

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**Засіб перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними
метрологічними характеристиками**

Виконав: студент 2 курсу,
групи КІВТ-20м
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
освітня програма: комп'ютеризовані
інформаційно-вимірювальні
технології

_____ Уляннівський
Д.В.

Керівник: к.т.н., доц. каф. МПА

_____ Дудатьєв І.А.
« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: _____

_____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри МПА

_____ д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.

« ____ » _____ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра метрології та промислової автоматики
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань 15 "Автоматизація та приладобудування"
 Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
 Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри МПА
 д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.
 “ _____ ” _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

- _____ Ульянівський Д.В. _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи _____ Засіб перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними метрологічними характеристиками
- керівник роботи _____ Дудатьєв І.А., к.т.н., доц. _____,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом вищого навчального закладу від “ _____ ” _____ 20__ року № _____
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи _____
Діапазон вихідної напруги 220...340 В;
Тип об'єкта – асинхронний генератор з вітроколесом (3 лопаті);
- 4.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____
Особливості об'єкту дослідження; Вибір та розрахунок параметрів вітроенергетичної установки; Дослідження метрологічні характеристики вимірювального каналу обертання лопаті вітрогенератора Практична реалізація вітрогенераторної системи та експериментальні дослідження; Економічна частина
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
6. Консультанти розділів роботи

Ро зді л	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Дудатьєв І.А., к.т.н., доц.	01.09.2021	14.09.2021
2	Дудатьєв І.А., к.т.н., доц.	14.09.2021	28.09.2021
3	Дудатьєв І.А., к.т.н., доц.	28.09.2021	07.10.2021
4	Дудатьєв І.А., к.т.н., доц.	07.10.2021	19.10.2021
5	Ратушняк О.Г., к.т.н., доц.	16.11.2021	17.12.2021

7. Дата видачі завдання _____ 202 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Конструктивні особливості вітрогенераторів і область застосування		
2	Методика розрахунку вітроколеса з горизонтальною віссю обертання		
3	Оцінка технічних показників ВЕУ. Математичне моделювання ВЕУ		
4	Статичні характеристики вимірювального каналу швидкості обертання		
5	Загальна схема вітроустановки		
6	Експериментальні дослідження. Математичне моделювання роботи вітроелектричних установок		
7	Економічна частина		

Студент _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Ульянівський Д.В. Засіб перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними метрологічними характеристиками. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма: комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2021. 111 с. На укр. мові. Бібліогр.: 32 назв; рис.: 33; табл. 9.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано розробку перетворювача кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та системи контролю параметрів вітрогенераторів. Система призначена для отримання, збереження, обробки вимірювальної інформації про стан вітрогенераторних систем.

В режимі реального часу, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення контролюється номінальний режим роботи вимірюваних параметрів роботи вітрогенератора. Проведено розрахунок основних метрологічних характеристик.

У економічному розділі зроблено розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки.

Ключові слова: вітрогенератор, вимірювальний перетворювач, потужність, динамічні та статичні метрологічні характеристики.

ABSTRACT

Ulyanovskiy D. A means of converting the kinetic energy of wind flow with improved metrological characteristics. Master's thesis in specialty 152 - Metrology and information-measuring technology, educational program: computerized information-measuring technologies. Vinnytsia: VNTU, 2021. 111 p. In Ukrainian language. Bibliogr .: 32 titles; fig .: 33; table 9.

In the master's qualification work the development of the kinetic energy converter of wind flow into electric and the system of control of wind generator parameters was performed. The system is designed to obtain, store, process measurement information about the state of wind turbine systems.

In real time, with the help of specialized software monitors the nominal mode of operation of the measured parameters of the wind turbine. The calculation of the main metrological characteristics is carried out.

In the economic section the calculation of economic efficiency of scientific and technical development is made.

Key words: wind generator, measuring transducer, power, dynamic and static metrological characteristics.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Основні терміни та поняття.....	10
1.2 Конструктивні особливості вітрогенераторів і область застосування.....	11
1.3 Висновок до розділу 1.....	20
2 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	21
2.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу.....	21
2.2 Вибір вітрогенератора.....	23
2.2 Додаткове обладнання для вітроенергетичної установки.....	28
2.4 Визначення технічних характеристик ВЕУ. Площа під розміщення ВЕУ.....	30
2.5 Аеродинамічні параметри ВЕУ.....	33
2.4 Методика розрахунку вітроколеса з горизонтальною віссю обертання.....	35
2.7 Оцінка технічних показників ВЕУ. Математичне моделювання ВЕУ.....	37
2.8 Висновок до розділу 2.....	48
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ОБЕРТАННЯ ЛОПАТІ ВІТРОГЕНЕРАТОРА	49
3.1 Рівняння перетворення.....	49
3.2 Статичні характеристики вимірювального каналу швидкості обертання.....	52
3.3 Висновок до розділу 3.....	58
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	59
4.1 Загальна схема вітроустановки.....	59
4.2 Проектування генератора.....	60
4.3 Збірка вітротурбіни та основи.....	63

