

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент
_____ Микола СІДЄЛЄВ
« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Здобувач _____ **Костянтин Друзенко**
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи _____ **Олег ЩЕСЮК**
канд. техн. наук, доцент « ____ » _____ 2026 р.

Консультант _____ **Анна АЛЕКСЄЄВА**
канд. техн. наук, доцент « ____ » _____ 2026 р.

Миколаїв – 2026

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Освітній ступінь	Бакалавр
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
канд. техн. наук, доцент

_____ Микола СІДЄЛЄВ

“ ____ ” _____ 202 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу здобувача

Друзенко Костянтин Андрійович

1. Тема проекту (роботи)

Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

керівник проекту (роботи) канд. техн. наук, доцент Щєсюк Олег Володимирович, затверджені наказом вищого навчального закладу від “05”_11_2025 року № 264.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) вимірювання швидкості вітру в діапазоні 0–30 м/с, напрямку вітру в межах 0–360°, напруги генератора в діапазоні 0–500 В та частоти обертання ротора вітроелектричної установки. Керування приводом повороту гондоли, гальмівною системою та баластним навантаженням на основі поточних параметрів роботи ВЕУ. Передача даних до оператора через інтерфейс Ethernet із використанням вбудованого Web Server програмованого логічного контролера. Забезпечення автоматичного контролю режимів роботи, аварійного захисту та дистанційного моніторингу параметрів вітроелектричної установки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; аналітичний огляд літератури та патентної інформації за темою роботи; аналіз існуючих вітроелектричних установок та систем керування; вибір технічних засобів автоматизації; розробка структурної, функціональної та електричної принципової схем; розробка алгоритму роботи системи; організація віддаленого моніторингу параметрів ВЕУ; розрахунок економічної ефективності; розгляд питань охорони праці, електробезпеки та блискавкозахисту; висновки; перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структурна схема автоматизованої системи керування ВЕУ; функціональна схема системи керування; електрична принципова схема; блок-схема алгоритму роботи системи; схема моніторингу параметрів ВЕУ через Web Server; схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до контролера.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	05.11.2025	
2	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	20.01.2026	
3	Алексеева А.О., доцент кафедри екології	20.04. 2026	

7. Дата видачі завдання «05» листопада 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обговорення пропозицій теми від керівника	23.09.2025	Виконано
2	Обговорення із студентом теми, яка вибрана	01.10.2025	Виконано
3	Формування завдання, затвердження теми	05.11.2025	Виконано
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	07.11.2025	Виконано
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	21.11.2025	Виконано
6	Виконання першої частини	02.12.2025	Виконано
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	26.12.2025	Виконано
8	Опрацювання другої частини	12.03.2026	Виконано
9	Робота над третьою частиною (при наявності)		
10	Робота над розділом з охорони праці	20.05.2026	Виконано
11	Передзахисти	12.05.2026	Виконано
12	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	18.06.2026	Виконано
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	20.06.2026	Виконано

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Здобувач

Костянтин ДРУЗЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи

К. Т. Н. , доцент

Олег ЩЕСЮК

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Друзенко К.А. Автоматизована система керування вітроелектричною установкою.

Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 2026.

У бакалаврській роботі представлено розробку автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою, призначеної для підвищення ефективності використання енергії вітру, забезпечення безпечної експлуатації обладнання та реалізації функцій дистанційного моніторингу.

Розроблено систему керування на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1200. Для контролю параметрів роботи вітроелектричної установки використано датчики швидкості та напрямку вітру, датчик частоти обертання ротора та датчик напруги генератора. Реалізовано керування виконавчими механізмами установки, зокрема приводом повороту гондоли, гальмівною системою та баластним навантаженням.

Створено структурну, функціональну та електричну принципову схеми автоматизованої системи керування. Розроблено алгоритм функціонування системи, що забезпечує автоматичний контроль режимів роботи вітроелектричної установки та формування керуючих впливів відповідно до поточних параметрів навколишнього середовища й технічного стану обладнання.

Передбачено можливість віддаленого моніторингу параметрів роботи установки за допомогою Ethernet-з'єднання та вбудованого Web Server

контролера. Виконано розрахунок економічної ефективності впровадження системи та оцінку заходів безпеки під час експлуатації вітроелектричної установки.

У роботі також розглянуто питання охорони праці та захисту персоналу під час експлуатації вітроенергетичного обладнання. Проведено аналіз небезпечних виробничих факторів, розрахунок системи блискавкозахисту та визначено заходи щодо підвищення безпеки роботи персоналу.

Актуальність: зростання потреб у відновлюваних джерелах енергії та необхідність підвищення ефективності роботи вітроелектричних установок обумовлюють потребу у впровадженні сучасних автоматизованих систем керування, здатних забезпечити надійну, безпечну та економічно ефективну експлуатацію обладнання.

Мета: розробка автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою із використанням сучасних засобів автоматизації для забезпечення контролю параметрів роботи, підвищення ефективності генерації електроенергії та реалізації функцій дистанційного моніторингу.

Об'єкт дослідження: вітроелектрична установка як джерело відновлюваної енергії.

Предмет дослідження: автоматизована система керування вітроелектричною установкою, що забезпечує контроль, регулювання та захист технологічного обладнання.

Сторінок – 89. Рисуноків – 24. Таблиць – 8. Посилань – 34.

Ключові слова: вітроелектрична установка, автоматизація, Siemens S7-1200, програмований логічний контролер, анемометр, датчик напрямку вітру,

дистанційний моніторинг, Web Server, відновлювана енергетика, система керування.

ABSTRACT

Druzenko K.A. Automated control system for wind power plants.

Bachelor's Qualification Thesis in Specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies". – Mykolaiv, Petro Mohyla Black Sea National University, 2026.

The bachelor's thesis presents the development of an automated control system for a wind power plant designed to improve the efficiency of wind energy utilization, ensure safe equipment operation, and provide remote monitoring capabilities.

The control system is based on the Siemens S7-1200 programmable logic controller. Wind speed and wind direction sensors, a rotor speed sensor, and a generator voltage sensor are used to monitor the operating parameters of the wind power plant. Control of the plant actuators, including the nacelle orientation drive, braking system, and ballast load, has been implemented.

Structural, functional, and electrical schematic diagrams of the automated control system have been developed. An operating algorithm has been created to provide automatic monitoring of wind power plant operating modes and generation of control actions according to current environmental conditions and equipment status.

Remote monitoring of plant operating parameters is provided via an Ethernet connection and the controller's integrated Web Server. The economic efficiency of implementing the system has been evaluated, and occupational safety measures for wind power plant operation have been analyzed.

The thesis also addresses occupational safety and personnel protection during the operation of wind energy equipment. Hazardous factors were analyzed, a lightning protection system was calculated, and measures aimed at improving personnel safety were proposed.

Relevance: The growing demand for renewable energy sources and the need to improve the efficiency of wind power plants require the implementation of modern automated control systems capable of ensuring reliable, safe, and economically efficient equipment operation.

Purpose: Development of an automated control system for a wind power plant using modern automation technologies to provide operational parameter monitoring, improve power generation efficiency, and implement remote monitoring functions.

Object of research: A wind power plant as a renewable energy source.

Subject of research: An automated control system for a wind power plant that provides monitoring, control, and protection of technological equipment.

Pages – 89. Figures – 24. Tables – 8. References – 34.

Keywords: wind power plant, automation, Siemens S7-1200, programmable logic controller, anemometer, wind direction sensor, remote monitoring, Web Server, renewable energy, control system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	16
1.1 Сучасний стан розвитку вітроенергетики.....	16
1.2 Конструкція та принцип роботи вітроелектричних установок	20
1.3 Існуючі ВЕУ малої потужності.....	24
1.4 Аналіз параметрів, що підлягають контролю та керуванню у ВЕУ	26
1.5 Аналіз сучасних систем керування вітроелектричними установками	29
1.6 Формування вимог до автоматизованої системи керування ВЕУ ..	33
1.6.1 Функціональні вимоги	33
1.6.2 Технічні вимоги	35
1.7 Розгляд патентної інформації.....	37
1.8 Завдання на проектування.....	43
Висновки до розділу 1	44
2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕУ В ЧНУ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ	45
2.1 Розробка структури автоматизованої системи керування ВЕУ в ЧНУ імені Петра Могили.....	45
2.2 Опис апаратного забезпечення системи	47
2.2.1 Програмований логічний контролер Siemens S7-1200.....	47
2.2.2 Датчик швидкості вітру	50
2.2.3 Датчик напрямку вітру	52
2.2.4 Датчик обертів ротора	54
2.2.5 Датчик напруги генератора.....	56
2.2.6 Засоби віддаленого моніторингу системи	59
2.3 Розробка алгоритму роботи системи керування ВЕУ	61

2.4 Функціональна схема автоматизованої системи керування ВЕУ ...	64
2.5 Розробка системи моніторингу ВЕУ.....	66
2.6 Електрична принципова схема автоматизованої системи керування ВЕУ.....	67
2.7 Розрахунок економічної ефективності впровадження системи	68
Висновки до розділу 2.....	71
3 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ	72
3.1 Аналіз умов експлуатації автоматизованої вітроелектричної установки.....	72
3.1.1 Загальна характеристика вітроенергетичної системи	73
3.1.2 Особливості роботи обслуговуючого персоналу.....	74
3.1.3 Нормативні вимоги до безпечної експлуатації ВЕУ	75
3.2 Ідентифікація виробничих небезпек при роботі ВЕУ	76
3.2.1 Механічні небезпеки	76
3.2.2 Електротехнічні ризики	77
3.2.3 Вплив природних факторів.....	78
3.2.4 Психофізіологічні ризики.....	78
3.3 Технічні та організаційні заходи безпеки	79
3.3.1 Безпечна експлуатація вітротурбіни	80
3.3.2 Захист персоналу від електричних небезпек.....	80
3.3.3 Безпека під час технічного обслуговування	81
3.4 Забезпечення комфортних та ергономічних умов праці	82
3.4.1 Організація операторського пункту.....	83
3.4.2 Режими праці персоналу	83
3.5 Оцінка ризиків та інженерний розрахунок безпеки	84
3.5.1 Аналіз ризиків експлуатації ВЕУ	85
3.5.2 Розрахунок системи блискавкозахисту.....	86
3.5.3 Оцінка ефективності захисних заходів	88

3.5.4 Висновки за результатами розрахунку	89
Висновки до розділу 3	90
ВИСНОВКИ	92
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	94

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть питання забезпечення людства енергетичними ресурсами набуває все більшого значення. Постійне зростання споживання електроенергії, виснаження традиційних запасів палива та необхідність зменшення негативного впливу на навколишнє середовище спонукають до активного впровадження відновлюваних джерел енергії. Серед них особливе місце займає вітроенергетика, яка дозволяє отримувати електричну енергію без спалювання викопного палива та суттєвих викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Сьогодні вітроелектричні установки використовуються як у складі великих вітроенергетичних парків, так і для автономного електропостачання окремих будівель, фермерських господарств, промислових об'єктів та віддалених населених пунктів. Розвиток сучасних технологій дозволив значно підвищити ефективність вітроелектричних установок, збільшити термін їх експлуатації та забезпечити стабільну роботу навіть за умов змінної швидкості вітру.

Разом із тим ефективність роботи будь-якої вітроелектричної установки залежить не лише від її механічної конструкції чи характеристик генератора. Важливу роль відіграє система керування, яка повинна постійно контролювати параметри роботи обладнання, своєчасно реагувати на зміну погодних умов та забезпечувати безпечну експлуатацію всієї установки. За відсутності належного контролю навіть незначні відхилення режимів роботи можуть призводити до зниження ефективності генерації електроенергії, прискореного зношування обладнання або виникнення аварійних ситуацій.

Особливістю вітроелектричних установок є те, що основне джерело енергії має нестабільний характер. Швидкість та напрямок вітру постійно

змінюються, що безпосередньо впливає на режими роботи генератора та вироблення електричної енергії. Саме тому сучасні вітроелектричні установки практично неможливо уявити без використання автоматизованих систем керування. Такі системи дозволяють здійснювати безперервний контроль параметрів роботи установки, автоматично керувати виконавчими механізмами, виконувати захист обладнання та забезпечувати дистанційний моніторинг роботи об'єкта.

Автоматизація процесів керування є одним із головних напрямків розвитку сучасної вітроенергетики. Використання програмованих логічних контролерів, інтелектуальних датчиків та засобів диспетчерського контролю дозволяє значно підвищити надійність роботи обладнання та мінімізувати участь людини у процесі керування. Крім того, автоматизовані системи створюють можливість накопичення та аналізу даних про роботу установки, що дозволяє своєчасно виявляти несправності та підвищувати загальну ефективність експлуатації.

Актуальність теми роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності використання вітрової енергії шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації. Розробка автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою дозволяє забезпечити оптимальні режими роботи обладнання, підвищити надійність функціонування системи, зменшити втрати електроенергії та покращити умови експлуатації установки.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою для ЧНУ імені Петра Могили із використанням сучасних технічних засобів автоматизації, що забезпечить контроль основних параметрів роботи, підвищення ефективності генерації електроенергії та реалізацію функцій дистанційного моніторингу.

Об'єктом дослідження є вітроелектрична установка як джерело відновлювальної енергії.

Предметом дослідження є автоматизована система керування вітроелектричною установкою, яка забезпечує контроль, регулювання та захист технологічного обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку вітроенергетики та особливості функціонування вітроелектричних установок.
2. Дослідити існуючі підходи до автоматизованого керування вітроелектричними установками.
3. Сформулювати функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи керування.
4. Розробити структуру автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.
5. Виконати вибір технічних засобів автоматизації для реалізації системи.
6. Розробити алгоритм роботи автоматизованої системи керування.
7. Розробити функціональну та електричну принципову схеми системи.
8. Передбачити можливість дистанційного моніторингу параметрів роботи вітроелектричної установки.
9. Виконати оцінку економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених технічних рішень під час створення або модернізації систем керування вітроелектричними установками малої потужності, призначеними для автономного або резервного електропостачання споживачів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Сучасний стан розвитку вітроенергетики

У сучасному світі важко уявити будь-яку сферу діяльності без використання електричної енергії. Електроенергія необхідна для роботи промислових підприємств, транспорту, засобів зв'язку та побутового обладнання. З кожним роком потреби людства в енергетичних ресурсах продовжують зростати, що змушує шукати нові способи виробництва електричної енергії.

Тривалий час основою світової енергетики залишалися традиційні джерела енергії, такі як вугілля, нафта та природний газ. Проте їх використання супроводжується значним впливом на навколишнє середовище. Крім того, запаси викопного палива не є безмежними, тому питання пошуку альтернативних джерел енергії з кожним роком стає все більш актуальним.

Одним із напрямків вирішення даної проблеми стало використання відновлюваних джерел енергії. До них відносяться сонячна енергія, енергія води, біомаса та енергія вітру. Серед перелічених варіантів саме вітроенергетика сьогодні вважається одним із найбільш перспективних напрямків розвитку енергетичної галузі.

Використання енергії вітру має досить тривалу історію. Ще багато століть тому люди використовували вітряки для помелу зерна та перекачування води. З розвитком науки і техніки з'явилася можливість використовувати енергію повітряних потоків для виробництва електричної енергії. Саме так почали з'являтися перші вітроелектричні установки, конструкція яких постійно вдосконалювалася.

Сьогодні вітроенергетика є однією з галузей, що найбільш активно розвиваються у світі. У багатьох країнах будуються великі вітроелектричні станції, які забезпечують електроенергією цілі регіони. На рисунку 1.1 наведено приклад сучасного вітропарку, що використовується для промислового виробництва електроенергії [1].

