановлено понад 15 тис. малих ВЕУ потужністю 10-100 кВт загальною потужністю 17 МВт. В даний час Китай входить в десятку країн-лідерів у вітроенергетичній галузі. На початку 1999 р. встановлена потужність ВЕС перевищувала 190 МВт. Ціна електроенергії, що генерується на них, така ж, як на вугільних ТЕС, і нижча, ніж на АЕС. Рівень інвестицій у ВЕС майже зрівнявся із рівнем інвестицій у ТЕС у розрахунку на встановлений кіловат і складає понад 10 тис. юанів.

Крім названих вище країн, у десятку країн-лідерів, що найбільш активно використовують енергію вітру, входять також Іспанія (на початок 1999 р. установлена потужність ВЕС складала 907 МВт); Нідерланди (359 МВт-у 1999 р.); Великобританія (330 МВт); Італія (154 МВт); Швеція (148 МВт).

Варто окремо приділити увагу океанським та прибережним ВЕС, які здатні виробляти енергії більше, ніж розташовані на суші, оскільки вітри над океаном більш сильні і постійні. Будівництво таких ВЕС малої потужності (від сотень ватів до десятків кіловатів) для енергопостачання приморських селищ, маяків, установок для опріснення морської води вважається вигідним при середньорічній швидкості вітру 3,5 - 4 м/с. Зведення ВЕС великої потужності (від сотень кіловатів до сотень мегаватів) для передачі електроенергії в енергосистему країни виправдане там, де середньорічна швидкість вітру перевищує 5,5 - 6 м/с. Потужність, яку можна одержати з  $1 \text{ м}^2$  поперечного перерізу повітряного потоку, пропорційна швидкості вітру в третьому ступені. На тихоокеанському узбережжі США, в Каліфорнії, де швидкість вітру 13 м/с і більше спостерігається протягом більше 5 тисяч годин на рік, працює вже кілька тисяч вітрових установок великої потужності. Прибережні ВЕС різної потужності діють у Норвегії, Нідерландах, Швеції, Італії, Китаї, Росії й інших країнах. У зв'язку з мінливістю вітру по швидкості і напрямку більша увага приділяється створенню вітроустановок, що працюють з іншими джерелами енергії. Енергію великих океанських ВЕС пропонується використовувати при виробництві водню з океанської води або при видобутку корисних копалин із дна океану. Ще наприкінці XIX ст. вітряний електродвигун використовувався Ф.Нансеном на судні "Фрам" для забезпечення

учасників полярної експедиції світлом і теплом під час дрейфу в льодах. У Данії на півострові Ютландія в бухті Ебельтофт із 1985 р. діють шістнадцять ВЕС потужністю 55 кВт кожна й одна ВЕС потужністю 100 кВт. Щорічно вони виробляють 2800-3000 тис. кВт\*год. Існує проект прибережної електростанції, що використовує енергію вітру і прибою одночасно.

Таким чином, наведені вище дані свідчать про те, що в багатьох країнах, як розвинутих, так і тих, що розвиваються, у 90-ті роки вітроенергетика сформувалася в самостійну галузь паливно-енергетичного комплексу і промислового виробництва. Згідно з Програмою розвитку ООН у XXI сторіччі, до розвинутих країн взагалі будуть належати тільки ті, що інтенсивно розвивають промислову вітроенергетику.

Таблиця 2.1 - Основні технічні характеристики ВЕУ України

| Фірма-виробник  | Уінденерго Лтд          | КБ "Південне"         |                                       |                                | ЕСО                            |
|---|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1   | 2                       | 3                     | 4                                     | 5                              | 6                              |
| Модель  | USW-56\100              | ABE-250C              | BEU-220                               | BEU-500                        | ЕСО-0420                       |
| Тип   | Горизонтальна вісь      | Горизонтальна вісь    | Горизонтальна вісь                    | Горизонтальна вісь             | Вертикальна вісь               |
| Номинальна потужність (кВт)                               | 107                     | 200                   | 220                                   | 500                            | 420                            |
| Тип генератора  | Асинхронний             | Синхронний            | Асинхронний                           | Асинхронний                    | Асинхронний                    |
| Напруга (В)   | 380                     | 400                   | 380                                   | 380                            | 380                            |
| Частота (Гц)  | 50                      | 50                    | 50                                    | 50                             | 50                             |
| Лопаті (кількість)  | 3                       | 3                     | 3                                     | 3                              | 2                              |
| Лопаті (тип)  | Поворотні               | Поворотні             | Поворотні                             | Поворотні                      | Неповоротні                    |
| Частота обертання ротора (об/хвил)                        | 72                      | 47,5                  | 48,3                                  | 34,0                           | 16-28                          |
| Діаметр ротора (м)  | 17                      | 25                    | 32                                    | 38                             | 26                             |
| Висота осі маточини над рівнем землі                      | 19                      | 25                    | 30                                    | 35                             | 35                             |
| Маса (тонн)   | 7,9                     | -                     | 36,5                                  | 45                             | -                              |
| Швидкість вітру ввімкнення (м/с)                          | 5,0                     | 4,5                   | 4,5                                   | 4,5                            | 5,0                            |
| Швидкість вітру для виходу на номінальну потужність (м/с) | 13,0                    | 13,5                  | 11,0                                  | 12,9                           | 13,0                           |
| Максимальна робоча швидкість вітру (м/с)                  | 22,0                    | 25,0                  | 25,0                                  | 25,0                           | 25,0                           |
| Максимальна неруйнуюча швидкість вітру (м/с)              | 56                      | 42,0                  | 50,0                                  | 50,0                           | 50,0                           |
| Режим використання  | Промислова експлуатація | Дослідна експлуатація | Розробка, підготовка дослідної партії | Експериментальне відпрацювання | Експериментальне відпрацювання |
| Виготовлено установок за весь період (комплекти),         | 190<br>2                | 37<br>16              | 4<br>(50% готовності)                 | 1<br>-                         | 1<br>-                         |

|                         |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|
| в тому числі на експорт |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|

