

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

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

на тему:

**«РОЗРОБЛЕННЯ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ  
ЦЕХУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ»**

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 41 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Керницький Д.В.

Керівник: \_\_\_\_\_ Гошко М.О.

Рецензент: \_\_\_\_\_ Кригуль Р.Є.

**ДУБЛЯНИ 2026**

Керницький Дмитро Володимирович. Розроблення резервної системи електропостачання цеху з використанням вітроенергетичної установки. Кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2026. 52 с. текстової частини, 16 таблиць, 10 рисунків, 13 джерел посилання

**Метою** даної дипломної роботи є розробка та техніко-економічне обґрунтування структури резервної системи електропостачання промислового цеху на базі вітроенергетичної установки, інтегрованої із системою накопичення енергії.

Для досягнення цієї мети поставлено такі **завдання**:

1. Провести ґрунтовний аналіз та класифікацію існуючих типів ВЕУ, визначити їхні технічні та експлуатаційні характеристики.
2. Обґрунтувати вибір оптимального типу ВЕУ для використання у складі резервної системи цеху, враховуючи вітровий потенціал та вимоги до надійності.
3. Розробити принципову схему інтеграції ВЕУ та системи накопичення енергії (СНЕ) з існуючою електромережею цеху.
4. Виконати розрахунок необхідної потужності ВЕУ та ємності СНЕ для забезпечення критичного навантаження цеху.
5. Провести техніко-економічне порівняння розробленої резервної системи з традиційними рішеннями (наприклад, дизель-генераторами) та оцінити термін окупності.

Також було розраховано економічну ефективність модернізації та дано рекомендації щодо її реалізації.

**Ключові слова:** дефіцит електроенергії в Україні, силові мережі.

## Вступ

**Актуальність теми дослідження** зумовлена низкою фундаментальних викликів, що постали перед енергетичною системою України в умовах повномасштабної агресії. Починаючи з лютого 2022 року, критична енергетична інфраструктура стала однією з головних цілей ворожих ракетних та дронних атак. Ці систематичні удари не лише призвели до значних руйнувань об'єктів генерації та передачі електроенергії, але й оголили системну вразливість централізованої енергосистеми. Залежність від великих генеруючих потужностей, розташованих у фіксованих точках, робить всю мережу надзвичайно чутливою до зовнішнього військового втручання, що, своєю чергою, ставить під загрозу економічну стійкість країни та життєзабезпечення її громадян та промислових об'єктів.

У відповідь на ці виклики, стратегічний пріоритет переноситься на децентралізацію та розвиток розподіленої генерації. Сучасна концепція енергетичної безпеки України передбачає створення множинних, менших за потужністю джерел енергії, які функціонують автономно або у складі локальних мікромереж (microgrids). Такий підхід забезпечує підвищену живучість системи, оскільки виведення з ладу одного об'єкта не призводить до каскадного відключення великих територій.

Саме в цьому контексті вітроенергетичні установки (ВЕУ) набувають критичного значення. Вітрова енергія є одним із найбільш технологічно зрілих та економічно ефективних сегментів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), здатних забезпечити необхідну потужність для промислових потреб. Тема розроблення резервної системи електропостачання цеху із застосуванням ВЕУ є на часі, оскільки вона безпосередньо вирішує питання енергетичної стійкості окремого промислового об'єкта, мінімізуючи його залежність від нестабільної централізованої мережі та забезпечуючи безперервність виробничих процесів навіть під час енергетичних криз.

**Метою** даної дипломної роботи є розробка та техніко-економічне обґрунтування структури резервної системи електропостачання промислового цеху на базі вітроенергетичної установки, інтегрованої із системою накопичення енергії.

Для досягнення цієї мети поставлено такі **завдання**:

6. Провести ґрунтовний аналіз та класифікацію існуючих типів ВЕУ, визначити їхні технічні та експлуатаційні характеристики.

7. Обґрунтувати вибір оптимального типу ВЕУ для використання у складі резервної системи цеху, враховуючи вітровий потенціал та вимоги до надійності.

8. Розробити принципову схему інтеграції ВЕУ та системи накопичення енергії (СНЕ) з існуючою електромережею цеху.

9. Виконати розрахунок необхідної потужності ВЕУ та ємності СНЕ для забезпечення критичного навантаження цеху.

10. Провести техніко-економічне порівняння розробленої резервної системи з традиційними рішеннями (наприклад, дизель-генераторами) та оцінити термін окупності.

**Практичне значення** роботи полягає у створенні універсальної методологічної основи для впровадження ВЕУ в якості резервного джерела живлення на промислових об'єктах України, що сприятиме не лише підвищенню їхньої стійкості до зовнішніх загроз, але й виконанню зобов'язань щодо декарбонізації енергетики в рамках повоєнної відбудови за принципом «Build Back Better» (Відбудувати краще, ніж було).

## **РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА**

Майстерня входить до структури ТОВ "Секрет", що знаходиться у місті Самбір Львівської області. Її основне призначення полягає у забезпеченні належної роботи комунальної служби міста шляхом виконання ремонтних, відновлювальних і виготовлювальних операцій.

### **Матеріально-технічне забезпечення**

У майстерні встановлено таке основне обладнання:

- верстат для свердління
- токарне обладнання
- шліфувальний станок
- допоміжні інструменти та оснащення

За допомогою зазначених верстатів виконують оброблення поверхонь деталей різної конфігурації, нарізання різьби та інші слюсарно-механічні операції. Крім виробничого призначення, приміщення частково використовується для зберігання інструменту, матеріалів і допоміжного оснащення.

### **Опис приміщення майстерні**

За умовами експлуатації майстерня належить до сухих приміщень, у яких відносна вологість повітря не перевищує 60 %. Площа приміщення становить 50 м<sup>2</sup>, а висота стелі дорівнює 2,8 м. Завдяки орієнтації вікон на схід природне освітлення є найкращим у першій половині дня.

### **Планувальне розміщення верстатів**

Майстерня являє собою одне просторе приміщення, у межах якого зосереджено всі зазначені верстати, інструменти та допоміжні матеріали.

## Основні технічні параметри обладнання

- токарний станок має встановлену потужність 11,75 кВт
- свердлильний верстат споживає 0,55 кВт потужності
- потужність шліфувального станка становить 0,55 кВт

Таблиця 1.1 - Перелік обладнання майстерні та встановлена потужність

№	Обладнання	Потужність P, кВт
1	Токарний станок	11,75
2	Свердлильний верстат	0,55
3	Шліфувальний станок	0,55



Рисунок 1.1 - Токарний станок



Рисунок 1.2 - Свердильный верстат

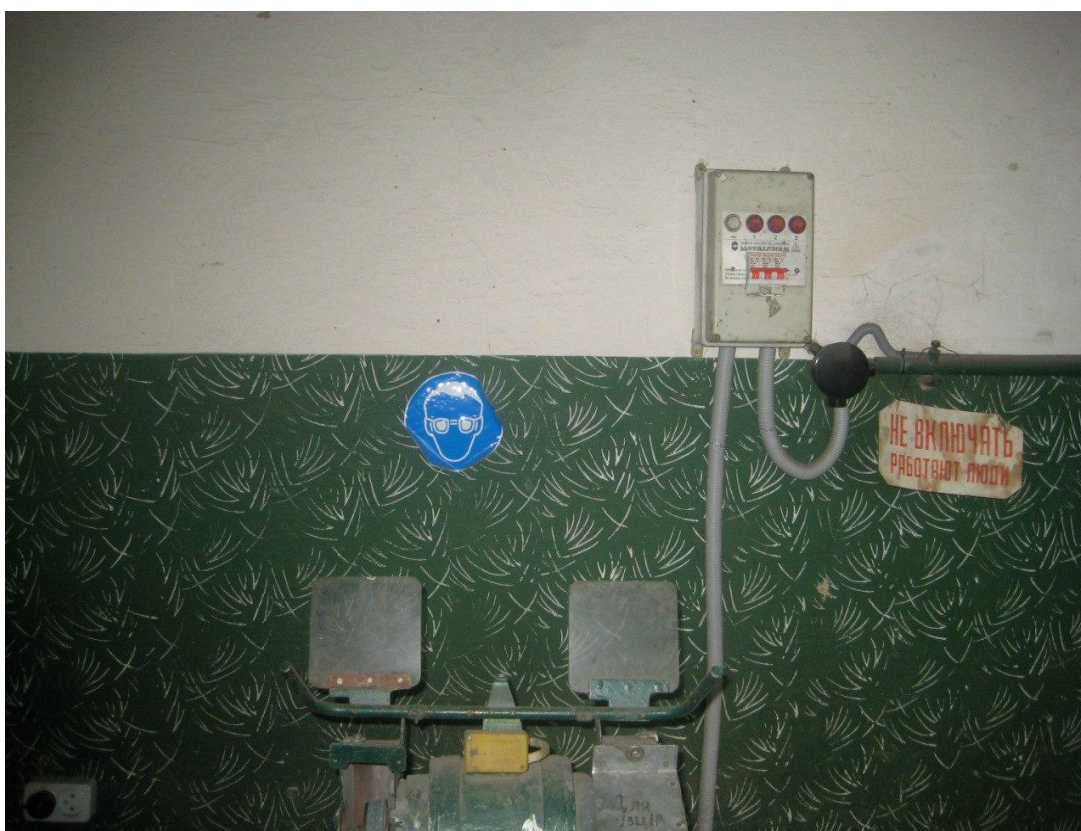


Рисунок 1.3 - Шліфувальний станок

## РОЗДІЛ 2 ТИПИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Вітроенергетична установка (ВЕУ) — це складний електромеханічний комплекс, головне призначення якого полягає у перетворенні кінетичної енергії повітряного потоку, що рухається, в корисну електричну або механічну енергію. Розвиток технологій призвів до появи широкого спектра конструкційних рішень, класифікація яких є необхідною для обґрунтованого вибору обладнання для конкретних умов експлуатації, зокрема, для резервного живлення промислових цехів.

### 2.1 Класифікація за орієнтацією осі обертання

Основна конструкційна відмінність, яка визначає принципи роботи, ефективність та сферу застосування ВЕУ, полягає у просторовому розташуванні осі обертання ротора відносно потоку вітру. За цим критерієм виділяють дві фундаментальні групи: горизонтально-осьові та вертикально-осьові установки.