Відповідно до інформації Української вітроенергетичної асоціації, вітроенергетика залишається одним із ключових напрямів розвитку відновлюваної енергетики як у світі, так і в Україні [2].



Рисунок 1.1 – Сучасний вітропарк [1]

Як видно з рисунка 1.1, сучасні вітроелектростанції можуть складатися з великої кількості окремих вітроелектричних установок, об'єднаних в єдину енергетичну систему. Такі об'єкти дозволяють виробляти значні обсяги електричної енергії та частково замінювати традиційні джерела генерації.

Варто зазначити, що розвиток вітроенергетики пов'язаний не лише з будівництвом великих вітроелектростанцій. Останніми роками все більшої популярності набувають вітроелектричні установки малої потужності. Подібні установки можуть використовуватися для електропостачання приватних будинків, фермерських господарств, невеликих виробничих підприємств та інших об'єктів, де необхідне автономне або резервне джерело електроенергії.

На рисунку 1.2 наведено приклад сучасної вітроелектричної установки малої потужності [3].



Рисунок 1.2 – Вітроелектрична установка малої потужності [3]

Навіть відносно невеликі вітроелектричні установки являють собою складні технічні системи, до складу яких входять механічні, електричні та керуючі елементи. Ефективність роботи таких установок значною мірою залежить від погодних умов, насамперед від швидкості та напрямку вітру.

На відміну від традиційних електростанцій, де процес виробництва електроенергії можна досить легко контролювати, робота вітроелектричної установки постійно залежить від зовнішніх факторів. Швидкість вітру протягом доби може змінюватися багато разів, що безпосередньо впливає на кількість виробленої електричної енергії. Саме тому під час експлуатації вітроелектричних установок особливого значення набувають системи контролю та керування.

Сучасні вітроелектричні установки оснащуються різноманітними датчиками, які дозволяють контролювати параметри навколишнього середовища та режим роботи обладнання. На основі отриманої інформації система керування приймає рішення щодо подальшої роботи установки. Це дозволяє підвищити ефективність виробництва електроенергії, зменшити навантаження на обладнання та забезпечити безпечну експлуатацію системи.

Не менш важливим напрямком розвитку є використання технологій дистанційного моніторингу. Завдяки сучасним засобам автоматизації оператор може контролювати роботу вітроелектричної установки, отримувати інформацію про її стан та своєчасно реагувати на можливі несправності. Такий підхід дозволяє значно підвищити надійність роботи обладнання та зменшити витрати на його обслуговування.

Для України розвиток вітроенергетики також має важливе значення. Наявність територій із достатнім вітровим потенціалом створює сприятливі умови для впровадження вітроелектричних установок як у промисловому секторі, так і для потреб окремих споживачів. Використання відновлюваних джерел енергії сприяє підвищенню енергетичної незалежності держави та дозволяє більш ефективно використовувати природні ресурси.

За даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, використання відновлюваних джерел енергії, зокрема енергії вітру, є одним із перспективних напрямів підвищення енергетичної незалежності держави та зменшення залежності від традиційних енергоресурсів [4].

Отже, можна зробити висновок, що вітроенергетика продовжує активно розвиватися та поступово займає важливе місце серед інших відновлюваних джерел енергії. Зростання кількості вітроелектричних установок вимагає підвищення ефективності їх роботи та забезпечення надійної експлуатації обладнання. Одним із шляхів вирішення цього завдання є впровадження сучасних автоматизованих систем керування, які дозволяють контролювати основні параметри роботи установки та своєчасно реагувати на зміну зовнішніх умов. Саме питання автоматизації процесів керування вітроелектричними установками буде розглянуто в наступних підрозділах роботи.

1.2 Конструкція та принцип роботи вітроелектричних установок

Як було зазначено в попередньому підрозділі, вітроелектричні установки сьогодні широко використовуються як для промислового виробництва електроенергії, так і для автономного електропостачання окремих споживачів. Незважаючи на відмінності у потужності та конструктивному виконанні, принцип роботи більшості сучасних вітроелектричних установок залишається однаковим.

Основним призначенням вітроелектричної установки є перетворення кінетичної енергії повітряного потоку в електричну енергію, придатну для подальшого використання споживачем. Для виконання цього завдання установка складається з декількох взаємопов'язаних вузлів, кожен з яких виконує власну функцію.

На рисунку 1.3 наведено загальний вигляд сучасної вітроелектричної установки [5].



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд сучасної вітроелектричної установки [5]

Основними елементами вітроелектричної установки є ротор з лопатями, гондола, генератор, щогла, система орієнтації на вітер та система керування. У процесі роботи всі ці елементи взаємодіють між собою та забезпечують виробництво електроенергії.

Робота установки починається з впливу повітряного потоку на лопаті ротора. Під дією вітру ротор починає обертатися, перетворюючи кінетичну енергію повітряних мас у механічну енергію обертання. Отриманий обертальний момент передається на вал генератора, де відбувається виробництво електричної енергії.

Варто зазначити, що ефективність роботи установки значною мірою залежить від конструкції ротора. Саме лопаті відповідають за сприйняття енергії вітру та її подальше перетворення. Тому під час проектування

вітроелектричних установок особлива увага приділяється формі, розмірам та матеріалу виготовлення лопатей.

На рисунку 1.4 наведено основні елементи вітроелектричної установки.

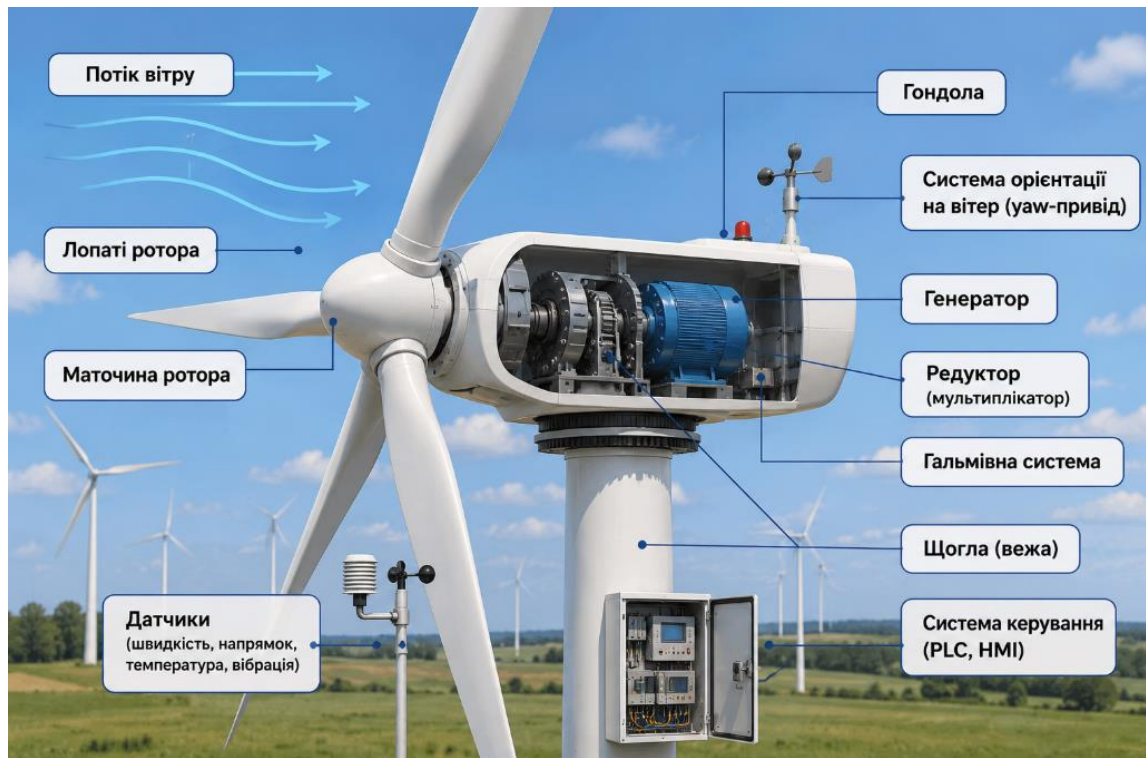


Рисунок 1.4 – Основні елементи вітроелектричної установки

До складу гондоли, яка розташовується у верхній частині щогли, зазвичай входять генератор, механізми передачі обертального руху, гальмівна система та елементи автоматизованого керування. Саме в гондолі зосереджена більшість обладнання, що забезпечує роботу установки.

Щогла виконує функцію опорної конструкції та забезпечує підняття ротора на необхідну висоту. Чим вище розташована вітроелектрична установка, тим стабільнішими зазвичай є повітряні потоки та тим ефективніше використовується енергія вітру.

Принцип перетворення енергії у вітроелектричній установці наведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Структурна схема перетворення енергії у вітроелектричній установці (розроблена автором КБР)

Як видно з рисунка 1.5, спочатку енергія вітру перетворюється на механічну енергію обертання ротора. Після цього генератор здійснює перетворення механічної енергії на електричну. Отримана електроенергія надходить до силових перетворювачів, де відбувається стабілізація її параметрів та підготовка до подальшого використання споживачем або передачі до електричної мережі.

Не можна також забувати, що робота вітроелектричної установки відбувається в умовах постійної зміни швидкості та напрямку вітру. Саме тому сучасні установки обладнуються системами автоматичного керування, які забезпечують контроль основних параметрів роботи та підтримують необхідні режими функціонування обладнання.

Таким чином, вітроелектрична установка являє собою складну технічну систему, у якій механічні, електричні та керуючі елементи працюють як єдине ціле. Розуміння конструкції та принципу роботи установки є необхідною умовою для подальшого аналізу параметрів, що підлягають контролю та керуванню.

1.3 Існуючі ВЕУ малої потужності

На сучасному ринку представлена значна кількість вітроенергетичних установок малої потужності, які використовуються для електропостачання приватних будинків, фермерських господарств та невеликих виробничих об'єктів. Основними перевагами таких установок є автономність роботи, використання відновлюваних джерел енергії та відносно невисока вартість експлуатації.

Згідно з матеріалами Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, установки малої потужності можуть ефективно використовуватися для автономного електропостачання приватних будинків, фермерських господарств та інших віддалених об'єктів [6].

Однією з поширених установок є Aeolos-H 5 kW [7], яка призначена для автономного та резервного електропостачання. Установа обладнана трилопатеvim ротором горизонтальної осі та забезпечує стабільну роботу при середніх швидкостях вітру.

Вітроустановка Vornau 6000 [8] виробництва Іспанії має номінальну потужність 6 кВт та характеризується високою надійністю і низьким рівнем шуму. Установа широко використовується для енергозабезпечення віддалених об'єктів.

До більш потужних систем належить Eocycle EO10 [9], номінальна потужність якої становить 10 кВт. Особливістю даної установки є використання безредукторного генератора та сучасної системи керування, що забезпечує високий коефіцієнт корисної дії.

Ще одним представником даного класу є Bergey Excel 10 [10] потужністю 10 кВт. Установа використовується як для автономного, так і для

мережевого режиму роботи та характеризується високою ефективністю перетворення енергії вітру.

Основні технічні характеристики розглянутих вітроенергетичних установок наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика існуючих вітроенергетичних установок малої потужності

Параметр	Aeolos-H 5 kW	Bornay 6000	Eocycle EO10	Bergey Excel 10
Потужність, кВт	5	6	10	10
Тип ротора	Горизонтальний	Горизонтальний	Горизонтальний	Горизонтальний
Діаметр ротора, м	5,6	5,5	7,2	7,0
Швидкість запуску, м/с	3	2,5	2,8	2,5
Швидкість вітру, м/с	10	11	10	11
Висота щогли, м	12–18	12–24	18–30	18–37
Країна виробник	Китай	Іспанія	Канада	США

Аналіз існуючих ВЕУ малої потужності показав, що найбільш поширеними є установки з горизонтальною віссю обертання та трилопатеvim

ротором. Номінальна потужність розглянутих установок знаходиться в межах від 5 до 10 кВт, що відповідає потребам автономного електропостачання невеликих об'єктів. Отримані результати були враховані під час розроблення автоматизованої системи керування вітроенергетичною установкою.

1.4 Аналіз параметрів, що підлягають контролю та керуванню у ВЕУ

Як вже було зазначено, робота вітроелектричної установки значною мірою залежить від умов навколишнього середовища. На відміну від більшості традиційних енергетичних установок, де режими роботи можуть залишатися практично незмінними протягом тривалого часу, у вітроенергетиці ситуація постійно змінюється. Саме тому для забезпечення стабільної та безпечної роботи установки необхідно здійснювати безперервний контроль основних параметрів її функціонування.

Під час експлуатації вітроелектричної установки система керування повинна отримувати інформацію як про стан зовнішнього середовища, так і про параметри роботи самого обладнання. Отримані дані використовуються для прийняття рішень щодо вибору режиму роботи установки, керування виконавчими механізмами та забезпечення захисту обладнання.

На рисунку 1.6 наведено основні параметри, що підлягають контролю у вітроелектричній установці.

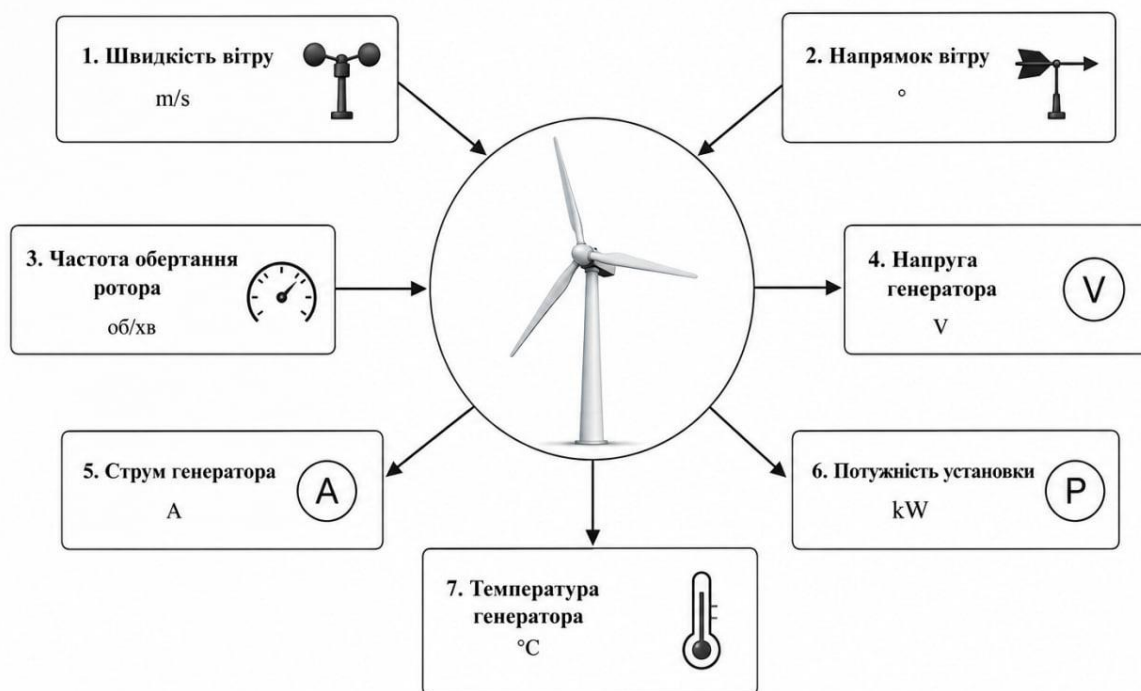


Рисунок 1.6 – Основні параметри, що контролюються у ВЕУ (розроблена автором КБР)

Одним із найважливіших параметрів є **швидкість вітру**. Саме від неї залежить кількість енергії, яку може отримати вітроелектрична установка. При недостатній швидкості вітру вироблення електроенергії стає неможливим або економічно недоцільним. У випадку надмірного посилення вітру виникає ризик перевантаження механічних елементів конструкції, тому система керування повинна своєчасно реагувати на такі ситуації.