Таблиця 2.2 - Основні характеристики і показники роботи вітроелектростанцій в Україні

| Назва. Місце розташування. Відомство, якому підкоряється                         | Проектна потужність (МВт)         | Тип ВЕУ. Кількість (шт.). Загальна потужність (кВт) | Вироблення електроенергії (кВт×год) | Вироблення енергії (т у.п.) | Примітки  |
|--|-----------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| 1  | 2                                 | 3   | 4                                   | 5                           | 6   |
| Донузлавська. Крим, смт Новоозерне. Міненерго України                            | 50, 1-ша черга 10,9<br>USW-56/100 | USW-56/100<br>53<br>5671                            | 10662889                            | 3852                        |   |
| Сакська. Крим, сел. Мирний. Держводгосп України                                  | 37<br>USW-56/100                  | USW-56/100<br>37<br>3714                            | 1013100                             | 364                         |   |
| Актаська. Крим, м. Щолкине. Міненерго України                                    | 12,9<br>ABE-250C                  | ABE-250C<br>5<br>1000                               | 1072084                             | 385                         | 5 ВЕУ в стадії монтажу                                  |
| Євпаторійська. Крим, м. Євпаторія. Міненерго України                             | Дані відсутні<br>ECO-0420         | ECO-0420<br>420                                     | Дані відсутні                       | Дані відсутні               | Експериментальна ВЕС                                    |
| Західно-Сиваська. Крим, м. Красно-Перекопськ. Мінпромполітики України            | 10<br>USW-56/100                  | USW-56/100  |                                     |                             | 12 ВЕУ в стадії монтажу                                 |
| Судакська. Крим, м. Судак. Міненерго України                                     | 5<br>USW-56/100                   | USW-56/100  |                                     |                             | 12 ВЕУ в стадії монтажу                                 |
| Чорноморська. Крим, м. Чорноморськ. Міненерго України                            | 1,4<br>ABE-250C                   | ABE-250C<br>4<br>800                                | 889600                              | 320                         |   |
| Аджигольська. м. Миколаїв. Міненерго України                                     | 5<br>ABE-250C                     | ABE-250C<br>3<br>600                                | 780000                              | 281                         | Є рішення про будівництво ВЕС 50 МВт на базі USW-56/100 |
| Грушкавецька. Львівська обл., м. Борислав. Міненерго України                     | 50<br>USW-56/100                  | USW-56/100<br>7<br>749                              | 587900                              | 216                         |   |
| Асканійська. Херсонська обл., сел. Асканія Нова. Інститут степового тваринництва | 0,6<br>USW-56/100                 | USW-56/100<br>3<br>320                              | 161600                              | 58                          | 3 ВЕУ в стадії монтажу                                  |
| Ново-Азовська. Донецька обл., м. Ново-Азовськ. Адміністрація                     | 50<br>USW-56/100                  | USW-56/100<br>12<br>128                             | 205500                              | 74                          | 40 ВЕУ в стадії монтажу                                 |

### 3 РОЗРОБКА ВІТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

#### 3.1 Обґрунтування і вибір запропонованої конструкції

У даному розрахунку ми обираємо вітрову електроустановку для забезпечення електричним струмом невеликий житловий будинок. В час пік він буде додатково постачатися енергією від загальної мережі. Коли вітрова установка буде виробляти надлишок енергії ми будемо віддавати її в мережу.

Вітроустановка ЛМВ-2500 призначена для забезпечення електроенергією невеликих об'єктів. Застосовується як в місцях, де відсутня мережева енергія (різні фермерські господарства, віддалені туристичні бази, житлові будинки, які знаходяться в віддалених районах, приведення ліній передач до яких є не вигідним), так і як резервне джерело електроенергії для приватних будинків, котеджів.

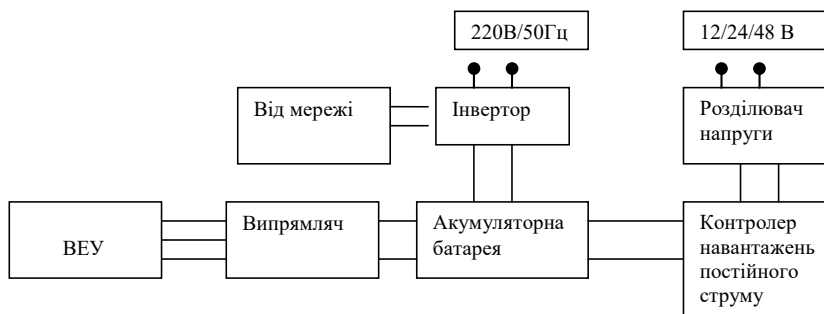


Рисунок 3.1 - Схематична схема вітрової установки

Вітер обертає ротор. Добута у вітротурбіні електроенергія передається на контроллер заряду. Інвертор перетворює напругу на контактах акумулятору (12v) на придатну до використання (220v).

Вітроколесо ( рис.8)перетворює енергію вітру в механічну роботу; воно може мати одну або багато лопатей, які встановлюються під деяким кутом до



площини обертання вітроколеса. Крило складається з лопаті і маху, що закріплюється на валу вітроколеса, як правило, перпендикулярно до осі валу.