#### **Горизонтально-осьові ВЕУ (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbines)**

Це домінуючий тип вітрогенераторів на світовому ринку промислової енергетики, що охоплює понад 95% встановленої потужності великих вітрових електростанцій (ВЕС). Конструктивно HAWT максимально схожі на класичний пропелер літака або вітряний млин. Вісь обертання ротора в них розташована горизонтально, тобто паралельно до напрямку вітрового потоку.

**Принцип дії та конструкція.** Робота HAWT ґрунтується на використанні **підйомної сили** (Lift-driven), що виникає при обтіканні лопатей спеціального аеродинамічного профілю повітрям. Це забезпечує високу швидкість обертання кінців лопатей (tip-speed ratio) і, як наслідок, **найвищий коефіцієнт використання енергії вітру** ( $K_{IEB}$ ,  $C_p$ ), який може досягати 45–50%, максимально наближаючись до теоретичної межі Беца. Основні

компоненти – ротор (з 2 або 3 лопатями), гондола (набагато, де розміщені редуктор, генератор, гальмівна система) і висока башта.



Рисунок 1.1 - Приклад горизонтально-осьової вітроенергетичної установки (HAWT)

**Система орієнтації (Yaw Control).** Оскільки ефективність HAWT критично залежить від орієнтації ротора строго перпендикулярно до вітру, ці установки обов'язково оснащуються складними механізмами повороту гондоли (Yaw drive), керованими анемометром та флюгером. Ця система постійно коригує положення турбіни, щоб максимізувати захоплення вітрової енергії.

- **Переваги HAWT:** Найвища ефективність, масштабованість до великих потужностей (до 18 МВт), відпрацьована технологічна база та стандартизація.

- **Недоліки HAWT:** Складність монтажу та обслуговування (через розташування ключових вузлів на великій висоті), **високий рівень аеродинамічного шуму**, спричиненого високою швидкістю кінців лопатей, та необхідність використання потужної системи орієнтації.

### **Вертикально-осьові ВЕУ (VAWT – Vertical Axis Wind Turbines)**

У вертикально-осьових установках вісь обертання ротора розташована вертикально, перпендикулярно до поверхні землі та напрямку вітру. Ця конструкція є привабливою для локального та промислового застосування, оскільки забезпечує роботу в умовах турбулентного вітру.



Рисунок 1.2 - Приклад вертикально-осьової вітроенергетичної установки (HAWT)

### **Основні типи VAWT:**

1. **Тип Савоніуса (Savonius turbine):** Працює за рахунок **сила опору (Drag-driven)**. Складається з двох або більше напівциліндричних ковшів, зміщених один щодо одного. Вони є

самозапускними, мають високий пусковий момент, але низьку ефективність (КІЕВ 15–20%).

2. **Тип Дар'є (Darrieus turbine):** Працює за принципом **підйомної сили (Lift-driven)**, має вигнуті лопаті. Ефективність вища, ніж у Савоніуса, але вони не є самозапускними і потребують зовнішнього джерела енергії для старту.

#### **Ключові особливості VAWT:**

- **Омнідирекційність:** ВЕУ цього типу ефективно приймають вітер із будь-якого напрямку, що виключає необхідність використання системи повороту (Yaw system) та значно спрощує конструкцію.
- **Обслуговування:** Генератор, трансмісія та інші важкі компоненти можуть бути розміщені на рівні землі, що значно спрощує та здешевлює технічне обслуговування, а також знижує вимоги до міцності башти.
- **Вимоги до вітру:** Ідеально підходять для умов зі слабким або високотурбулентним вітром, який часто спостерігається в міських умовах або біля землі.
- **Недоліки VAWT:** Нижчий КІЕВ (20–35%), обмежена масштабованість до потужностей понад 1 МВт, а також наявність пульсації потужності через асиметричне обтікання лопатей.

## **2.2 Детальний порівняльний аналіз горизонтально- та вертикально-осьових ВЕУ**

Вибір оптимального типу ВЕУ для резервного електропостачання промислового цеху є критичним рішенням, яке вимагає порівняння техніко-експлуатаційних характеристик HAWT та VAWT, що було стисло представлено у таблиці.

#### **Коефіцієнт використання енергії вітру (КІЕВ, Ср)**

Таблиця 2.1 Характеристики ВЕС

Характеристика	Горизонтально-осьові (HAWT)	Вертикально-осьові (VAWT)
Коефіцієнт використання енергії вітру	Високий (до 45-50%)	Нижчий (20-35%)
Чутливість до напрямку вітру	Потребує системи орієнтації	Орієнтація не потрібна
Рівень шуму	Вищий через високу швидкість кінців лопатей	Низький, підходять для житлових зон
Обслуговування	Складне (генератор на великій висоті)	Простіше (генератор на рівні землі)
Вимоги до швидкості вітру	Потребують стабільного сильного вітру	Працюють при турбулентних та слабких вітрах

HAWT демонструють значно вищий КІЕВ (до 50%) завдяки тому, що їхня конструкція дозволяє завжди орієнтувати ротор перпендикулярно до потоку, забезпечуючи максимальне використання підйомної сили. Це робить їх кращим вибором для комерційних проєктів, де пріоритетом є максимальна генерація. VAWT, хоча і простіші, мають нижчий КІЕВ (20–35%), оскільки частина ротора завжди рухається проти вітру, створюючи опір, а також через меншу аеродинамічну якість лопатей у деяких конструкціях.

#### **Чутливість до напрямку вітру та система орієнтації:**

Ключова відмінність полягає у необхідності постійного коригування положення HAWT за допомогою складної системи Yaw. Ця система додає вартість, складність та точку можливого відмови. VAWT, завдяки своїй омнідирекційності, не мають рухомих частин для орієнтації, що підвищує їхню надійність та ідеально підходить для установки в умовах, де вітер часто змінює напрямок (наприклад, між будівлями цехів).

#### **Рівень шуму та вібрації:**

Рівень шуму є критичним фактором для промислових об'єктів у межах міста. Аеродинамічний шум, створюваний високою швидкістю кінців лопатей HAWT, може бути значним і вимагати дотримання санітарних норм

щодо відстані. VAWT, які обертаються значно повільніше, є помітно тихішими, що робить їх придатнішими для інтеграції безпосередньо в інфраструктуру цеху або поруч із ним. Крім того, VAWT мають менший вплив на інфразвукові коливання.

### **Обслуговування та надійність:**

Розташування генератора та трансмісії на висоті у HAWT ускладнює та здорожує технічне обслуговування. Планові та аварійні ремонти вимагають зупинки роботи та використання підйомної техніки. У VAWT, де ключові вузли знаходяться на рівні землі, обслуговування може проводитися швидше, безпечніше та з меншими витратами.

### **Вимоги до швидкості та характеру вітру:**

Для забезпечення економічної доцільності, HAWT вимагають високу, стабільну швидкість вітру (зазвичай понад 4 м/с для старту), характерну для відкритих територій або морського шельфу. VAWT є більш гнучкими: вони мають нижчу стартову швидкість і краще працюють в умовах **турбулентного вітру** — потоків, що містять вихори та різкі зміни швидкості, які часто зустрічаються навколо промислових будівель. Ця характеристика може бути вирішальною при виборі ВЕУ для резервної системи цеху.

## **2.3 Класифікація за потужністю та сферою застосування**

Розподіл ВЕУ за потужністю є важливим для визначення масштабу проєкту та його економічної моделі.

### **Мікро-ВЕУ (Micro Wind Turbines)**

**Діапазон потужності:** до 3 кВт.

**Опис:** Це найменші та найпростіші установки. Вони часто мають вертикально-осьову конструкцію через низький профіль шуму та здатність працювати з низькими вітровими швидкостями, характерними для дахів

будівель. Їхня вихідна напруга часто є постійною (DC) для прямої зарядки акумуляторів.

**Сфера застосування:** Використовуються для живлення окремих приладів, автономного освітлення, систем сигналізації, підзарядки акумуляторних батарей (для кемпінгу, яхт) або забезпечення енергією віддалених телекомунікаційних вишок.

### **Малі ВЕУ (Small Wind Turbines)**

**Діапазон потужності:** від 3 кВт до 100 кВт.

**Опис:** Цей клас є найбільш релевантним для завдань, поставлених у даній дипломній роботі, оскільки він задовольняє потреби у резервному живленні невеликих та середніх промислових цехів. Вони можуть бути як HAWT, так і VAWT, але VAWT часто переважають у застосуваннях, де важлива простота обслуговування та робота у приземному шарі атмосфери.

**Сфера застосування:** Забезпечення електроенергією невеликих фермерських господарств, приватних будинків, **критичних навантажень малих підприємств** або промислових об'єктів, що працюють у режимі off-grid чи grid-tied. У резервних системах цеху така ВЕУ (наприклад, 20-50 кВт) може забезпечити роботу насосів, систем освітлення та вентиляції.

### **Середні ВЕУ (Medium Wind Turbines)**

**Діапазон потужності:** від 100 кВт до 1 МВт.

**Опис:** Установки, що потребують значних інвестицій та інфраструктури. Вони являють собою проміжну ланку між малими та промисловими турбінами, зазвичай мають горизонтально-осьову конструкцію та монтуються на високих щоглах (30–60 метрів).

**Сфера застосування:** Використовуються для живлення локальних енергомереж територіальних громад (міні-ВЕС), великих промислових об'єктів, логістичних центрів або холодильних комплексів.

## **Великі ВЕУ (Utility-Scale Wind Turbines)**

**Діапазон потужності:** понад 1 МВт.

**Опис:** Це сучасні промислові турбіни, що становлять основу великомасштабних вітрових електростанцій (ВЕС). Вони є високотехнологічними, з використанням складних систем керування кутом нахилу лопатей (Pitch control) та змінною швидкістю обертання.

**Сфера застосування:** Генерація енергії у великих обсягах та подача її безпосередньо в загальну електромережу (Grid-connected).

## РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

### 3.1 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

#### Підбір пускозахисної апаратури та розподільних пристроїв

Електричною мережею називають комплекс електроустановок, за допомогою яких здійснюється вироблення, передавання, розподіл і перетворення електричної енергії. Її справність, надійність і безпечність мають важливе значення для будь-якого об'єкта: житлового, промислового або сільськогосподарського.