Не менш важливим параметром є **напрямок вітру**. Для максимально ефективного використання енергії повітряного потоку ротор установки повинен бути орієнтований у напрямку вітру. З цією метою у сучасних вітроелектричних установках використовуються спеціальні системи орієнтації, робота яких залежить від інформації, отриманої від відповідних датчиків.

Під час роботи установки також необхідно контролювати **частоту обертання ротора**. Занадто низька швидкість обертання призводить до зменшення вироблення електроенергії, тоді як надмірне збільшення обертів може стати причиною аварійної ситуації або пошкодження обладнання.

Оскільки основним джерелом електричної енергії у складі установки є генератор, важливого значення набуває контроль його електричних параметрів. До таких параметрів відносяться **напруга, струм та потужність**. Контроль зазначених величин дозволяє оцінювати ефективність роботи установки та своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи.

Під час тривалої експлуатації значне навантаження припадає на механічні та електричні вузли установки. З цієї причини важливо здійснювати контроль **температури генератора**, силових перетворювачів та інших відповідальних елементів. Перегрів обладнання може призвести до зниження ресурсу роботи або виникнення несправностей.

Окрім контролю параметрів, система керування повинна забезпечувати виконання певних керуючих дій. До них належить поворот гондоли за напрямком вітру, керування гальмівною системою, регулювання режимів роботи силових перетворювачів та виконання захисних функцій у разі виникнення аварійних ситуацій.

Для реалізації зазначених функцій у складі сучасних вітроелектричних установок використовується значна кількість датчиків та виконавчих механізмів. На рисунку 1.7 наведено розроблену автором бакалаврської роботи схему взаємодії основних засобів контролю та системи керування.

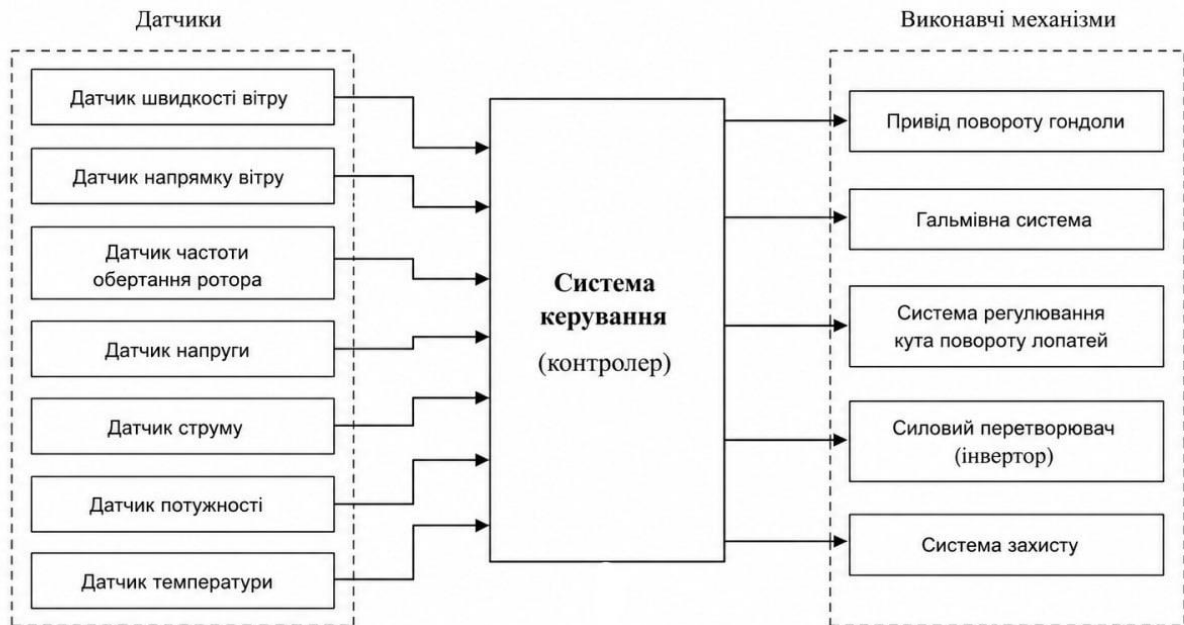


Рисунок 1.7 – Схема взаємодії датчиків та системи керування ВЕУ
 (розроблена автором КБР)

Інформація від датчиків надходить до контролера, де виконується її обробка та аналіз. Після цього система керування формує необхідні керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Такий підхід дозволяє автоматично підтримувати необхідні режими роботи установки без постійного втручання оператора.

Отже, для ефективної роботи вітроелектричної установки необхідно забезпечити контроль значної кількості параметрів, які характеризують як стан навколишнього середовища, так і режими роботи самого обладнання. Саме ці параметри надалі визначають склад технічних засобів автоматизації та вимоги до системи керування вітроелектричною установкою.

1.5 Аналіз сучасних систем керування вітроелектричними установками

Як було встановлено в попередньому підрозділі, ефективна робота вітроелектричної установки неможлива без постійного контролю її основних параметрів. Саме тому важливе місце в складі сучасних ВЕУ займають

системи керування, які забезпечують контроль режимів роботи обладнання, захист від аварійних ситуацій та підтримання необхідних умов експлуатації.

Перші вітроелектричні установки не мали складних систем автоматизації. Більшість операцій виконувалася безпосередньо оператором, який контролював роботу обладнання та приймав рішення щодо його подальшої експлуатації. Проте зі збільшенням потужності установок та ускладненням їх конструкції виникла необхідність у впровадженні більш досконалих засобів керування.

На рисунку 1.8 наведено класифікацію систем керування вітроелектричними установками.



Рисунок 1.8 – Класифікація систем керування ВЕУ (розроблена автором КБР)

До ручних систем керування відносяться системи, у яких більшість операцій виконується оператором без використання автоматизованих засобів. Такі рішення сьогодні зустрічаються досить рідко та переважно

використовуються у навчальних, експериментальних або застарілих установках.

Напівавтоматичні системи керування передбачають часткову автоматизацію окремих процесів. У цьому випадку система може самостійно виконувати контроль деяких параметрів або реалізовувати захисні функції, однак прийняття основних рішень залишається за оператором.

Найбільшого поширення на сьогодні набули автоматизовані системи керування. Вони забезпечують безперервний контроль роботи обладнання та дозволяють значно зменшити участь людини у процесі керування. Завдяки цьому підвищується ефективність роботи установки, зменшується ймовірність помилок оператора та покращується надійність функціонування системи в цілому.

Розвиток систем керування вітроелектричними установками відбувався поступово. У міру розвитку електроніки та засобів автоматизації з'являлися нові можливості для контролю та обробки інформації, що дозволило значно підвищити ефективність роботи вітроенергетичного обладнання.

Еволюцію систем керування вітроелектричними установками наведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Еволюція систем керування ВЕУ (розроблена автором КБР)

На початковому етапі використовувалися переважно ручні способи керування, які вимагали постійного контролю з боку персоналу. Подальший розвиток технічних засобів дозволив перейти до напівавтоматичних систем, у яких частина функцій виконувалася автоматично. Сучасний етап розвитку характеризується широким використанням автоматизованих систем керування та засобів дистанційного моніторингу.

Однією з головних функцій сучасних систем керування є контроль параметрів навколишнього середовища. На основі інформації про швидкість та напрямок вітру система визначає найбільш доцільний режим роботи установки та забезпечує її ефективне функціонування.

Не менш важливим завданням є контроль технічного стану обладнання. Під час роботи здійснюється моніторинг електричних та механічних параметрів установки, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Окремої уваги заслуговують функції захисту обладнання. У разі виникнення небезпечних режимів роботи система керування повинна забезпечити своєчасне реагування та вжити необхідних заходів для запобігання пошкодженню елементів установки.

Отримані дані можуть використовуватися для оцінки ефективності роботи обладнання, планування технічного обслуговування та підвищення надійності функціонування всієї системи.

Сучасні системи керування є невід'ємною складовою вітроелектричних установок. Їх використання дозволяє забезпечити ефективну, безпечну та надійну роботу обладнання, а також створює умови для подальшого розвитку вітроенергетичних технологій.

1.6 Формування вимог до автоматизованої системи керування ВЕУ

1.6.1 Функціональні вимоги

Проведений аналіз конструкції вітроелектричних установок, параметрів їх роботи та існуючих систем керування дозволяє сформулювати основні вимоги до автоматизованої системи керування, що розробляється в межах даної роботи. Майбутня система повинна забезпечувати ефективне керування

обладнанням, контроль його технічного стану та підтримання безпечних режимів роботи за різних умов експлуатації.

До основних функціональних вимог можна віднести такі:

1. Безперервний контроль параметрів роботи. Система повинна здійснювати постійний контроль швидкості та напрямку вітру, частоти обертання ротора, електричних параметрів генератора та інших характеристик, необхідних для оцінки стану вітроелектричної установки.

2. Автоматичне реагування на зміну режимів роботи. У разі зміни зовнішніх умов система повинна своєчасно змінювати режими роботи обладнання та забезпечувати підтримання необхідних експлуатаційних параметрів.

3. Захист обладнання від аварійних ситуацій. Система повинна забезпечувати виявлення небезпечних режимів роботи та виконувати необхідні захисні дії для запобігання пошкодженню обладнання.

4. Контроль технічного стану установки. Автоматизована система повинна здійснювати контроль параметрів, які характеризують стан основних вузлів вітроелектричної установки та дозволяють своєчасно виявляти можливі несправності.

5. Реєстрація та збереження інформації. Система повинна забезпечувати накопичення даних про режими роботи обладнання для подальшого аналізу та оцінки ефективності функціонування установки.

6. Можливість дистанційного моніторингу. Оператор повинен мати можливість отримувати інформацію про роботу вітроелектричної установки без необхідності постійного перебування безпосередньо на об'єкті.



Рисунок 1.10 – Основні функціональні вимоги до системи керування ВЕУ
(розроблена автором КБР)

1.6.2 Технічні вимоги

Окрім виконання необхідних функцій керування та контролю, розроблювана система повинна відповідати ряду технічних вимог. Від правильності вибору технічних засобів залежить надійність роботи всієї системи, можливість її подальшого розвитку та ефективність експлуатації в реальних умовах.

До основних технічних вимог автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою належать:

1. Надійність. Система повинна забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу без втрати працездатності. Усі елементи системи мають бути розраховані на роботу в умовах можливих коливань температури, вологості та інших зовнішніх факторів.

2. Швидкодія. Система повинна своєчасно реагувати на зміну параметрів роботи вітроелектричної установки. Особливо важливим є швидке реагування у випадках різкого збільшення швидкості вітру або виникнення аварійних режимів роботи.

3. Точність вимірювання параметрів. Засоби контролю повинні забезпечувати достатню точність вимірювання швидкості вітру, напрямку повітряного потоку, електричних параметрів та інших контрольованих величин. Похибки вимірювань можуть призводити до неправильного вибору режимів роботи обладнання.

4. Масштабованість. Конструкція системи повинна передбачати можливість підключення додаткових датчиків, виконавчих механізмів або засобів моніторингу без необхідності суттєвої зміни її структури.

5. Простота обслуговування. Система повинна бути зручною для налаштування, діагностики та технічного обслуговування. У разі виникнення несправностей повинна забезпечуватися можливість швидкого виявлення причин відмови та їх усунення.

6. Енергоефективність. Технічні засоби автоматизації повинні споживати мінімальну кількість електроенергії та не створювати значного додаткового навантаження на систему електропостачання вітроелектричної установки.

7. Сумісність обладнання. Усі елементи системи повинні забезпечувати можливість спільної роботи та обміну інформацією між собою. Це дозволяє створити єдину систему керування та забезпечити її стабільне функціонування.

8. Можливість модернізації. Під час розробки системи необхідно враховувати можливість подальшого вдосконалення її структури. За необхідності повинна існувати можливість заміни окремих компонентів або розширення функціональних можливостей без повного перепроєктування системи.

9. Безпека експлуатації. Система повинна забезпечувати безпечну роботу обладнання та захист персоналу від можливих небезпечних ситуацій. У разі виникнення аварійних режимів повинні автоматично виконуватися дії, спрямовані на запобігання пошкодженню обладнання.

10. Стійкість до зовнішніх впливів. Оскільки вітроелектричні установки переважно працюють під відкритим небом, технічні засоби системи керування повинні зберігати працездатність під впливом атмосферних опадів, пилю, перепадів температури та вібраційних навантажень.

Наведені вимоги будуть використані під час вибору технічних засобів та розробки структури автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою. На їх основі виконуватиметься обґрунтування складу обладнання та формування функціональної схеми системи, що розглядається у наступному розділі.

1.7 Розгляд патентної інформації

Патент № 82741. Вітроелектрична установка ВЕУ [11]

Показник	Значення
Номер патенту	82741
Код документа	C2
Номер заявки	a200606503
Дата подання заявки	13.06.2006
Дата публікації патенту	12.05.2008
Індекс МПК	F03D1/00; F03D7/04; F03D9/00
Назва винаходу	Вітроелектрична установка ВЕУ

Заявник	Майборода Георгій Олександрович
Винахідник	Майборода Георгій Олександрович
Власник	Майборода Георгій Олександрович

Даний патент відноситься до галузі вітроенергетики та призначений для виробництва електричної енергії за рахунок використання енергії вітру. Конструкція установки містить трилопатевий вітродвигун з горизонтальною віссю обертання, двоступеневий редуктор та електрогенератор.

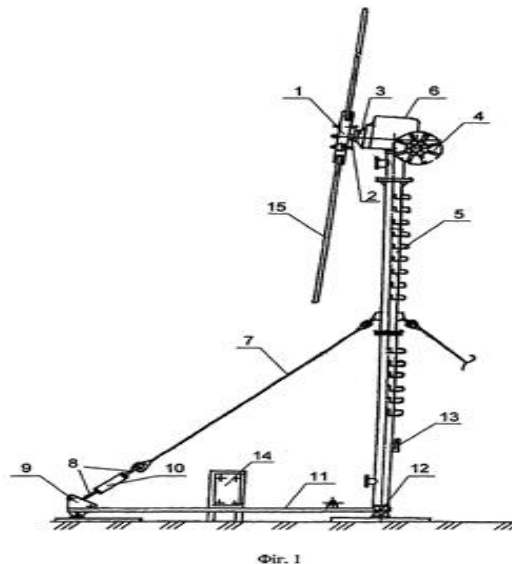


Рисунок 1.11 – Загальний вигляд установки

Особливістю даного технічного рішення (рис. 1.11) є наявність пристрою орієнтації на вітер, відцентрового аеродинамічного регулятора кутової швидкості та блоку керування генератором. Використання зазначених елементів дозволяє забезпечити більш стабільну роботу установки за різних швидкостей вітру та підвищити ефективність виробництва електроенергії.

До переваг розглянутого патенту можна віднести автоматичну орієнтацію вітродвигуна за напрямком вітру, наявність системи регулювання швидкості обертання ротора та використання блоку керування електрогенератором. Це дозволяє підвищити надійність роботи установки та покращити її експлуатаційні характеристики.

Незважаючи на наявність елементів автоматичного регулювання, основна увага в даному винаході приділяється конструкції вітроелектричної установки. Питання комплексного контролю параметрів роботи та дистанційного моніторингу розглянуті лише частково.

