

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

“ЕНЕРГООЩАДНЕ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДМІНІСТРАТИВНОГО  
КОРПУСУ СКОЛІВСЬКОГО РЕМ ПРАТ “ЛЬВІВОБЛЕНЕРГО” З  
ВИКОРИСТАННЯМ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ”

Виконав: студент 4 курсу

групи Ен-41 спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Гоменюк О.Р.

Керівник: \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.

Рецензент: \_\_\_\_\_

**ДУБЛЯНИ 2024**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.  
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Гоменюку Олександрю Руслановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “Енергоощадне електрозабезпечення адміністративного корпусу Сколівського РЕМ ПрАТ “Львівобленерго” з використанням вітроелектричної установки”

керівник роботи: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.  
( наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 641/к-с 27.11.2023 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

4.1. Аналіз потенціалу відновлюваних джерел в Україні

4.2. Розрахунок комбінованої автоматичної вітроелектричної установки.

4.3 Розробка комбінованої автоматичної вітроелектричної установки.

4.4. Охорона праці та довкілля.

4.5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання комбінованої автоматичної вітроелектричної установки.

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

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	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання: 04.03.2023 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз потенціалу відновлюваних джерел в Україні</i>	4.09.2023 – 22.01.2024	
2	<i>Розрахунок комбінованої автоматичної вітроелектричної установки.</i>	23.01.2024 – 29.01.2024	
3	<i>Розробка комбінованої автоматичної вітроелектричної установки.</i>	02.02.2024 – 13.02.2024	
4	<i>Охорона праці та довкілля.</i>	16.02.2024 – 23.02.2024	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання комбінованої автоматичної вітроелектричної установки</i>	26.02.2024 – 04.03.2024	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	05.03.24 – 29.03.24	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.04.23 – 30.04.24	

Студент \_\_\_\_\_ Гоменюк О.Р.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## УДК 631.3.45.9

Гоменюк О.Р. “Енергоощадне електрозабезпечення адміністративного корпусу Сколівського РЕМ ПрАТ “Львівобленерго” з використанням вітроелектричної установки”. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 47 с. текстової частини, 12 таблиць, 9 рисунків, 13 джерел посилання.

**Метою** кваліфікаційної роботи є розрахунок системи електропостачання адміністративної будівлі Сколівського РЕМ за рахунок автономної вітроелектростанції

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні **завдання**: здійснити аналіз характеристики об’єкту дослідження; оцінити вітроенергетичний потенціал регіону; розрахувати параметри та вибрати ВЕУ; обґрунтувати вибір допоміжного обладнання адміністративної будівлі Сколівського РЕМ за рахунок автономної вітроелектростанції; обґрунтувати техніко-економічні показники прийнятих рішень.

Розроблено методику розрахунку для визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку для Сколівського району, в якому знаходиться об’єкт проектування та визначено швидкість вітрового потоку на різних висотах а саме 25-30 метрів.

Вдосконалено методику для розрахунку параметрів вітроелектричної установки, вибрано вітроелектричну установку за розрахованими параметрами, а саме WH20.8-100KW, розроблено схему підключення вітроелектричної установки до мережі та адміністративного корпусу, розраховано та вибрано кабельні лінії та автоматичні вимикачі для підключення вітроелектричної установки, перевірено діючий трансформатор та вибрано та вибрано лічильний активної та реактивної енергії для підключення вітроелектричної установки до мережі.

**Ключові слова:** вітроустановка, швидкість вітру, електропостачання.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ</b> .....	8
1.1 Аналіз регіону розташування об’єкта .....	8
1.2 Характеристика джерел енергозабезпечення .....	8
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи .....	11
<b>РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНУ</b>	<b>13</b>
2.1 Розрахунок швидкості вітру на висоті 25-30 метрів .....	<b>13</b>
2.2 Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку .....	15
<b>РОЗДІЛ 3. ОБґРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ВЕУ</b> .....	<b>20</b>
3.1. Аргументація розроблюваної конструкції.....	20
3.2 Розрахунок параметрів ВЕУ .....	21
3.3 Вибір класу ВЕУ .....	23
3.4 Підключення ВЕУ до мережі .....	26
3.5 Розрахунок та вибір електричних кабелів та проводів.....	28
3.6 Розрахунок та вибір трансформатора .....	30
3.7 Вибір комутаційних апаратів .....	31
3.8 Вибір лічильника .....	31
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ</b> .....	<b>34</b>
4.1 Вимоги безпеки перед початком роботи на ВЕУ .....	34
4.2 Вимоги безпеки під час роботи .....	36
4.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	37
<b>РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИБОРУ ВЕУ</b> .....	<b>40</b>
5.1 Визначення техніко-економічних показників вибору ВЕУ за чисельними значенням “зеленого” тарифу .....	40
5.2 Розрахунок капітальних витрат введенням в дію ВЕУ .....	41
5.3 Розрахунок поточних витрат введенням в дію ВЕУ .....	42
5.4 Обґрунтування терміну окупності використання ВЕУ .....	43
<b>ВИСНОВОКИ І ПРОПОЗИЦІЇ</b> .....	<b>47</b>
<b>ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>48</b>

## ВСТУП

У сучасному світі, де сталість екологічного балансу та енергоефективність виявляються надзвичайно важливими, питання енергозабезпечення адміністративних комплексів стають центральними у стратегіях сталого розвитку. Розгляд можливостей використання відновлювальних джерел енергії, зокрема вітроелектричних установок, для забезпечення електроенергією адміністративного корпусу, виявляється не лише актуальним, але й стратегічно важливим завданням.

Запровадження вітроелектричних установок для електрозабезпечення адміністративних будівель може стати ключовим кроком у напрямку зменшення викидів парникових газів та зменшення залежності від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та нафта. Це дозволить зменшити негативний екологічний вплив та сприятиме формуванню більш сталого енергетичного простору. Застосування вітроелектричних установок не лише знижує кількість викидів CO<sub>2</sub>, але й може значно зменшити витрати на електроенергію в довгостроковій перспективі, що робить такий підхід економічно вигідним.

Проте, разом із потенційними перевагами використання вітроелектричних установок для енергозабезпечення адміністративних комплексів, існують і виклики. Наприклад, врахування особливостей місцевості, вимог до безпеки під час експлуатації вітроелектричних установок та врахування потенційних впливів на природні ландшафти та біорізноманіття.

Отже, аналіз можливостей використання вітроелектричних установок для енергозабезпечення адміністративного корпусу є невід'ємною частиною дискусії про енергоефективність та сталість управління ресурсами в сучасному світі. У цьому контексті, вивчення плюсів та мінусів такого підходу дозволить розробити більш комплексні та ефективні стратегії розвитку енергетичного сектору.

## **РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ**

### **1.1 Аналіз регіону розташування об'єкта**

Районний електромережний центр "Сколівський РЕМ ПрАТ "Львівобленерго" знаходиться в місті Сколе в Сколівському районі Львівської області.

Територія господарства знаходиться в зоні помірно-континентального клімату де середньо річна температура складає  $+7^{\circ}\text{C}$ . У цих краях середня тривалість зими складає 4-4.5 місяця. Середньорічний рівень опадів 924мм. Найбільше опадів припадає на літній період року .

Взимку в цьому регіоні діють азорський та сибірський антициклони а також частково ірландський циклон внаслідок чого переважають південно-західні вітри. Підчас проникнення в Сколівський район морського арктичного повітря спостерігається випадання мокрого снігу ,а з південно-західним вітром виникають сильні заметілі . У цілому зима в цьому регіоні, за останні роки, є малосніжною , порівняно теплою та часто з хмарною погодою та з високою відносною вологістю повітря . У весняний період часто спостерігається нестійка хмарна погода з періодичним проясненням . В літні місяці часто бувають повені що спричинені сильними зливами .

Ключовою метою діяльності Сколівського РЕМ становить забезпечення надійного, безперебійного та ефективного електропостачання для мешканців, підприємств та інших споживачів на їхній території обслуговування.

Організаційна структура Сколівського РЕМ складається з виробничих підрозділів, технічних служб, відділів обслуговування клієнтів, адміністративних підрозділів та з відділів енергозабезпечення та екології .

### **1.2 Характеристика джерел енергозабезпечення**

Підприємство отримує електропостачання від центральної електромережі напругою 10кВ з використанням трансформаторної підстанції, яка знижує

напругу до 0,4кВ . Потужність цієї підстанції складає 160 кВА. Приблизна Потужність, яку споживає корпус, становить 8,352кВт освітлення та 49,200кВт споживання приладів (комп'ютери, принтери, сервер та інші)

Водопостачання підприємства виконано від централізованого водопостачання . Вода використовується для побутових потреб.

Технологічні стоки адміністративних приміщень підлягають утилізації через централізовані системи очищення .