4.4 Гальмівна система.....	65
4.5 Експериментальні дослідження. Математичне моделювання роботи вітроелектричних установок.....	67
4.6 Висновок до розділу 4.....	71
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	72
5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	72
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	78
5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки.....	85
5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності..	86
5.5 Висновки до економічного розділу.....	89
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
ДОДАТКИ.....	95
Додаток А Технічне завдання.....	96
Додаток Б Лістинг програми керування	98
Додаток В Схема підключення	100
Додаток Г UniCheck.....	101
Додаток Д.Презентація.....	102

ВСТУП

Перетворення енергії вітру в електроенергію дуже ефективно, тому що вітрогенератор виробляє в 17 - 40 разів більше енергії, ніж споживає за цей час. У свою чергу, ККД може досягати 50%. Енергія вітру є загальнодоступним поновлюваним ресурсом. Її використання не тягне за собою будь-якого роду згубних впливів на екологію, тому що перетворення здійснюється без викидів речовин або парникових газів в атмосферу.

Продуктивність роботи вітряків залежить від швидкості вітру. Так само вони не переносять різких поривів, що перевищують максимально допустимі швидкості вітру для конкретної станції. Оптимальне розташування для вітряків це – височина з високою швидкістю вітру і низької турбулентністю. Вітряки досить гучні, а захисники природи заявляють, що про обертові лопасті розбиваються птаці. У зв'язку з цим в вітряні електростанції, як правило, припиняють свою роботу в сильно вітряну погоду і сезони міграції птахів.

Характеристики вітру вимірюються на метеостанціях. При описі зміни швидкості вітру в часі необхідні щоденні спостереження в певній точці не менше 10-12 років, так само необхідно враховувати закономірні залежності, наприклад, що швидкість вітру в зимові періоди вище, ніж в літні, а в обід вище, ніж вранці.

У світовій практиці використання вітроенергетичних установок вважається перспективним, якщо середньорічна швидкість вітру для конкретної місцевості становить 5-6 м/с. Лідерами по використанню енергії вітру в якості альтернативного джерела енергії стали: Китай, США, Німеччина, Іспанія, Індія. При швидкостях 3-5 м/с, що характерні для більшості території України потрібні техніко-економічні розрахунки, аналізи і більш детальний вибір оптимальної конструкції вітрогенератора.

Актуальність даної теми досить велика. Щороку збільшується вартість електроенергії (1 кВт / год), а ціни на опалення, газ та водопостачання так

само активно ростуть. Це пов'язано не тільки з інфляцією в країні, зростання цін на енергетику так само пов'язаний з подорожчанням невідновлюваних енергоносіїв - вугілля, газу, нафти, які є основними джерелами для генерації електроенергії в Україні.

Згідно з прогнозами, до 2030 року електроенергія здорожчає ще не раз. Оцінка даної тематики призводить до питання про необхідність часткового або повного переходу громадян на альтернативні джерела енергії [1].

Метою роботи є розробка перетворювача кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та системи контролю параметрів вітрогенераторів на основі контролера, яка забезпечить моніторинг та управління роботи вітроелектричних установок.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі**:

- аналіз загальних понять енергії вітру;
- основні параметри вітрогенераторів та методи їх вимірювань;
- методи та засоби вимірювання швидкості обертання;
- схеми роботи вітрогенераторів.

Об'єктом дослідження в роботі є процес вимірювального контролю параметрів вітрогенераторних систем.

Предметом дослідження є методи та засоби, які забезпечують стабільну роботу вітрогенераторних систем.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач в роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, які були використані для обробки експериментальних результатів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю, методи алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Запропоновано струм з виходу випрямляча подавати на трифазний інвертор, інвертор в свою чергу перетворює випрямлену напругу знову в змінну (з частотою в 50 Гц) і передає на навантаження, що забезпечило стабільність роботи системи в цілому (особливо при різких перепадах напруги).

2. Розроблена структурно-алгоритмічна організація перетворювача кінетичної енергії у електричну з покращеними метрологічними характеристиками.

Практичне значення одержаних результатів. У роботі отримані такі практичні результати:

1. Проаналізовано та представлено вітрову карту м.Вінниці на основі реальних експериментальних даних.

2. Розроблений програмний засіб для контролю електричних параметрів на виході вітрогенератора.

3. Представлено типова криву потужності ВЕУ на основі експериментальних даних.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, що представлені в магістерській роботі, одержані автором самостійно.

Апробація результатів. Результати роботи обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ.

Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи. Робота складеться зі вступу, 5 розділів, основних висновків по роботі, переліку використаних джерел (31 Бібліографічних посилань, 3 сторінок), та додатків (14 сторіноки). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 111 сторінок і містить рисунків 33, таблиць 9. Повний обсяг магістерської кваліфікаційної роботи 101 сторінка.