Патент № 162271. Вітроустановка з гідравлічним перетворювачем енергії
 [12]

Показник	Значення
Номер патенту	162271
Код документа	U
Номер заявки	u202502234
Дата подання заявки	13.05.2025
Дата публікації патенту	11.03.2026
Індекс МПК	F03D1/02
Назва корисної моделі	Вітроустановка з гідравлічним перетворювачем енергії

Заявник	Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Винахідник	Журавель Дмитро Павлович
Власник	Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Дана корисна модель належить до галузі вітроенергетики та призначена для перетворення енергії вітру в електричну енергію. Особливістю запропонованого технічного рішення є використання гідравлічного перетворювача енергії, який забезпечує передачу енергії від вітродвигуна до генератора.

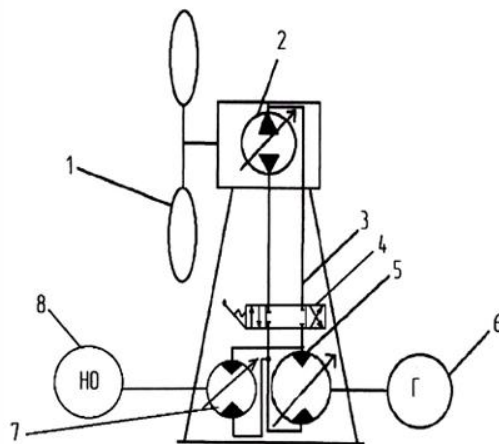


Рисунок 1.12 – Загальний вигляд пристрою

Запропонована конструкція (рис. 1.12) дозволяє підвищити ефективність використання енергії вітру та забезпечити більш стабільну роботу установки за змінних режимів навантаження. Використання гідравлічної системи також

створює можливість більш гнучкого регулювання режимів роботи вітроустановки.

До переваг даного технічного рішення можна віднести підвищення ефективності передачі енергії, можливість роботи при змінних швидкостях вітру та перспективність використання у складі автономних енергетичних систем.

Запропоноване рішення дозволяє підвищити ефективність перетворення енергії, однак функції автоматизованого керування та аналізу експлуатаційних параметрів у патенті практично не розглядаються.

Патент №112368. Вітродвигун [13]

Показник	Значення
Номер патенту	112368
Код документа	C2
Номер заявки	a201501365
Дата подання заявки	18.02.2015
Дата публікації патенту	25.08.2016
Індекс МПК	F03D1/06; F03D7/02
Назва винаходу	Вітродвигун
Заявник	Одеський національний політехнічний університет
Винахідник	Оборський Генадій Олександрович

Власник	Одеський національний політехнічний університет
---------	--

Даний винахід належить до галузі вітроенергетики та призначений для перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ротора. Основною метою розробки є підвищення ефективності використання енергії повітряного потоку та покращення аеродинамічних характеристик вітродвигуна.

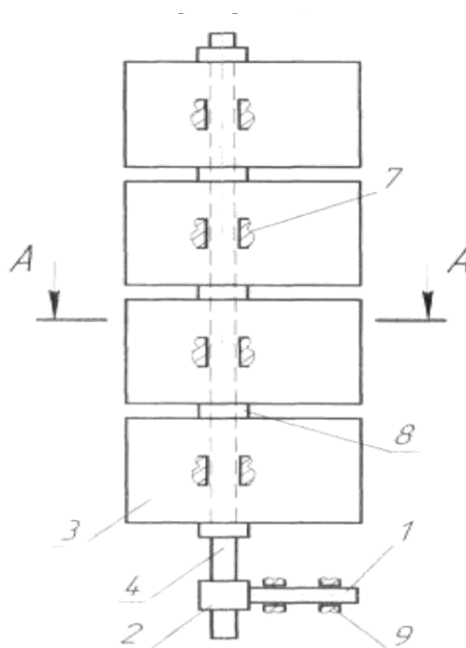


Рисунок 1.13 – Конструкція корисної моделі.

Запропоноване технічне рішення (рис. 1.13) передбачає вдосконалення конструкції робочих лопатей та елементів ротора, що дозволяє підвищити ефективність роботи установки при різних швидкостях вітру. Використання даної конструкції сприяє збільшенню коефіцієнта використання енергії вітру та покращенню експлуатаційних характеристик обладнання.

До переваг винаходу можна віднести підвищення ефективності роботи вітродвигуна, покращення аеродинамічних характеристик та можливість використання в складі сучасних вітроелектричних установок різної потужності.

Розробка спрямована насамперед на вдосконалення аеродинамічних характеристик вітродвигуна. При цьому питання автоматизації процесів контролю та керування роботою установки залишаються поза межами запропонованого технічного рішення.

1.8 Завдання на проєктування

Спираючись на результати проведеного аналізу, було визначено основні завдання проєктування автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою:

1. Проаналізувати особливості роботи та принципи функціонування вітроелектричних установок малої потужності..
2. Виконати вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації для побудови системи керування вітроелектричною установкою.
3. Виконати вибір та обґрунтування засобів контролю основних параметрів роботи вітроелектричної установки. Обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації.
4. Розробити структурну та функціональну схеми автоматизованої системи керування ВЕУ.
5. Розробити електричну принципову схему системи керування з урахуванням підключення датчиків та виконавчих механізмів.
6. Розробити алгоритм роботи автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.

7. Забезпечити контроль основних параметрів роботи вітроелектричної установки та формування керуючих впливів на виконавчі механізми.
8. Передбачити можливість віддаленого моніторингу параметрів роботи ВЕУ засобами мережевої взаємодії.
9. Виконати оцінку економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Висновки до розділу 1

1. Досліджено особливості роботи вітроелектричних установок та розглянуто основні напрямки використання енергії вітру для виробництва електричної енергії.
2. Проаналізовано конструкцію та принцип роботи вітроелектричної установки, визначено основні елементи обладнання та їх функції.
3. Визначено параметри, що підлягають контролю та керуванню під час роботи вітроелектричної установки.
4. Проаналізовано сучасні системи керування вітроелектричними установками та основні напрямки їх розвитку.
5. Сформовано функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.
6. Проведено аналіз патентної інформації та розглянуто існуючі технічні рішення у сфері вітроенергетики.
7. Сформовано завдання на проєктування автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.

2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕУ В ЧНУ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

2.1 Розробка структури автоматизованої системи керування ВЕУ в ЧНУ імені Петра Могили

Одним із основних етапів проєктування автоматизованої системи керування є розробка її структури. Від правильно побудованої структури залежить ефективність взаємодії між засобами контролю, пристроями обробки інформації та виконавчими механізмами, які забезпечують роботу вітроелектричної установки.

Розроблювана система призначена для контролю параметрів роботи ВЕУ, автоматичного реагування на зміну зовнішніх умов та забезпечення безпечної експлуатації обладнання в ЧНУ імені Петра Могили. Для виконання зазначених функцій система повинна здійснювати збір інформації від датчиків, аналізувати отримані дані та формувати керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

На рисунку 2.1 наведено структурну схему автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

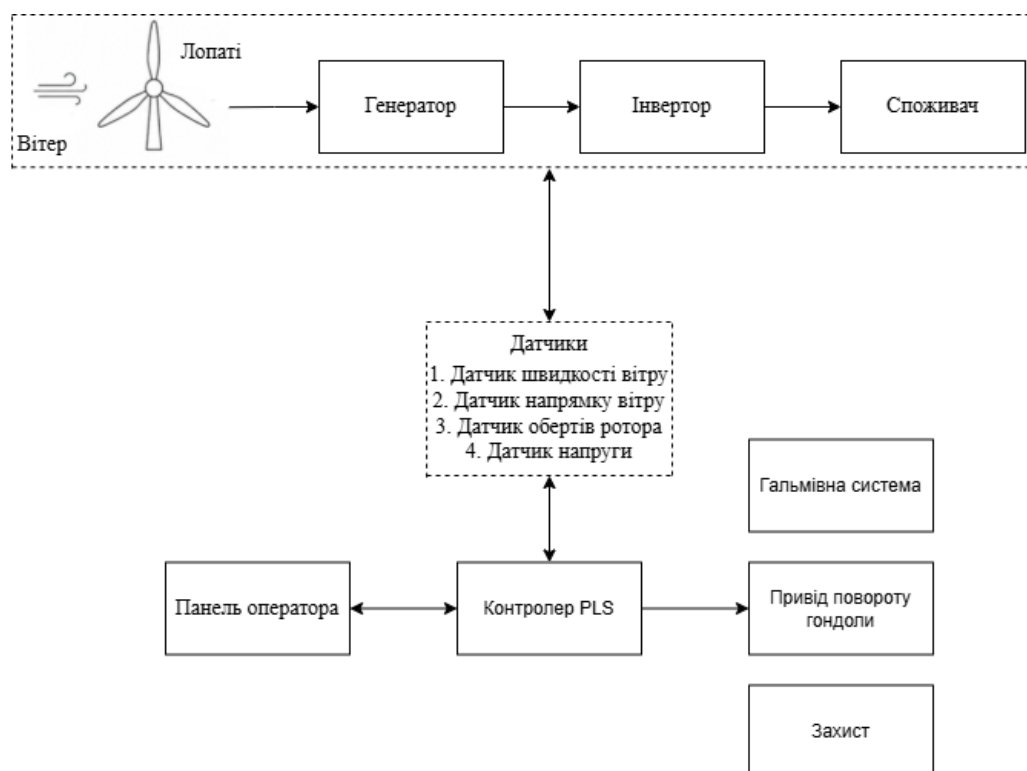


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи керування ВЕУ
(розроблена автором КБР)

До складу системи входять датчики контролю параметрів роботи установки. Для визначення швидкості повітряного потоку використовується анемометр, а для контролю напрямку вітру – датчик напрямку вітру. Контроль механічної частини установки здійснюється за допомогою датчика частоти обертання ротора. Крім того, система контролює електричні параметри генератора, зокрема напругу та струм.

Інформація від усіх датчиків надходить до програмованого логічного контролера, який є центральним елементом системи керування. Контролер виконує обробку отриманих даних, аналізує поточний режим роботи установки та формує необхідні керуючі сигнали.

Для забезпечення ефективної роботи ВЕУ до складу системи включено виконавчі механізми. Привід повороту гондоли забезпечує орієнтацію

установки відповідно до напрямку вітру, що дозволяє підвищити ефективність використання енергії повітряного потоку. Гальмівна система використовується для захисту обладнання у випадку виникнення небезпечних режимів роботи або надмірного збільшення швидкості вітру.

Для контролю роботи системи та відображення поточних параметрів передбачено використання панелі оператора. Це дозволяє здійснювати моніторинг роботи установки, переглядати основні параметри та отримувати повідомлення про виникнення аварійних ситуацій.

Запропонована структура забезпечує безперервний контроль параметрів роботи вітроелектричної установки, своєчасне реагування на зміну умов експлуатації та підвищення надійності функціонування обладнання. Побудова системи за таким принципом також створює можливість подальшого розширення її функціональних можливостей шляхом підключення додаткових датчиків або засобів моніторингу.

Наступним етапом проектування є обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації та визначення складу обладнання, необхідного для реалізації запропонованої структури системи керування.

2.2 Опис апаратного забезпечення системи

2.2.1 Програмований логічний контролер Siemens S7-1200

Для реалізації автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою було обрано програмований логічний контролер Siemens S7-1200 (рис. 2.2) [14].

Контролери серії Siemens S7-1200 належать до сучасних промислових засобів автоматизації та широко застосовуються для керування технологічними процесами різної складності. Завдяки високій надійності, широким комунікаційним можливостям та підтримці сучасних засобів

програмування дані контролери використовуються у промисловості, енергетиці та системах автоматизованого керування.

Контролер забезпечує обробку інформації, що надходить від датчиків швидкості та напрямку вітру, датчика обертів ротора та датчика напруги генератора. На основі отриманих даних формується керуючий вплив на виконавчі механізми системи.



Рисунок 2.2 – Контролер Siemens S7-1200 [14]

Основні технічні характеристики контролера Siemens S7-1200 наведені в таблиці 2.1 [14].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики контролера Siemens S7-1200 [14]

Характеристика	Значення
Напруга живлення	24 В DC
Кількість дискретних входів	14

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

Кількість дискретних виходів	10
Аналогові входи	2
Інтерфейс Ethernet	Є
Пам'ять програми	75 КБ
Швидкодія обробки логічних операцій	0,08 мкс
Робоча температура	від -20 до +60 °С

Контролери серії S7-1200 [14] підтримують підключення додаткових модулів введення-виведення, що дозволяє збільшувати кількість контрольованих параметрів залежно від вимог конкретного проєкту. Наявність вбудованого Ethernet-інтерфейсу забезпечує можливість організації віддаленого моніторингу та обміну даними між елементами системи.

Програмування контролера виконується у середовищі TIA Portal, яке надає широкий набір інструментів для розробки, налагодження та обслуговування систем автоматизації. Використання даного програмного забезпечення дозволяє реалізовувати алгоритми будь-якої складності та забезпечує зручність подальшої модернізації системи.

Висока надійність роботи, підтримка промислових стандартів зв'язку та можливість інтеграції з панелями оператора стали основними причинами вибору контролера Siemens S7-1200 для реалізації автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.

2.2.2 Датчик швидкості вітру

Для вимірювання швидкості вітру в автоматизованій системі керування вітроелектричною установкою було обрано чашковий анемометр Focket Wind Speed Sensor (рис. 2.3) [15].

Швидкість повітряного потоку є одним із головних параметрів, що визначають ефективність роботи вітроелектричної установки. Саме від швидкості вітру залежить можливість запуску генерації електричної енергії, а також безпечність експлуатації обладнання. Для контролю цього параметра в системі використовується анемометр, який забезпечує безперервне вимірювання швидкості вітру та передачу отриманих даних до програмованого логічного контролера.

Обраний анемометр має чашкову конструкцію, що є однією з найпоширеніших у системах моніторингу погодних умов та вітроенергетичних установках. Принцип його роботи базується на обертанні чашок під дією повітряного потоку. Частота обертання прямо пропорційна швидкості вітру, що дозволяє визначати поточне значення контрольованого параметра з достатньою точністю.

Важливою перевагою даного датчика є наявність аналогового вихідного сигналу 4–20 мА, який широко використовується в промислових системах автоматизації. Завдяки цьому анемометр може бути безпосередньо підключений до аналогових входів контролера Siemens S7-1200 [14], що спрощує реалізацію системи керування та підвищує завадостійкість каналу передачі даних.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд анемометра Focket Wind Speed Sensor [15]

Основні технічні характеристики анемометра Focket Wind Speed Sensor наведені в таблиці 2.2 [15].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики анемометра Focket Wind Speed Sensor [15]

Характеристика	Значення
Модель	Focket Wind Speed Sensor
Діапазон вимірювання	0–30 м/с
Вихідний сигнал	4–20 мА
Напруга живлення	12–24 В DC
Матеріал корпусу	Алюмінієвий сплав

Робоча температура	від -40 °С до +80 °С
Ступінь захисту	IP65

Дані про швидкість вітру надходять до контролера Siemens S7-1200, де використовуються для аналізу поточного режиму роботи вітроелектричної установки. У випадку недостатньої швидкості вітру система може блокувати запуск генерації електроенергії, а при перевищенні допустимих значень швидкості формувати команди на активацію захисних механізмів.

Застосування анемометра Focket Wind Speed Sensor дозволяє забезпечити надійний контроль параметрів навколишнього середовища та підвищити ефективність роботи автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.

2.2.3 Датчик напрямку вітру

Для визначення напрямку повітряного потоку в автоматизованій системі керування вітроелектричною установкою було обрано датчик напрямку вітру CWT-SWD-A-360-I (рис. 2.4) [16].