Адміністративний корпус складається з трьох поверхів

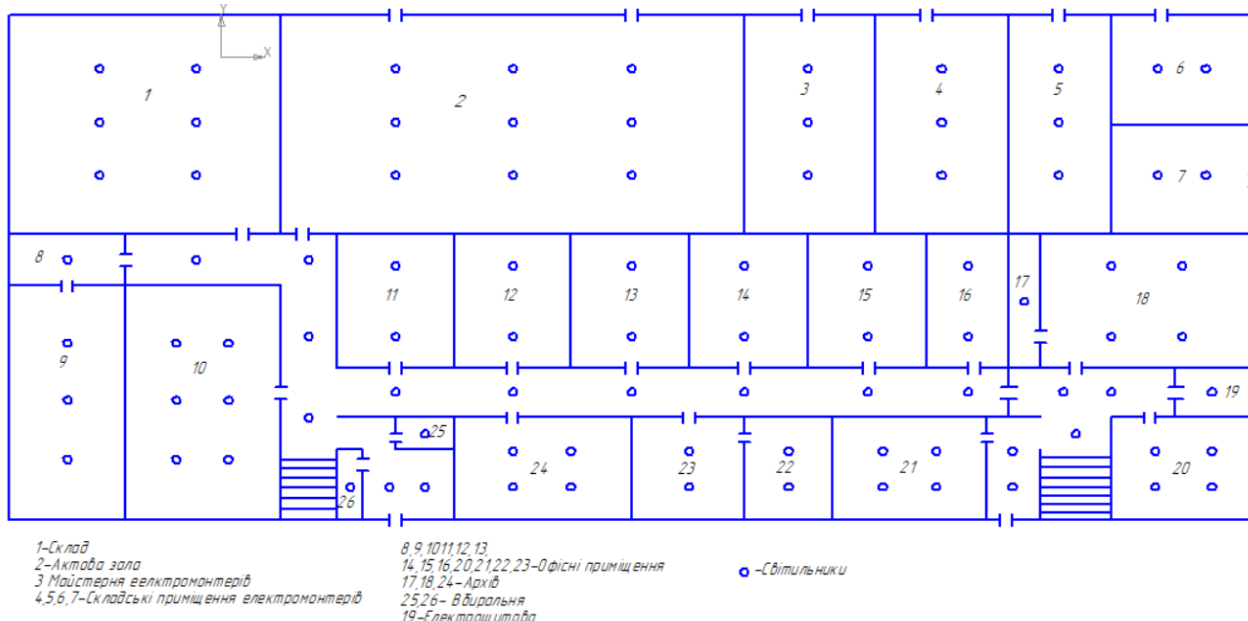


Рисунок 1.1 – Схема першого поверху

На першому поверсі розміщено 90 світильників типу IRMAK-36 6400K IP65 від фірми HOROZ ELEKTRIC потужністю 36Вт та 12 комп'ютерів потужністю 800Вт .

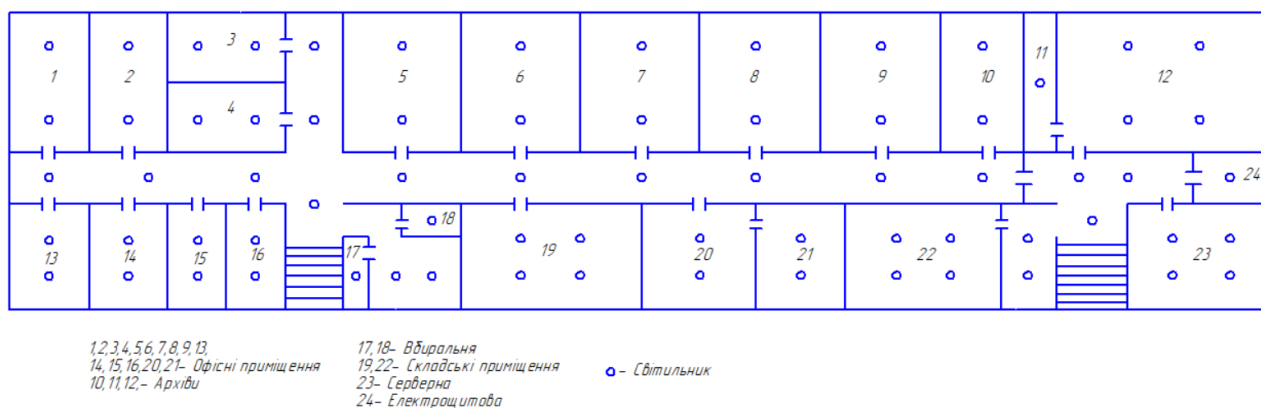


Рисунок 1.2 – Схема другого поверху



На другому поверсі знаходиться серверна потужністю 18кВт; світильники в кількості 71шт. типу IRMAK-36 6400K IP65 від фірми HOROZ ELEKTRIC потужністю 36Вт та 15 комп'ютерів потужністю 800 Вт.

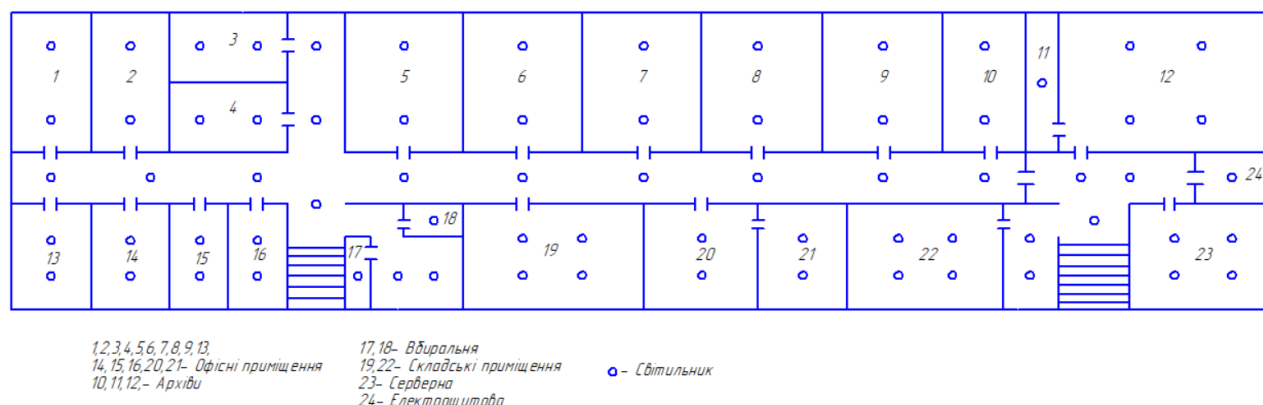


Рисунок 1.3 – Схема третього поверху

На третьому поверсі розміщено 71 світильників типу IRMAK-36 6400K IP65 від фірми HOROZ ELEKTRIC потужністю 36Вт та 12 комп'ютерів потужністю 800Вт .

ПрАТ «Львівобленерго» змінило організаційну структуру компанії з 1 вересня 2020року для того щоб, оптимізувати роботу РЕМ а також з врахуванням другого етапу децентралізації України відповідно до прийнятої Верховною Радою України Постанови №3650«Про утворення та ліквідацію районів» від 17 липня 2020 року див. на рис 1.4.



Рисунок 1.4 – Організаційна структура ПрАТ«Львівобленерго»

В компанії через реформацію районних електромережних центрів та реорганізацією структури Сколівського РЕМ було приєднано до Карпатського РЕМ в складі південного регіонального округу Львівської та Івано-Франківської області.

Однією з особливостей електромережних центрів є використання альтернативних джерел енергії, таких як вітроенергетика. Отже, головною метою на 2024 рік було переобладнання адміністративних будівель для використання енергії на базі ВДЕ. В Сколівському РЕМ планується збудувати ВЕС у два етапи: у лютому 2025 року буде запущено 2 агрегати Vestas V112 загальною потужністю 6,6 МВт, а у жовтні 2026 року ще 2 агрегати.

У зв'язку із цим нами потрібно буде розглянути ряд завдань для Енергоощадного електрозабезпечення адміністративного корпусу Сколівського РЕМ, а саме :

1. Рациональне енергозабезпечення інфраструктури адміністративного будинку (Освітлення Опалення 57,552кВт ) і території (Освітлення 7.5кВт технічне обслуговування 4кВт )
2. Заміна альтернативного генератора (дизельний генератор Aksa APD-44 А повна потужність якого 44кВА а активна потужність 35.2кВт)
3. Перерахунок еквівалентних потужностей на потреби ВЕС що потрібні будуть нам (69,052кВт) будуть рівні вітроенергетичній станції з комплексом вітроустановок що буде розглянуто в наступних розділах

### **1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи**

Метою кваліфікаційної роботи є розрахунок системи електропостачання адміністративної будівлі Сколівського РЕМ за рахунок автономної вітроелектростанції

Підчас виконання КР нами були поставлені наступні завдання а саме :

- 1 Здійснити аналіз характеристики об'єкту дослідження;
- 2 Оцінити вітроенергетичний потенціал регіону;
- 3 Розрахувати параметри та вибрати ВЕУ;

- 4 Обґрунтувати вибір допоміжного обладнання адміністративної будівлі Сколівського РЕМ за рахунок автономної вітроелектростанції
- 5 Обґрунтувати техніко-економічні показники прийнятих рішень.

## РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНУ

### 2.1 Розрахунок швидкості вітру на висоті 25-30 метрів

При розгляді аспектів пов'язаних з швидкістю вітру, таких як вибір місця для розташування вітроенергетичних установок, аеродинамічні розрахунки, проектування механізмів та їх орієнтація, враховуються графіки зміни швидкості вітру протягом доби, місяця, сезону.

Дані про середньорічні швидкості вітру слугують вихідною характеристикою загального рівня інтенсивності вітру. За величиною середньорічної швидкості вітру в першому наближенні можна судити про перспективність застосування вітроенергетичних установок в тому чи іншому районі.

Середня швидкість вітру за обраний проміжок часу визначається відношенням суми виміряних значень миттєвої швидкості до числа вимірювань:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \text{м/с} \quad (2.1)$$

де  $v_{\text{сеп}}$  – середня швидкість вітру за обраний проміжок часу, м/с;

$V_i$  – миттєве значення швидкості вітру, м/с;

$n$  – кількість вимірювань.

За допомогою офіційних даних, взятих з сайту “NASA”, ми можемо визначити середню швидкість вітру за рік на південному заході Львівської області, використовуючи усереднені значення середніх швидкостей вітру за всі місяці 2023 року, подані на рисунку (2.1).

За формулою (2.1) визначимо середню швидкість вітру за рік:

$$v_{\text{сеп}} = 3,84 \text{ ,м/с.}$$

За формулою (2.1) ми визначили середню швидкість вітру, але важливо враховувати, що зі збільшенням висоти зростає і швидкість вітру. Вітрогенератори встановлюються на різних висотах. Потужні 50-70 метрів. Для цілей даної роботи достатньо використовувати вітроенергетичні установки що мають висоту башти 25-30 метрів.