Розрахунок силової мережі передбачає визначення параметрів її основних елементів: проводів, кабелів, трансформаторів, автоматичних вимикачів, запобіжників та іншого обладнання. Метою такого розрахунку є забезпечення відповідності мережі заданим експлуатаційним вимогам, серед яких:

- Надійність: мережа має стабільно подавати електроенергію до всіх підключених споживачів.
- Безпека: електрична мережа повинна мати захист від коротких замикань, перевантажень та інших аварійних режимів, здатних пошкодити обладнання або створити небезпеку для персоналу.
- Економічність: проектування мережі має забезпечувати раціональні витрати на монтаж, подальше обслуговування та експлуатацію.

#### Послідовність виконання розрахунку силової мережі

##### 1. Збір і уточнення вихідної інформації:

- потужність і тип електроприймачів, які передбачається під'єднати до мережі;
- значення напруги живлення;
- спосіб прокладання кабелів і проводів, а також умови навколишнього середовища;

- додаткові чинники, що можуть вплинути на вибір обладнання та матеріалів.
2. Визначення електричних навантажень:
- обчислення робочого струму для кожного окремого електроспоживача;
  - визначення сумарного розрахункового струму мережі.
3. Підбір кабелів і провідників:
- встановлення такого перерізу жил, який забезпечує допустимий нагрів при тривалому навантаженні;
  - перевірка вибраного перерізу за умовами захисту від перевантажень і струмів короткого замикання.
4. Підбір трансформаторного обладнання:
- розрахунок необхідної потужності трансформатора для живлення всіх споживачів;
  - визначення доцільного типу трансформатора, наприклад сухого або масляного.
5. Вибір автоматичних вимикачів і запобіжників:
- підбір номінальних струмів апаратів захисту відповідно до навантаження та аварійних режимів;
  - визначення типу захисної апаратури: автоматичної, плавкої або іншої.
6. Контроль правильності виконаних розрахунків:
- зіставлення отриманих результатів із чинними нормами і правилами;
  - внесення уточнень у розрахунки у разі виявлення невідповідностей.
7. Підготовка проєктної документації:
- виконання схем і креслень силової електромережі;

- формування специфікації обладнання, кабельної продукції та матеріалів;
- оформлення пояснювальної записки до проектних рішень.

### **Підходи до розрахунку силових мереж**

Для розрахунку силових мереж застосовують кілька методик, що відрізняються точністю, складністю та сферою використання. Найчастіше використовують такі підходи:

- Метод розрахункових струмів: передбачає визначення струмів у різних ділянках мережі з урахуванням режимів роботи електроприймачів.
- Метод активної та реактивної потужності: базується на визначенні споживання активної і реактивної потужності з урахуванням коефіцієнтів потужності обладнання.
- Метод електричних кіл: використовує закони Ома, Кірхгофа та інші положення теорії електричних кіл для аналізу параметрів мережі.

### **Програмні засоби для проектування та розрахунку мереж**

Для виконання електротехнічних розрахунків розроблено багато спеціалізованих програмних комплексів. Вони дають змогу скоротити час проектування, зменшити ймовірність помилок і підвищити точність результатів. До найбільш відомих належать:

- **MicroStation PowerDraft:** програмне середовище для підготовки креслень і схем електромереж, а також для виконання допоміжних розрахунків навантажень, кабелів і апаратів захисту.
- **Autodesk AutoCAD Electrical:** спеціалізована версія AutoCAD, орієнтована на розроблення електричних схем, креслень, специфікацій і вибір електрообладнання.
- **ETAP:** потужний комплекс для моделювання, розрахунку та аналізу електроенергетичних систем, який застосовують для підстанцій, електростанцій і промислових об'єктів.

- **Power System Simulator (PSS):** програмний інструмент для моделювання складних електричних мереж, аналізу динамічних режимів і прогнозування можливих аварійних ситуацій.

Вибір конкретного програмного продукту залежить від складності об'єкта, доступного бюджету, вимог до точності та досвіду виконавця.

#### **Додаткові чинники, які враховують під час розрахунку**

Окрім базових розрахунків, під час проектування силової мережі необхідно звертати увагу на такі питання:

- **Захист від перенапруг:** для запобігання пошкодженню обладнання під час грозових розрядів або комутаційних процесів застосовують блискавкозахист, розрядники та обмежувачі перенапруг.
- **Заземлення:** це один із ключових заходів електробезпеки, що забезпечує відведення струмів витоку та небезпечних потенціалів у землю через заземлювальні пристрої, виконані відповідно до норм.
- **Освітлення:** робоче й аварійне освітлення повинні відповідати нормативним вимогам і створювати безпечні умови праці.

#### **Підсумок**

Розрахунок силової мережі є відповідальним процесом, який потребує ґрунтовних знань з електротехніки та практичного досвіду. Для підвищення точності доцільно користуватися спеціалізованими програмами й залучати кваліфікованих спеціалістів.

Наведені відомості мають довідковий характер і не замінюють повноцінного проектування електромережі, яке повинен виконувати компетентний фахівець.

Під час вибору апаратури захисту та керування електродвигунами беруть до уваги такі параметри:

- **Напруга живлення:** у цій майстерні передбачено використання трифазної мережі змінного струму 380 В.

- Номінальний струм: визначається за залежністю  $I = P / (U \cdot \cos\varphi)$ , де  $P$  означає потужність двигуна,  $U$  - напругу живлення, а  $\cos\varphi$  - коефіцієнт потужності.
- Пусковий струм: його кратність залежить від конструкції двигуна; для асинхронних електродвигунів вона переважно перебуває в межах 6-8.
- Умови експлуатації: враховують вологість, запиленість, наявність вібрацій і температуру повітря в приміщенні.
- Технологічні особливості: для окремих електродвигунів можуть бути потрібні спеціальні режими, зокрема реверсування або електричне гальмування.

Таблиця 3.1 - Паспортні дані електродвигунів

№ п/п	Марка двигуна	P, кВт	η, %	cosφφ	K <sub>i</sub>	U, В
1	4A132M4	11	87,5	0,86	7,5	380
2	4A71A4	0,55	70,5	0,7	4,5	380
3	4AM63B2	0,55	73	0,89	5	380

Проводимо розрахунок для двигуна марки 4A132M4 .

Розрахунок номінального струму:

$$I_n = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}}$$

де  $U$  – напруга живлення, В - 380 В з таблиці 3.1;

$P$  – потужність двигуна,Вт - 11 кВт з таблиці 3.1;

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності - 0,86 з таблиці 3.1.

$$I_n = \frac{1100}{380 \cdot 0,86 \cdot \sqrt{3}} = 19,44 \text{ А}$$

Розрахунок пускового струму:

$$I_n = I_n \cdot K_i, AI_n = I_n \cdot K_i, A$$

де  $I_n - I_n$  – номінальний струм електродвигуна, А;  
 $K_i K_i$  – кратність пускового струму.

$$I_n = 19,44 \cdot 7,5 = 145,8 \text{ А}$$

Вибір автоматичного вимикача:

$$U_{a.n} \geq U_{мер}, \text{ В}$$

$$I_{p.n} \geq I_n, \text{ А}$$

$$I_{a.n} \geq I_n, \text{ А}$$

Автоматичний вимикач ВА-2010-S фірми «АскоУкрЕМ» з трьома полюсами та номінальним струмом 25 А, що відповідає умові.

$$380 = 380 \text{ В}$$

$$25 \geq 19,44 \text{ А}$$

$$6000 \geq I_n \text{ А}$$

Розрахунок кількості поділок не спрацювання теплового розчіплювача:

$$n = \frac{I_n}{I_{p.n}} = \frac{19,44}{25} = 0,8$$

Вибір електромагнітного пускача:

$$U_{п.н} \geq U_{мер}, \text{ В}$$

$$I_{p.н} \geq I_n, \text{ А}$$

$$I_{p.н} \geq \frac{I_n}{6}, \text{ А}$$

Електромагнітний пускач ПМ2-25-10 фірми «АскоУкрЕМ» з номінальним струмом 25 А, що відповідає умові.

$$380 = 380 \text{ В}$$

$$25 \geq 19,44 \text{ А}$$

$$25 \geq 24,3 \text{ А}$$

Вибір електротеплового реле:

$$U_{p.н} \geq U_{мер}, \text{ В}$$

$$I_{p.н} \geq I_n, \text{ А}$$

$$I_{н.б} \geq I_{н.дв}, \text{ А}$$

Електротеплове реле РТ1332 виробництва «АскоУкрЕМ» забезпечує необхідний захист двигуна від недопустимого перегрівання.

Підбір апаратури для інших електродвигунів виконують за тією самою методикою:

Для двигунів 4А71А4 і 4АМ63В2 проводяться аналогічні обчислення з подальшим вибором відповідних апаратів.

Занесемо результати вибору до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Пуско-захисне обладнання для двигунів

Марки ел.дв.	Р, кВт	$I_n I_n$ , А	Марки Ел.маг. пускачів	$I_n I_n$ , А	Марки авт.вимик	$I_{ан} I_{ан}$ , А	$I_{р.н} I_{р.н}$ , А	Марки Ел.теплових реле	$I_n I_n$ , А	$I_{max}$ , А
4А132М4	11	19,44	ПМ2-25	25	ВА-2010-S	6000	25	РТ1322	17...25	25
4А71А4	0,55	1,2	ПМ1-09	9	ВА-2001	4500	3	РТ1306	1...1,6	25
4АМ63В2	0,55	0,65	ПМ1-09	9	ВА-2001	4500	3	РТ1306	1...1,6	25

### Визначення марок, перерізів проводів і кабелів та способу їх прокладання

Проводи є елементами електричних ліній, призначеними для передавання струму між джерелом живлення та споживачем. Вони можуть містити одну або кілька струмопровідних жил, ізольованих між собою та від зовнішнього середовища, і застосовуються в електромережах, приладах, електроніці та транспортних системах.