Голівка являє собою опору, на якій монтують вал вітроколеса і верхній передавальний механізм. Форма голівки визначається системою передавального механізму, конструкція і число ступенів якого залежать від призначення і потужності вітродвигуна, а також числа обертів вітроколеса і робочої машини. Голівка може вільно повертатися навколо вертикальної осі в опорах вежі.

Хвіст, що закріплюється за голівкою, призначений для установки вітроколеса на вітер; він працює подібно флюгеру.

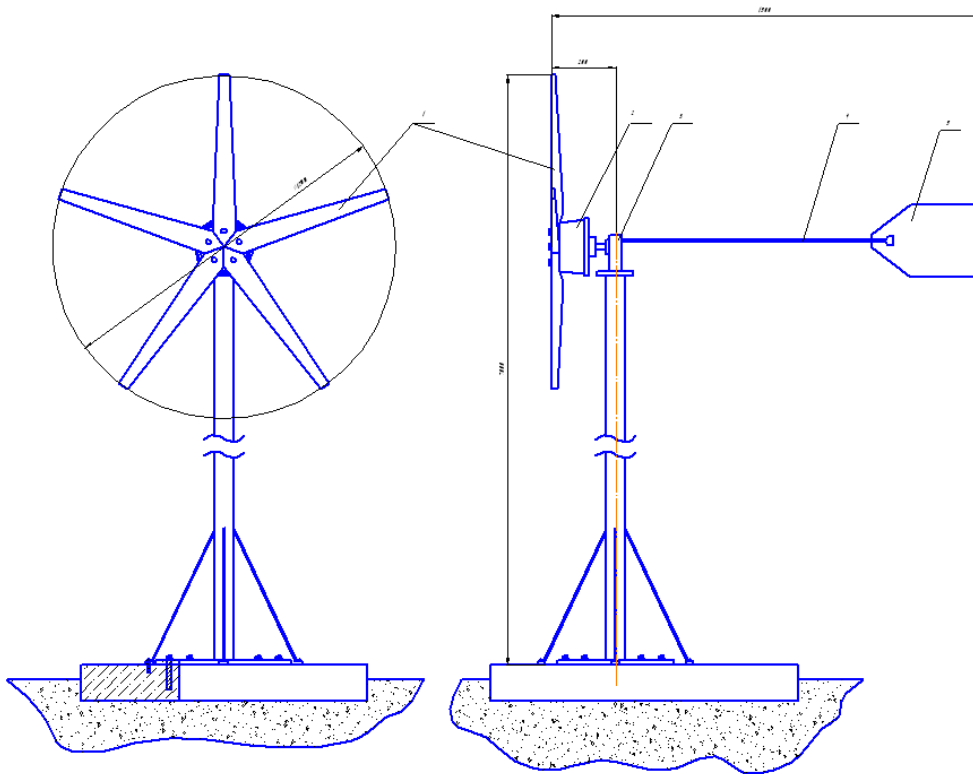


Рисунок 3.2 - Вітрова електроустановка «Бжола»

В схемі вітрової електричної установки використовується акумуляторна батарея (АБ) – накопичувач енергії для узгодження графіків вироблення і споживання енергії. Застосовується кислотна АБ з номінальною напругою 24В і

рекомендованою місткістю 210 А\*Г. Може складатися з двох автомобільних стартерів АБ 12В.

Таблиця 3.1 - Основні параметри вітроустановки ЛМВ 2500

|                                      |                             |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Номінальна потужність                | 2,5 кВт                     |
| Діаметр вітрового колеса             | 6 м                         |
| Стартова швидкість вітру             | 2 м/с                       |
| Розрахункова швидкість вітру         | 8 м/с                       |
| Макс. експлуатаційна швидкість вітру | 60 м/с                      |
| Номінальна частота обертання         | 90 об/хв                    |
| Метод встановлення                   | флюгерування                |
| Регулювання обертів                  | Зміна кроку                 |
| Номінальна напруга генератора        | 24 В                        |
| ЕРС генератора                       | До 60 В                     |
| Рекомендована висота мачти           | 11..17 м                    |
| Тип установки                        | З горизонтальною віссю      |
| Кількість лопастей                   | 5                           |
| Термін експлуатації                  | 30                          |
| Тип башти                            | Стальна трубка з розтяжками |
| Тип генератора                       | Генератор постійного струму |
| Ціна ВЕУ                             | 5000 у. О.                  |

Таблиця 3.2 - Основні параметри АБ 6СТ210

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Марка                  | 6СТ210    |
| Тип                    | свинцева  |
| Номінальна напруга     | 12 В      |
| Робочий діапазон       | 10,5-12,9 |
| Номінальна ємкість А*Г | 210       |
| Призначення            | Стартерна |
| Виробник               | Vatra     |
| Термін служби          | 2-3 роки  |

Вибір інвертора:

Існує дві групи інверторів, які відрізняються по вартості приблизно в 1,5 рази.

- перша група більш дорогих інверторів забезпечує синусоїдальну вихідну напругу;

- друга група забезпечує вихідну напругу у вигляді спрощеного сигналу, який заміняє синусоїду.

Для переважаючої більшості побутових приладів можна використовувати спрощений сигнал. Синусоїда важлива тільки для деяких телекомунікаційних приладів. Вибираємо інвертор DR15,24E.