1 ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні терміни та поняття

Під вітрогенератором або вітроенергетичною станцією (ВЕС) розуміють електромеханічний пристрій, що сприяє перетворенню кінетичної енергії повітряного потоку в механічну енергію обертання ротора вітроколеса з подальшим її перетворенням за допомогою електрогенератора в електричну [4]. Безсумнівним плюсом таких пристроїв є мінімальний збиток навколишньому середовищу під час експлуатації (так як паливо не використовуються корисні копалини, типу «вугілля» або «нафти»). Паливом тут служить якраз вітер – одне з джерел альтернативної або поновлюваної енергії. Таке джерело енергії теоретично невичерпане і екологічно безпечне [1]. Будь-який вітрогенератор класифікується за наступними критеріями:

- 1) За кількістю лопастей - однолопастний, дволопастевий, трилопастевий і багатолопастевий вітрогенератор;
- 2) За номінальною потужністю - до 15-20кВт побутові, до 100кВт-напівпромислового типу, більше 100 кВт – промислового типу;
- 3) У напрямку осі – горизонтального типу обертання або вертикального типу обертання.

Однак далеко не всі вітрогенератори можна зарахувати до наземного місця використання, хоча їх і переважна більшість. Є вітрогенератори, які розташовуються або на шельфі недалеко від берега, або в прибережній частині моря або океану. Зазвичай використовується не один, а десять і більш вітрогенераторів, сумарна кількість виробленої потужності яких становить десятки, а то і сотні мегават [2]. Такі вітряні електростанції в основному використовуються там, де географія країн дозволяє будувати подібні споруди - це Данія, Німеччина, Швеція, Англія, Ірландія, Голландія. Як видно з списку, ці країни переважно північного розташування, де в силу і розташування і клімату рентабельно використовувати вітроенергетичні

електростанції, для вирішення проблеми енергозабезпечення. Лідером тут є Данія, в цій країні вітрова енергія забезпечує близько 18% від річного споживання всієї енергії. І на цьому уряд цієї країни навіть не збирається зупинятися, збираючись довести до 50% споживання електроенергії. В інших же країнах так само інвестуються великі кошти на будівництво подібних станцій, з метою збільшення відсотку виробництва електроенергії таким шляхом і знизити рівень шкоди навколишньому середовищу в цілому [3].

1.2 Конструктивні особливості вітрогенераторів і область застосування

Вітрогенератор являє собою пристрій, який шляхом перетворення вітрового потоку виробляє електричну або механічну енергію, для її подальшого використання споживачами [1, с.12].

На даний момент відомі два основних типи вітрогенераторів, що мають конструктивні відмінності – це розташування осі обертання елемента, що уловлює енергію вітру.

Вітряні генератори бувають:

- з горизонтальною віссю обертання (рис.1-а);
- з вертикальною віссю обертання (рис.1-б)

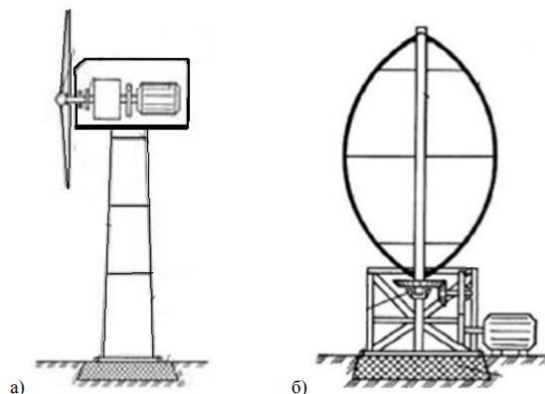


Рисунок 1.1 – Вітроустановка з горизонтальною віссю обертання (а) і з вертикальною віссю (б)

Принцип роботи вітрогенератора – дуже простий: потік вітру чинить тиск на лопасті (позиція 12 на рис.1.2) вітрового колеса. Ротор (позиція 1 на рис.1.2) вітрового колеса закріплений на низько швидкісному валу (позиція 2 на рис.1.2). Під впливом вітру вітряне колесо (ротор з лопастями і малої швидкості вал) починає обертатися, здійснюючи перетворення вітряної енергії в механічну: від низької вала через редуктор (позиція 3 на рис.1.2) механічний рух передається на вал (позиція 8 на рис.1.2) електричного генератора (позиція 4 на рис.1.2). При обертанні ротора електрогенератора здійснюється перетворення механічної енергії в електричну.