Напрямок вітру є важливим параметром, який впливає на ефективність роботи вітроелектричної установки. Контроль даного параметра дозволяє своєчасно отримувати інформацію про зміну напрямку повітряного потоку та використовувати її під час аналізу режимів роботи установки.

Датчик CWT-SWD-A-360-I [16] являє собою флюгерний перетворювач напрямку вітру, виконаний в алюмінієвому корпусі. Конструкція датчика забезпечує надійну роботу в умовах зовнішнього середовища та дозволяє здійснювати безперервний моніторинг напрямку вітру в діапазоні від 0 до 359,9°.

Особливістю обраної моделі є наявність аналогового вихідного сигналу 4–20 мА, який широко використовується в промислових системах автоматизації. Завдяки цьому датчик може бути безпосередньо підключений до аналогових входів контролера Siemens S7-1200 [14], що забезпечує високу завадостійкість та надійність передачі даних.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд датчика напрямку вітру CWT-SWD-A-360-I [16]

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика напрямку вітру

Характеристика	Значення
Модель	CWT-SWD-A-360-I
Тип датчика	Флюгерний датчик напрямку вітру
Діапазон вимірювання	0–359,9°

Вихідний сигнал	4–20 мА
Напруга живлення	10–30 В DC
Час відгуку	≤0,5 с
Робоча температура	від -40 °С до +60 °С
Матеріал корпусу	Алюмінієвий сплав

Інформація про напрямок вітру надходить до контролера Siemens S7-1200 [14], де використовується для аналізу поточного стану вітроелектричної установки та реалізації алгоритму керування. Застосування датчика CWT-SWD-A-360-I [16] дозволяє забезпечити точне визначення напрямку повітряного потоку та підвищити ефективність функціонування автоматизованої системи керування ВЕУ.

2.2.4 Датчик обертів ротора

Для контролю швидкості обертання ротора вітроелектричної установки було обрано індуктивний датчик наближення LJ12A3-4-Z/BX [17] (рис. 2.5).

Контроль частоти обертання ротора є важливим завданням системи автоматичного керування, оскільки дозволяє оцінювати режим роботи вітроелектричної установки та своєчасно реагувати на виникнення аварійних ситуацій. Інформація про кількість обертів ротора використовується контролером для аналізу ефективності роботи установки та реалізації функцій захисту обладнання.

Індуктивний датчик LJ12A3-4-Z/BX [17] призначений для безконтактного виявлення металевих об'єктів. Принцип його роботи базується на зміні параметрів електромагнітного поля при появі металевого елемента в

зоні чутливості датчика. Під час обертання ротора спеціальна металева мітка проходить повз датчик, формуючи імпульси, кількість яких пропорційна частоті обертання.

Перевагами даного датчика є проста конструкція, висока надійність, невисока вартість та можливість роботи в складних умовах експлуатації. Завдяки цифровому виходу датчик може бути безпосередньо підключений до дискретного входу контролера Siemens S7-1200 [14].



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчика обертів ротора LJ12A3-4-Z/BX [17]

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики датчика обертів ротора

Характеристика	Значення
Модель	LJ12A3-4-Z/BX

Напруга живлення	6–36 В DC
Відстань спрацювання	4 мм
Тип виходу	NPN, нормально відкритий
Максимальна частота спрацювання	500 Гц
Матеріал корпусу	Нікельована латунь
Робоча температура	від -25 °С до +70 °С
Ступінь захисту	IP65

Дані про частоту обертання ротора надходять до контролера Siemens S7-1200, де використовуються для визначення поточного режиму роботи вітроелектричної установки. У випадку перевищення допустимих значень швидкості обертання система може формувати сигнали попередження або активувати захисні механізми відповідно до алгоритму керування.

Використання датчика LJ12A3-4-Z/BX [17] забезпечує надійний контроль швидкості обертання ротора та підвищує безпечність експлуатації вітроелектричної установки.

2.2.5 Датчик напруги генератора

Для контролю вихідної напруги генератора в автоматизованій системі керування вітроелектричною установкою було обрано перетворювач напруги TDV4117TB [18] (рис. 2.6).

Одним із основних параметрів, що характеризують режим роботи генератора, є величина вихідної напруги. Постійний контроль даного параметра дозволяє оцінювати ефективність роботи вітроелектричної

установки, контролювати стабільність генерації електричної енергії та своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи.

Перетворювач напруги TDV4117TB [18] призначений для вимірювання постійної напруги та перетворення її у стандартизований аналоговий сигнал 4–20 мА. Використання такого сигналу забезпечує високу завадостійкість та надійність передачі даних у промислових системах автоматизації. Отримані значення надходять до контролера Siemens S7-1200 [14], де використовуються для моніторингу стану генератора та реалізації алгоритмів керування.

Перевагою обраного пристрою є можливість роботи з різними діапазонами вимірюваної напруги, компактні розміри та сумісність із сучасними системами автоматизації. Завдяки гальванічній ізоляції забезпечується додатковий захист обладнання від впливу електричних перешкод та аварійних режимів.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд перетворювача напруги TDV4117TB [18]

Таблиця 2.5 – Характеристики перетворювача напруги TDV4117TB [18]

Характеристика	Значення
Модель	TDV4117TB
Тип пристрою	Перетворювач напруги постійного струму
Діапазон вхідної напруги	0–200 В DC
Вихідний сигнал	4–20 мА
Напруга живлення	24 В DC
Електрична міцність ізоляції	2,5 кВ
Робоча температура	від -10 °С до +70 °С
Коефіцієнт перевантаження	8
Матеріал корпусу	Самозагасаючий пластик UL94-V0

Інформація про величину вихідної напруги генератора передається до контролера Siemens S7-1200 [14] через аналоговий вхід. На основі отриманих даних система виконує контроль режиму роботи вітроелектричної установки, а також формує попереджувальні повідомлення у разі виникнення аварійних або нестандартних ситуацій.

Використання перетворювача напруги TDV4117TB [18] дозволяє підвищити надійність контролю параметрів генератора та забезпечити стабільну роботу автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою.

2.2.6 Засоби віддаленого моніторингу системи

Для забезпечення контролю параметрів роботи вітроелектричної установки в проєкті передбачено використання засобів віддаленого моніторингу на базі персонального комп'ютера оператора (рис. 2.7).

Використання віддаленого моніторингу дозволяє отримувати інформацію про поточний стан системи без необхідності постійної присутності оператора безпосередньо біля обладнання. Передача даних здійснюється через вбудований Ethernet-інтерфейс програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 [14], що забезпечує швидкий обмін інформацією між елементами системи.

Для візуалізації параметрів роботи вітроелектричної установки використовується персональний комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням TIA Portal та засобами візуалізації WinCC. За допомогою програмного інтерфейсу оператор має можливість контролювати значення швидкості та напрямку вітру, напругу генератора, частоту обертання ротора, а також отримувати повідомлення про аварійні та позаштатні режими роботи.

Застосування комп'ютерної системи моніторингу дозволяє зменшити вартість системи автоматизації порівняно з використанням окремих операторських панелей, а також забезпечує більшу гнучкість під час налаштування та модернізації програмного забезпечення.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

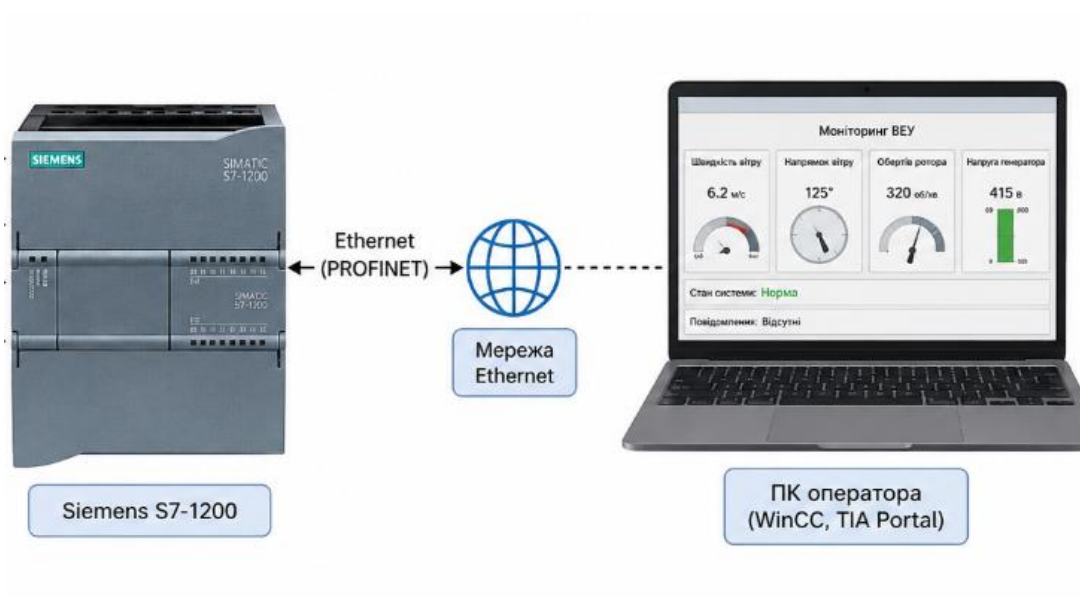


Рисунок 2.7 – Організація віддаленого моніторингу роботи ВЕУ (розроблена автором КБР)

Таблиця 2.6 – Характеристики засобів моніторингу

Характеристика	Значення
Спосіб підключення	Ethernet
Протокол обміну даними	PROFINET
Програмне забезпечення	TIA Portal, WinCC
Тип відображення інформації	Графічний інтерфейс користувача
Можливість архівування даних	Передбачена
Відображення аварійних повідомлень	Передбачене

Використання засобів віддаленого моніторингу дозволяє підвищити зручність експлуатації автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою, забезпечити оперативний доступ до інформації про стан обладнання та спростити процес аналізу його роботи.

2.3 Розробка алгоритму роботи системи керування ВЕУ

Розроблений алгоритм роботи автоматизованої системи керування ВЕУ наведено на рисунку 2.8.

Після запуску системи контролер Siemens S7-1200 [14] виконує ініціалізацію та починає циклічне опитування підключених датчиків. На першому етапі здійснюється перевірка коректності отриманих даних. У випадку виявлення несправності формується повідомлення про помилку датчиків.

Після перевірки контролюється швидкість вітру. Якщо її значення є недостатнім для роботи вітроелектричної установки, система переходить у режим очікування. При досягненні необхідної швидкості вітру виконується контроль його напрямку та аналіз поточного режиму роботи установки.

Далі здійснюється перевірка перевищення допустимої швидкості вітру. У разі перевищення встановленого ліміту система переходить у режим обмеження потужності. За нормальних умов виконується контроль напруги генератора та перевірка наявності аварійних ситуацій.

У випадку виникнення аварії активується система захисту та безпечної зупинки. Якщо аварійні режими відсутні, поточні параметри передаються до системи моніторингу, після чого цикл опитування повторюється.

Запропонований алгоритм забезпечує безперервний контроль параметрів роботи вітроелектричної установки та дозволяє своєчасно реагувати на виникнення аварійних і позаштатних ситуацій.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

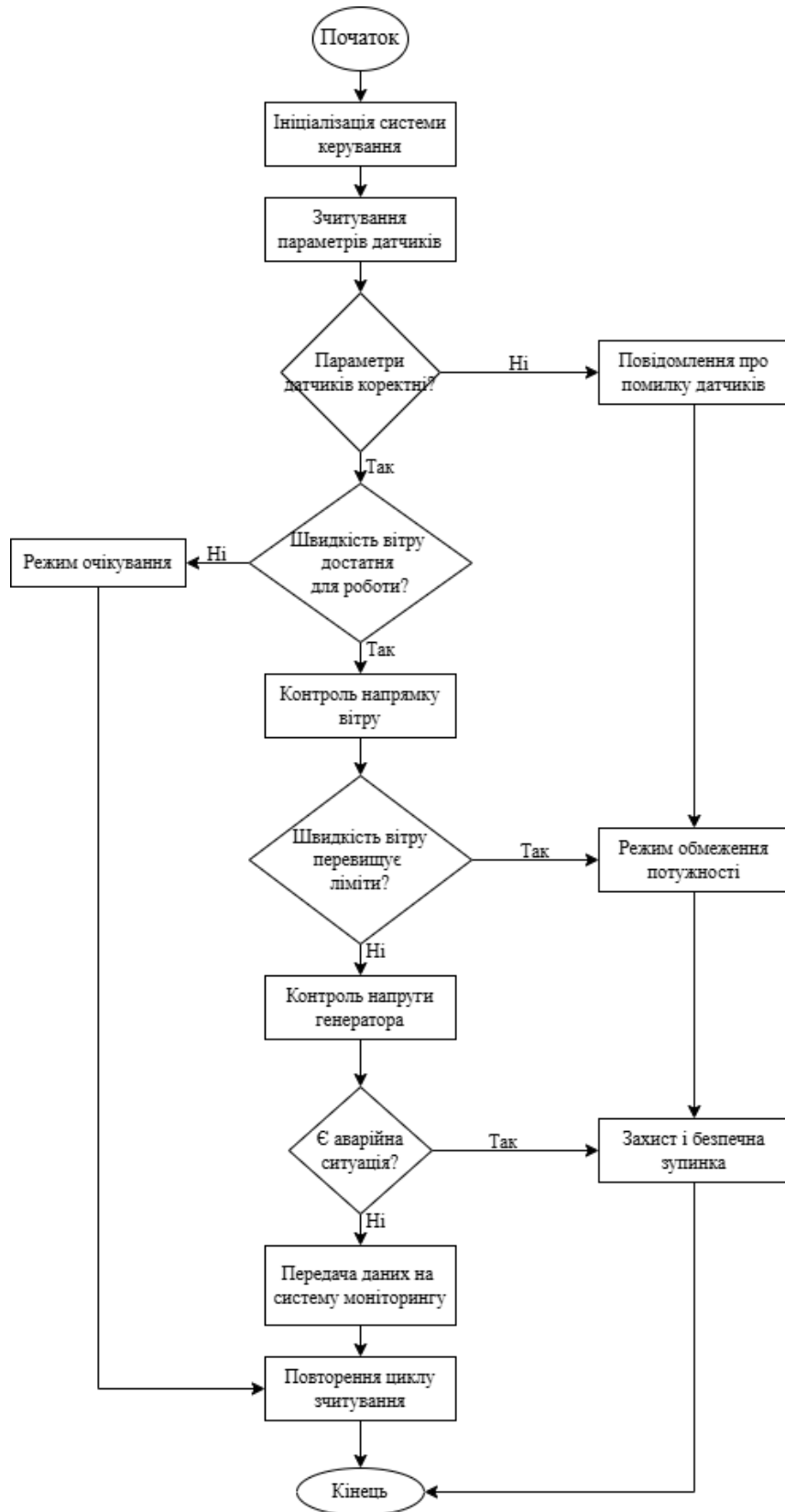


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритму роботи системи керування ВЕУ

2.4 Функціональна схема автоматизованої системи керування ВЕУ

Функціональна схема автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою наведена на рисунку 2.9. Схема відображає взаємозв'язок між вимірювальними пристроями, програмованим логічним контролером та виконавчими механізмами системи.

До складу підсистеми вимірювання входять датчик швидкості вітру, датчик напрямку вітру, датчик напруги генератора та датчик обертів ротора. Отримані сигнали надходять на входи програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 [14], де виконуються їх масштабування, обробка та аналіз.

Основним елементом системи є програмований логічний контролер Siemens S7-1200 (CPU 1211C) [14], який здійснює контроль параметрів роботи вітроелектричної установки, виконує алгоритми захисту та безпеки, а також формує керуючі команди для виконавчих пристроїв. Живлення контролера забезпечується від блока живлення постійного струму напругою 24 В.