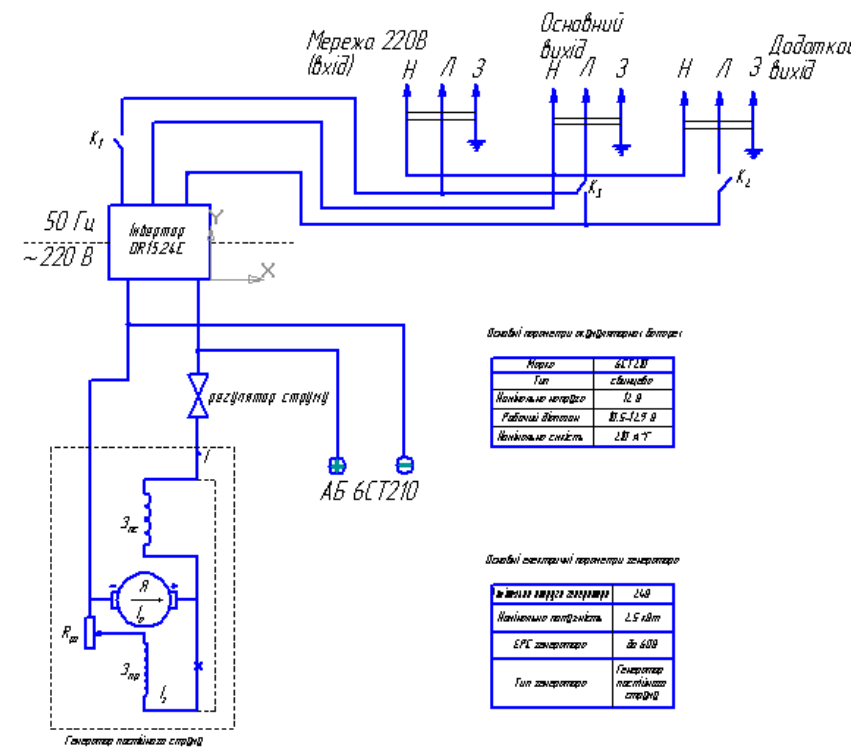


Рисунок 3.3 - Інвертор DR15,24E

Таблиця 3.3 – Основні характеристики інвертора DR15,24E

|   |          |
|---|----------|
| Номінальна потужність, кВт                  | 3,5      |
| Максимальний АС струм при перевантаженні, А | 2        |
| Максимальний ККД, %                         | 94       |
| Номінальна вхідна напруга, В                | 24       |
| Діапазон вхідної напруги, В                 | 21,6-31  |
| Номінальний DC струм, А                     | 8        |
| Форма напруги                               | Мод. Sin |
| Регулювання напруги, %                      | +/-5     |
| Регулювання частоти, %                      | +/-0,04  |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Вихідна напруга, В                | 230 |
| Вихідна частота                   | 50  |
| Максимальний зарядний струм АС, А | 35  |
| Вага, кг                          | 150 |

Вибір інвертора проводиться виходячи із пікової потужності енергоспоживання стандартної напруги 220В/50Гц. Існує два режими роботи інвертора. Перший режим – це режим тривалої роботи. Даний режим відповідає номінальній потужності інвертора. Другий режим – це режим перевантаження. В даному режимі більшість моделей інверторів на протязі декількох десятків хвилин (до 30) можуть віддавати потужність в 1,5 рази більше, чим номінальна.

На протязі декількох секунд більшість моделей інверторів можуть віддавати потужність в 2,5-3,5 рази більшу чим номінальна. Сильна короткотривале перевантаження виникає, наприклад, при включенні холодильника.

Від інвертора залежить пікова потужність енергоспоживання. Для зменшення потужності інвертора можна погодити підключення потужних електроприладів. Інший спосіб зменшити потужність інвертора – це перевести частину навантажень, наприклад освітлення, на постійну напругу. Завдяки властивості АБ віддавати великий струм, потужність приладів постійного струму практично необмежена. Від АБ залежить тривалість штилю, який може перекрити енергоустановка. Для зменшення ємкості АБ необхідно вводити в дні із несильним вітром в економний режим використання енергії.

### 3.2 Розрахунок основних параметрів

Швидкість вітру неоднакова для різних регіонів. Для одного регіону вона може істотно змінюватися протягом доби, сезону, року. Це обумовлено нерівномірністю нагрівання Сонцем земної поверхні, а також рельєфом місцевості. Обертання землі також впливає на процес утворення повітряних потоків.

Швидкість вітру змінюється по висоті. Поблизу поверхні Землі внаслідок тертя і нерівномірності ландшафту відбувається гальмування потоку повітря.

Тертя і нерівномірність поверхні підсилюють турбулізацію повітряного потоку. Спостереження за атмосферою показали, що на висоті 10 м. від поверхні землі без особливої похибки можна прийняти значення швидкості вітру постійною.

Кінетична енергія повітряного потоку перед вітроколесом:

$$E_e = m \cdot w^2 / 2 \quad (3.1)$$

Де  $m$ - маса повітряного потоку, що рухається.

$w$ - швидкість вітру.

З огляду на те, що:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot w \cdot F \quad (3.2)$$

Де  $\rho$ -густина повітря,  $V$ - об'єм повітря, що проходить за секунду через перетин  $F$  вітрового колеса. Звідси:

$$E_e = \rho \cdot F \cdot w^3 / 2 \quad (3.3)$$

$$E_e = 1.2 \cdot 28.26 \cdot 140.6 / 2 = 2383.17 \quad \text{Дж}$$

Отже, енергія вітру пропорційна кубові його швидкості і площі поперечного перерізу колеса.

Сила дії вітру на лопатки вітродвигуна:

$$P = C_x \cdot F \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad (3.4)$$

$$P = 1 \cdot 28.26 \frac{1.2 \cdot 5.2^2}{2} = 458.5 \quad \text{Н}$$

Де  $C_x$  - аеродинамічний коефіцієнт.