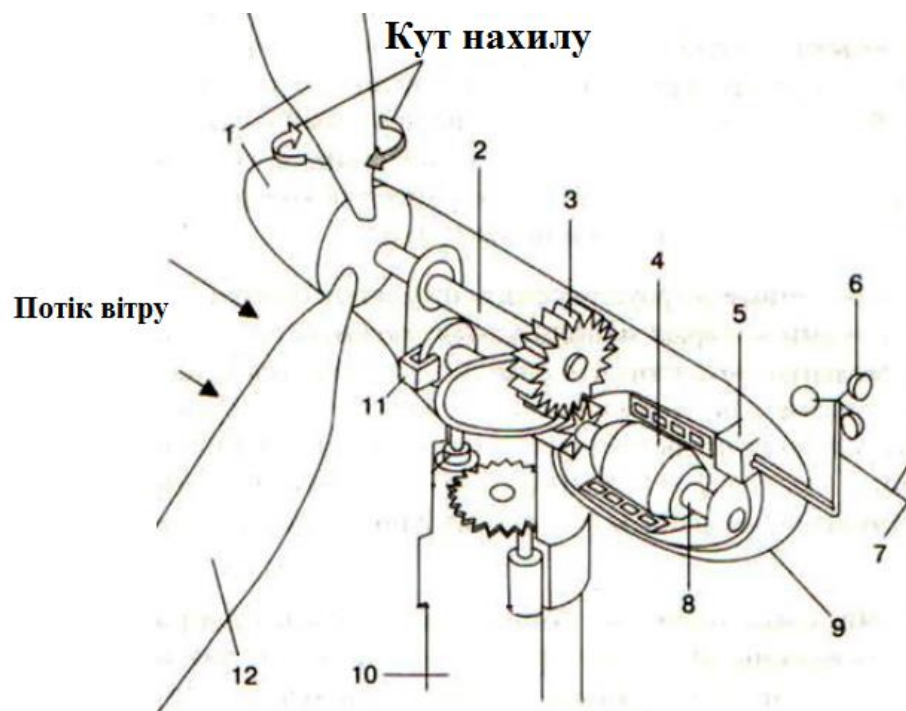


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема вітроустановки

На рисунку 1.2 показана конструктивна схема електроустановки, дає повне уявлення про її устрій.

На схемі використовуються наступні позиційні позначення.

1. Ротор вітроколеса, який бере участь в процесі перетворення тиску вітру в механічну енергію.

2. Низько швидкісний вал, що приводиться в рух ротором вітроколеса і задіяний в передачі механічної енергії.

3. Редуктор, що підвищує частоту обертання вітроколеса (ротора).
4. Генератор, що виробляє електроенергію і має в своєму складі високошвидкісний вал.
5. Контролер, який відповідає за управління всією установкою. З його допомогою в автоматичному режимі запускаються вітряні турбіни або здійснюється їх зупинка.
6. Анемометр, призначений для визначення швидкості вітру з подальшою передачею даних до контролера.
7. Флюгер, що визначає напрямки вітру і повертає вітроколесо в потрібному напрямку.
8. Високошвидкісний вал, що обертає ротор електрогенератора.
9. Гондола, що розташовується у верхній частині вітряної турбіни і що є несучою частиною конструкції. Всередині неї знаходяться вали, редуктор, генератор, котролер і гальмо.
10. Щогла, що представляє собою порожню конструкцію з металу або бетону, що служить для розміщення всіх основних елементів на висоті.
11. Гальмо, що запобігає поломки установки і використовується для зупинки ротора в критичних ситуаціях (наприклад, в ураган).
12. Лопасті, що є ключовим елементом вітроустановки, призначеним для уловлювання енергії вітру. За допомогою лопастей здійснюється функціонування даного пристрою. Потік вітру, потрапляючи на лопасті, приводить їх в рух, і забезпечує обертання ротора і надалі вироблення енергії генератором.

Незважаючи на наявну схожість, є істотні відмінності в характеристиках вітрогенераторів з горизонтальною і вертикальною осями обертання. Проаналізуємо технічні можливості вітрогенераторів обох конструктивних типів.

Вертикальний вітрогенератор має менший момент рушання.

Отже, він здатний працювати, починаючи з мінімальних швидкостей

вітру. Горизонтальний - більш потужний, отже, він здатний забезпечувати енергією електроприймача значно більшої потужності.

Вертикально-осьові ВЕУ встановлюються на землі, тим самим полегшують доступ до генератора і їх обслуговування.

Вертикальні вітрогенератори не бояться різноспрямованого вітру або бурі, так як у них мінімальне опір вітру. Всі ці якості дозволяють встановлювати ці ВЕУ близько до житла і навіть в містах.

Вітрогенератор рекомендується встановлювати на височинах і якнайдалі від природних і штучних перешкод, щоб отримувати максимально високу швидкість вітру.

Незалежно від місцевості під розміщення вітряків, чим ближче до поверхні землі він встановлюється, тим менше швидкість вітру. На рис.1.3 візуально представлено, що на висоті швидкість вітрового потоку набагато більше, ніж на поверхні землі.

Це результат дії сили тертя в земної поверхні і існування перешкод на поверхні землі. Через ці перепони виникають турбулентності, які знижують ефективність будь-якого вітроколеса. Тому розміщувати вітряк краще на майданчику, де для вітрів існує якнайменше перешкод. Тобто, найкраще розташувати вітроустановку на височини.