Для моніторингу роботи системи використовується автоматизоване робоче місце оператора, підключене до контролера через мережу Ethernet. Оператор має можливість здійснювати візуалізацію поточних параметрів роботи ВЕУ за допомогою стандартного веббраузера.

До складу виконавчих пристроїв входять електродвигун повороту гондоли, електромагнітне гальмо та баластне навантаження. Керування виконавчими механізмами здійснюється відповідно до логіки роботи програми, реалізованої в контролері.

Запропонована функціональна схема забезпечує збір та обробку даних, контроль технологічних параметрів, віддалений моніторинг стану обладнання та реалізацію захисних функцій вітроелектричної установки.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
 Автоматизована система керування вітроелектричною установкою

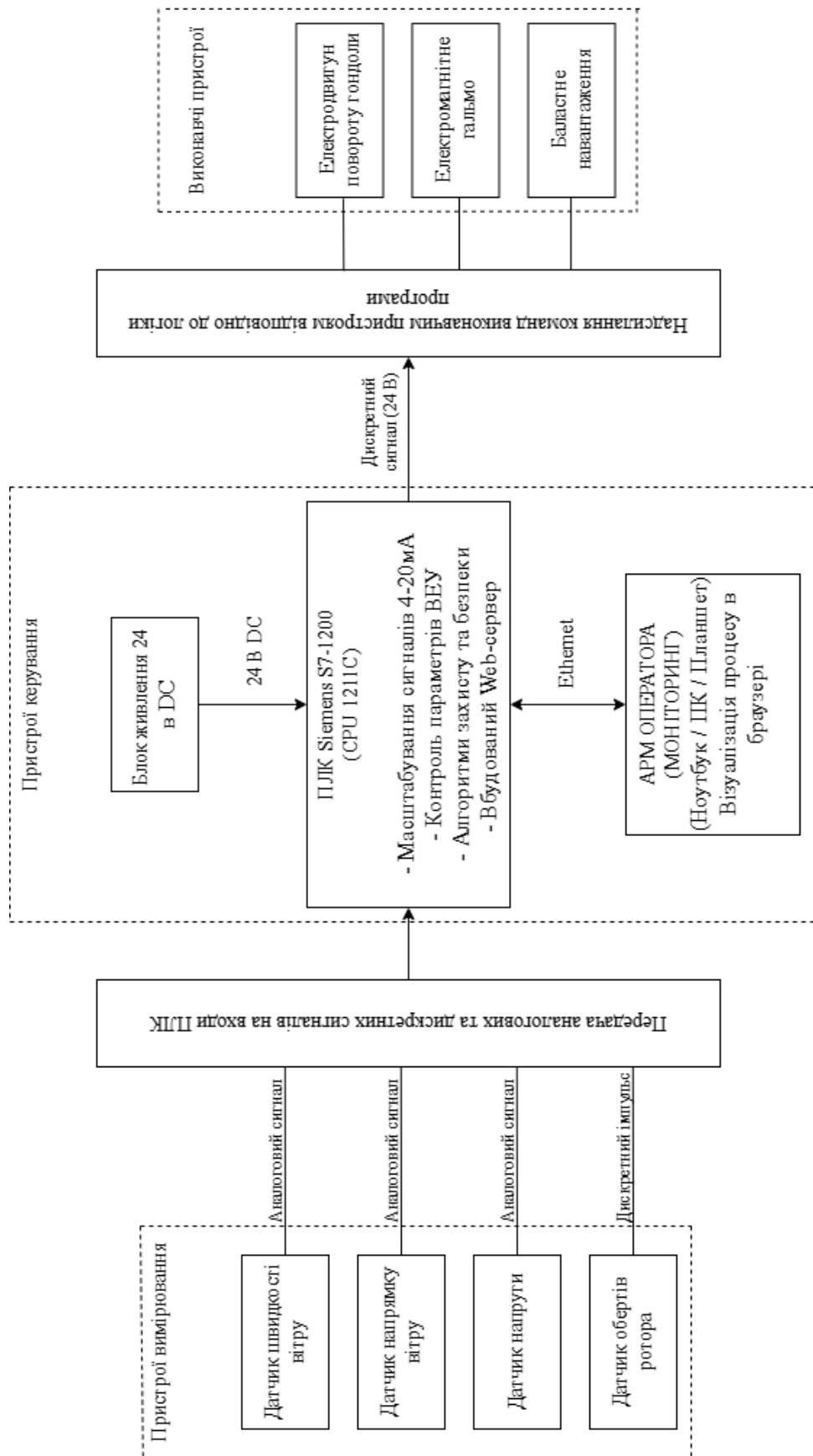


Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизованої системи керування вітроелектричною установкою

2.5 Розробка системи моніторингу ВЕУ

Для забезпечення контролю роботи вітроелектричної установки в проєкті передбачено систему віддаленого моніторингу на базі програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 [14] та персонального комп'ютера оператора.

Система моніторингу призначена для збору, передачі та відображення інформації про поточний стан вітроелектричної установки. Отримання даних здійснюється від датчика швидкості вітру, датчика напрямку вітру, датчика обертів ротора та датчика напруги генератора. Після обробки в контролері інформація передається через мережу Ethernet на автоматизоване робоче місце оператора.

Контролер Siemens S7-1200 [14] має вбудований Web Server, що дозволяє організувати моніторинг параметрів системи за допомогою стандартного веббраузера без використання додаткового спеціалізованого обладнання. Це спрощує реалізацію системи та знижує витрати на її впровадження.

Під час роботи оператор має можливість контролювати швидкість вітру, напрямок повітряного потоку, частоту обертання ротора, величину напруги генератора та стан виконавчих пристроїв. У разі виникнення аварійної ситуації система формує відповідне повідомлення та відображає інформацію про причину спрацювання захисту.

Структурна схема системи моніторингу наведена на рисунку 2.10.

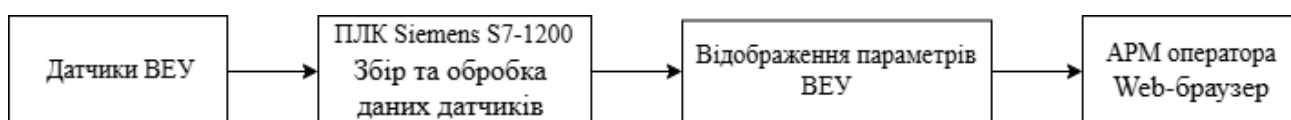


Рисунок 2.10 – Структура системи моніторингу ВЕУ (розроблена автором КБР)

Використання системи моніторингу забезпечує своєчасне отримання інформації про стан вітроелектричної установки, підвищує зручність експлуатації обладнання та дозволяє оперативно реагувати на зміну режимів роботи системи.

2.6 Електрична принципова схема автоматизованої системи керування ВЕУ

Електрична принципова схема автоматизованої системи керування вітроенергетичною установкою визначає склад електричних з'єднань між датчиками, програмованим логічним контролером та виконавчими пристроями. Схема забезпечує наочне представлення структури системи керування та принципів обміну сигналами між її основними елементами.

До складу системи входять датчик швидкості вітру CWT-SWS-A [15], датчик напрямку вітру CWT-SWD-A [16], датчик напруги генератора TDV4117TB [18] та датчик обертів ротора LJ12A3 [17]. Сигнали від датчиків надходять на аналогові та дискретні входи програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 CPU 1211C [14], де здійснюється їх обробка, масштабування та аналіз відповідно до заданого алгоритму керування.

На основі отриманих даних контролер формує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв системи. До них належать електродвигун повороту гондоли, електромагнітне гальмо та баластне навантаження. Використання зазначених пристроїв дозволяє забезпечити орієнтацію вітроустановки за напрямком вітру, захист обладнання при аварійних режимах роботи та підтримання безпечних умов експлуатації.

Живлення елементів системи здійснюється від блока живлення постійного струму напругою 24 В. Для контролю роботи установки та віддаленого моніторингу передбачено підключення автоматизованого робочого місця оператора до контролера через мережу Ethernet із використанням вбудованого Web-сервера.

Міжелементні електричні з'єднання системи наведено на рисунку 2.11.

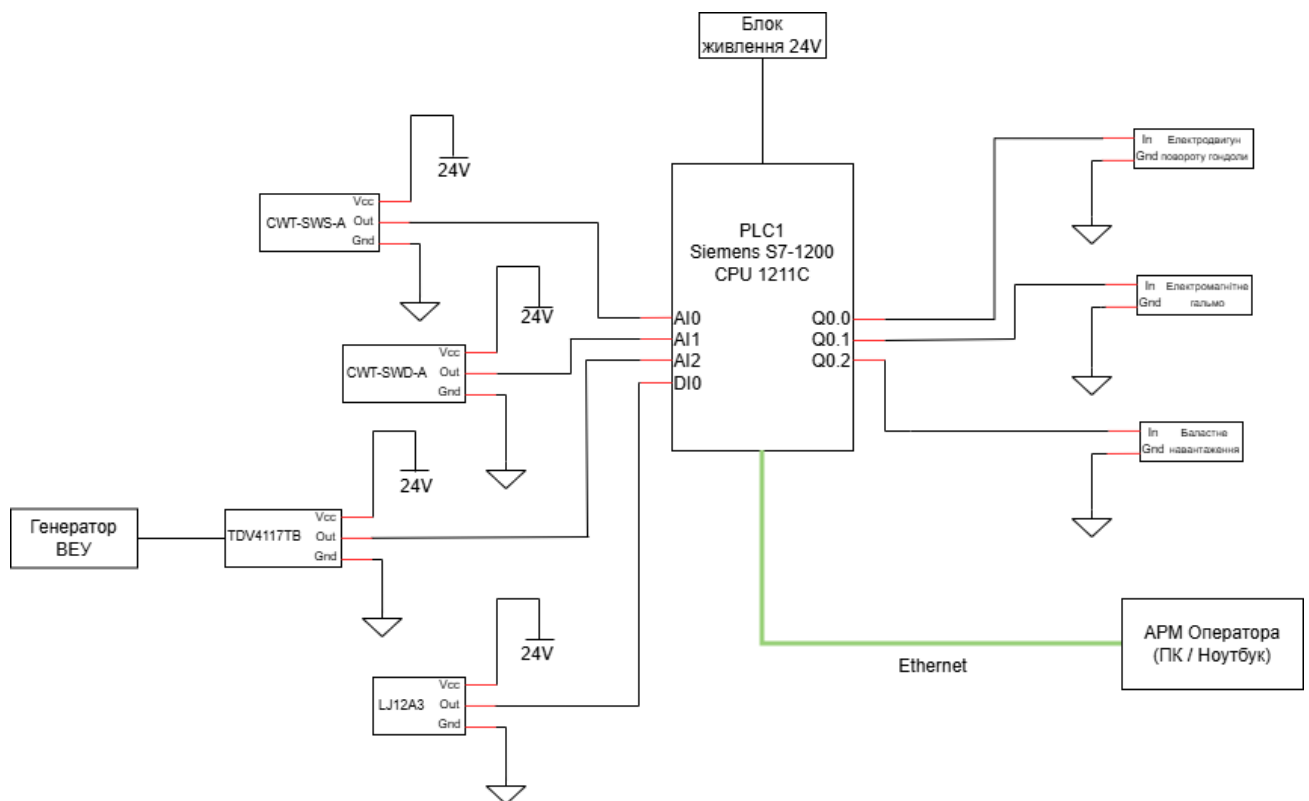


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема автоматизованої системи керування вітроенергетичною установкою

2.7 Розрахунок економічної ефективності впровадження системи

Одним із важливих етапів проектування автоматизованої системи керування вітроенергетичною установкою є оцінка економічної доцільності її впровадження. Економічна ефективність визначається шляхом розрахунку

вартості обладнання, витрат на впровадження системи та оцінки очікуваного економічного ефекту від її використання.

До складу розробленої системи входять програмований логічний контролер, датчики контролю параметрів ВЕУ, блок живлення та допоміжні монтажні матеріали. Вартість основних елементів системи наведена в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вартість обладнання системи

Найменування обладнання	Кількість	Ціна, грн	Вартість, грн
Контролер Siemens S7-1200 CPU1211C	1	12000	12000
Анемометр CWT-SWS-A	1	2000	2000
Датчик напрямку вітру CWT-SWD-A	1	1200	1200
Датчик напруги THD4117TB	1	2500	2500
Датчик обертів LJ12A3	1	150	150
Блок живлення 24 В DC	1	800	800
Кабельна продукція та монтажні матеріали	1	1000	1000
Разом			19650

Таким чином, загальна вартість обладнання становить:

$$B_{об} = 19650 \text{ грн}$$

Крім вартості обладнання необхідно врахувати витрати на монтаж та налагодження. Вартість монтажу визначається за формулою:

$$B_M = 0,25 \cdot B_{об}$$

$$B_M = 0,25 \cdot 19650 = 4912,5 \text{ грн}$$

Повна вартість впровадження системи:

$$B_{ВП} = B_{об} + B_M$$

$$B_{ВП} = 19650 + 4912,5 = 24562,5 \text{ грн}$$

Отже, загальні витрати на впровадження системи становлять:

$$B_{ВП} = 24562,5 \text{ грн}$$

Використання автоматизованої системи керування дозволяє знизити витрати на експлуатацію вітроенергетичної установки... Приймаємо, що річна економія від впровадження системи становить 12000 грн.

Термін окупності визначається за формулою:

$$T = \frac{B_{ВП}}{E_{річ}}$$

- $B_{ВП}$ – витрати на впровадження системи, грн;
- $E_{річ}$ – річний економічний ефект, грн.

Тоді:

$$T = \frac{24562,5}{12000} = 2,05 \text{ роки}$$

Отже, термін окупності автоматизованої системи керування становить приблизно 2 роки.

Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано вибір контролера Siemens S7-1200 (CPU 1211C) як надійної та апаратної основи для побудови системи керування ВЕУ в реальному часі.
2. Виконано вибір та обґрунтування датчиків контролю основних параметрів роботи вітроенергетичної установки, а саме швидкості та напрямку вітру, напруги генератора і частоти обертання ротора.
3. Розроблено структурну та функціональну схеми автоматизованої системи керування ВЕУ, які відображають взаємозв'язок між датчиками, програмованим логічним контролером та виконавчими пристроями, а також алгоритм обробки сигналів і формування керуючих впливів.
4. Розроблено електричну принципову схему, яка забезпечує збір даних з периферійних датчиків (CWT-SWS-A, CWT-SWD-A, THV4117TB, LJ12A3) та керування виконавчими вузлами установки.
5. Передбачено віддалений моніторинг параметрів роботи ВЕУ оператором за допомогою інтегрованого інтерфейсу Ethernet (Web Server).
6. Виконано техніко-економічний розрахунок: повна вартість впровадження системи становить 24562,5 грн, а очікуваний річний економічний ефект — 12000 грн. Визначено термін окупності, який становить 2,05 роки, що підтверджує високу економічну доцільність та ефективність реалізації проєкту.

3 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Аналіз умов експлуатації автоматизованої вітроелектричної установки

Експлуатація автоматизованої вітроелектричної установки пов'язана з використанням електротехнічного обладнання, засобів автоматизації та систем дистанційного моніторингу. Основним завданням персоналу є контроль параметрів роботи ВЕУ та забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

Автоматизована система керування координує роботу вітротурбіни, генератора, системи орієнтації на вітер, гальмівної системи та комплексу датчиків. Вона забезпечує моніторинг швидкості та напрямку вітру, контроль швидкості обертання ротора, керування режимами генерації електроенергії та захист обладнання від аварійних режимів роботи [29].