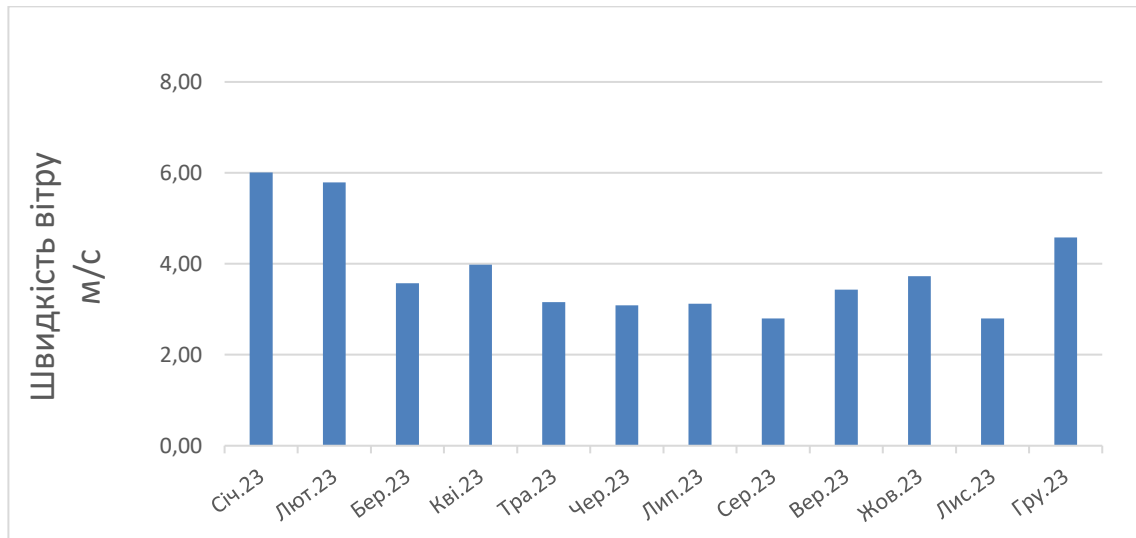


Рисунок 2.1 – Середня швидкість вітру Львівської області

Оскільки висота опорної башти впливає на швидкість вітру, для розрахунків ефективності ВЕУ, які мають башту 25-30 метрів, необхідно використовувати швидкість вітру саме на цих висотах. Це можна зробити використовуючи формулу :

$$v = v_1 \frac{\ln \frac{h_1}{h_0}}{\ln \frac{h}{h_0}}, \text{ м/с.} \quad (2.2)$$

де  $v$  – швидкість вітру на висоті  $h$ , м/с;

$v_1$  – відома швидкість вітру на висоті  $h_1$ , м/с;

$h_0$  – висота на якій швидкість вітру дорівнює нулю.

Для зручності використаємо узагальнену формулу (2.3), яка була виведена на основі даних спостережень швидкості вітру на певній висоті. Проте варто зауважити, що ця формула має свої обмеження оскільки не враховує вплив рельєфу території та турбулентності повітряного потоку неподалік від земної поверхні.

$$v = v_0 \left( \frac{h}{h_0} \right)^\alpha, \text{ м/с} \quad (2.3)$$

де  $v$  – швидкість вітру на висоті  $h$  ;

$v_0$  – відома швидкість вітру на висоті  $h_0$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт ( $\alpha=0.2$ ).

Коефіцієнт  $\alpha$  не є однаковим для всіх випадків. В різних дослідження його часто встановлюють на різних рівнях. Наприклад, у США для різних регіонів цей показник може становити від 0,23 до 0,03, а іноді навіть досягати значень 0,34. У деяких випадках для України використовують  $\alpha=0,167$ . Для цієї роботи ми будемо використовувати значення показника  $\alpha=0,2$ , яке рекомендоване в нормативних документах.

$$v_{25} = 7.31$$

$$v_{30} = 7.58$$

Отже, середньорічна швидкість вітру на висоті від 25 до 30 метрів складає близько - м/с. Будемо використовувати ці дані для подальшого вибору ВЕУ.

## 2.2 Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку

Практика використання вітрової енергії передбачає урахування двох ключових аспектів :

- Максимізація енергії, що генерується для підключення до загальної електромережі;
- Забезпечення неперервної роботи генеруючих механізмів.

Оцінка вітроенергетичного потенціалу території базується на обсягу електроенергії, яку переносить потік повітря через певну площу протягом певного періоду часу. Цей показник використовується для оцінки перспектив використання вітрової енергії та її конкурентоспроможності порівняно з іншими джерелами енергії. Існують три основні види потенціалу: теоретичний, технічно-

досяжний та економічно-доцільний, кожен з яких відображає різні аспекти використання вітроенергії.

Теоретичний потенціал вітру – це оцінка максимальної кількості енергії, яку може перенести потік повітря через певну площу за певний час, при умові, що весь цей потенціал можна буде повністю використати без будь-яких технічних або економічних обмежень. Фактично, це визначає потенціальний максимальний внесок вітрової енергії на даний регіон або територію, якщо б не було обмежень щодо технологічної або економічної придатності.

Технічний потенціал території визначається на основі площі, на якій можливе розміщення вітроенергетичних установок з урахуванням технічних та екологічних обмежень. Згідно зі світовим досвідом, ця площа зазвичай становить в 10-30% від загальної площі регіону. Однак, через необхідність збереження відстані між сусідніми вітроустановками, яка зменшує виділену площу приблизно в 20 раз, тому при розрахунках застосовують коефіцієнт заповнення, що становить 0,2. Таким чином для визначення питомого технічного потенціалу необхідно врахувати енергію, яку переносить потік повітря через площу його переріз.

Згідно з відомими фактами, потужність та енергія вітрового потоку залежить від куба його швидкості, що виражається за допомогою таких формул:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot F \cdot v^3 \quad \text{і} \quad E = P \cdot t = \frac{1}{2} \rho \cdot t \cdot F \cdot v^3 \quad (2.4)$$

де  $P$  та  $E$  – потужність та енергія вітрового потоку відповідно;

$\rho$  – густина повітря;

$F$  – площа перерізу вітрового потоку;

$v$  – швидкість вітрового потоку.

Для розрахунку середньорічної енергетичної продуктивності вітроустановки, необхідно взяти середню суму кубів виміряних швидкостей у робочому діапазоні від стартової  $v_{ст}^3 = v_1^3$  до критичної  $v_{кр}^3 = v_n^3$ . Якщо цей діапазон поділений на  $n$  рівних інтервалів швидкості, то середнє значення кубу

швидкості обчислюється, враховуючи кількість годин у кожному з цих інтервалів, за допомогою відповідної формули:

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot F \cdot \sum_i n_i \cdot v_i^3 \quad (2.5)$$

де  $n_i$  – повторюваність вітру у годинах віднесена до числа годин у році  $N=8760$  та ширини швидкісного інтервалу .

Говорячи про рівнозначність густини ймовірності попадання результату вимірювання у цей інтервал, ми маємо на увазі, що ймовірність знаходження вимірюваного значення в певному діапазоні швидкості вітру розглядається з однаковою ймовірністю для кожного інтервалу швидкості.

$$\frac{n_i}{\Delta v N} = \frac{P_i}{\Delta v} = \Phi_i \quad (2.6)$$

У метеорології швидкість вітру зазвичай вимірюють кожні три години, проводячи загалом 2920 вимірювань, і потім узагальнюють результати у вигляді таблиць повторюваності з кроком  $\Delta v=1$  м/с. Отже, для обчислення сумарної середньої швидкості  $v_i$  для кожного діапазону швидкості та відповідні табличні значення повторюваності у відсотках. Отримана енергія відповідає питомому значенню теоретичного потенціалу енергії вітру, у той же час, для розрахунку питомого технічного потенціалу вводиться додатковий множник  $C_p$ , який враховує коефіцієнт корисної дії перетворення енергії вітру на корисну роботу

$$E = C_p \frac{1}{2} \rho \cdot F \cdot N \sum_i \Phi_i v_i^3 \approx 2190 \rho \sum_i \Phi_i v_i^3 = 2628 \sum_i \Phi_i v_i^3 \quad (2.7)$$

В теорії максимально можливе значення коефіцієнта  $C_p$  становить 0,59, але на практиці поки що найбільш ефективні системи мають коефіцієнт використання вітрової енергії ну більше ніж 0,49.

За вище наведеною методикою, в програмному середовищі EXCEL, було проведено розрахунки, які в представлені в таблиці 2.2



Таблиця 2.1 – Повторюваність швидкості вітру за градаціями Львівської АМСГ

$\Delta v$ , м/с	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15
$v_i$ , м/с	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
$\Phi_i$	20,8	32,5	26,0	17,1	3,0	0,4	0,1	0,1
$\Phi_i v_i^3$	2,6	109,7	406,3	733,2	273,4	66,6	27,5	42,2
$E_i$ , кВт·год	6,8	288,3	1068	1926,8	718,5	175,0	71,5	110,9

Таблиця 2.2 - Розрахункові значення вітрового енергетичного потенціалу

Місяць року	Середня швидкість вітру, м/с	Кількість днів в місяці	Встановлена швидкість вітру, м/с	Енергія вітру за місяць, кВт·год/м <sup>2</sup>	Енергія вітру за місяць в системі, кВт·год/м <sup>2</sup>
1	6,01	31	7,14	174,67	41,87
2	5,79	29	6,9	147,47	35,35
3	3,57	31	4,5	43,73	10,48
4	3,98	30	4,94	55,99	13,42
5	3,16	31	4,06	32,12	7,70
6	3,09	30	3,98	29,28	7,02
7	3,12	31	4,01	30,94	7,42
8	2,80	31	3,67	23,72	5,69
9	3,43	30	4,35	38,23	9,16
10	3,73	31	4,67	48,87	11,71
11	2,80	30	3,67	22,96	5,50
12	4,58	30	5,59	81,12	19,45
Разом за рік	3,84	365	4,79	729,1	174,78

Можна зробити висновок щодо можливості та обґрунтованості використання вітрової установки на підставі отриманих результатів.