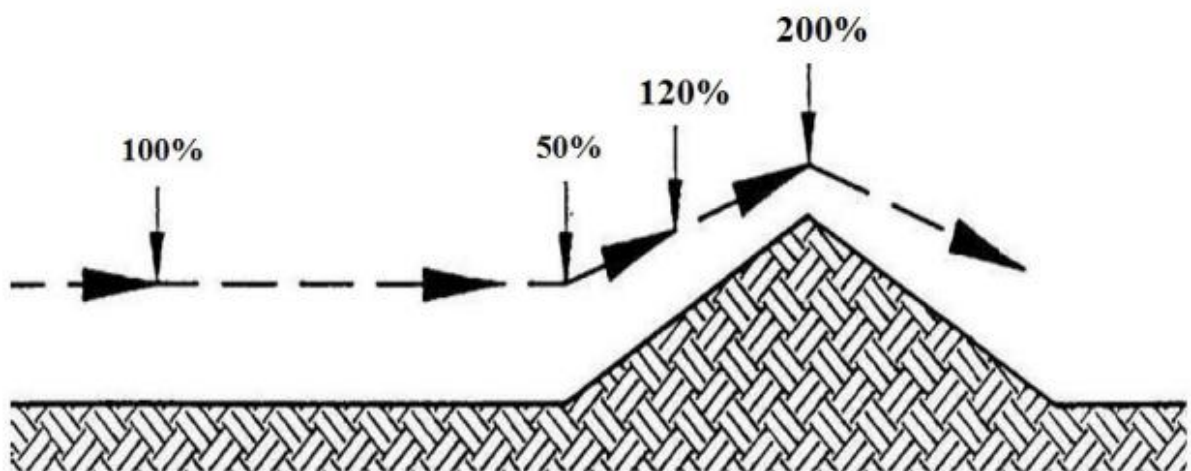


Рисунок 1.3 – Щільність вітрового потоку, %

Енергія вітру – це енергія, яка досягає зовнішніх шарів земної атмосфери, перетворюється на кінетичну енергію частинок повітря, які рухаються.

Сила вітру це одне з найстародавніших використовуваних людством джерел енергії, яке, безперечно, є одним з найбільш економічних. Енергію вітру людина використовувала з найдавніших часів. Спочатку це були вітрильні судна, потім вітряні млини й тільки в ХХ столітті енергію вітру стали використовувати для одержання електроенергії [3].

У старих вітряків лопаті були дерев'яними і могли використовувати близько 7% енергії вітру. Завдяки новаторській праці Томас Перґи, який наприкінці ХІХ століття провів близько 5000 експериментів з різними видами "колеса" (тобто ротора), дерев'яні лопаті поступилися місцем лопатям з вигнутого металу, що збільшило ефективність установок вдвічі – до 15%.

На території України у 2018 нараховувалось більше 30 тисяч вітряків, сумарна потужність яких становила 200 тис. кВт.

Енергія вітру має ряд специфічних особливостей: малу концентрацію, віднесену до одиниці об'єму повітряного потоку; випадковий характер зміни швидкості; з другого боку, повсюдне розповсюдження цього джерела енергії, надто досконалі технічні засоби вітроенергетики і їх економічна ефективність дозволяють розглядати його як доповнення до "великої" енергетики, насамперед для забезпечення енергією споживачів у важкодоступних районах, віддалених від джерела централізованого енергопостачання.

Вітрова енергетика дозволяє впроваджувати екологічно чисті генератори струму, за допомогою яких можна забезпечити населення електроенергією, при цьому не забруднювати навколишнє середовище та не витрачати природні ресурси, що є доволі важливим аспектом в розвитку альтернативної енергетики.

Енергія вітру – це кубічна функція швидкості вітру. Тому навіть незначні зміни швидкості вітру можуть викликати суттєві зміни вихідної

потужності. При подвоєнні швидкості вітру вихідна потужність зростає в кілька разів. Очевидно, слід звернути пильну увагу на те, що навіть незначне зміни вітру мають істотно змінити ефективність використання вітряка.

При установці на землі враховують також і характеристики ґрунту місця розміщення вітрогенератора. Пухкий піщаний ґрунт, неоднорідні ґрунту і ґрунту, легко змінюються в залежності від погодних умов, що не підходять для установки вітрогенератора, якщо не вжити заходів по зміцненню фундаменту, наприклад палями. Оскільки при роботі вітрогенератора мають місце помітні вібрації і розхитування елементів опори.

При виборі місця установки необхідно враховувати відстань між вітрогенератором і додатковим електроустаткуванням. Чим коротше ця відстань, тим меншою довжини буде потрібно кабель. В результаті буде менше втрат енергії при передачі. Якщо ця відстань буде великою, то краще використовувати для передачі кабель з великим поперечним перерізом.