#### Основні різновиди проводів

Провідникова продукція поділяється на кілька типів, що відрізняються матеріалом, конструкцією та сферою використання. Найпоширенішими є:

- Мідні проводи: мають високу електропровідність, добру гнучкість і достатню корозійну стійкість, тому широко використовуються в електромонтажі.

- Алюмінієві проводи: відзначаються меншою масою та нижчою вартістю порівняно з мідними, однак поступаються їм за провідністю.
- Сталеві проводи: застосовуються переважно там, де потрібна механічна міцність, оскільки їх електропровідність є порівняно низькою.
- Силові кабелі: призначені для передавання значних струмів і мають посилену ізоляцію та захисну оболонку.
- Коаксіальні кабелі: використовують для передавання високочастотних сигналів у системах телебачення, радіозв'язку та зв'язку.
- Оптиволоконні кабелі: передають інформацію у вигляді світлових імпульсів і забезпечують вищу пропускну здатність порівняно з металевими провідниками.

#### Будова провідникових виробів

Типовий провід складається з кількох основних елементів:

- Струмopовідні жили: одна або кілька жил, виготовлених із міді, алюмінію чи іншого провідного матеріалу.
- Ізоляція: шар діелектричного матеріалу, який відокремлює жили між собою та захищає їх від зовнішніх впливів; найчастіше виготовляється з полімерів, гуми або фторопластових матеріалів.
- Зовнішня оболонка: додатковий захисний шар, що зменшує ризик механічних пошкоджень і зазвичай виконується з ПВХ, поліетилену або подібних матеріалів.

#### Основні параметри проводів

Під час вибору проводів необхідно враховувати такі характеристики:

- Розмір: діаметр або переріз проводу визначають у міліметрах чи за стандартом AWG; зі збільшенням перерізу зростає допустимий струм.
- Номінальна напруга: найбільше значення напруги, за якого провід може працювати без пошкодження ізоляції.
- Допустимий струм: граничне значення струму, яке провід може передавати без надмірного нагрівання.

- Тип ізоляції: визначає стійкість проводу до вологи, температури, хімічних речовин та інших зовнішніх чинників.
- Гнучкість: здатність проводу багаторазово згинатися без руйнування жил або ізоляції.
- Температурний діапазон: межі температур, у яких провід зберігає свої електричні та механічні властивості.

#### Способи прокладання проводів

Прокладання проводів може здійснюватися різними способами, зокрема:

- Прокладання у трубах: провідники розміщують у трубах для підвищення механічного захисту.
- Прокладання в кабель-каналах: проводи укладають у спеціальні канали, закріплені на стінах або стелі.
- Підвісне прокладання: проводи кріплять на тросах, скобах або інших опорних елементах.
- Підземне прокладання: кабелі розміщують у ґрунті з урахуванням механічного захисту та впливу довкілля.

#### Вимоги безпеки під час роботи з проводами

Під час електромонтажних робіт необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- перед початком робіт обов'язково знеструмити ділянку мережі;
- застосовувати справний інструмент і засоби захисту;
- не допускати роботи проводів із навантаженням понад допустиме значення.

#### Позначення та ідентифікація проводів

Маркування проводів застосовують для швидкого визначення їх типу, перерізу, призначення та інших параметрів. Найчастіше використовують два способи маркування:

- Кольорове маркування: призначення проводу визначають за кольором ізоляції або комбінацією кольорів.

- Цифрове маркування: кожній жилі або проводу присвоюють номер, що особливо зручно для багатожильних кабелів.

#### Порядок вибору проводів

Під час вибору провідникової продукції враховують такі чинники:

- Сфера використання: умови монтажу та очікуване електричне навантаження на провід.
- Переріз: розмір проводу має відповідати струму, який ним передаватиметься.
- Ізоляція: матеріал ізоляційного шару добирають відповідно до умов експлуатації.
- Гнучкість: здатність проводу багаторазово згинатися без руйнування жил або ізоляції.
- Вартість: підбір проводів має відповідати виділеному бюджету без зниження вимог безпеки.

#### Виявлення та усунення пошкоджень проводів

Про несправність проводів можуть свідчити такі ознаки:

- поява іскріння або диму біля провідників;
- потемніння або інша зміна кольору ізоляційного шару;
- механічні дефекти, тріщини чи пробої ізоляції;
- зниження напруги або погіршення живлення споживачів.

У разі виявлення подібних ознак необхідно негайно вимкнути живлення та звернутися до кваліфікованого електрика.

#### Підсумок

Провідники є невід'ємною частиною будь-якої електричної системи. Знання їхньої будови, параметрів і способів монтажу дає змогу забезпечити надійну та безпечну роботу електромережі.

#### **У сільськогосподарських електроустановках:**

- найчастіше застосовують алюмінієві проводи й кабелі з перерізом від 2,5 мм<sup>2</sup>;

- перевагу надають таким способам електропроводки, які не потребують прокладання у сталевих трубах.

**Для розглянутого об'єкта:**

- силову електропроводку доцільно прокласти у сталевих трубах, щоб захистити ізоляцію та струмопровідні жили від механічних пошкоджень.

**Підбір перерізу провідників:**

- Переріз жил кабелю або проводу необхідно обирати так, щоб довготривало допустимий струм за умовами нагрівання ( $I_{доп}$ ) був не меншим за максимальний робочий струм відповідного електричного кола ( $I_{макс.р}$ ).

$$I_{доп} \geq I_{макс.р}$$

Розрахунок максимального робочого струму магістралі:

$$I_{макс.р} = K_0 \sum_1^n I_{ном}$$

Перевірка перерізу провідника за умовою захисту:

$$I_{доп} \geq K_3 I_3$$

де  $K_3$  - кратність допустимого струму провідника по відношенню до номінального струму спрацювання захисного апарату,  $K_3=1$ ;

$I_3$  - номінальний струм або струм спрацювання захисного апарату.

Приклад вибору кабелю:

- **Умова:** Кабель для живлення токарного станка від мережі, марка ПВС 4×2,5з  $I = 25$  А.

$$I_{макс.р} = 1 \cdot 19,44 = 19,44 \text{ А};$$

$$I_{доп} = 1 \cdot 25 = 25 \text{ А};$$

$$25 \text{ А} > 19,44 \text{ А}.$$

Аналогічний вибір для інших кабелів:

- Виконаємо аналогічні розрахунки та перевірки для інших кабелів, що використовуються в електромережі.
- Занесемо результати вибору до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Марки кабелів для живлення електрообладнання

№ п/п	Найменування обладнання	Номінальний струм, А	Марка кабеля, провoda	$I_{\text{доп}}, \text{А}$
1	Токарний станок	19,44	ПВС 4×2,5	25
2	Свердлильний верстат	1,2	ПВС 4×0,75	6
3	Шліфувальний станок	1,2	ПВС 4×0,75	6

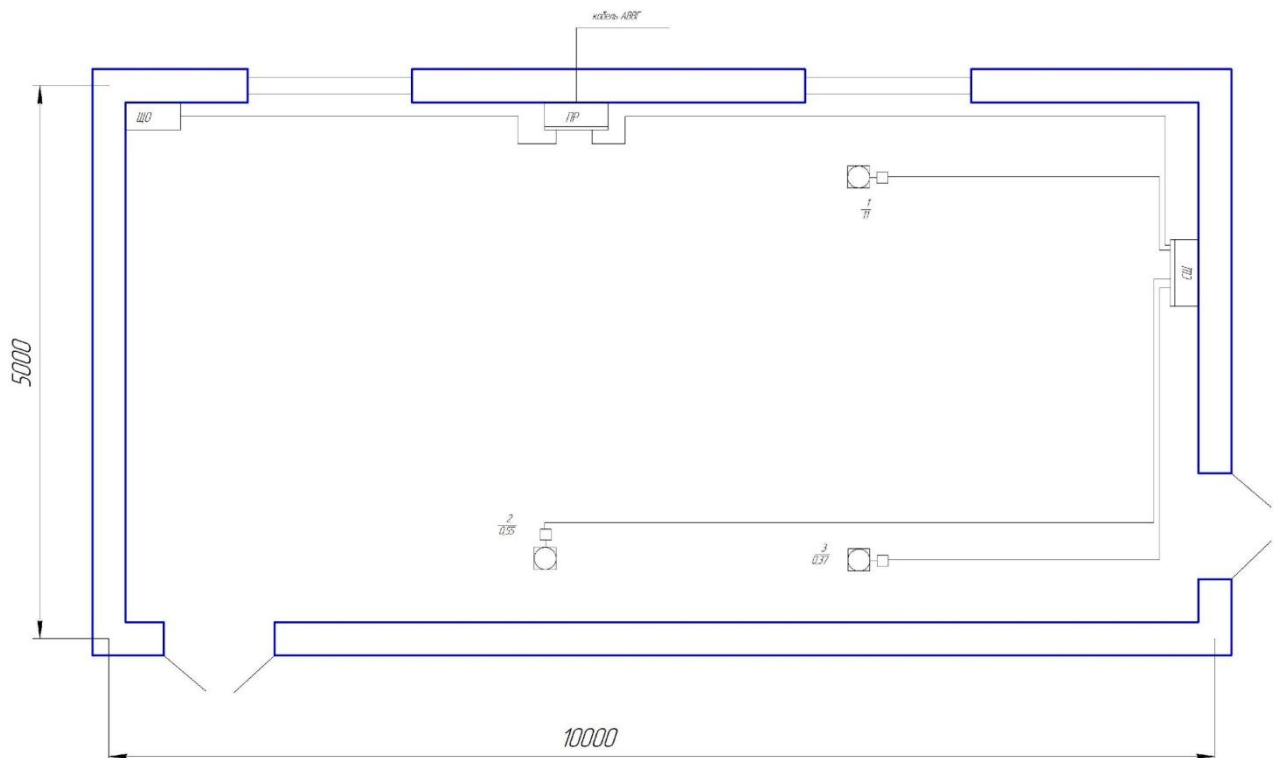


Рисунок 3.1 - Схема розміщення верстатів в майстерні

### 3.2 Розрахунок мережі освітлення

#### Розрахунок освітлювальних установок з світлодіодними лампами

Вибираємо загальну рівномірну систему освітлення. Враховуючи умови навколишнього середовища вибираємо світильники типу EscornNSIL250.