## **Висновки по розділу 2**

Встановлено що для забезпечення індивідуального пункту Сколівського РЕМ необхідна швидкість вітрового потоку повинна коливатись у межах від 6 до 7.58 м/с для встановленої потужності споживачів (69,052кВт)

Рекомендуємо згідно проведених розрахунків вітроколесо встановлювати на висоті 30 м

Обґрунтовано енергетичний потенціал Сколівського регіону за заміщенням традиційних джерел відновлювальними а саме енергії вітру та визначено :

Енергія вітру за місяць (729,1 кВт\*год/м<sup>2</sup>) Енергія вітру за місяць в системі (174,78 кВт\*год/м<sup>2</sup>)

А результати розрахунків подано в таблиці 2.2

## РОЗДІЛ 3. ОБГУРНУТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ВЕУ

### 3.1. Аргументація розроблюваної конструкції

З урахуванням необхідних технологічних та організаційних вимог для застосування вітроелектричної установки на потреби адміністративного корпусу, структурна схема вітроелектричної установки може виглядати наступним чином: вітроколесо, обертова та необертова частини, пристрій для повороту головки, стійка та фундамент опору. Щодо електричної частини, вона має включати такі елементи: електрогенератор, з'єднувальні проводи, систему перетворення напруги в постійний струм, систему акумуляції електроенергії постійного струму, систему перетворення електроенергії постійного струму в змінний, розподільчі вимикачі та систему управління роботою поворотного пристрою. В залежності від виробничих потреб електрична частина може бути змінена шляхом додавання або вилучення певних елементів.

Одним з важливих компонентів вітроустановки, що забезпечує надійну експлуатацію, є гальмівна система. Вона призначена для зупинки вітроколеса у випадку надходження вітрового потоку з недопустимою швидкістю або для проведення ремонтних робіт.

Проте, якщо вітер раптово посилюється до швидкості понад 15 м/с, гальмівна система може не впоратися з гальмуванням та повною зупинкою вітроколеса. Це пояснюється тим, що потужність гальмівної системи значно менша за ту, яка може бути згенерована вітроколесом. Збільшення потужності гальмівної системи не є ефективним рішенням, оскільки це призведе до значного зростання ваги та вартості вітроустановки.

Один із способів зменшення навантаження на гальмівну систему полягає в включенні системи автоматичного керування орієнтацією осі вітроколеса на вітер. В цій схемі передбачається можливість не лише постійного наведення вітроколеса на вітер, але й автоматичного виведення його з-під вітру у випадку перевищення нормованої швидкості вітру. Застосування такої схеми дозволяє оптимізувати роботу гальмівної системи, а також стабілізувати потужність

вітроколеса в широкому діапазоні швидкості вітру, включаючи значення понад нормоване.

Використання поворотних пристроїв у вітроустановках потребує спеціальної конструкторської розробки через те, що інтенсивність повороту головки вітроустановки залежить від різних факторів, зокрема від маси головки. Під час різкої зміни орієнтації головки вітроколеса можуть виникати значні гіроскопічні моменти. Для зменшення швидкості виходу вітроколеса з-під вітру рекомендується використовувати понижувальні пристрої з великим передавальним числом. До таких пристроїв можна віднести хвильові передачі, які будуть використані у даному проекті як основний поворотний механізм.

Отже, структура поворотного пристрою включатиме електродвигун, понижувальний редуктор у формі хвильової передачі та опорну конструкцію, до якої буде закріплена головка вітроколеса.

### 3.2 Розрахунок параметрів ВЕУ

Згідно розділу 1 п.п. 1.2 відомо, що пікове навантаження адміністративного корпусу сягає близько 69кВт. Для забезпечення потреби в електроенергії було вибрано ВЕУ потужністю 100кВт. Щоб вибрати відповідну модель вітряка потрібно провести розрахунки його розмірів з урахуванням похибки в 5%.

Розрахуємо аеродинамічну потужність на основі зв'язку з електричною потужністю ВЕУ через коефіцієнт використання вітру:

$$P_E = \xi \cdot P_A, \text{Вт.} \quad (3.1)$$

Де  $\xi$  – коефіцієнт використання вітру, який за допомогою методу розрахунку Жуковського-Бертса було встановлено, що максимально можливе значення цього коефіцієнту складає  $\xi=0,593$ , що перевищує практично досяжні межі. На практиці цей коефіцієнт змінюється в межах 0,25-0,45.

З формули (3.1) знайдемо ідеальну аеродинамічну потужність :

$$P_A = \frac{P_E}{\xi_{ЖБ}} = \frac{100}{0.593} = 168,6 \text{ кВт.}$$

Аеродинамічна потужність представляє собою енергію, яку вітроколесо отримує від потоку вітру протягом однієї секунди :

$$P_A = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot V \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2}, \text{ Вт.} \quad (3.2)$$

де  $P_A$  – аеродинамічна потужність, Вт;

$\rho$  – густина повітря що проходить через ротор ( прийємо для розрахунків  $1,2255 \text{ кг/м}^3$  за нормальних умов, сухого повітря, температурі  $15^\circ\text{C}$  і тиску  $101330 \text{ Па}$  );

$v$  – швидкість вітрового потоку, що пройшов через ротор вітрогенератора протягом однієї секунди (для вітрогенераторів потужністю в  $100 \text{ кВт}$  середнє номінальне значення є  $10 \text{ м/с}$ );

$m$  – маса повітря, яке проходить через ротор вітрогенератора протягом однієї секунди, кг;

$V$  – об'єм повітря, що проходить через ротор вітрогенератора протягом однієї секунди,  $\text{м}^3$ ;

$S$  – площа, що охоплює вітроколесо,  $\text{м}^2$ .

З формули (3.2) знайдемо площу, яку охоплює ротор:

$$S = \frac{2 \cdot P_A}{\rho \cdot v^3} = \frac{2 \cdot 168,6 \cdot 10^3}{1,2255 \cdot 10^3} = 275,2 \text{ м}^2;$$

З огляду на те, що реальний коефіцієнт використання енергії вітру складає  $65-67\%$  від ідеального, то знайдену площу потрібно збільшити в  $1,33-1,35$  рази.

$$S_{\text{реал}} = S \cdot 1,33 = 366 \text{ м}^2;$$

Визначимо розрахунковий діаметр ротора вітроколеса для горизонтально-осьових установок. Для цих типів роторів, залежність між площею, охопленою вітроколесом, та його діаметром може бути виражена наступною формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2; \quad (3.3)$$

З формули (3.3) визначимо розрахунковий діаметр вітроколеса:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{реал}}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 366}{\pi}} = 21,5 \text{ м};$$

Отже, ми повинні обрати ВЕУ, яка буде відповідати знайденим параметрам.

### 3.3 Вибір класу ВЕУ

Вітрогенератор WH20.8-100KW вважається одним з найдосконаліших генераторів. Він був обраний в якості основного джерела енергії для адміністративного корпусу Сколівського РЕМ. Використання генератора з постійними магнітами, який використовує спеціальний тип міді, леговану сталь, яка використовується в авіації, і нержавіючу сталь забезпечує високу ефективність. Технічні характеристики вітрогенератора наведені в таблиці 3.1.

Установка має систему управління та контролю Siemens, ця система дозволяє регулювати роботу вітрогенератора та комплексу обладнання, яке споживає енергію в ручному або автоматичному режимі.

Система призначена для визначення оптимального напрямку вітру та запобігання зупинці генератора в небезпечних ситуаціях: при низьких і критичних обертах, при перегріві тощо.

Комплектація вітрогенератора:

- 50м.силових кабелів

- Тихохідний генератор
- Носовий обтічник
- 3 лопаті
- Ультразвуковий анеморумбометр
- Блок живлення механізмів гондоли
- Логічний контролер Siemens з можливістю віддаленого моніторингу
- Баластне навантаження
- Випрямляч і контролер баластного навантаження
- Анкерні кріплення
- Мережевий трифазний інвертор (50 Гц 400 В)
- Вільностояча башта висотою 30м.

Таблиця 3.1 – технічні характеристики WH20.8-100KW

Характеристика	Значення
Номінальна потужність	100 кВт
Максимальна вихідна потужність	110 кВт
Зарядна напруга	DC 380 В
Вихідна напруга	AC 380 В
Лопаті/кількість	3
Лопаті несучого гвинта, діаметр	21,5 м
Початкова швидкість вітру	2 м/с
Номінальна швидкість вітру	11 м/с
Номінальна швидкість обертання	85 об/хв
Регулювання швидкості (захист)	Механічне + ручне
Коефіцієнт використання енергії вітру	42%
Вихід генератора	Трифазний AC
Вихідна напруга	0-600
Розрахунковий струм	125 А
Максимальний струм (короткочасний)	160 А
Рівень шуму (при швидкості вітру 8 м/с)	< 60 дБ
Ефективність перетворення генератора	92%
Маса генератора	2000 кг
Вільно стояча башта, діаметр	Ø1725· Ø670 мм
Висота мачти	30

Лопаті ротора цієї системи виготовлені за передовими технологіями з використанням передових матеріалів, таких як армоване скловолокно або авіаційний алюмінієвий сплав. Таке використання високотехнологічних лопатей ротора значно збільшує загальний термін служби всієї системи.