Установку вітрогенератора повинні проводити спеціально підготовлений персонал, дотримуючись всіх необхідних вимог безпеки при проведенні робіт. Роботи по установці повинні виробляється в суху погоду, швидкість вітру не повинна перевищувати 2 м / с. Всі роботи повинні бути припинені при швидкості вітру більше 2 м / с.

Використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найбільш ефективним способом утилізації енергії вітру. Ефективність перетворення механічної енергії в електричну в електрогенераторі становить 95%, а втрати електричної енергії при її передачі не перевищують 10%.

З (1.4) видно, що енергія або потужність потоку пропорційна кубу швидкості. Однак в механічну роботу можна перетворити тільки частину енергії потоку, що протікає через віротурбіну. Інша частина енергії втрачається на тертя повітряних частинок і різні втрати, так як віротурбіна чинить опір руху повітряних частинок. Крім того, значна частина енергії міститься в повітряному потоці, вже пройшов через віротурбіну. Це

пояснюється тим, що потік за вітротурбіни також має деяку швидкість (рис.1.4).

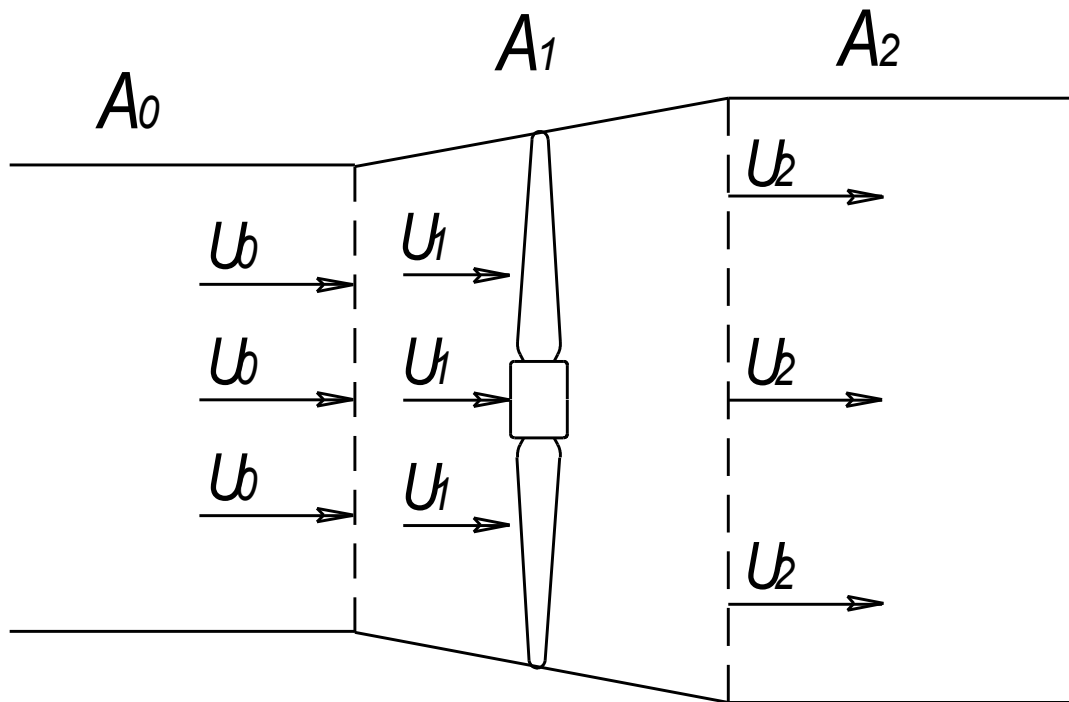


Рисунок 1.4 – Дія сили вітру на вітротурбіну

На рис. 1.4 наведено наступні позначення: A_1 – корисна площа вітротурбін, A_0 і A_2 - площі поперечних перерізів, які проходять через вітротурбіну вітрового потоку відповідно до і за ним. Причому перетин A_0 розташований за межами обуреної вітротурбіною області, а перетин A_2 - в місці найменшої швидкості потоку. Положення площі перетинів A_0 і A_2 можна бути визначений за результатами експериментальних вимірювань поля швидкостей в околиці вітротурбіни. Безпосередньо в перетині A_1 провести такі вимірювання неможливо через обертання вітротурбіни.

Швидкість потоку за вітротурбіною не може бути дорівнює нулю і найкращий режим роботи вітрогенератора має місце, коли швидкість безпосередньо за вітротурбіною становить $2/3$ від початкової швидкості потоку, що набігає на вітротурбіну.

Число, що показує, яка частина потужності повітряного потоку використовується віротурбіною, називається коефіцієнтом потужності або коефіцієнтом використання енергії вітру НГ.