Визначимо висоту підвісу світильників (3.1):

Висота підвісу світильників  $h_3 = 0,2$  м;

Висота робочої поверхні  $h_p = 0,5$  м.

$$H_p = 2,8 - (0,2 + 0,5) = 2,1 \text{ м.}$$

Оптимальна відстань між світильниками (3.2):

$$L = 0,8 \cdot 2,1 = 1,68 \text{ м.}$$

Кількість рядів світильників (3.3):

$$n_p = \frac{5}{1,68} = 2,97$$

Зарахуємо  $n_p = 3$ .

Відстань від крайніх світильників до стін (3.4):

$$L_c = 0,5 \cdot 1,68 = 0,84 \text{ м.}$$

Розрахункова відстань між рядами (3.5):

$$L_B = \frac{5 - 2 \cdot 0,84}{3 - 1} = 1,66 \text{ м.}$$

Розрахункова відстань між світильниками в ряду (3.6):

$$L_a = \frac{1,68^2}{1,66} = 1,7 \text{ м.}$$

Кількість світильників у ряду (3.7):

$$n_a = \frac{10 - 2 \cdot 0,84}{1,7} = 4,89$$

Зарахуємо  $n_a = 5$ .

Загальна кількість світильників (3.8):

$$N = 3 \cdot 5 = 15$$

Індекс приміщення (3.9):

$$i = \frac{10 \cdot 5}{2,1 \cdot (10 + 5)} = 1,6$$

Розрахунковий світловий потік (3.10):

$$\Phi_{p.c} = \frac{150 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 1,4 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,8} = 1006 \text{ лм.}$$

Вибираємо лампу типу LEDBulbPhilips з  $P_n = 13\text{Вт}$ ,  $\Phi_{л} = 1055 \text{ лм}$ , яка відповідає розрахунковим вимогам.

Фактична освітленість (3.11):

$$E_{\phi} = 150 \cdot \frac{1006 \cdot 1}{1055} = 143,1 \text{ лк.}$$

Відхилення освітленості (3.12):

$$E = \frac{143,1 - 150}{150} \cdot 100 \approx -4,6 \%$$

Відхилення освітленості знаходиться в межах допустимих  $+20 \dots -10 \%$ .

Визначимо установлену потужність освітлювальної установки (3.13):

$$P_y = 13 \cdot 1 \cdot 15 = 195 \text{ Вт.}$$

### **Вибір пуско-захисної апаратури освітлювальної мережі**

Визначення розрахункових струмів:

Для однофазних груп зі світлодіодними лампами використовується формула (3.14):

$$I_{сп1} = \frac{195}{220} = 0,88 \text{ А;}$$

Номинальні струми розчіплювачів вибираються з умовою:

$$I_{ном.р} \geq I_{розр};$$

$$I_{у.е} \geq 1,4 \cdot I_{розр}.$$

Вибір автомата для групи освітлювального щитка АЕ1000 з  $I_{ном.р} = 1,6 \text{ А}$ ,  
 $I_{ном.а} = 10 \text{ А}$ .

### Вибір марок і перерізів проводів, кабелів та способів їх прокладання

Для груп освітлювального щитка оберемо провід типу ПВ-1 2×0,5 у якого  $I_{доп} = 2,5$  А.

$$2,5 > 1,45 \text{ А.}$$

Умова працює.

Розрахунок втрати напруги:

Розрахунок втрати напруги для груп освітлювального щитка ОП-3УХЛ4:

$$\Delta U_1 = \frac{0,195 \cdot 39}{12,8 \cdot 0,5} = 1,2 \%$$

Перевірка допустимості втрати напруги: оскільки втрати напруги не перевищують допустимих 2,5%, то провід залишимо незмінним.

Таблиця 3.2 - Результати вибору ламп ,проводів та автоматів

№ груп и	Освітлювальний щиток	К-ть ламп	Потужність лампи, Вт	Марка переріз провода та	Автомат. вимикач
1	ОП-3УХЛ4	15	13	ПВ-1 2×0,5	АЕ1000

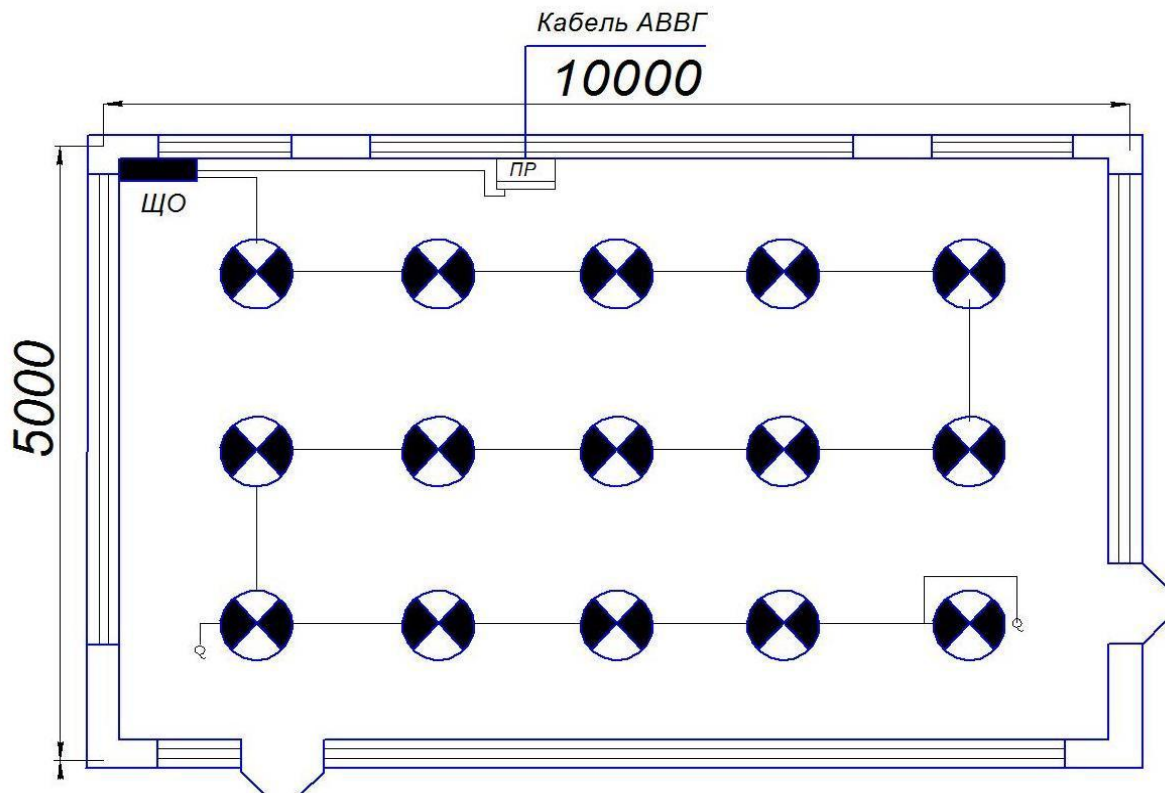


Рисунок 3.2 - Схема освітлення з світлодіодними лампами

## РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЗЕРВНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

### 4.1 Теоретичні основи розрахунку вітроенергетичних установок та статистичні моделі вітрового потенціалу

Проектування резервної системи електропостачання промислового об'єкта на базі вітроенергетичної установки (ВЕУ) вимагає комплексного підходу, що базується на фундаментальних законах аеродинаміки та методах статистичного аналізу. Теоретична потужність повітряного потоку визначається його кінетичною енергією. Згідно із законом збереження енергії, потужність вітру ( $P_{wind}$ ), що проходить через певну площу  $S$ , пропорційна кубу його швидкості:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (2.1)$$

де  $\rho$  — густина повітря (стандартне значення  $1.225 \text{ кг/м}^3$ ),  $S$  — площа омивання ротора ( $\text{м}^2$ ),  $v$  — швидкість вітру ( $\text{м/с}$ ). Однак, вилучення всієї енергії з потоку неможливе, оскільки це означало б повну зупинку повітря за турбіною. Альберт Бец у 1919 році довів, що максимальна частка енергії, яку може перетворити ідеальний вітрогенератор, становить  $16/27$ , або приблизно  $59.3\%$ . Це значення відоме як межа Беца (Betz's limit).

Для реальних установок вводиться коефіцієнт використання енергії вітру (КІЕВ або  $C_p$ ), який враховує аеродинамічну недосконалість лопатей. Фактична потужність ВЕУ розраховується як:

$$P_{VEU} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ген}} \quad (2.2)$$

де  $\eta_{\text{мех}}$  — ККД механічної трансмісії,  $\eta_{\text{ген}}$  — ККД генератора. Для сучасних VAWT (турбін Дар'є)  $C_p$  зазвичай коливається в межах  $0.3\text{--}0.38$ , що менше ніж у HAWT, проте VAWT мають переваги в умовах турбулентності.

Важливим аспектом є статистична природа вітру. Для оцінки річного виробітку енергії використовується розподіл Вейбулла, який описує ймовірність виникнення швидкості вітру  $v$ :

$$f(v) = (k/c) \cdot (v/c)^{(k-1)} \cdot \exp(-(v/c)^k) \quad (2.3)$$

де  $k$  — параметр форми (зазвичай 2 для умов України),  $c$  — параметр масштабу (середня швидкість). Саме кубічна залежність потужності від швидкості вітру робить точне визначення локального вітрового потенціалу критично важливим для окупності проекту.

#### **4.2 Аналіз навантаження промислового цеху та категоризація споживачів**

Для коректного розрахунку резервної системи було проведено детальний аудит електроспоживання цеху. Навантаження розділене на три категорії за ступенем важливості:

1. Критичне навантаження (Перша категорія): системи автоматики, охоронна та пожежна сигналізація, сервери керування та аварійне освітлення. Потужність: 3 кВт.
2. Технологічне навантаження: двигуни транспортерів (типу SEW), насосне обладнання та вентиляційні установки. Потужність: 8 кВт.
3. Допоміжне навантаження: робоче освітлення, дрібний електроінструмент. Потужність: 2 кВт.