Використовуючи автоматизовану систему пошуку напрямку вітру та використовуючи аеродинамічні лопаті, вітряна турбіна працює стабільно і майже безшумно. Кожен компонент вітрогенератора покритий захисним антикорозійним шаром, що захищає від шкідливого впливу ультрафіолетового випромінювання. Ці установки успішно пройшли суворі краш-тести, що гарантує швидке та ефективне встановлення, зберігаючи свіжий та сучасний зовнішній вигляд протягом багатьох років служби. Компоненти вітряних турбін виготовлені з використанням матеріалів, сплавів і композитів преміум-класу, що дозволяє їм бездоганно функціонувати в діапазоні температур від  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , навіть у середовищах з високою вологістю, насиченим сіллю та протистояти абразивним силам піску, а також у північних районах. Крім того, при необхідності діапазон робочих температур може бути розширений.

Для визначення середньої потужності, виробленої обраним вітрогенератором, розглянемо характеристики залежності вихідної потужності від швидкості вітру, надані виробником (рис. 3.1).

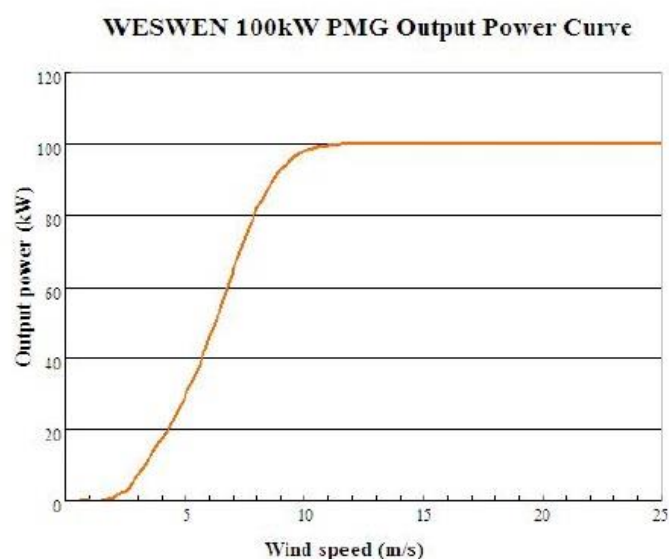


Рисунок 3.1 – Залежність вихідної потужності від швидкості вітру вітрогенератора WH20.8-100KW



У розділі 2 п.п. 2.1 було визначено середню річну швидкість вітру на висоті 30 метрів (висота башти). За допомогою графіку вітрогенератора WH20.8-100KW було встановлено, що при швидкості вітру 7,58 м/с він генерує потужність 68.9 кВт. що вистачає для енергозабезпечення адміністративного корпусу Сколівського РЕМ.

Тепер, щоб розрахувати площу землі, що потрібна для розташування вітрогенератора, ми спочатку розрахуємо площу поперечного перетину башти.

$$S_M = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,725^2}{4} = 2,3 \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

Для ефективної роботи вітрогенераторів необхідно вибирати відкриті місцевості і правильно обирати місце їх встановлення, щоб уникнути перешкод для вітрового потоку, таких як високі насадження або будівлі. Також важливо враховувати щільність ґрунту.

Після аналізу та затвердження площі для встановлення вітрогенераторів, проводяться підготовчі роботи, включаючи підготовку фундаменту, установку вітряка, налагоджувальні процеси та навчання персоналу для подальшого експлуатації вітрогенератора.

### **3.4 Підключення ВЕУ до мережі**

Для визначення необхідного обладнання для підключення вітроелектричної установки було розроблено план-схему, на якій узагальнено показано основне та резервне джерела електропостачання обраного підприємства (рисунок 3.3). Крім того, надано більш докладну схему підключення підприємства до джерел електроенергії (рисунок 3.2).

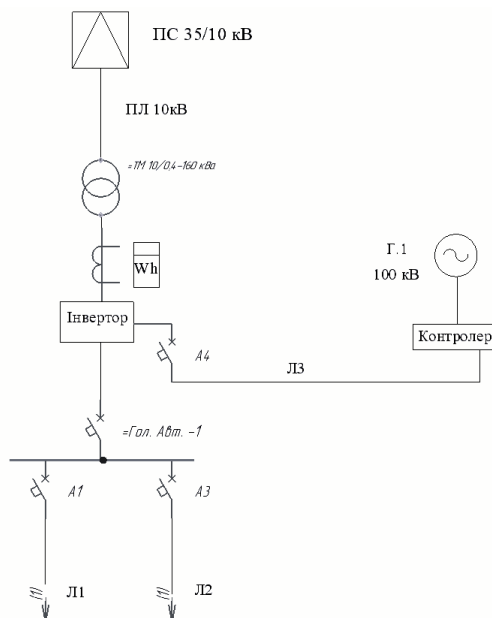


Рисунок 3.2 – Однолінійна схема живлення Сколівського РЕМ

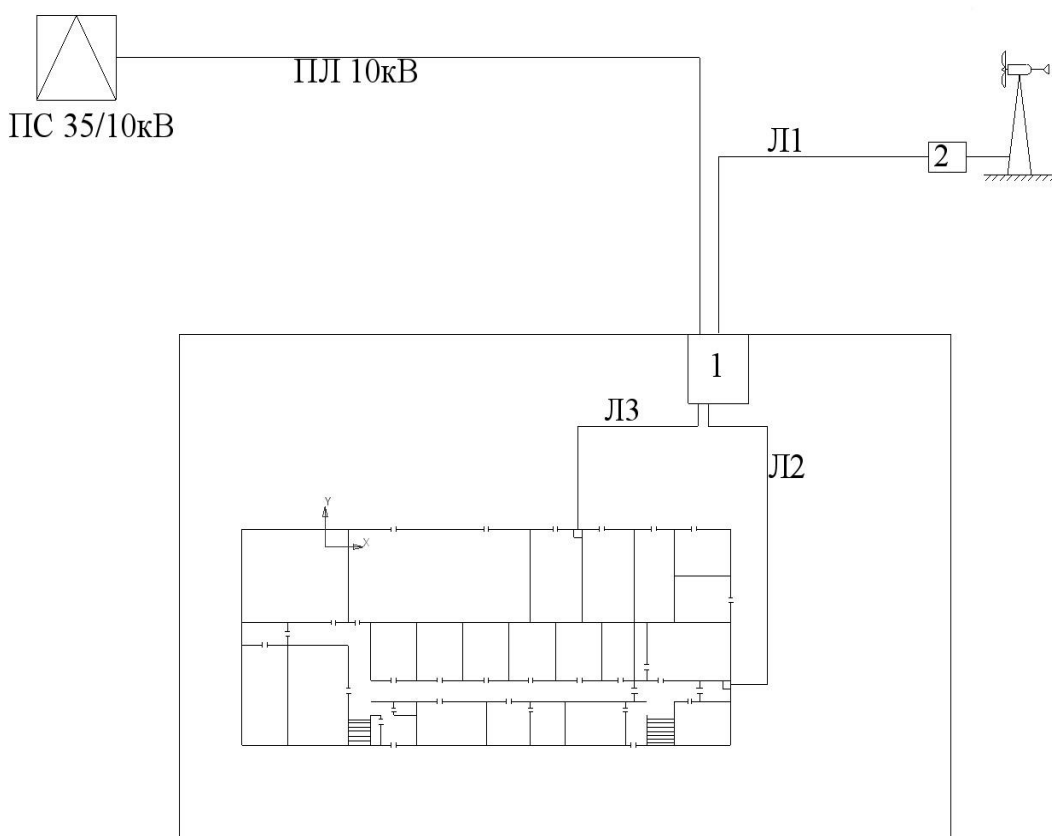


Рисунок 3.3 – План-схема розташування об'єктів Сколівського РЕМ:

1. трансформаторна підстанція; 2. пункт керування вітрогенератором.

На схемі зображено розміщення та підключення об'єктів Сколівського РЕМ до мережі а саме вітрової установки за допомогою кабельної лінії Л1 через

пункт керування вітрогенератором до трансформаторної підстанції яка, в свою чергу підключена до мережі електроенергії через підстанцію 10/30кВ за допомогою повітряної лінії ПЛ10кВ. Також до трансформаторної підстанції підключені майстерня електромонтерів за допомогою кабельної лінії Л3. Сам адміністративний корпус підключений до трансформаторної підстанції через кабельну лінію Л2.

### 3.5 Розрахунок та вибір електричних кабелів та проводів

У цій кваліфікаційній роботі вибір електричних кабелів та їх перерізів буде здійснюватися з урахуванням економічної щільності струму. Для цього будемо визначати струми в лініях за допомогою формули (3.5) та занесемо знайдені дані в таблицю 3.3.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U_H}, A \quad (3.5)$$

Економічний переріз кабелю можна розрахувати за допомогою методу економічної густини струму:

$$F_e = \frac{I_M}{j_e}, \text{мм}^2 \quad (3.6)$$

де  $I_M$  - струм лінії в режимі максимальних навантажень А;

$j_e$  – нормоване значення економічної густини струму, що визначається таблицею 3.2.

Отриманий під час розрахунку переріз кабелю буде округлений до найближчого стандартного перерізу. Після цього виберемо відповідні марки кабелів та занесемо їх до таблиці 3.3. Після вибору провідників перевіримо їх відповідність допустимій втраті напруги в лініях за допомогою формули (3.7). Результати цих розрахунків будуть внесені до таблиці 3.4.

$$\Delta U = \frac{\kappa \cdot P \cdot L}{C \cdot S} \quad (3.7)$$

де  $\Delta U$  – втрати напруги в провіднику, %;

$C$  – коефіцієнт, для алюмінієвих проводів трифазної мережі,  $C=46$ ;

$S$  – переріз провідника,  $\text{мм}^2$ ;

$\kappa$  – коефіцієнт, що враховує ступінь розподілу навантаження на провіднику, для КЛ:  $\kappa=1$ , для ПЛ:  $\kappa=0,5$ ;

$L$  – довжина провідника, м.