Робоче місце оператора обладнане персональним комп'ютером із SCADA-системою або панеллю оператора. У процесі роботи здійснюється контроль швидкості вітру, потужності генерації, температури обладнання та стану систем захисту.

Під час експлуатації ВЕУ на персонал можуть впливати небезпечні виробничі фактори, серед яких електричний струм, рухомі механічні елементи турбіни, шум, вібрація та психофізіологічне навантаження.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватись вимог законодавства з охорони праці та використовувати технічні засоби захисту й системи автоматичного контролю стану обладнання [20].

3.1.1 Загальна характеристика вітроенергетичної системи

Автоматизована вітроелектрична установка призначена для перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію та передачі її споживачам або до електричної мережі. Використання вітроенергетичних установок сприяє розвитку відновлюваної енергетики та зменшенню споживання традиційних енергоресурсів [31].

У даній роботі розглядається вітроелектрична установка Aeolos-H 100 kW, яка належить до горизонтальних трилопатевих вітротурбін. До її складу входять ротор з лопатями, генератор, система орієнтації на вітер, гальмівна система та опорна вежа [30].

Принцип роботи установки полягає у перетворенні енергії повітряного потоку в механічну енергію обертання ротора, яка надалі перетворюється генератором в електричну енергію. Для керування технологічним процесом використовується PLC-контролер Siemens S7-1200 [14], що здійснює збір та обробку інформації від датчиків і формує сигнали керування виконавчими механізмами [29].

До складу системи входять датчики швидкості та напрямку вітру, датчик швидкості обертання ротора та сервоприводи, які забезпечують стабільну роботу установки за різних погодних умов. Для захисту обладнання реалізовано контроль швидкості вітру, аварійне гальмування ротора та моніторинг технічного стану основних вузлів.

Таким чином, вітроелектрична установка являє собою комплекс механічних, електротехнічних та програмних засобів, що забезпечують ефективне виробництво електроенергії та безпечну експлуатацію обладнання.

3.1.2 Особливості роботи обслуговуючого персоналу

Експлуатація автоматизованої вітроелектричної установки передбачає участь операторів і технічного персоналу, які здійснюють контроль параметрів роботи обладнання та виконують його технічне обслуговування. Завдяки високому рівню автоматизації більшість технологічних процесів виконується без постійного втручання людини, однак персонал повинен контролювати роботу системи та реагувати на можливі відхилення від нормального режиму.

Основним завданням оператора є моніторинг роботи ВЕУ за допомогою SCADA-системи. На робочій станції відображаються швидкість і напрямок вітру, потужність генерації, швидкість обертання ротора, температура обладнання та повідомлення про аварійні режими роботи.

Для підвищення ефективності контролю використовується система дистанційного моніторингу, яка дозволяє отримувати інформацію про стан установки та оперативно виявляти несправності без постійної присутності персоналу на об'єкті [32].

Технічний персонал виконує планове та позапланове обслуговування обладнання, що включає перевірку механічних вузлів турбіни, датчиків, виконавчих механізмів, генератора та електричних з'єднань. Під час виконання робіт на висоті працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту та дотримуватись вимог охорони праці [20].

Важливою складовою безпечної експлуатації є належна організація праці та використання сучасних засобів автоматизованого контролю, що дозволяє зменшити навантаження на персонал і забезпечити своєчасне виявлення несправностей.

3.1.3 Нормативні вимоги до безпечної експлуатації ВЕУ

Під час експлуатації автоматизованої вітроелектричної установки необхідно дотримуватись вимог нормативно-правових документів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки. Виконання цих вимог забезпечує безпечні умови праці персоналу та надійну роботу обладнання.

Основним нормативним документом у сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає права та обов'язки працівників і роботодавців щодо створення безпечних умов праці [20].

Під час роботи з електротехнічним обладнанням необхідно дотримуватись вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та Правил улаштування електроустановок, які регламентують порядок монтажу, експлуатації та технічного обслуговування електрообладнання [21, 22].

Вимоги щодо пожежної безпеки визначаються Правилами пожежної безпеки в Україні, які встановлюють порядок дій персоналу у разі виникнення пожежі та використання первинних засобів пожежогасіння [23].

Під час виконання робіт на висоті працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту та проходити відповідне навчання з питань охорони праці [20].

При організації робочого місця оператора необхідно враховувати вимоги санітарних норм щодо роботи з персональними комп'ютерами, які регламентують допустимі умови праці та режими роботи персоналу [24].

Дотримання нормативних вимог є необхідною умовою безпечної експлуатації вітроелектричної установки та зниження ризику виробничого травматизму.

3.2 Ідентифікація виробничих небезпек при роботі ВЕУ

Під час експлуатації автоматизованої вітроелектричної установки на персонал можуть впливати різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основними з них є механічні небезпеки, електротехнічні ризики, вплив природних факторів та психофізіологічне навантаження на обслуговуючий персонал [20].

Під час роботи установки існує ризик травмування рухомими механічними елементами, ураження електричним струмом, а також впливу несприятливих погодних умов. Додаткове навантаження на персонал створює необхідність постійного контролю роботи автоматизованої системи керування.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно своєчасно виявляти потенційні небезпеки та впроваджувати комплекс технічних і організаційних заходів захисту.

3.2.1 Механічні небезпеки

Під час експлуатації вітроелектричної установки небезпеку становлять рухомі механічні елементи турбіни: лопаті ротора, механізми орієнтації гондоли та елементи гальмівної системи [30].

Одним із найбільш небезпечних факторів є обертання ротора. Навіть після припинення генерації лопаті можуть продовжувати рух під дією вітру, тому перед виконанням ремонтних робіт необхідно забезпечити повну зупинку турбіни та блокування її повторного запуску.

Додаткову небезпеку становить можливе пошкодження лопатей унаслідок тривалої експлуатації або сильних вітрових навантажень. У таких випадках існує ризик падіння уламків та пошкодження обладнання.

Оскільки частина робіт виконується на висоті, персонал повинен використовувати страхувальні системи та засоби індивідуального захисту відповідно до вимог охорони праці [20].

Для зниження механічних ризиків застосовуються системи аварійного гальмування, блокування запуску обладнання та регулярний контроль технічного стану механічних вузлів.

3.2.2 Електротехнічні ризики

Одним із найбільш небезпечних факторів під час експлуатації ВЕУ є дія електричного струму. Генератор, силові кабелі та система керування працюють під напругою, що створює потенційну небезпеку для персоналу [21].

Ураження електричним струмом може виникнути внаслідок пошкодження ізоляції, несправності обладнання або порушення правил технічного обслуговування. Особливо небезпечними є роботи без попереднього відключення обладнання від джерел живлення.

Під час роботи установки можливі короткі замикання, перенапруги та перевантаження електричних мереж, які можуть призвести до пошкодження обладнання та аварійних ситуацій [22].

Для зниження електротехнічних ризиків використовуються системи захисного заземлення, автоматичні вимикачі та засоби контролю стану електрообладнання. Регулярна перевірка ізоляції та захисних пристроїв дозволяє підвищити рівень електробезпеки.

3.2.3 Вплив природних факторів

Вітроелектрична установка постійно перебуває під впливом зовнішніх природних факторів. Найбільший вплив на її роботу мають швидкість вітру, атмосферні опади, температурні коливання та грозові явища.

Надмірно сильний вітер створює додаткові навантаження на лопаті ротора та конструкцію турбіни. Для запобігання пошкодженню обладнання сучасні ВЕУ оснащуються системами автоматичного гальмування та аварійної зупинки відповідно до вимог міжнародних стандартів [31].

У зимовий період небезпеку становить обледеніння лопатей, яке погіршує аеродинамічні характеристики ротора та може викликати підвищені вібрації.

Особливу небезпеку становлять грозові явища. Через значну висоту віротурбіни існує підвищена ймовірність ураження блискавкою, тому під час проєктування необхідно враховувати вимоги стандартів блискавкозахисту [25].

Для захисту обладнання застосовуються системи блискавкозахисту, заземлення та пристрої захисту від імпульсних перенапруг [26].

3.2.4 Психофізіологічні ризики

Робота персоналу пов'язана з постійним контролем технологічних параметрів та використанням комп'ютерної техніки. Оператор повинен контролювати роботу обладнання та своєчасно реагувати на відхилення від нормального режиму функціонування.

Основним психофізіологічним фактором є інформаційне навантаження, яке виникає під час аналізу даних від датчиків і систем моніторингу. Оператор

контролює швидкість вітру, потужність генерації, стан систем захисту та аварійні повідомлення.

Тривала робота за комп'ютером може призводити до втоми органів зору, зниження концентрації уваги та працездатності. Вимоги до організації таких робочих місць визначаються санітарними нормами [24].

Для зменшення психофізіологічного навантаження необхідно забезпечувати раціональну організацію праці, дотримуватись режимів роботи та використовувати сучасні засоби автоматизації й дистанційного моніторингу [32].

3.3 Технічні та організаційні заходи безпеки

Для забезпечення безпечної експлуатації вітроелектричної установки застосовується комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на захист персоналу та запобігання аварійним ситуаціям. Основна увага приділяється контролю механічних і електричних параметрів, а також своєчасному виявленню несправностей.

Технічні заходи реалізуються за допомогою автоматизованих систем контролю та захисту. До них належать системи аварійного гальмування, контролю швидкості вітру, захисту від перевантажень та моніторингу стану обладнання.

Організаційні заходи включають проведення інструктажів, навчання персоналу, перевірку знань з охорони праці та контроль дотримання вимог безпеки під час виконання робіт [20].

Використання сучасних засобів автоматизації разом із належною підготовкою персоналу дозволяє забезпечити безпечну та надійну роботу вітроелектричної установки.

3.3.1 Безпечна експлуатація вітротурбіни

Безпечна експлуатація вітроелектричної установки забезпечується використанням систем автоматичного контролю та захисту, які підтримують роботу обладнання в допустимих режимах відповідно до вимог міжнародних стандартів для вітроенергетичних установок [31].

Одним із основних елементів безпеки є система автоматичного гальмування. У разі перевищення допустимої швидкості вітру або виникнення несправності система автоматично знижує швидкість обертання ротора або повністю зупиняє турбіну, запобігаючи пошкодженню обладнання [30].

Для підвищення надійності роботи використовується система аварійної зупинки. PLC-контролер Siemens S7-1200 [14] контролює технологічні параметри та у випадку аварійної ситуації формує команду на відключення генератора й активацію гальмівної системи [29].

Важливу роль у забезпеченні безпечної експлуатації відіграє система дистанційного моніторингу, яка дозволяє контролювати технічний стан обладнання та своєчасно виявляти несправності [28].

Застосування автоматичного контролю, аварійного гальмування та дистанційного моніторингу забезпечує безпечну експлуатацію вітротурбіни та підвищує надійність роботи ВЕУ.

3.3.2 Захист персоналу від електричних небезпек

Під час експлуатації вітроелектричної установки особлива увага приділяється захисту персоналу від впливу електричного струму. Генератор, силові кабельні лінії та шафи керування працюють під напругою, тому необхідно дотримуватись вимог електробезпеки [16].

Одним із основних заходів є використання системи захисного заземлення. Усі металеві конструкції та корпуси електрообладнання повинні бути надійно підключені до контуру заземлення, що дозволяє знизити ризик ураження електричним струмом.

Для захисту обладнання від атмосферних перенапруг застосовується система блискавкозахисту, побудована відповідно до вимог стандарту ІЕС 61400-24 [27]. Вона забезпечує безпечне відведення струму блискавки та запобігає пошкодженню електрообладнання.

Важливим елементом захисту є автоматичні вимикачі та пристрої захисту від перенапруг, які забезпечують швидке відключення пошкоджених ділянок мережі [23].

Під час проведення технічного обслуговування персонал повинен використовувати діелектричні рукавички, захисне взуття та інший електрозахисний інструмент. До виконання робіт допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання та мають необхідну групу допуску з електробезпеки.

3.3.3 Безпека під час технічного обслуговування

Технічне обслуговування ВЕУ є важливою складовою забезпечення її надійної роботи. Під час виконання ремонтних і профілактичних робіт персонал може піддаватися впливу механічних та електричних небезпек, тому необхідно дотримуватись встановлених вимог охорони праці [20].

Частина робіт виконується на висоті, тому працівники повинні використовувати страхувальні системи та інші засоби індивідуального захисту. Перед початком робіт необхідно перевірити справність страхувального обладнання та оцінити погодні умови.

Перед проведенням технічного обслуговування установка повинна бути повністю зупинена та відключена від джерел живлення. Для запобігання випадковому запуску застосовуються системи блокування та попереджувальні знаки.

Під час обслуговування перевіряється стан механічних вузлів, гальмівної системи, генератора, датчиків та електричних з'єднань. Регулярний контроль технічного стану обладнання дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям [25].

Усі роботи повинні виконуватись відповідно до затверджених інструкцій та технологічних карт, а персонал повинен проходити необхідне навчання та інструктажі з охорони праці.

3.4 Забезпечення комфортних та ергономічних умов праці

Ефективність роботи персоналу значною мірою залежить від умов праці та організації робочого місця. Під час експлуатації автоматизованої вітроелектричної установки оператор здійснює контроль технологічних параметрів за допомогою комп'ютерної техніки та засобів візуалізації, тому важливим є забезпечення комфортних і безпечних умов праці.

Правильна організація робочого місця дозволяє знизити фізичне та психоемоційне навантаження на персонал, підвищити концентрацію уваги та зменшити ймовірність помилок під час керування обладнанням.

Важливими факторами є ергономічне розташування обладнання, достатній рівень освітлення, сприятливий мікроклімат та раціональний режим праці й відпочинку [19].

3.4.1 Організація операторського пункту

Операторський пункт призначений для контролю та керування роботою вітроелектричної установки. За допомогою SCADA-системи оператор отримує інформацію про швидкість і напрямок вітру, потужність генерації, стан датчиків, виконавчих механізмів та систем захисту [24].

Робоче місце повинно бути обладнане ергономічними меблями та сучасними засобами відображення інформації. Монітор рекомендується розташовувати на відстані 60–70 см від очей користувача, що дозволяє зменшити навантаження на органи зору [26].

Особливу увагу необхідно приділяти освітленню приміщення. Робоча зона повинна мати достатній рівень природного або штучного освітлення для комфортної роботи з комп'ютерною технікою та документацією.

Для підтримання сприятливих умов праці операторський пункт має бути обладнаний системами вентиляції та опалення, які забезпечують нормативні параметри температури й вологості повітря [23].

Раціональна організація операторського пункту сприяє підвищенню ефективності роботи персоналу та безпечному керуванню вітроелектричною установкою.

3.4.2 Режими праці персоналу

Раціональна організація режимів праці та відпочинку є важливою умовою забезпечення безпечної роботи персоналу. Тривалий контроль параметрів роботи обладнання та використання комп'ютерної техніки можуть призводити до фізичної та психоемоційної втоми [24].

Для зниження навантаження рекомендується робити короткі перерви через кожні 1–2 години роботи за комп'ютером. Під час перерв доцільно виконувати вправи для очей та змінювати положення тіла.

Особливу увагу необхідно приділяти організації змінної роботи персоналу. Тривалість робочої зміни повинна відповідати вимогам трудового законодавства та враховувати рівень психофізіологічного навантаження.

Важливим фактором підтримання працездатності є створення комфортних умов праці, зокрема забезпечення належного освітлення, сприятливого мікроклімату та мінімізації впливу сторонніх подразників.

Дотримання раціональних режимів праці та відпочинку сприяє збереженню здоров'я працівників, підвищує якість виконання службових обов'язків та забезпечує безпечну експлуатацію автоматизованої вітроелектричної установки.