Тоді потужність повітряного потоку за віротурбіною буде дорівнює:

$$P_1 = \frac{\rho \cdot A_2 \cdot V_2^3 \cdot C_p}{2}. \quad (1.1)$$

У кращих промислових аерогенераторах коефіцієнт потужності досягає 0,4. Коефіцієнт потужності C_p характеризує ефективність використання вітрогенератором енергії повітряного потоку, що проходить через площу віротурбіни (площа A_1).

Висуваються при цьому вимоги до частоти і напруги, що виробляється і залежить від особливостей споживачів цієї енергії. Ці вимоги жорсткі при роботі вітроустановок в рамках єдиної енергосистеми і досить м'які при використанні енергії ВЕУ в освітлювальних і нагрівальних установках. До теперішнього часу розроблено багато проектів вітроелектричних установок, включаючи і генератори до них, але в майбутньому з перетворенням вітроенергетики в самостійну галузь енергетики, без сумніву, з'являться принципово нові конструкції ВЕУ.

При проектуванні вітроелектричних установок треба враховувати такі їх особливості:

1) для забезпечення максимальної ефективності роботи вітроколеса слід змінювати частоту його обертання при зміні швидкості вітру, зберігаючи постійним коефіцієнт швидкохідності, в той же час для максимально ефективної роботи електрогенератора необхідна практично постійна частота обертання;

2) механічні системи управління частотою обертання віротурбіни досить складні і дорогі. Набагато ефективніше і дешевше керувати частотою його обертання, змінюючи електричне навантаження електрогенератора;

3) оптимальна частота обертання вітротурбіни тим менше, чим більше його радіус, тому тільки дуже малі вітроколеса (радіусом не більше 2 м) вдається поєднувати з генератором безпосередньо. При великих розмірах вітротурбіни доводиться використовувати підвищувальні редуктори, що здорожують вітроустановку і її обслуговування. Альтернативою редукторів можуть стати нові типи багатополюсних генераторів, що працюють при менших частотах обертання;

4) в конструкції вітроелектричної установки передбачається, як правило, можливість відключення генератора від вітротурбіни і обертання його від хімічного або механічного акумулятора енергії, тому систему управління генератором не пов'язують з роботою вітротурбіни. При відсутності такого зв'язку навіть при "м'якому" з'єднанні генератора з вітротурбіною необхідні спеціальні пристрої, що демпфують, виключають механічні удари, перевантаження і стрибки напруги на виході генератора.

Крім того, слід враховувати специфічні вимоги, що пред'являються до вихідних параметрів ВЕУ, а саме:

а) найбільш сприятливі вітрові умови існують, як правило, в малонаселених районах, на островах і в морі. Вимоги до електроенергії в таких районах дуже специфічні, але майже напевно її тут потрібно набагато менше, ніж в розвинених промислових районах;

б) аналіз споживачів енергії показує, що лише 5 - 10% з них висувають певні вимоги до параметрів (наприклад, до частоти). Це в основному електродвигуни, електронні пристрої та освітлювальні установки. Тому доцільно так будувати систему електропостачання, щоб вона могла забезпечувати споживачів як дешевою електроенергією з нестабілізованими параметрами (наприклад, для опалення), так і відносно дорогою, але зі стабільними параметрами;

в) енергосистеми в сільській місцевості зазвичай малопотужні і низьковольтні (менше 33 кВ), при передачі енергії на великі відстані виникає

багато проблем, пов'язаних з її втратами, тому підключення ВЕУ до таких систем недоцільно;

г) так як періоди затишності неминучі, то для виключення перебоїв в електропостачанні ВЕУ повинні мати акумулятори енергії або працювати синхронно з електроенергетичними установками інших типів.

Отже, розвиток вітроенергетики буде стимулювати прогрес у всій електроенергетиці.

1.3 Висновок до розділу 1

У першому розділі розглянуті особливості при проектуванні вітроелектричних установок. Представлено вітер як вхідну величину вимірювального перетворювача. Визначено, що використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найбільш ефективним способом утилізації енергії вітру. Ефективність перетворення механічної енергії в електричну в електрогенераторі становить 95%, а втрати електричної енергії при її передачі не перевищують 10%.

2 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу

«Вітроенергетичний потенціал місцевості визначається як повна енергія вітрового потоку на певній висоті над поверхнею землі.

Енергія вітру характеризується швидкістю, яка є випадковою змінно. у просторі та часі. Тому, енергетичні Показники вітру видаються ймовірним описом випадкового процесу зміни вітроенергетичного потенціалу. Основний ймовірністю підходу є дискретизація тимчасового процесу, що дозволяє вважати незалежними та постійними всі зумовлені параметри на інтервалі дискретизації як тимчасові інтервали стаціонарності зазвичай використовують годину, добу, сезон, рік»

Для електроенергетики вітропотенціал регіону є дуже важливим показником. На основі даних про метеоспостереження, напрямки та сили вітрів складаються навіть спеціальні довідники – «Вітроенергетичний кадастр регіону» [42].