Таблиця 3.2. – Економічна щільність струмів

Провідники	Економічна щільність струму, А/мм <sup>2</sup> , при кількості годин використання максимуму навантаження в рік		
	більше 1000 до 3000	більше 3000 до 5000	більше 5000
Неізольовані проводи : мідними, алюмінієвими	2.5	2.1	1.8
	1.3	1.1	1.0
Кабелі з паперовою та проводи з резиновою і полівінілохлоридною ізоляцією з жилами: мідними, алюмінієвими	3.0	2.5	2.0
	1.6	1.4	1.2
Кабелі з резиновою і пластмасовою ізоляцією з жилами: мідними, алюмінієвими	3.5	3.1	2.7
	1.9	1.7	1.6

Таблиця 3.3. – Вибір кабелів мережі

№	L,м	U,кВ	P,кВт	I,А	Fe, мм <sup>2</sup>	Марка	S,мм <sup>2</sup>	Iдоп,А
Л1	300	0,38	100	151,9	108,5	АВВГ 4х120	120	226
Л2	35	0,38	11,5	17,4	12,4	АВВГ 4х25	25	94
Л3	50	0,38	57,5	87,4	62,4	АВВГ 4х70	70	167

Таблиця 3.4. – Втрати напруги

№	Марка	Довжина L,м	Підключене навантаження P,кВт	Переріз провідника S,мм <sup>2</sup>	Втрати напруги $\Delta U, \%$
Л1	АВВГ 4х120	300	100	120	5,43
Л2	АВВГ 4х25	35	11,5	25	0,35
Л3	АВВГ 4х70	50	57,5	70	0,89

Після проведення розрахунків втрат напруги за формулою (3.7) виявилось що в лінії Л1 втрати напруги перевищують допустимі 5% тому значення втрат для цієї лінії потрібно зменшити. Це можна зробити, збільшивши переріз провідника до наступного стандартного значення а саме 150мм<sup>2</sup>. Перераховані значення заносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. – Перераховані втрати напруги

№	Марка	Довжина L,м	Підключене навантаження P,кВт	Переріз провідника S,мм <sup>2</sup>	Втрати напруги $\Delta U, \%$
Л1	АВВГ 4х150	300	100	150	4,35
Л2	АВВГ 4х25	35	11,5	25	0,35
Л3	АВВГ 4х70	50	57,5	70	0,89

### 3.6 Розрахунок та вибір трансформатора

Визначення необхідної потужності трансформатора зазвичай базується на тому, що на однострансформаторній підстанції потужність трансформатора повинна бути не менше максимальної потужності споживачів. Тому залежність виглядає наступним чином:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{розр}} = P_{\text{max}} \quad (3.8)$$

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

$P_{\text{розр}}$  – розрахункова потужність однострансформаторної підстанції;

$P_{max}$  – максимальна потужність споживача, кВт.

Таблиця 3.6. – Параметри трансформатора

Тип	Sном, кВА	Каталожні дані					
		Уном обмоток, кВ		$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	Uк, %	Iх, %
		ВН	НН				
ТМ - 160/10/0,4	160	10	0,4	0,45	3,1	4,5	2

Так як в Сколівському РЕМ вже є трансформаторна підстанція з трансформатором ТМ160/10/0,4 то ми будемо перевіряти чи він підходить за залежністю (3.8).

### 3.7 Вибір комутаційних апаратів

У таблиці 3.7. наведено зведення автоматичних вимикачів, обраних для пристроїв, що працюють на напругу 0,4 кВ. Ці вибори базуються на номінальному струмі, який розраховується за формулою (3.5).

Таблиця 3.7. – Комутаційні апарати на стороні 0.4 кВ

Позначення на схемі	Розрахунковий струм I, А	Номінальний струм I, А	Тип автоматичного вимикача
Гол. Авт.1	104,8	125	АВ3005/3 Н 125
А1	17,4	20	АВ3001/3 Н 20
А3	87,4	100	АВ3005/3 Н 100
А4	151,9	160	АВ3005/3 Н 160

### 3.8 Вибір лічильника

Вибір лічильника для «зеленого» тарифу є обов'язковим. Для точного вимірювання електроенергії, виробленої приватними станціями, використовується двосторонній лічильник активної електроенергії. Цей

лічильник відстежує кількість електричної енергії, що виділяється в електричну мережу та отримується з неї, а також підтримує баланс між ними.

Щоб підійти до «зеленого» тарифу, електролічильник має відповідати декільком критеріям. По-перше, він повинен бути оснащений системою дистанційного зчитування, що використовує канал зв'язку АСКОЕ. Крім того, він повинен відповідати нормам, встановленим оператором системи розподілу, і бути зареєстрованим у Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки України. Крім того, лічильник повинен мати можливість рахувати енергію в обох напрямках, охоплюючи як вироблену, так і спожиту електроенергію. Нарешті, він повинен володіти інтерфейсом, який дозволяє передавати інформацію про кількість і напрямки потоків електроенергії.

На даний момент найпопулярнішими лічильниками є:

- GAMA300 – лічильник електроенергії трифазний;
- ACE600 Actaris – високо функціональний електронний прилад, який має можливість повного програмування;
- GAMA100 – багато тарифний лічильник активної енергії однофазний;
- Fronius Smart Meter – електричний лічильник двонаправлений.

В цій роботі найкращим вибором з вище перелічених лічильників є GAMA300 що зображений на рисунку 3.8.1.



Рисунок 3.4. – Електричний лічильник GAMA300

**Висновки по розділу 3:**

Нами встановлено що для енергозабезпечення необхідно обрати вітрову установку потужністю 100кВт. Ми рекомендуємо вибрати вітроелектричну установку WH20.8-100KW. Подано Обґрунтування рекомендацій щодо індивідуального функціонування автономного енергозабезпечення:

Кабелі: АВВГ 4х150 300м; АВВГ 4х25 35м; АВВГ 4х70 50м.

Трансформатор: ТМ 160/10/0,4

Автоматичні вимикачі: АВ3005/3 Н 125 ; АВ3001/3 Н 20; АВ3005/3 Н 100;  
АВ3005/3 Н 160.

Електричний лічильник ГАМА300



## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

### **4.1 Вимоги безпеки перед початком роботи на ВЕУ**

На початку робочої зміни робоче місце та необхідне обладнання, передбачене для виконання робіт, повинно бути перевірено на предмет відсутності та усунення несправності. В разі виявлення несправності, які працівник не може усунути власними силами, він повинен доповісти про них безпосередньому керівнику.

Оперативно-виробничі працівники повинні ознайомитися з інформацією автоматизованої системи керування ВЕС та даними про несправності в роботі устаткування, які були зафіксовані в оперативному журналі попередньою зміною, а саме:

- про несправності в роботі обладнання:

- найменування обладнання:
- кількість годин у неробочому стані:
- дата та час реєстрації виникнення несправності: 4)вжиті заходи:
- дата та час обслуговування чи ремонту:
- причина несправності:
- замінені деталі:

- про аварійні ситуації та вжиті заходи щодо відновлення нормального режиму.

Виробничі працівники, у тому числі ремонтні служби, повинні перед початком робочої зміни отримати наряд-допуск чи розпорядження на проведення робіт з вказанням змісту робіт, місця їх проведення, дати та часу початку та закінчення робіт. Обов'язковим є цільовий інструктаж з правил безпеки під особистий розпис.

Виробничі працівники, що обслуговують електричну частину ВЕУ та ВЕС, повинні бути забезпечені всіма необхідними засобами захисту для безпечного виконання робіт.

Засоби захисту, прилади, пристрої та інструмент повинні оглядатися і випробуватися згідно з НАОП 1.1.10-1.07-82 . Усі роботи на електрообладнанні, в контрольно-розподільчій шафі дозволяється виконувати тільки після зупинення ВЕУ та вимкнення комутаційних апаратів, що з'єднують установку з електричною мережею.

За необхідності проведення робіт у гондолі слід зупинити ВЕУ, переконатися, що лопаті ротора переведені у флюгерне положення (якщо це передбачено конструкцією), ручні гальма затиснуті, механізм повороту гондоли застопорений.

Забороняється підніматися на ВЕУ або знаходитися в гондолі під час її роботи.

До початку роботи необхідно:

- вимкнути усі комутаційні апарати, через які можлива подача напруги на робоче місце;
- зняти напругу з електричних схем керування цими апаратами заборонити виконання будь-яких робіт у колах електричних схем керування ВЕУ;
- вивісити плакати «Не вмикати. Працюють люди»;
- перевірити відсутність напруги на робочому місці;
- за необхідності заземлити робоче місце. Якщо заземлювач переносний, то його треба спочатку приєднати до «землі», потім до знеструмленого обладнання. Вивісити плакат «Заземлено»;
- обгородити за необхідності робочі місця або струмопровідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огороженні плакати безпеки;
- вжити заходів безпеки, що виключають можливість доступу сторонніх осіб у шафу керування, силову шафу.
- Перед початком робіт особа, що видає завдання, повинна визначити можливі випадки виникнення небезпеки і захисні засоби, які необхідно встановити на робочому місці.

Працівники перед роботою повинні перевірити засоби індивідуального захисту, такі як пояс запобіжний монтажний, кігті, лази та інші на предмет відсутності пошкодження перед їх застосуванням. При цьому слід приділяти

увагу таким пошкодженням:

- зарубки;
- тріщини;
- стирання або розриви;
- граничний знос;
- окислення або інші види корозії тощо.

Забороняється користуватися обладнанням, в якому під час огляду були виявлені дефекти.

Методи страхівки працівників під час технічного обслуговування ВЕУ повинні відповідати вимогам інструкції з експлуатації з урахуванням конструктивних особливостей конкретних типів ВЕУ.

До початку роботи па обладнанні ВЕС керівник робіт повинен перевірити наявність зв'язку між робочим місцем і ЦПК.

## **4.2 Вимоги безпеки під час роботи**

Експлуатація ВЕУ проводиться оперативно-виробничими працівниками згідно з документами щодо експлуатації, наданих виробником ВЕУ, доповненими вимогами, що стосуються конкретних умов на площадці.