Позначимо через  $u$  лінійну швидкість обертання лопатки вітроколеса. Очевидно, що з урахуванням переміщення лопатки швидкість вітру, що набігає, буде  $(w-u)$ .  $u=1-2\%(w)$ .

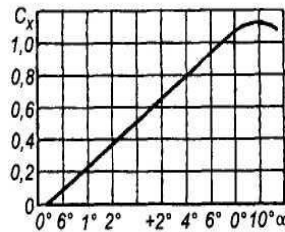


Рисунок 3.4 - Залежність аеродинамічного коефіцієнта  $C_x$  від кута атаки  $\alpha$ .

Тоді

$$P = \frac{C_x \cdot F \cdot \rho \cdot (w-u)^2}{2} \quad (3.5)$$

$$P = \frac{1 \cdot 28.26 \cdot 1.2 \cdot (5.2 - 0.104)^2}{2} = 440.3 \quad \text{Н}$$

Коефіцієнт використання енергії вітру визначається відношенням роботи, виконаної вітроколесом площі перетину  $P$ , до енергії потоку вітру  $E_6$  того ж перетину, що і вітроколесо:

$$\xi = \frac{\frac{C_x \cdot F \cdot \rho \cdot (w-u)^2 \cdot u}{2}}{\frac{F \cdot \rho \cdot w^3}{2}} = C_x \left(1 - \frac{u}{w}\right)^2 \frac{u}{w} \quad (3.6)$$

$$\xi = \frac{\frac{C_x \cdot F \cdot \rho \cdot (w-u)^2 \cdot u}{2}}{\frac{F \cdot \rho \cdot w^3}{2}} = 1 \left(1 - \frac{0.104}{5.2}\right)^2 \frac{0.104}{5.2} = 0.019$$

Одна з важливих характеристик вітроагрегату — коефіцієнт швидкохідності  $Z$ , що дорівнює відношенню швидкості руху кінця лопаті вітроколеса до швидкості вітру:

$$Z = \frac{R \cdot \omega}{w} \quad (3.7)$$

$$Z = \frac{3 \cdot 565.2}{5.2} = 326.1$$

де  $R$  — радіус вітроколеса, м;  $\omega$  — кутова швидкість, рад/с.

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 90 = 565.2 \quad \text{рад/с} \quad (3.8)$$

Відносний крутий момент вітроколеса  $\bar{M}$  :

$$\bar{M} = \frac{2 \cdot M}{\pi \cdot R \cdot \rho \cdot w} \quad (3.9)$$

$$\bar{M} = \frac{2 \cdot 2705}{3.14 \cdot 3 \cdot 1.2 \cdot 5.2} = 92.03 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

де  $M$  — крутий момент вітроколеса, Н·м.

Графік залежності відносного значення крутного моменту та коефіцієнта використання вітру від коефіцієнта швидкохідності показаний на рис. 3.2. Максимального значення можна досягти при  $\xi = 0,59$ . Це значення називають критерієм Бетца, що справедливо для будь-якої енергетичної установки (наприклад, гвинта судна чи літака) в потоці рідини або газу.

Залежності  $\bar{M}$  і  $Z$  від параметра  $\xi$  для різних типів вітродвигунів приведені на рис. 3.5.

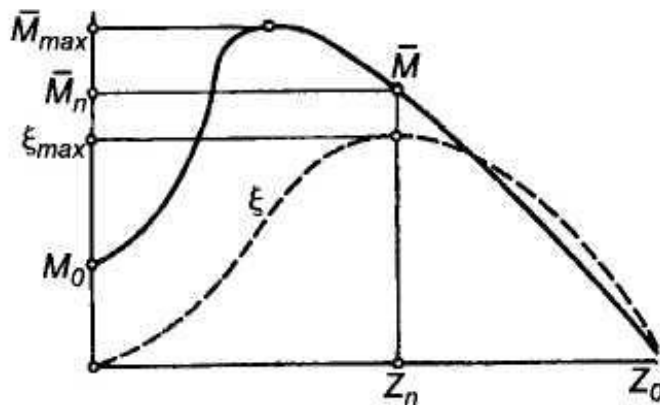


Рисунок 3.5 - Аеродинамічна характеристика вітроколеса

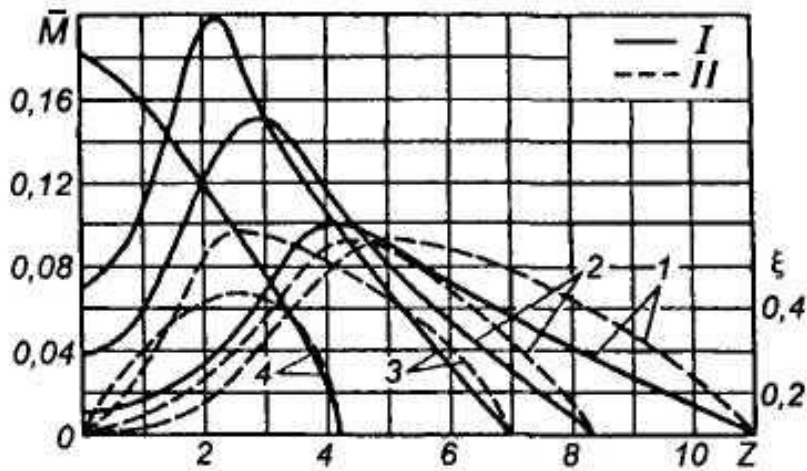


Рисунок 3.6 - Характеристики вітроколеса різної швидкодності:  
 I -  $M(Z)$ ; II -  $\xi(Z)$  цифри на графіках означають число лопатей

Ефективність використання вітроустановок визначається низкою показників.