Загальна пікова потужність для резервування становить 13 кВт. При розрахунку добового споживання ( $E_{\text{добове}}$ ) враховано коефіцієнт одночасності 0.8.  $E_{\text{добове}} = 13 \text{ кВт} \cdot 0.8 \cdot 16 \text{ год} = 166.4 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ . Система повинна забезпечувати безперебійне живлення протягом мінімум 24 годин автономії у разі повної відсутності вітру та центральної мережі.

### 4.3 Обґрунтування вибору вертикально-осьової ВЕУ та розрахунок параметрів

Для умов промислової забудови було обрано вертикально-осьову установку (VAWT) типу Дар'є з Н-ротором.



Рисунок 4.1 - Вертикально-осьова установка (VAWT) типу Дар'є

На відміну від горизонтальних турбін, VAWT не потребують системи орієнтації на вітер (Yaw system), що значно спрощує конструкцію та підвищує надійність.

**Вертикально-осьова вітроенергетична установка (VAWT) типу Дар'є**

Вертикально-осьова вітроенергетична установка (VAWT) типу Дар'є з Н-ротором (часто звана просто Н-Darrieus або ротором Жиромова) — це тип вітрогенератора, у якого головний вал ротора встановлений вертикально, а лопаті мають аеродинамічний профіль крила і розташовані паралельно осі обертання, утворюючи форму літери «Н». [1, 2, 3, 4]

На відміну від класичного ротора Дар'є з вигнутими параболічними лопатями (на кшталт збивачки для яєць), Н-ротор використовує абсолютно прямі вертикальні лопаті, що кріпляться до центральної щогли за допомогою горизонтальних балок (траверс). [1]

### **Принцип роботи**

- Аеродинамічний підйом: Ротор працює за рахунок підйомної сили (як крило літака), а не сили опору (як ротор Савоніуса). [1]
- Зміна кута атаки: Коли лопать обертається навколо осі, кут між напрямком вітру та лопаттю постійно змінюється, створюючи крутний момент майже на всьому шляху кола.
- Потреба у розгоні: Аеродинамічні профілі ефективно працюють лише на високих швидкостях відносного потоку. Тому самостійний запуск Н-ротора ускладнений. Його часто запускають за допомогою генератора (у режимі двигуна) або комбінують із невеликим ротором Савоніуса.

### **Переваги установки**

- Незалежність від напрямку вітру: Турбіні не потрібна система орієнтації на вітер (хвіст чи сервоприводи). Вона миттєво реагує на будь-які зміни повітряних потоків. [1]
- Зручність обслуговування: Редуктор, генератор та іншу важку електроніку можна розмістити на землі (при основі щогли). Це спрощує ремонт і знижує навантаження на вежу. [1]

- Робота в турбулентних потоках: Ефективно працює в міських умовах, на дахах будівель або в гірській місцевості, де напрямок вітру хаотично змінюється.

- Простота виробництва: Прямі лопаті набагато легше виготовити (наприклад, методом екструзії алюмінію), ніж складні вигнуті лопаті класичного Дар'є чи горизонтальних вітряків.

- Нижчий рівень шуму: Зазвичай працює на менших швидкостях обертання кінців лопатей, тому виробляє менше аеродинамічного шуму.

### **Недоліки та обмеження**

- Проблема самозапуску: За слабого вітру турбіна не здатна почати рух самостійно з нерухомого стану.

- Циклічні пульсації моменту: Під час обертання сила, що діє на лопаті, постійно пульсує. Це викликає втому металу та конструкції.

- Високі відцентрові навантаження: На високих обертах на прямі лопаті та місця їх кріплення діють колосальні сили, що намагаються відірвати їх від траверс.

- Нижчий КВЕВ (коефіцієнт використання енергії вітру): У порівнянні з класичними трилопатевими горизонтальними вітряками (НAWТ), ефективність Н-ротора дещо нижча. [1]

### **Основні сфери застосування**

1. Міська та автономна енергетика: Встановлення на дахах житлових будинків, підприємств, торгових центрів.

2. Живлення телекомунікацій: Забезпечення енергією вишок зв'язку у віддалених районах.

3. Гібридні системи: Робота в парі з сонячними панелями для стабільного автономного енергозабезпечення приватних домогосподарств. [1]

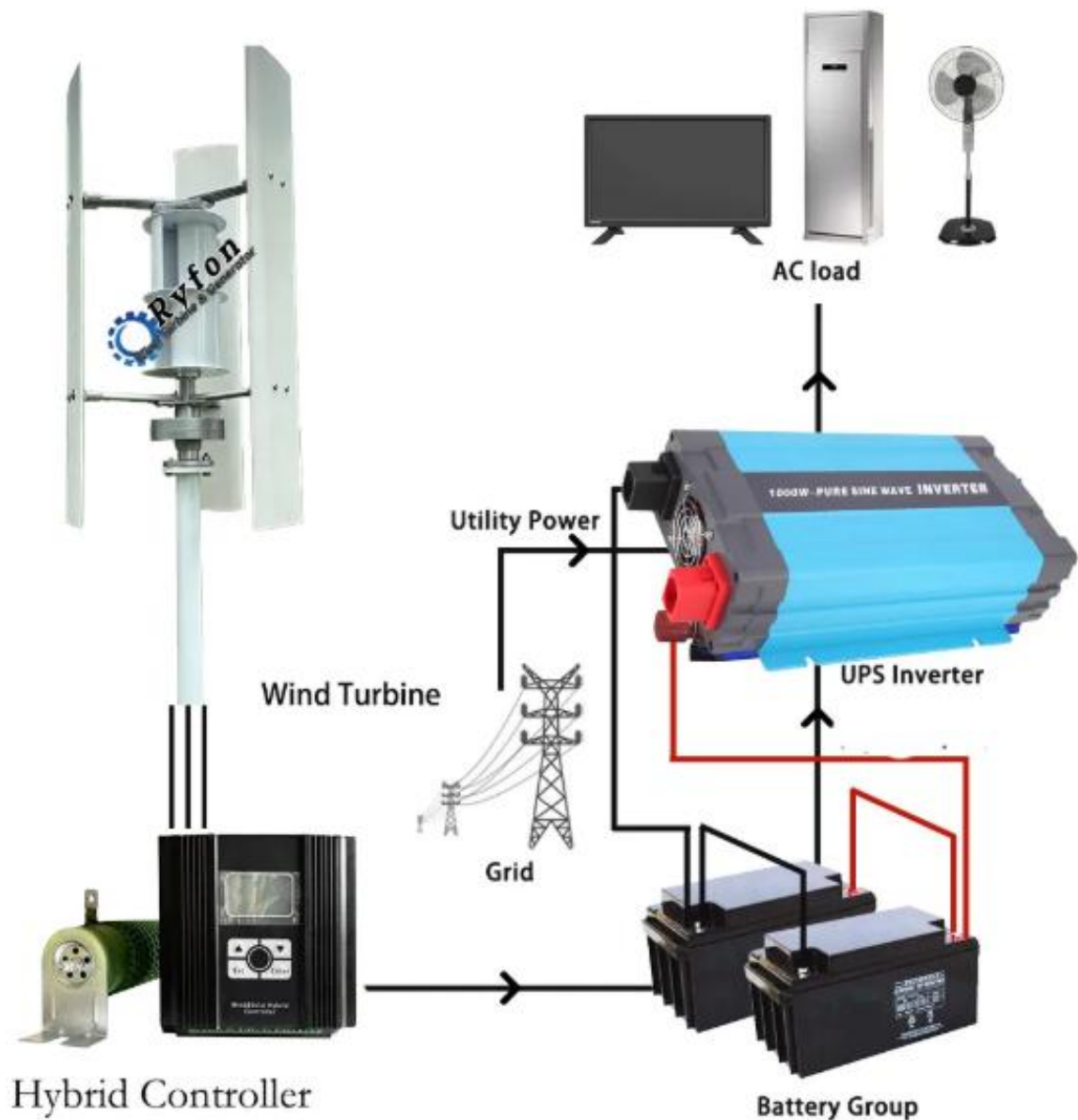


Рисунок 4.2 – Система електропостачання з вертикально-осьовою установкою (VAWT) типу Дар'є.

Розрахунок площі омивання ротора для цільової потужності 15 кВт при номінальній швидкості вітру 8 м/с:

$$S = P_{\text{ном}} / (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta) = 15000 / (0.5 \cdot 1.225 \cdot 8^3 \cdot 0.34 \cdot 0.85) \approx 166 \text{ м}^2$$

Прийнято площу  $S = 160 \text{ м}^2$ . Геометричні параметри ротора: діаметр  $D \approx 10.3 \text{ м}$ , висота лопатей  $H \approx 15.5 \text{ м}$ . Такий вибір обумовлений здатністю VAWT ефективно працювати з турбулентними потоками, що виникають

навколо будівель, та нижчим рівнем шуму (до 45 дБ), що важливо для комфорту персоналу.

#### 4.4 Порівняльний аналіз систем накопичення енергії (LiFePO4 vs Lead-Acid)

Вибір типу АКБ є ключовим для життєздатності системи. Було проведено порівняння традиційних свинцево-кислотних (AGM/GEL) та літій-залізо-фосфатних (LiFePO4) батарей:

Таблиця 4.1 Характеристики традиційних свинцево-кислотних (AGM/GEL) та літій-залізо-фосфатних (LiFePO4) батарей

Параметр	Свинцево-кислотні	LiFePO4
Ресурс (цикли)	500-800	4000-6000
Глибина розряду (DoD)	50%	90%
ККД заряду	~80%	~98%

Незважаючи на вищу ціну, LiFePO4 мають значно нижчу вартість циклу.

Розрахунок ємності:

$$E_{\text{АКБ}} = (E_{\text{добове}}) / (\eta_{\text{інв}} \cdot \text{DoD}) = 166.4 / (0.95 \cdot 0.9) \approx 194.6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Прийнято 195 кВт·год, що реалізується 39 модулями по 5 кВт·год (наприклад, блоки Deye або Pylontech). Це забезпечує повну автономність цеху на добу.

Формула для розрахунку кінетичної потужності вітру ( $P_{\text{wind}}$ ) у Вт:

#### 4.5 Вибір інверторного обладнання та принципова схема підключення

Центральним вузлом є гібридний інвертор потужністю 15 кВт. Розглянуто моделі Deye SUN-15K та Growatt SPH 15000. Обидві моделі

підтримують трифазну систему, мають високий ККД (>97%) та дозволяють інтегрувати ВЕУ через спеціалізовані контролери заряду. Пріоритет надано Deue через кращі можливості паралельного підключення та розвинену систему моніторингу.