3.5 Оцінка ризиків та інженерний розрахунок безпеки

Безпечна експлуатація вітроелектричної установки залежить від своєчасного виявлення небезпечних факторів та застосування ефективних технічних засобів захисту. Аналіз ризиків дозволяє визначити найбільш небезпечні режими роботи обладнання та розробити заходи щодо їх мінімізації.

Основними джерелами ризику є механічні пошкодження обладнання, дія електричного струму, несприятливі погодні умови, відмови систем автоматизації та помилки персоналу. Для зниження ймовірності аварійних ситуацій використовуються системи заземлення, блискавкозахисту, аварійного відключення та автоматичного контролю технологічних параметрів.

У даному розділі проведено аналіз ризиків експлуатації ВЕУ, виконано розрахунок системи блискавкозахисту та оцінено ефективність запропонованих заходів безпеки.

3.5.1 Аналіз ризиків експлуатації ВЕУ

Експлуатація вітроелектричної установки супроводжується впливом факторів ризику, які можуть негативно впливати на безпеку персоналу та технічний стан обладнання.

Одним із найбільш значущих ризиків є механічне пошкодження елементів вітротурбіни внаслідок надмірних вітрових навантажень, зношення конструкцій або несправності гальмівної системи [25].

Суттєвим фактором ризику є виникнення аварій в електротехнічній частині системи. Короткі замикання, перенапруги та пошкодження ізоляції можуть призводити до аварійного відключення обладнання та створювати небезпеку для персоналу [21].

Важливу роль відіграють природні фактори, серед яких сильний вітер, обледеніння лопатей, атмосферні опади та грозові явища. Дані фактори можуть викликати прискорене зношення обладнання та зниження ефективності його роботи [26].

Окрему групу ризиків становлять відмови систем автоматизованого керування. Несправність PLC-контролера або програмного забезпечення може призвести до втрати контролю над технологічними процесами [24].

Важливим фактором є також захист інформаційних каналів та систем промислової автоматизації від кіберзагроз, які можуть впливати на роботу автоматизованої системи керування [29].

В умовах воєнного стану додаткову увагу необхідно приділяти захисту каналів зв'язку та критичної інформаційної інфраструктури енергетичних об'єктів [30].

Для зниження рівня ризику необхідно використовувати сучасні системи контролю та захисту, регулярно проводити технічне обслуговування обладнання та забезпечувати належну підготовку персоналу.

3.5.2 Розрахунок системи блискавкозахисту

Вітроелектричні установки належать до об'єктів підвищеного ризику ураження блискавкою через значну висоту конструкції та розташування на відкритій місцевості. Тому під час проектування необхідно передбачити ефективну систему блискавкозахисту відповідно до вимог чинних нормативних документів [20].

У даній роботі розглядається вітроелектрична установка Vornay 6000 номінальною потужністю 6 кВт. Висота щогли установки становить 24 м, а діаметр ротора – 5,5 м. Загальна висота конструкції з урахуванням положення лопаті у верхній точці визначається за формулою:

$$H = h + \frac{D}{2}$$

де:

(H) – загальна висота конструкції, м;

(h) – висота щогли, м;

(D) – діаметр ротора, м.

Підставляємо значення:

$$H = 24 + \frac{5,5}{2}$$

$$H = 26,75 \text{ м}$$

Для захисту установки використовується блискавкоприймальна система, інтегрована в конструкцію гондоли та лопатей ротора. Відведення струму блискавки здійснюється через струмовідводи до контуру заземлення.

Радіус зони захисту визначається за формулою:

$$R = 1,5 \cdot H$$

де:

(R) – радіус зони захисту, м;

(H) – висота об'єкта, м.

Підставляємо значення:

$$R = 1,5 \cdot 26,75$$

$$R = 40,13 \text{ м}$$

Отримане значення свідчить про те, що зона захисту повністю охоплює вітроелектричну установку та забезпечує необхідний рівень захисту від прямих ударів блискавки.

Для захисту електрообладнання від імпульсних перенапруг передбачено встановлення пристроїв захисту від перенапруг на вводах живлення та лініях зв'язку. Усі металеві конструкції установки з'єднуються із контуром заземлення.

Відповідно до вимог ПУЕ опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати:

$$R_3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Прийнята система заземлення забезпечує виконання цієї умови та гарантує безпечне відведення струму блискавки до землі.

Таким чином, розрахована система блискавкозахисту забезпечує захист вітроелектричної установки Vornau 6000 потужністю 6 кВт від атмосферних перенапруг та відповідає вимогам ДСТУ EN IEC 62305-1:2022 і ДСТУ EN IEC 62305-3:2022 [20, 21].

3.5.3 Оцінка ефективності захисних заходів

Для забезпечення безпечної експлуатації ВЕУ передбачено комплекс технічних та організаційних заходів захисту. До основних засобів безпеки належать система автоматичного гальмування, аварійне відключення обладнання, блискавкозахист, захисне заземлення та система дистанційного моніторингу.

Ефективність механічного захисту забезпечується контролем швидкості вітру та швидкості обертання ротора. У разі перевищення допустимих параметрів система керування автоматично переводить установку у безпечний режим роботи [24].

Високий рівень електробезпеки досягається завдяки використанню системи заземлення, автоматичних вимикачів та пристроїв захисту від перенапруг [27].

Проведений розрахунок підтвердив ефективність системи блискавкозахисту та її відповідність нормативним вимогам [20].

Важливим фактором підвищення безпеки є використання систем дистанційного моніторингу, які дозволяють своєчасно виявляти несправності та контролювати технічний стан обладнання [28].

Отже, запропонований комплекс захисних заходів забезпечує належний рівень безпеки персоналу та надійності роботи вітроелектричної установки.

3.5.4 Висновки за результатами розрахунку

У результаті проведеного аналізу було визначено основні небезпечні фактори, які можуть виникати під час експлуатації вітроелектричної установки. Найбільший вплив на безпеку мають механічні навантаження, електротехнічні ризики, атмосферні явища та можливі відмови систем автоматизації.

Розрахунок системи блискавкозахисту показав, що прийняті технічні рішення забезпечують надійний захист установки від впливу грозових явищ та атмосферних перенапруг.

Аналіз ефективності захисних заходів підтвердив доцільність використання систем автоматичного контролю, аварійного гальмування, дистанційного моніторингу та захисту електричних кіл.

Отримані результати свідчать про те, що запропоновані технічні та організаційні заходи забезпечують достатній рівень безпеки персоналу та надійності роботи вітроелектричної установки.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було розглянуто питання охорони праці під час експлуатації автоматизованої вітроелектричної установки. Проведено аналіз умов праці персоналу, особливостей роботи операторів та технічного персоналу, а також нормативно-правових вимог, що регламентують безпечну експлуатацію вітроенергетичних установок.

Виконано ідентифікацію небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час роботи ВЕУ. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять механічні ризики, пов'язані з рухомими елементами турбіни, електротехнічні ризики, вплив несприятливих природних факторів, а також психофізіологічні навантаження на обслуговуючий персонал.

Розглянуто технічні та організаційні заходи безпеки, спрямовані на захист персоналу та підвищення надійності роботи обладнання. Особливу увагу приділено системам автоматичного контролю, аварійного гальмування, захисного заземлення, блискавкозахисту та дистанційного моніторингу стану вітроелектричної установки.

Також проаналізовано вимоги щодо організації робочого місця оператора та забезпечення комфортних умов праці. Визначено основні вимоги до освітлення, мікроклімату приміщення, режимів праці та відпочинку, а також ергономічного розташування засобів відображення інформації.

У межах розділу виконано оцінку ризиків експлуатації вітроелектричної установки та проведено розрахунок системи блискавкозахисту. Результати розрахунків підтвердили ефективність запропонованих технічних рішень і достатній рівень захисту обладнання від впливу атмосферних перенапруг та грозових явищ.

Проведений аналіз показав, що використання сучасних засобів автоматизації, систем контролю та захисту, а також дотримання вимог охорони праці забезпечують безпечну експлуатацію автоматизованої вітроелектричної установки, підвищують надійність її роботи та сприяють зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи на тему «Автоматизована система керування вітроелектричною установкою» розроблено автоматизовану систему керування ВЕУ для ЧНУ імені Петра Могили на базі програмованого логічного контролера, що забезпечує контроль основних параметрів роботи установки та підвищує надійність її функціонування.

У процесі виконання роботи було вирішено такі завдання:

1. Проведено аналіз принципів роботи вітроелектричних установок та особливостей використання автоматизованих систем керування у вітроенергетиці.
2. Виконано аналіз існуючих вітроелектричних установок малої потужності та розглянуто сучасні підходи до автоматизації їх роботи.
3. Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації та засобів контролю параметрів роботи вітроелектричної установки.
4. Виконано вибір датчиків для контролю швидкості та напрямку вітру, напруги генератора і частоти обертання ротора.
5. Розроблено структурну та функціональну схеми автоматизованої системи керування ВЕУ, які відображають взаємодію основних елементів системи та алгоритм обробки інформації.
6. Розроблено електричну принципову схему системи керування із підключенням датчиків та виконавчих пристроїв до програмованого логічного контролера.

7. Передбачено можливість віддаленого моніторингу параметрів роботи установки за допомогою мережі Ethernet та вбудованого Web Server.

8. Виконано розрахунок системи блискавкозахисту та проведено оцінку економічної ефективності впровадження розробленої системи.

9. Визначено, що повна вартість впровадження системи становить 24562,5 грн, очікуваний річний економічний ефект – 12000 грн, а термін окупності проєкту складає 2,05 роки.

Результатом роботи є автоматизована система керування вітроелектричною установкою, яка забезпечує збір та обробку інформації від датчиків, формування керуючих впливів на виконавчі механізми, контроль режимів роботи установки та підвищення безпеки її експлуатації.

Розроблена система може бути використана як основа для подальшої модернізації вітроелектричних установок малої потужності, а також для розширення функціональних можливостей шляхом підключення додаткових засобів моніторингу та діагностики.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Atlantic Council. Transatlantic Cooperation Key to Europe's Green Deal, EU Official Says. URL: <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/new-atlanticist/transatlantic-cooperation-key-to-europes-green-deal-eu-official-says/>
(дата звернення: 14.05.2026)
2. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Енергоефективність та відновлювана енергетика. URL: <https://sae.gov.ua/enerhoefektyvnist/enerhoefektyvnist> (дата звернення: 03.06.2026)
3. iStock. Kleinwindkraftanlagen. URL: <https://www.istockphoto.com/de/fotos/kleinwindkraftanlagen> (дата звернення: 19.05.2026)
4. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Офіційний сайт. URL: <https://ive.org.ua> (дата звернення: 05.06.2026)
5. Windkraft Journal. Ørsted wählt Haliade-X 12 MW Offshore-Windkraftanlage von GE. URL: <https://www.windkraft-journal.de/2019/09/25/rsted-waehlt-haliade-x-12-mw-offshore-windkraftanlage-von-ge-fuer-zwei-offshore-windparks/140186> (дата звернення: 22.05.2026)
6. Українська вітроенергетична асоціація. Про вітроенергетику. URL: <https://uwea.com.ua/pro-vitroenergetyku/> (дата звернення: 01.06.2026)
7. Aeolos Wind Turbine. Aeolos-H 5kW Wind Turbine Technical Specifications. URL: <https://www.wind-turbine-models.com/turbines/1861-aeolos-aeolos-h-5kw> (дата звернення: 10.06.2026)

8. Bornay. Bornay 6000 Wind Turbine with Grid Connection. URL: <https://www.bornay.com/en/cms/sweden-bornay-6000-with-grid-connection> (дата звернення: 11.06.2026)
9. Eocycle Technologies Inc. EO10 Wind Turbine Technical Specifications. URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/2785-eocycle-eo10> (дата звернення: 12.06.2026)
10. Bergey Windpower Co. Excel 10 Off-Grid Wind Turbine. URL: <https://www.bergey.com/products/off-grid-turbines/excel-10-off-grid/> (дата звернення: 13.06.2026) International Electrotechnical Commission. IEC 61400-24 Wind Turbines – Lightning Protection. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/63113> (дата звернення: 20.05.2026)
11. Національний орган інтелектуальної власності України. Патент №82741 «Вітроелектрична установка ВЕУ». URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/396750/> (дата звернення: 18.05.2026)
12. Національний орган інтелектуальної власності України. Патент №162271 «Вітроустановка з гідравлічним перетворювачем енергії». URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1905255/> (дата звернення: 21.05.2026)
13. Національний орган інтелектуальної власності України. Патент №726846. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/726846/> (дата звернення: 24.05.2026)
14. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 CPU 1211C. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/Catalog/Products/10045647> (дата звернення: 29.05.2026)

15. ComWinTop. CWT-SWS-A Wind Speed Sensor Manual. URL: <https://ru.scribd.com/document/820705229/CWT-SWS-A-A-manual-Aluminum-casing-analog-type> (дата звернення: 27.05.2026)
16. ComWinTop. Wind Direction Sensor 4–20 mA. URL: <https://store.comwintop.com/products/8-direction-aluminium-alloy-wind-direction-sensor-4-20ma-0-5v-0-10v-rs485-output-wind-direction-transmitter> (дата звернення: 16.05.2026)
17. Phipps Electronics. LJ12A3-4-Z/BX Inductive Proximity Sensor Documentation. URL: <https://www.phippselectronics.com/support/lj12a3-4-z-bx-inductive-proximity-npn-sensor-npn-normally-open-4mm-support-documentation/> (дата звернення: 12.05.2026)
18. PowerUC. Voltage Transducer THV4117TB Datasheet. URL: <https://poweruc.com/wp-content/uploads/2023/11/2023112711075647.pdf> (дата звернення: 30.05.2026)
19. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 24.05.2026)
20. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-98> (дата звернення: 17.05.2026)
21. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=8807 (дата звернення: 28.05.2026)
22. Правила пожежної безпеки в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 26.05.2026)

23. ДСанПіН 3.3.2-007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з персональними електронно-обчислювальними машинами. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> (дата звернення: 15.05.2026)
24. ДСТУ EN IEC 62305-1:2022 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи. URL: <https://online.budstandart.com> (дата звернення: 29.05.2026)
25. ДСТУ EN IEC 62305-3:2022 Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні пошкодження споруд та небезпека для життя. URL: <https://online.budstandart.com> (дата звернення: 21.05.2026)
26. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller System Manual. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 25.05.2026)
27. International Electrotechnical Commission. IEC 61400-1 Wind Turbines – Design Requirements. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/26423> (дата звернення: 23.05.2026)
28. International Electrotechnical Commission. IEC 61400-24 Wind Turbines – Lightning Protection. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/63113> (дата звернення: 20.05.2026)
29. National Renewable Energy Laboratory. Wind Turbine Safety and Operation. URL: <https://www.nrel.gov/wind> (дата звернення: 22.05.2026)
30. CISA. Cybersecurity Guidance for Industrial Control Systems. URL: <https://www.cisa.gov/topics/industrial-control-systems> (дата звернення: 17.05.2026)
31. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. Рекомендації з кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану. URL: <https://cip.gov.ua> (дата звернення: 28.05.2026)

32. National Renewable Energy Laboratory. Wind Turbine Safety and Operation. URL: <https://www.nrel.gov/wind> (дата звернення: 22.05.2026)

33. CISA. Cybersecurity Guidance for Industrial Control Systems. URL: <https://www.cisa.gov/topics/industrial-control-systems> (дата звернення: 17.05.2026)

34. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. Рекомендації з кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану. URL: <https://cip.gov.ua> (дата звернення: 28.05.2026)