Коефіцієнт використання встановленої потужності дорівнює відношенню фактично виробленої енергії протягом визначеного часу до можливого за умови, що за даний період часу ВЕУ працює з установленою потужністю:

$$K_y = \frac{W}{N_n \cdot T} \quad (3.10)$$

$$K_y = \frac{1978}{2500 \cdot 1} = 0.79$$

де  $N_n$  — номінальна потужність вітроустановки.

Коефіцієнт використання виробленої енергії показує частку енергії, використаної споживачем,

$$K_o = \frac{W_k}{W} \quad (3.11)$$

$$K_o = \frac{1978}{1978} = 1$$

де  $W_k$  — корисна використана енергія.

Коефіцієнт забезпеченості споживача дорівнює частці необхідної енергії, одержуваної від ВЕУ:

$$K_z = \frac{W_k}{W_n} \quad (3.12)$$



$$K_3 = \frac{1978}{2500} = 0.79$$

де  $W_n$  — необхідна енергія.

#### 4 ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Вітрова енергетика відноситься до одного із найменш шкідливих джерел енергії. Для отримання електричного струму непотрібно спалювання корисних копалин, використання радіоактивних елементів, нагрівання, використання високих температур. Але вона робить шум, вимагає земельної площі і матеріалів для конструкцій. Вона також робить візуальний вплив, але опори ліній далекої електропередачі мають висоту, близьку до висоти самого вітродвигуна з числа нині розроблювальних, а градирні теплових електростанцій бувають ще вище.

Є ще один вид впливу вітрової енергетики. Генератори великих вітродвигунів обертаються зі швидкістю близько 30 обертів за секунду. Це близько до частоти синхронізації телебачення. Тому великі вітродвигуни можуть заважати прийому передач на відстані до 1,6 км. При використанні крил

пропелера зі скловолокна, що виявилися дешевше металевих, відстань перешкод зменшується приблизно вдвічі. Але так справа обстоїть лише з великими вітродвигунами, і можна чекати, що це не буде проблемою для менших двигунів.

Пропелери вітродвигунів можуть убити птахів, але важко передбачити, у яких масштабах це буде відбуватися. Безсумнівно, якийсь збиток навколишньому середовищу може наноситися також видобутком руди, виготовленням акумуляторних батарей і набагато більшою кількістю дротів і ліній передач, необхідних для збору електроенергії від її численних джерел. Але в цілому, якщо ми врахуємо усі витрати на охорону середовища, вони виявляться дуже малими. Отже, огляд різних альтернативних джерел енергії показує, що на порозі широкомасштабного промислового впровадження знаходяться вітротурбіни і сонячні батареї. Якщо додати до цього енергозбереження, є надія на вирішення енергетичних проблем, що встають; таким чином, будівництво нових атомних і теплових електростанцій зовсім не обов'язково. Однак їх прийдеться ще якийсь час зберегти в якості резервних для стабільного енергозабезпечення. Що ж стосується віддаленого майбутнього, то в першу чергу варто розробляти системи запасання енергії, вироблюваною сонячними і вітровими станціями.

Електрообладнання, яким доводиться користуватися при роботі з вітровою установкою має підвищений рівень небезпеки. Багато нещасних випадків відбувається при обслуговуванні найбільш поширеного електрообладнання, розрахованого на напругу 127—380 В.

Розглянемо вплив електричного струму на організм людини.

Проходячи крізь тіло людини, електричний струм чинить на нього складний вплив:

— термічний — нагрівання тканини живого організму;

— біологічний— подразнення і збудження нервових волокон та інших тканин організму;

— електролітичний — розпад крові і плазми.

Будь-яка з цих дій може призвести до електричної травми, тобто до пошкодження організму дією електричного струму. Розрізняють місцеві

електротравми та електричні удари.

При роботі із ВЕС необхідно бути максимально уважним, слідкувати за справністю усіх вузлів, постійно перевіряти ізоляцію провідників.

Слід пам'ятати, що халатне відношення і не дотримання правил техніки безпеки при роботі з електричними приладами може привести до смертельних випадків.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ**

Метою планування заходів з охорони праці є визначення необхідних вкладень у заходи з охорони праці для ефективного впливу на стан охорони праці.

Система планів з охорони праці окремого підприємства може включати:

- перспективне планування (на період, більший одного року) ;
- поточне планування (на рік) ;

оперативне планування (детальні плани, спрямовані на вирішення конкретних питань працезахоронної діяльності на підприємстві в короткостроковому, до одного року, періоді).

Планування в охороні праці може включати:

- визначення цілей діяльності з охорони праці на підприємстві та засобів їх досягнення;
- вибір методів і базових показників, за допомогою яких може здійснюватися оцінка необхідних вкладень в охорону праці;
- розрахунок суми вкладень у заходи з охорони праці та раціональний розподіл цієї суми за напрямками діяльності;
- забезпечення організації контролю виконання плану (при необхідності здійснення коригування запланованих показників) ;
- здійснення постійного контролю умов і безпеки праці на підприємстві та оперативне реагування на відхилення від нормативних вимог.

Перспективне планування вміщує найбільш важливі, трудомісткі і довгострокові за терміном виконання заходи з охорони праці, виконання яких, як правило, вимагає сумісної роботи кількох підрозділів підприємства. Можливість виконання заходів перспективного плану повинна бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат з зазначенням джерел фінансування.