Принципова схема підключення передбачає: 1) Вихід ВЕУ -> Контролер випрямляч -> Шина постійного струму (DC bus); 2) АКБ -> Шина DC; 3) Гібридний інвертор -> Головний розподільчий щит з системою АВР (автоматичне введення резерву). Така топологія забезпечує миттєве перемикання (<20 мс) при зникненні зовнішньої мережі.

## **РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці**

Розрізняють такі основні заходи щодо покращення стану охорони праці у господарстві:

- обладнати кабінет з охорони праці, з метою ефективного навчання персоналу, встановити необхідні плакати, стенди;
- удосконалення нормативної бази з питань охорони праці;
- укомплектування щитів пожежної безпеки ящиками з піском і необхідним інвентарем;
- встановлення відсутності освітлювальних приладів, покращення освітленості робочих місць;
- відновлення заземлення корпусів та відновити пошкоджену ізоляцію струмоведучих частин електроустановок;
- забезпечення працівників ЗІЗ ;
- покращити природу і при необхідності створити штучну вентиляцію;
- професійний добір працівників з окремих професій;
- провести паспортизацію та атестацію необхідних робочих місць.

### **5.2 Пожежна безпека**

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Закон України „Про пожежну безпеку”, та інші закони, постанови, укази.

Попередження розповсюдження пожеж, в основному забезпечується пожежною безпекою будівель і споруд і забезпечується; правильним вибором

необхідного ступеня вогнестійкості будівель та споруд, розташування приміщень з урахуванням вимог пожежної безпеки, встановлення протипожежних перешкод, проектування шляхів евакуації. Згідно діючого законодавства відповідальність за утримання промислового підприємства у належному протипожежному стані покладається безпосередньо на керівника підприємства.

Власником розробленні комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, розробленні та затвердженні положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють в межах підприємства, здійснює постійний контроль за їх додержанням, забезпечено додержання протипожежних вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду, утримання в справному стані засобів протипожежного захисту, пожежну безпеку, обладнання та інвентар.

Для запобігання пожежам на складах нафтопродуктів останні зберігають у спеціально обладнаних резервуарах, які встановлені на фундаментах. Усі заправні ємності заземлені, а вся територія нафтоскладу обнесена земляним валом.

### **5.3 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення**

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави.

Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Забезпечення безпеки та захисту населення, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатися як невід'ємна частина державної політики національної безпеки і державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад.

## РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Мета та вихідні дані економічного обґрунтування

Економічна частина дипломної роботи призначена для оцінювання доцільності впровадження резервної системи електропостачання цеху на базі вертикально-осьової вітроенергетичної установки, системи накопичення енергії та гібридного інверторного обладнання. На відміну від звичайного резервного джерела живлення, така система виконує дві функції: забезпечує живлення під час аварійних відключень та частково заміщує електроенергію, що купується з мережі.

Для промислового об'єкта економічний ефект формується не лише за рахунок зменшення витрат на електроенергію. Значну частину вигоди становить запобігання простою обладнання, збереження виконання виробничих замовлень, зменшення втрат часу персоналу та уникнення витрат, пов'язаних із повторним запуском технологічного процесу після блекауту.

У розрахунках прийнято конфігурацію, обґрунтовану в технічному розділі: ВЕУ VAWT потужністю 15 кВт, LiFePO<sub>4</sub> акумуляторна система корисною ємністю близько 195 кВт·год, гібридний інвертор 15 кВт із системою автоматичного введення резерву. Усі вартісні показники подано у доларах США, оскільки основні складові системи закупаються як імпордне або валютозалежне обладнання.

Таблиця 6.1 - Вихідні припущення для економічного розрахунку

Показник	Прийняте значення	Пояснення
Номінальна потужність ВЕУ	15 кВт	Вертикально-осьова установка типу Дар'є з Н-ротатором
Ємність СНЕ	195 кВт·год	LiFePO <sub>4</sub> батареї для добового резервування цеху
Пікове резервне навантаження	13 кВт	Критичні, технологічні та допоміжні споживачі
Добове споживання	166,4 кВт·год	Розраховано за коефіцієнтом одночасності 0,8
Тариф електроенергії	8 грн/кВт·год	Орієнтовна ціна для

		підприємства з урахуванням розподілу
Розрахунковий курс	40 грн/USD	Використано для переведення тарифу в долари США
Вартість простою	150 USD/год	Втрачена продукція, оплата персоналу, невиконані операції
Запобігнутий простій	100 год/рік	Середня оцінка тривалості аварійних відключень
Горизонт аналізу	15 років	Орієнтовний строк служби основних вузлів системи

## 6.2 Розрахунок капітальних витрат CAPEX

Капітальні витрати, або CAPEX, включають усі одноразові витрати, необхідні для створення та введення системи в експлуатацію. До них належать закупівля вітроенергетичної установки, акумуляторних модулів, інверторного обладнання, систем захисту, кабельної продукції, монтажних матеріалів, а також вартість проектування, монтажу та пусконаладження.

Загальні капітальні витрати визначаються за формулою:

$$CAPEX = C_{VEU} + C_{AKB} + C_{інв} + C_{зах} + C_{монтаж}, \quad (6.1)$$

де  $C_{VEU}$  - витрати на вітроенергетичну установку;  $C_{AKB}$  - витрати на систему накопичення енергії;  $C_{інв}$  - витрати на інвертор та АВР;  $C_{зах}$  - витрати на кабелі, захисну апаратуру й шафи;  $C_{монтаж}$  - проектування, монтаж і пусконаладжувальні роботи.

Таблиця 6.2 - Структура капітальних витрат на резервну вітроенергетичну систему

Стаття витрат	Кількість / параметр	Сума, USD	Частка CAPEX, %
VEU VAWT 15 кВт з щоглою та контролером	1 комплект	23 000	23,1
Система накопичення LiFePO4	39 модулів, 195 кВт·год	46 800	46,9
Гібридний інвертор 15 кВт та АВР	1 комплект	5 500	5,5
Кабельна продукція, захист DC/AC, шафи	1 комплект	6 200	6,2
Фундамент, кріплення, щогла, заземлення	1 комплект	7 800	7,8
Проектування,	1 комплекс робіт	10 420	10,5

монтаж, пусконалагодження			
Разом CAPEX	-	99 720	100,0

Найбільшу частку капітальних витрат становить система накопичення енергії - майже половина бюджету. Це пояснюється тим, що для забезпечення автономної роботи протягом доби потрібна значна ємність АКБ. Вітроенергетична установка формує другу за величиною статтю витрат, однак саме вона забезпечує відновлювану генерацію та зменшує залежність цеху від централізованої мережі.

### 6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат OPEX

Операційні витрати, або OPEX, включають регулярні щорічні витрати на технічне обслуговування обладнання. Для вітроенергетичної системи важливими є огляд механічної частини ВЕУ, перевірка кріплень, контроль вібрацій, діагностика інвертора, огляд системи накопичення та перевірка захисної автоматики.

На відміну від дизель-генераторного резервування, запропонована система не потребує постійного придбання пального. Основні витрати пов'язані з профілактикою та підтриманням обладнання у справному стані.

Таблиця 6.3 - Річні експлуатаційні витрати системи

Стаття витрат	Періодичність	Вартість, USD/рік	Призначення
Огляд ВЕУ, щогли та кріплень	2 рази на рік	500	Контроль механічного стану, вібрацій і кріплень
Сервіс інвертора та АВР	1 раз на рік	300	Перевірка режимів роботи, журналів аварій і захистів
Діагностика АКБ та BMS	2 рази на рік	350	Контроль температури, напруги комірок і балансування
Моніторинг і зв'язок	Постійно	150	Передавання даних та дистанційна діагностика
Резерв на дрібні матеріали	За потреби	250	Запобіжники, клеми, контактори, мастильні матеріали
Плановий технічний	1 раз на рік	300	Контроль

аудит			відповідності параметрів системи розрахунковим
Разом OPEX	-	1 850	-

Отже, річні експлуатаційні витрати приймаються на рівні 1 850 USD/рік. Для резервної системи таке значення є помірним, оскільки відсутні витрати на пальне, зберігання пального, регулярну заміну мастила і фільтрів, характерні для дизель-генераторів.

#### 6.4 Оцінка річної генерації та економії електроенергії

Річний виробіток вітроенергетичної установки залежить від номінальної потужності, реального вітрового потенціалу, коефіцієнта використання встановленої потужності, втрат у контролері, інверторі та акумуляторній системі. Для розрахунку використовується спрощена формула:

$$E_{\text{BEU}} = P_{\text{ном}} \cdot 8760 \cdot K_{\text{вик}} \cdot \eta_{\text{сист}}, \quad (6.2)$$

де  $P_{\text{ном}}$  - номінальна потужність ВЕУ, кВт; 8760 - кількість годин у році;  $K_{\text{вик}}$  - коефіцієнт використання встановленої потужності;  $\eta_{\text{сист}}$  - сумарний коефіцієнт корисного використання виробленої енергії.

Таблиця 6.4 - Розрахунок корисної річної генерації ВЕУ

Параметр	Позначення	Значення
Номінальна потужність ВЕУ	$P_{\text{ном}}$	15 кВт
Тривалість року	$t$	8760 год
Коефіцієнт використання встановленої потужності	$K_{\text{вик}}$	0,32
Теоретичний річний виробіток	$15 \cdot 8760 \cdot 0,32$	42 048 кВт·год
Втрати в контролері, інверторі та АКБ	$\eta_{\text{сист}}$	0,88
Корисна енергія для споживання	$E_{\text{кор}}$	37 002 кВт·год/рік

Економія від заміщення мережевої електроенергії визначається за формулою:

$$C_{\text{ен}} = E_{\text{кор}} \cdot T_{\text{ел}}, \quad (6.3)$$

де  $E_{\text{кор}} = 37\,002 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$ ;  $T_{\text{ел}} = 8 \text{ грн}/\text{кВт}\cdot\text{год} = 0,20 \text{ USD}/\text{кВт}\cdot\text{год}$  за курсу 40 грн/USD.

$$C_{\text{ен}} = 37\,002 \cdot 0,20 = 7\,400 \text{ USD}/\text{рік}.$$

Отримана економія показує, що навіть у штатному режимі, коли аварійні відключення відсутні, система має фінансову користь завдяки частковому покриттю потреб цеху власною відновлюваною енергією.