Під час експлуатації ВЕУ працівники повинні дотримуватися регламенту запуску та відключення, операцій щодо усунення аварійних ситуацій та їх запобігання.

Перед запуском ВЕУ, після незапланованого автоматичного відключення, слід з'ясувати причину цього відключення. Усі незаплановані відключення повинні реєструватися.

Під час проведення робіт у гондолі ВЕУ повинен бути встановлений зв'язок з працівником, який знаходиться нагорі.

Для передачі невеликих предметів працівникам, які знаходяться нагорі ВЕУ, слід використовувати нескінченний канат (мотузку, шнур), за необхідності - з кошиком. Забороняється використовувати для цього металевий канат. Кидати

будь-які предмети нагору (вниз) забороняється.

Під час виконання робіт на механічній та (або) електричній частині ВЕУ слід забезпечити цілісність захисного заземлення.

Для визначення технічного етапу заземлюючих пристроїв проводяться:

- зовнішній огляд їх видимої частини:
- огляд з перевіркою цілісності кіл електричної схеми між заземленням і елементами, які заземлюються.

Кількість працівників, які одночасно знаходяться на одній ВЕУ під час її технічного обслуговування, визначається інструкцією заводу-виробника, але не менше двох.

Виняток становлять ВЕУ малої потужності, у яких доступ до механізмів і апаратури, розташованих нагорі, здійснюється ззовні. У цьому випадку знизу має здійснюватися нагляд за працюючим на висоті.

Під час пересування по драбині башти уверх (вниз) на кожній секції драбини не повинно бути більше однієї особи.

У разі необхідності подачі напруги на ВЕУ (або її складову частину), для перевірки обладнання в процесі технічного обслуговування чи ремонту, слід діяти згідно з вимогами відповідної інструкції з експлуатації.

При штормовому попередженні з метеостанції, при сильній грозі або вітрі, який за швидкістю перевищує допустимі значення для безпечної роботи ВЕУ, установки зупиняються, а також припиняються будь-які роботи на ВЕУ. В цей час знаходження працівників на площадці ВЕС заборонено.

### **4.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

У тих випадках, коли існує загроза пожежі чи ризик руйнування ВЕУ або її складових частин, забороняється наближатися до ВЕУ, доки не буде з'ясовано потенційний ризик.

Під час підготовки плану дій щодо ліквідації аварійної ситуації необхідно пам'ятати, що ризик руйнування конструкції посилюється за наявності таких

ситуацій:

- перевищення швидкості вітру понад допустиму:
- обледеніння:
- грози:
- землетрусу;
- обриву проводів:
- відмови гальмів:
- пезбалапсовапості ротору:
- ослаблення кріплень:
- дефекту змащення:
- піщаних бурь;
- пожежі, повені:
- виходу із ладу окремих вузлів чи деталей ВЕУ.

У разі потреби порушення цілісності заземлення, необхідно попередньо встановити перемички, які шунтуватимуть місця тимчасового розриву.

Основні дії працівників в разі виникнення аварійних ситуацій

В разі виникнення аварійної ситуації на ВЕС слід терміново попередити керівників ВЕС, а також керівників районних електричних мереж об'єднаної енергосистеми про ситуацію на ВЕС а причини збоїв у роботі.

В свою чергу керівництво ВЕС повинно також володіти ситуацією, яка склалася в об'єднаній енергосистемі при порушеннях режиму та виникненні нештатних ситуацій.

Зв'язок між ВЕС та об'єднаною енергосистемою здійснюється за допомогою телефону.

Таблиця 4.1 Основні дії працівників в аварійних ситуаціях

Аварійна ситуація	Основні дії працівників
Відрив лопаті (лопатеї)	Зупинити ВЕУ згідно з інструкцією з експлуатації, від'єднати від електромережі.
Вихід із ладу окремих вузлів і деталей, а також системи орієнтації та керування ВЕУ. які не викликали аварійної зупинки.	Зупинити ВЕУ згідно з інструкцією з експлуатації, від'єднати від електромережі. Подальші дії - згідно з інструкцією з експлуатації ВЕУ.
Пожежа на ВЕУ	Викликати державну пожежну охорону. Зупинити ВЕУ згідно з інструкцією з експлуатації, від'єднати від електромережі, вжити всіх заходів щодо ліквідації пожежі наявними на ВЕУ і ВЕС засобами.
Вихід з ладу системи автоматизованого керування ВЕС	Дії згідно з інструкцією з експлуатації АСК ВЕС та інструкцією по запобіганню та ліквідації аварій на ВЕС.
Аварійне вимкнення електромережі.	З'ясувати час подачі напруги в мережу в диспетчерській службі районних електричних мереж. Поінформувати працівників ВЕС про можливу подачу напруги без попередження.
Різка зміна погодних умов	Припинити виконання будь-яких робіт на ВЕУ. У разі потреби - зупинити ВЕУ згідно з інструкцією з експлуатації. Обмежити (заборонити) переміщення працівників по всій території ВЕС.
Нещасний випадок з працівником	Звільнити потерпілого від дії електричного струму та (або) інших травмуючих факторів. Зняття напруги для визволення потерпілого від дії електричного струму повинно бути виконано негайно без попереднього отримання дозволу. Подальші дії - у відповідності з інструкцією щодо надання першої долікарської допомоги потерпілим.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИБОРУ ВЕУ

### 5.1 Визначення техніко-економічних показників вибору ВЕУ за чисельними значенням “зеленого” тарифу

"Зелений" тариф в Україні – це не лише механізм стимулювання виробництва електроенергії з використанням альтернативних джерел енергії, але й ключовий інструмент у здійсненні стратегічних трансформацій у сфері енергетики. Цей механізм розроблений з метою стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику, сприяння зменшенню викидів парникових газів та зменшенню енергозалежності країни.

Важливо відзначити, що "зелений тариф" не лише гарантує стабільний дохід виробникам електроенергії з альтернативних джерел, але й визначається рядом факторів, що включають середньорічну швидкість вітру, витрати на обслуговування та експлуатацію, термін служби вітроустановки та величину капітальних вкладень. Це гарантує, що виробництво електроенергії з ВДЕ є не лише екологічно стійким, але й економічно ефективним.

Завдяки високим "зеленим" тарифам, Україна стала привабливим місцем для інвестицій у вітроенергетику. Високі тарифи забезпечують виробникам стабільний дохід, що стимулює розвиток нових вітрових ферм та сприяє переходу до більш екологічно чистої енергетики.

Варто відзначити, що впровадження "зелених тарифів" має стратегічне значення для України в контексті її зобов'язань перед міжнародними угодами щодо зменшення викидів парникових газів та переходу до стійкого розвитку. Такий підхід сприяє не лише зміцненню енергетичної безпеки країни, але й забезпечує створення нових робочих місць та сприяє розвитку інноваційних технологій у сфері енергетики.

## 5.2 розрахунок капітальних витрат введенням в дію ВЕУ

Капітальні витрати – це витрати, пов’язані з проектуванням, будівництвом та введенням в дію ВЕУ. Ці витрати включають в себе вартість придбання самого вітрогенератора та всіх необхідних компонентів, а також будівництво і монтаж інфраструктури, яка необхідна для ефективної роботи ВЕУ.

Крім того до капітальних витрат включаються і витрати на інженерні роботи, земельні ділянки, інженерно-геологічні дослідження, дозвільні процедури та інші витрати, пов’язані з підготовкою та реалізацією проекту вітроенергетики.

Загальні капіталовкладення розраховують за формулою:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{вст} + K_{обл}, \text{ грн} \quad (5.1)$$

де  $K$  – загальні капіталовкладення, грн;

$K_{уст}$  – вартість вітрової установки, грн;

$K_{пр}$  – вартість проектних робіт по пошуку місця для встановлення ВЕУ та оформлення необхідної документації, грн;

$K_{вст}$  – вартість монтажних та будівельних робіт при встановленні та підключенні ВЕУ до мережі, грн;

$K_{обл}$  – вартість додаткового обладнання для відключення ВЕУ, грн.

Додаткове обладнання та його вартість було розраховано та представлено в таблиці 5.1. Ціни на обладнання взято з сайтів виробників або з онлайн-магазинів.

Ціну вітрогенератора WH20.8–100KW можна дізнатись з сайту виробника WESWEN. Вартість установки з повною комплектацією а саме тихохідний генератор, 3 лопаті, ультразвуковий анеморумбометр, носовий обтічник, логічний контролер Siemens, баластне навантаження, випрямляч і баластного навантаження, мережевий трифазний інвертор, анкерні болти для кріплення, вільно стояча башта, блок живлення механізмів гондоли, становить 430868 єуро. За курсом 12.05.2024 ціна на вітрогенератор у гривнях складатиме 16588432 грн.



Вартість проведення будівельних та монтажних робіт при встановленні ВЕУ, підключенні її до мережі та підприємства, складає приблизно 15% від вартості установки.

Таблиця 5.1 – Вартість додаткового обладнання

Обладнання	Кількість/довжина шт/м	Ціна за 1шт/1м, грн	Загальна вартість ,грн
Кабелі:	-	-	-
АВВГ 4х150	300	346,24	103872
АВВГ 4х25	35	72	2520
АВВГ 4х70	50	221,74	11087
Комутаційні апарати:	-	-	-
АВ3005/3 Н 125	1	2430	2430
АВ3001/3 Н 20	1	1436	1436
АВ3005/3 Н 100	1	2382	2382
АВ3005/3 Н 160	1	2478	2478
Разом К <sub>обл</sub> , грн	-	-	126205

Затрати на землевідведення, дозвільну та проектну документації та проектні роботи складає близько 5% від загальної вартості.

Якщо підставити всі відомі значення в формулу (5.1) ми дізнаємось що загальні капіталовкладення складатимуть  $K=32,35$  млн.грн. Ця сума необхідна для придбання ВЕУ, її встановлення та підключення до мережі та до самого об'єкту.