До перспективних планів належить комплексний план покращення умов праці і санітарно-оздоровчих заходів, що передбачає створення, відповідно до нормативних актів з охорони праці, умов праці, пов'язаних з перспективними змінами підприємства. Таке планування, як правило, розраховане на термін від 2 до 5 років. Реалізація цих планів забезпечується через річні плани номенклатурних заходів з охорони праці, які вносяться до угоди, що є невід'ємною частиною колективного договору.

Поточне планування здійснюється у межах календарного року через розроблення відповідних заходів у розділі «Охорона праці» колективного договору.

Поточні плани передбачають реалізацію заходів із покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві. Ці плани обов'язково забезпечуються фінансуванням згідно з розробленими кошторисами.

Питання охорони праці можуть віддзеркалюватися в інших поточних планах, які підприємства та організації можуть складати на вимогу трудових колективів:

- план соціального розвитку колективу;
- наукової організації праці;
- механізації важких і ручних робіт;
- охорони праці жінок;
- підготовки підприємства до робіт в осінньо-зимовий період;
- підвищення культури виробництва та ін.

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюється за підсумками контролю стану охорони праці в структурних підрозділах і на підприємстві в цілому.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

### 6.1 Розрахунок амортизації

Для перевірки економічної ефективності проектованої вітроустановки ми проводимо наступний розрахунок:

Початкова вартість вітрової установки-69000 грн.

- розраховуємо амортизацію:

$$A = \frac{ПВ + K_p - ЛВ}{T} \text{ грн/рік} \quad (6.1)$$

де  $ПВ$  – початкова вартість грн;

$K_p$  – капітальний ремонт за весь строк служби (120 – 170%) $ПВ$ ;

$ЛВ$  – ліквідаційна вартість  $(2 - 7\%)ПВ$ ;

$T$  – термін служби 30 років.

$$A = \frac{69000 + 83000 - 5000}{30} = 4900 \text{ грн.}$$

Річна сума амортизаційних відрахувань на ремонт становитиме:

$$A_{кр} = \frac{K_p}{T} \text{ грн/рік} \quad (6.2)$$

$$A_{кр} = \frac{83000}{30} = 2767 \text{ грн/рік}$$

Річна сума на відновлення дорівнюватиме:

$$A_о = \frac{ПВ - ЛВ}{T} \text{ грн/рік} \quad (6.3)$$

$$A_о = \frac{69000 - 5000}{30} = 2133 \text{ грн/рік}$$

Для перевірки вірності розрахунків, а саме амортизації сумуємо два останні вирази:

$$A = A_{кр} + A_о \text{ грн/рік} \quad (6.4)$$

$$A = 2767 + 2133 = 4900 \text{ грн/рік}$$

Розраховуємо норму амортизації:

$$a = \frac{ПВ + K_p - ЛВ}{T \cdot ПВ} \cdot 100\% \quad (6.5)$$

$$a = \frac{69000 + 83000 - 5000}{30 \cdot 69000} \cdot 100\% = 7.1$$

## 6.2 Розрахунок строку окупності

Розраховуємо середньомісячну затрату коштів без використання вітроустановки:

$$Z_{ст.б.м.} = K_e \cdot B_e \text{ грн/місяць,} \quad (6.9)$$

де  $K_e$  – середня кількість електроенергії, спожитої за місяць з мережі;

$B_e$  – вартість 1 кВт електроенергії.

$$Z_{ст.б.м.} = 210 \cdot 2.6 = 546 \text{ грн/місяць.}$$

Вартість спожитої електроенергії протягом року буде становити:

$$Z_{ст.б.р.} = K_e \cdot B_e \text{ грн/рік} \quad (6.10)$$

$$Z_{\text{ст.б.р.}} = 2520 \cdot 2.6 = 6552 \text{ грн/рік}$$

Порівняємо затрату коштів на електроенергію без використання вітроустановки з використанням вітроустановки.

Враховуючи непостійність у споживанні електричної енергії будинком, в години пік ми мусимо брати енергію від загальної мережі. Середнє споживання енергії від мережі становить приблизно 50 кВт.

Розраховуємо середньомісячну затрату коштів з використанням вітроустановки:

$$Z_{\text{ст.з.м.}} = K_e \cdot B_e \text{ грн/місяць}, \quad (6.11)$$

де  $K_e$  – середня кількість електроенергії, спожитої за місяць з мережі;

$B_e$  – вартість 1 кВт електроенергії.

$$Z_{\text{ст.з.м.}} = 50 \cdot 2.6 = 130 \text{ грн/місяць.}$$

Вартість спожитої електроенергії протягом року буде становити:

$$Z_{\text{ст.з.р.}} = K_e \cdot B_e \text{ грн/рік} \quad (6.12)$$

$$Z_{\text{ст.з.р.}} = 600 \cdot 2.6 = 1560 \text{ грн/рік.}$$

Отже, співставивши ці дані ми побачимо наступну залежність:

$$Z_{\text{ст.б.р.}} \geq Z_{\text{ст.з.р.}} \quad (6.13)$$

$$6552 \geq 1560$$

Визначаємо строк окупності вітрової електроустановки:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\sum \text{затр}}{E_p} \text{ роки} \quad (6.14)$$

де  $\sum \text{затр}$  - сума затрат на придбання установки;

$E_p$  – річна економія ( $6552 - 1560 = 4992$ ), що рівна грн/рік.

$$T = 69000/4992 = 13.8 \text{ роки.}$$

### **Загальні висновки**

У регіоні, де планується проектування вітроустановки, середня річна швидкість вітру становить 5,2 м/с, а мінімальна місячна – 3,7 м/с. Ці числа є меншими від оптимальних, проте безперебійна робота вітроустановки на даних швидкостях буде проходити нормально.