### 6.5 Економічний ефект від запобігання простоям

Для виробничого цеху основним джерелом економічної доцільності резервної системи є зменшення збитків від простою. Під час відключення електроенергії зупиняються верстати, освітлення, допоміжні механізми, а персонал не може повноцінно виконувати виробничі операції. Крім прямих втрат робочого часу, виникають непрямі наслідки: порушення строків виконання замовлень, зниження продуктивності та додаткові витрати на повторний запуск обладнання.

Річний ефект від запобігання простоям визначається за формулою:

$$C_{\text{прост}} = t_{\text{бл}} \cdot C_{\text{год}}, \quad (6.4)$$

де  $t_{\text{бл}}$  - кількість годин блекаутів, під час яких система дозволяє продовжити роботу;  $C_{\text{год}}$  - вартість однієї години простою.

$$C_{\text{прост}} = 100 \cdot 150 = 15\,000 \text{ USD}/\text{рік}.$$

Окремо враховується економія на відмові від регулярного використання дизель-генератора. Для аналогічного резервування дизельний агрегат потребував би пального, мастила, фільтрів, технічного обслуговування та організації безпечного зберігання пального. Орієнтовна річна економія на цих витратах прийнята на рівні 4 900 USD/рік.

Таблиця 6.5 - Формування річного економічного ефекту

Джерело ефекту	Розрахунок	Ефект, USD/рік
Економія електроенергії	$37\,002 \text{ кВт}\cdot\text{год} \cdot 0,20 \text{ USD}/\text{кВт}\cdot\text{год}$	7 400
Запобігання простою виробництва	$100 \text{ год} \cdot 150 \text{ USD}/\text{год}$	15 000
Уникнення витрат на дизельне	Пальне, мастило, сервіс	4 900

резервування		
Валовий економічний ефект	7 400 + 15 000 + 4 900	27 300
Операційні витрати системи	OPEX	-1 850
Чистий річний економічний ефект	27 300 - 1 850	25 450

## 6.6 Розрахунок строку окупності

Простий строк окупності визначається як відношення капітальних витрат до чистого річного економічного ефекту:

$$T_{\text{окуп}} = \text{CAPEX} / E_{\text{чист}}, \quad (6.5)$$

де CAPEX = 99 720 USD;  $E_{\text{чист}} = 25\,450 \text{ USD/рік}$ .

$$T_{\text{окуп}} = 99\,720 / 25\,450 = 3,92 \text{ року.}$$

Отже, за прийнятих вихідних умов система окупається приблизно за 3,9 року. З урахуванням того, що строк служби ВЕУ та акумуляторної системи перевищує період окупності, після повернення інвестицій комплекс формує чисту економію та підвищує стійкість підприємства до аварійних режимів електропостачання.

Таблиця 6.6 - Спрощений прогноз грошового потоку

Рік експлуатації	Чистий ефект за рік, USD	Накопичений ефект, USD	Залишок до окупності, USD
0	-99 720	-99 720	99 720
1	25 450	-74 270	74 270
2	25 450	-48 820	48 820
3	25 450	-23 370	23 370
4	25 450	2 080	0
5	25 450	27 530	0

З таблиці видно, що точка беззбитковості досягається між третім і четвертим роком експлуатації. Це підтверджує інвестиційну привабливість проєкту, особливо в умовах нестабільного централізованого електропостачання.

## 6.7 Порівняння з дизель-генераторним резервуванням

Для обґрунтування вибору саме вітроенергетичної системи доцільно порівняти її з традиційним рішенням - дизель-генератором відповідної потужності. Дизель-генератор має нижчу початкову вартість, але його експлуатація залежить від постійної наявності пального, а витрати зростають зі збільшенням кількості годин роботи.

Таблиця 6.7 - Порівняння резервної ВЕУ з дизель-генератором

Критерій	ВЕУ + LiFePO4 + інвертор	Дизель-генератор
Початкові інвестиції	Вищі через акумулятори та інвертор	Нижчі на етапі закупівлі
Витрати під час роботи	Низькі, без постійного пального	Залежать від ціни дизеля та годин роботи
Швидкість перемикання	Мілісекунди через АВР та інвертор	Потрібен запуск або додатковий UPS
Шум і викиди	Мінімальний шум, відсутні локальні викиди	Шум, вихлопні гази, потреба у вентиляції
Технічне обслуговування	Періодичний огляд ВЕУ, АКБ і електроніки	Регулярна заміна мастила, фільтрів і контроль двигуна
Щоденна користь	Може зменшувати купівлю електроенергії	Корисний переважно тільки під час аварій
Енергетична незалежність	Використовує місцевий відновлюваний ресурс	Потребує стабільного постачання пального

Таким чином, дизель-генератор може використовуватися як додатковий аварійний резерв для дуже тривалих відключень, однак базовим рішенням для цеху доцільно обрати систему ВЕУ з акумуляторами. Вона не лише забезпечує резервування, але й створює щоденну економію за рахунок власної генерації.

## 6.8 Аналіз чутливості строку окупності

Економічний результат залежить від кількості аварійних відключень, вартості електроенергії та реального вітрового потенціалу. Тому проведено аналіз чутливості строку окупності до кількості годин простою, яких вдається уникнути за допомогою резервної системи.

Таблиця 6.8 - Залежність окупності від кількості запобігнучих годин простою

Запобігнутий простій, год/рік	Ефект від простою, USD/рік	Чистий річний ефект, USD/рік	Строк окупності, років
-------------------------------	----------------------------	------------------------------	------------------------

50	7 500	17 950	5,56
75	11 250	21 700	4,60
100	15 000	25 450	3,92
125	18 750	29 200	3,42
150	22 500	32 950	3,03

Аналіз показує, що навіть за зменшення кількості аварійних відключень до 50 год/рік проєкт залишається економічно виправданим, хоча строк окупності збільшується до 5,56 року. За більш складної ситуації в енергосистемі, коли кількість годин простою зростає, окупність суттєво прискорюється.

### **Висновки до економічної частини**

Розширене економічне обґрунтування підтвердило доцільність впровадження резервної системи електропостачання цеху на основі вертикально-осьової вітроенергетичної установки, системи накопичення LiFePO<sub>4</sub> та гібридного інвертора. Загальні капітальні витрати становлять 99 720 USD, з яких найбільша частка припадає на акумуляторну систему та вітроенергетичну установку.

Річний економічний ефект формується з трьох основних складових: економії електроенергії, запобігання виробничим простоям і зменшення витрат, які виникли б при використанні дизель-генератора. За базового сценарію чистий річний ефект становить 25 450 USD, а простий строк окупності дорівнює приблизно 3,9 року.

Окрім прямого фінансового результату, проєкт має стратегічне значення: він підвищує енергетичну незалежність підприємства, знижує ризик зупинки виробничих процесів під час блекаутів, зменшує потребу у вичерпаному паливі та покращує екологічні характеристики резервного електропостачання.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було розглянуто питання модернізації електричної силової мережі майстерні з ремонту сільськогосподарської техніки, яка знаходиться у підпорядкуванні ТзОВ «Секрет», яка розташована у місті Самбір, Львівської області, а також було розраховане освітлення з використанням різних типів ламп, а саме: ламп розжарення; компактно люмінесцентних ламп та світлодіодних ламп. Після розрахунків силової мережі для верстатів були вибрані кабелі та ПЗА.

Розрахунки освітлювальної мережі нам дали результати, за якими ми можемо оцінити доцільність використання тих чи інших ламп.

Центральним вузлом є гібридний інвертор потужністю 15 кВт. Розглянуто моделі Deye SUN-15K та Growatt SPH 15000. Обидві моделі підтримують трифазну систему, мають високий ККД (>97%) та дозволяють інтегрувати ВЕУ через спеціалізовані контролери заряду. Пріоритет надано Deye через кращі можливості паралельного підключення та розвинену систему моніторингу.

Принципова схема підключення передбачає: 1) Вихід ВЕУ -> Контролер випрямляч -> Шина постійного струму (DC bus); 2) АКБ -> Шина DC; 3) Гібридний інвертор -> Головний розподільчий щит з системою АВР (автоматичне введення резерву). Така топологія забезпечує миттєве перемикання (<20 мс) при зникненні зовнішньої мережі.

Також було розраховано економічну ефективність модернізації та дано рекомендації щодо її реалізації.

Розрахунок терміну окупності базується на вартості електроенергії для підприємств (8 грн/кВт·год) та уникненні збитків від простою (\$150/год). При середній частоті блекаутів 100 год/рік, економія та збережена вартість продукції забезпечують окупність за 3.9 року, що є відмінним показником для систем альтернативної енергетики.

### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Коруд В. І. Електротехніка. Львів: Видавництво «Магнолія», 2006. 417 с.
2. Варецький Ю. О. Особливості вибору силових фільтрів для систем електропостачання змінних нелінійних навантажень. Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2008. № 615. С. 17 – 22.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007. 488 с.
4. Василега П. О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник. Суми: Видавництво СумДУ, 2010. 548 с.
5. Милосердов В. О. Електротехнологічні установки та пристрої: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2007. 135 с.
6. Соловей О. І. Промислові електротехнологічні установки: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Кондор», 2009. 172 с.
7. Головка Д. Б., Ментковський Ю. Л. Загальні основи фізики. Київ: Видавництво «Либідь», 2008. – 224 с.
8. Мартиненко І.І. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: навч. посіб. Київ: Видавництво «Аграрна освіта», 2008. 330 с.

9. Курс електротехніки: Підручник. – Харків: Видавництво «Торнадо», 2000. – 288 с.
10. Практикум з електротехнології в АПК. Київ: Національний аграрний університет. 2003. 125 с.
11. Каталог СВ АЛЬТЕРА 2020р.
12. Каталог МІКУkraine – Джерела світла.
13. Каталог електротехнічної продукції АСКО УкрЕМ.