### 5.3 Розрахунок поточних витрат введенням в дію ВЕУ

Річні витрати що йдуть на ремонт, технічне обслуговування ВЕУ, амортизаційні відрахування, заробітна плата для обслуговуючого персоналу разом складають поточні витрати що визначаються за формулою(5.2):

$$B = B_{\text{ам}} + B_{\text{зп}}, \text{ грн} \quad (5.2)$$

де  $B$  – річні експлуатаційні витрати, грн;

$B_{\text{ам}}$  – амортизаційні витрати, грн;

$B_{\text{зп}}$  – витрати на заробітну плату, грн.

Амортизаційні вкладення – це грошові кошти, що виділяються на відшкодування зносу, технічне обслуговування та заміну компонентів установки, яка з часом втрачає свою ефективність та функціональність. Ці вкладення спрямовані на підтримку працездатності вітроелектричної установки протягом її життєвого циклу

Амортизаційні вкладення складають 1% від вартості самої установки. Для обслуговуючого персоналу достатньо двох робітників майстра та електрика V категорії. Середня місячна заробітна плата для них складає:

- Майстер – 22 000 грн;
- Електрик V категорії – 15 000 грн.

Витрати на заробітну плату складають  $B_{\text{зп}} = 444\,000$  грн.

Підставивши значення витрат на амортизаційні вкладення та середню заробітну плату в формулу (5.2) ми дізнаємось що приблизна річна сума, яка необхідна на підтримку ВЕУ складає  $B = 609\,884$  грн.

#### 5.4 Обґрунтування терміну окупності використання ВЕУ

Здійснимо приблизний розрахунок економічної ефективності встановлення вітрової установки WH20.8–100kW на 100 кВт для забезпечення електроенергією Сколівський РЕМ.

Основні критерії економічної ефективності ВЕУ є вартість 1кВт-год та відносні зведені річні витрати на 1кВт встановленої потужності.

Розраховують зведені річні витрати на кВт встановленої потужності за формулою:

$$З = \frac{P_n \cdot K + B}{P}, \text{ грн} \quad (5.3)$$

де  $Z$  – відносні зведені річні витрати на 1кВт встановленої потужності, грн;

$K$  – загальні капіталовкладення, знайдені за формулою (5.1), грн;

$B$  – річні експлуатаційні витрати, знайдені за формулою (5.2), грн;

$P$  – встановлена потужність об'єкту, кВт;

$P_n$  – нормативний коефіцієнт рентабельності що можна розрахувати за допомогою відношення:

$$P_n = \frac{1}{T} \quad (5.4)$$

де  $T$  – економічний термін служби обладнання, років;

Термін служби ВЕУ складає приблизно 25 років тому нормативний коефіцієнт буде складати 0,4.

Вартість 1кВт-год розраховують за формулою:

$$C = \frac{P_n \cdot K + B}{W}, \text{ грн/кВт-год} \quad (5.5)$$

На початкових етапах використання ВЕУ собівартість електроенергії може бути нижчою, оскільки експлуатаційні та амортизаційні витрати для нових агрегатів є невеликими. Однак із зростанням тривалості служби вітрової установки цей показник може збільшуватись. Проте собівартість не є повним показником ефективності виробництва електроенергії. Про ефективність роботи можна дізнатись розрахувавши коефіцієнт використання встановленої потужності за формулою:

$$K_{\text{ввп}} = \frac{P_d}{P_{\text{пл}}} \quad (5.6)$$

де  $P_d$  – дійсне вироблення електроенергії за даний період часу, Вт;

$P_{пл}$  – планова електроенергія, яка може бути вироблена, якщо генератори будуть працювати весь час з 100% потужністю, Вт.

В даному регіоні при середній швидкості вітру на висот 30 метрів вироблена потужність, для вибраного раніше вітрогенератора, складає 68,9 кВт. При номінальних значеннях швидкості вітру, для вибраного вітрогенератора, а саме 11 м/с установка видаватиме 100 кВт. Підставивши ці значення в відношення (5.6) дізнаємось що коефіцієнт використання встановленої потужності  $K_{ввп} = 0,689$ . Цей показник розрахований майже в ідеальних умовах для регіону. В реальності цей коефіцієнт складатиме не більше 0,5, тому що він напряду залежить від зупинок, наявності та швидкості вітру, усунення несправності, проведення ремонтних робіт, планових обслуговувань і часу, що це все займає.

Для визначення терміну окупності установки потрібно врахувати приблизний прибуток від продажу надлишкової електроенергії, що не була спожита підприємством, за “зеленим” тарифом. Цей прибуток можна обчислити, враховуючи різницю між вартістю виробленої електроенергії та витратами на виробництво, а також урахувати амортизаційні витрати та інші витрати на експлуатацію установки.

Щоб визначити приблизний термін окупності використовується формула:

$$T_{ок} = \frac{K}{D - B + E} \quad (5.7)$$

де  $T_{ок}$  – термін окупності ВЕУ, років;

$D$  – річний дохід від експлуатації ВЕУ, грн;

$E$  – економія за рік, грн.

Базовий тариф для підприємств в 2024 році становить 5,6 грн за кВт-год, а беручи до уваги те що весь час експлуатації ВЕУ Сколівський РЕМ не буде витрачати кошти на оплату електроенергії то вони зекономлять 861 016 грн

Підставивши попередньо розраховані значення у формулу (5.7) ми дізнаємось що термін окупності складатиме 14,2 роки отже по закінченню цього

терміну підприємство отримувати додатковий дохід з продажу електроенергії виробленої ВЕУ.

Таблиця 5.2. – Дохід від продажу електроенергії

Продуктивність ВЕУ потужністю 100кВт в рік, МВт-год	603,6
Власне середнє енергоспоживання підприємства в рік, МВт-год	153,8
Надлишок електроенергії, переданий в мережу, проданий за "зеленим" тарифом	449,8
Показник "зеленого" тарифу з 1 січня 2020 року 4,5 грн за кВт-год	4,5
Сумарний дохід за рік, тис. грн	2024,1

Таким чином, встановлення ВЕУ на підприємстві Сколівський РЕМ є економічно доцільним кроком, оскільки після 14,2 років окупності підприємство буде отримувати чистий прибуток від власного виробництва електроенергії. Це також зменшить залежність від зовнішніх постачальників енергії та забезпечить більш стабільні фінансові потоки у довгостроковій перспективі.

### Висновки до розділу 5

- Економія на витратах за електроенергію: Підприємство зекономить 861 016 грн завдяки відсутності необхідності купувати електроенергію за базовим тарифом 5,6 грн за кВт-год. Ця економія буде забезпечена протягом експлуатації ВЕУ.
- Термін окупності: З урахуванням попередньо розрахованих значень, термін окупності інвестицій у ВЕУ складе 14,2 роки. Це означає, що всі витрати на встановлення та обслуговування ВЕУ будуть покриті через 14,2 роки з моменту початку експлуатації.
- Додатковий дохід після окупності: Після завершення терміну окупності, підприємство почне отримувати додатковий дохід від продажу електроенергії, виробленої ВЕУ. Це дозволить підприємству не тільки покрити початкові витрати, але й отримувати прибуток у майбутньому.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У ході цієї кваліфікаційної роботи були вирішені і детально описані всі поставлені задачі, пов'язані з розробкою та економічним аналізом встановлення вітроенергетичної установки, що задовольняє енергетичні потреби Сколівського РЕМ ПрАТ "Львівобленерго".

Після проведення розрахунків було вибрано, для електрозабезпечення адміністративного корпусу, вітрогенератор WH20.8-100W від компанії WESWEN потужністю 100кВт. Термін окупності, для цієї установки склав 14,2 роки. Після закінчення цього терміну компанія буде отримувати додатковий дохід від продажу електроенергії, який не буде витрачатись на погашення капіталовкладень. Також щоб зменшити витрати на купівлю ВЕУ можна придбати реновану (відновлену) установку, що відповідно скоротить термін окупності. Дефіцит вільного місця для встановлення нових установок у Європі створює можливість для придбання робочих установок, які прослужили лише частину свого терміну експлуатації (20-40%), але все ще мають значний потенціал для виробництва електроенергії. З урахуванням доходів від продажу зайвої електроенергії за "зеленим" тарифом, встановлення вітроелектричної установки стає більш вигідним варіантом порівняно з купівлею електроенергії з мережі. Такий підхід може допомогти підприємству зменшити витрати на енергію забезпечуючи при цьому безперебійне джерело виробництва електроенергії при менших витратах.

## ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сидоров В. І. Технології гідро- та вітроенергетики. - Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2016. 166 с.
2. Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів: "Магнолія 2006", 2017. 182 с.
3. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. К. : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
4. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: Навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
5. Кудря С. О., Дресвянников В. Г. Вітроенергетика // Енциклопедія сучасної України : у 30 т. / ред. кол. І. М. Дзюба [та ін.] ; НАН України, НТШ. К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2001—2020.
6. Невичерпна енергія / В. С. Кривцов, О. М. Олейников, О. І. Яковлев ; Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", Севастоп. нац. техн. ун-т. - Х. : ХАІ, 2010. Кн. 2 : Вітроенергетика. 2005. - 502 с.
7. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії : навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 483 с.
8. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Циценков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Д.: НГУ, 2015. 335 с.
9. Вітроенергетика та енергетична стратегія / О. Ф. Оніпко, Б. П. Коробко, В. М. Мханюк. К. : УАН, Фенікс, 2008. 168 с.
10. Кінаш Р, Бурнаєв О. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси України. Львів: Вид. Науково-технічної літератури, 1998. 1152 с.
11. Mukund R. Patel. Wind and Solar Power System. London, New York, Washington. CRC Press. 1999. 350 p. Режим доступу:
12. Lubośny Z. Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa : Wydawnictwo WNT, 2013. 348 s.
13. Lubośny Z. Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa : Wydawnictwo WNT, 2006. 277 s.