На даний момент можна з впевненістю сказати, що використання сонячної і вітрової енергії є найбільш актуальним. До останнього часу будь-які прогнози розвитку вітроенергетики країни в більшому ступені носили інерційний характер, оскільки всі, у принципі, погоджувалися з тим, що займатися нетрадиційною електроенергетикою потрібно. Однак на тлі реальних проблем, що усе більше



ускладнюються в тепловій і атомній енергетиці, ніхто серйозно не сприймав перспективи великомасштабного спорудження вітрових електростанцій. А тим часом, саме в останні роки, у світовій вітроенергетиці відбуваються дійсно драматичні події. Виявилось, що ця галузь виробництва вийшла на перше місце у світі за темпами свого розвитку, значно випередивши інші напрямки в енергетиці.

Вітрова електроустановка ЛМВ-2500 має номінальну потужність 2,5кВт. В години пік вона нездатна забезпечити повністю ел. енергією житловий будинок, тому недостачу енергії ми компенсуємо тим, що берем її з мережі. Установа включає в себе дві акумуляторних батареї (АБ6СТ210), інвертор (DR15,24Е), випрямляч.

Електрична енергія, яку виробляє установка іде по кабелях до випрямляча, звідти вона направляється до інвертора. Коли є надлишок енергії частина її іде на зарядження АБ, коли енергії є недостача АБ віддають її назад.

Річний економічний ефект від використання вітрової електроустановки становить 4992грн, а строк окупності вітрової електроустановки становить 13.8 року.

### Список використаної літератури

1. Алексеев Б.А. Міжнародна конференція по вітроенергетиці / Електричні станції. 1996. №2.
2. Безруких П.П. Економічні проблеми нетрадиційної енергетики / Енергія: Екон., техн., екол. 1995. №8.
3. Богуславский Е.И., Виссарионов В.И., Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Умови ефективності і комплексного використання геотермальної сонячної і вітрової енергії // Міжнародний симпозіум "Паливно-енергетичні ресурси Росії й ін. країн СНД". Санкт-Петербург, 1995.

4. Дьяков А.Ф., Прокурорів Н.С., Перминов Е.М. Калмицька досвідчена вітрова електростанція / Електричні станції 1995. № 2.
5. Логинов В.Б. Новак Ю.И. Високоєфективні вітроенергетичні установки / Проблеми машинобудування й автоматизації. 1995. №1-8.
6. Селезньов И.С. Стан і перспективи робіт МКБ "Веселка" в області вітроенергетики / Конверсія в машинобудуванні. 1995. №5.
7. Соболев Я.Г. "Вітроенергетика" в умовах ринку (1992-1995 р.) / Енергія: Екон., техн. екол. 1995. №11.
8. Ципльонков П. С. Організація і планування електрифікації сільськогосподарського виробництва / П. С. Ципльонков. – К. : Вища школа 1980. – 544 с.
9. Романюк Ю. В. Електричні системи та мережі : навч. посіб. / Ю. В. Романюк. – Івано-Франківськ : Факел, 1997. – 248 с.
10. Саенко, Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання і нелінійним навантаженням / Ю. Л. Саенко// Автореф. дис. на здобуття наук, ступеня д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 - теоретична електротехніка, НУ «Львівська політехніка», Львів, 2003.– 36 с.
11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник / М. С. Сегеда. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007.– 488 с
12. Костін, М. О. Миттєва реактивна потужність у системах електричного транспорту постійною струму / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна, А. В. Петров // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб., 2007. – С. 3-8.
13. Щербина О. Енергія для всіх : технічний довідник / О. Щербина – Ужгород, вид-во В. Падяка, 2000. – 200 с.
14. Якимець В. Т. Методичні рекомендації до дипломного проектування для студентів напрямку підготовки "Енергетика та електротехнічні системи в АПК" ОКР "Бакалавр" / В. Т. Якимець, С. В. Сиротюк. – Львів: Львівський НАУ, 2009. – 40 с.

15. Добровольська Л. Н. Про стан автоматизації компенсу вальних установок і перспективи їх оснащення пристроями нового технічного рівня / Л. Н. Добровольська, І. О. Віт, І. П. Сосенко // Промелектро : Пром. електроенергетика та електротехніка. – 2008. – № 4. – С. 26 – 30.

УДК 621.320

Мозіль Бргдан Васильович. Проектування вітроустановки для житлового будинку с. Лешнів Бродівського району Львівської області. – Дипломна робота. Кафедра електротехнічних систем – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2023.

42 с. текст. част., 19 рис., 12 табл., 17 бібл. джерел.

**Актуальність роботи:** дефіцит електроенергії в Україні стимулює до впровадження сучасних відновлювальних джерел електроенергії.

**Мета роботи:** проектування та розробка вітроустановки для житлового будинку.

**Об'єкт дослідження:** заходи та засоби оптимізації роботи системи на базі вітроустановки.

**Предмет дослідження:** вітроустановки для житлового будинку.

При виконанні проекту ми вибираємо житловий будинок або якесь підприємство, знаходимо його споживчі потреби.

Після оцінки об'єкту ми підбираємо вітрову установку, яка б максимально підходила для даної місцевості і забезпечувала потреби в електричній енергії житловий будинок.

Також розглянуто питання охорони праці під час процесу дослідження ламп.

Задля визначення доцільності впровадження запропонованих рішень, проведені техніко – економічні розрахунки.

**Ключові слова:** вітроустановка, вітер, поновлювані джерела енергії.