Важливими показниками вітроенергетичного кадастру є:

1. середньорічна швидкість вітру, річний та добовий хід вітру;
2. повторюваність швидкостей, типи та параметри функцій
3. розподілу швидкостей вітру;
4. питома потужність та питома енергія вітру;
5. вітроенергетичні ресурси регіону

«Щоб відомості про середні швидкості вітру у певній місцевості можна було довіряти, спостереження повинні проводитися не епізодично, а систематично протягом тривалого часу. Рекомендується використовувати період 10 років» [14, 15].

Використовувана для розрахунків швидкість вітру виходить шляхом опосередкування результатів спостережень, зареєстрованих через рівні Проміжки часу: 1 день, 1 місяць, 1 рік,10 років.

$$V_{\text{CP}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i, \quad (2.1)$$

де V – швидкість вітру в інтервалі виміру; n – кількість інтервалів вимірів.

Для чисельної оцінки розкиду швидкостей вітру від середнього значення використовується коефіцієнт варіації середніх швидкостей, який визначається виразом:

$$C_v = \frac{S_v}{V_{\text{CP}}}, \quad (2.2)$$

де S_v – середньоквадратичне відхилення поточної швидкості вітру від середнього значення; V_{CP} - Середня швидкість вітру за досліджуваний період часу [42, 43].

Середня швидкість вітру служить орієнтовним показником, що характеризує доцільність установки вітроелектростанції у цій місцевості. Критерієм є значення швидкості вітру, при яких сучасні вітроустановки починають обертатися і розвивають свою номінальну потужність.

Для оцінки переважаючого напрямку вітрів будується роза вітрів (рис. 3.1), що є векторною діаграмою, у якої довжина променів, що розходяться від центру діаграми в різних напрямках, пропорційна повторюваності вітрів цих напрямків.

Переважаючий напрямок вітру на обраному майданчику слід враховувати при будівництві вітропарку [43]. Крім того, його зазвичай співвідносять з ландшафтом (за винятком рівнинного характеру місцевості).

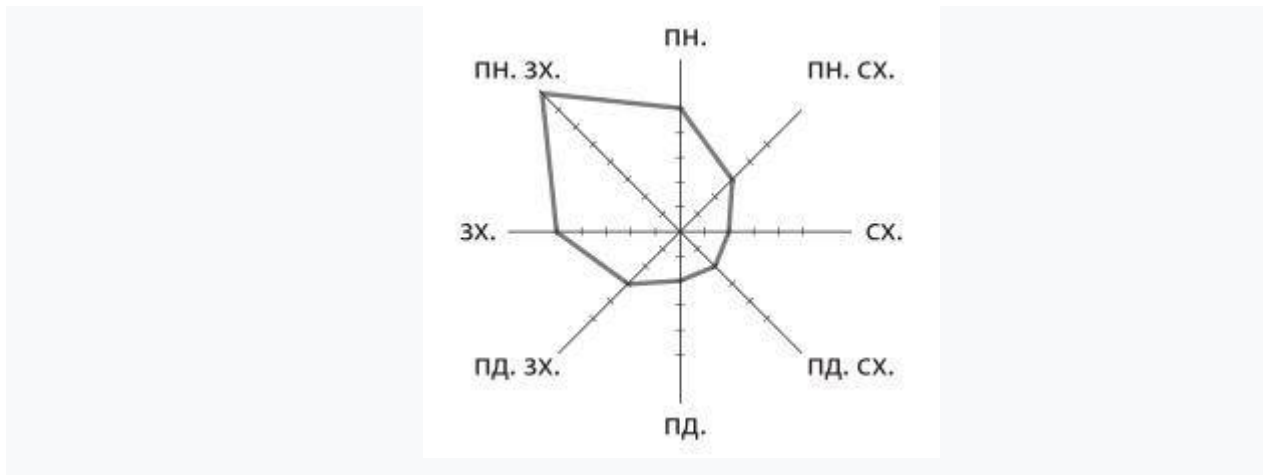


Рисунок 2.1 – Роза вітрів

Таким чином, результатами дослідження вітроенергетичного потенціалу у передбачуваному місці розміщення вітроелектростанції є такі характеристики:

1. Визначення середньоденної, середньомісячної та середньорічної швидкості вітру за даними метеоспостережень за 5-10 років.
2. Перерахунок середньої швидкості вітру кожного місяця на передбачувану висоту вежі вітрогенератора.
3. Розподіл швидкості вітру на висоті осі вітрогенератора за градаціями кожного місяця року.
4. Побудова рози вітрів для досліджуваної території.

Отримані вітроенергетичні характеристики дозволяють оптимізувати вибір вітроенергетичного обладнання і далі інтегрувати його в систему електропостачання підприємства, будинку, офісу. [43,42]

2.2 Вибір вітрогенератора

Вітрогенератор у певному сенсі можна вважати побутовим виробом, оскільки дозволів на його встановлення та експлуатацію не потрібно. Це важлива перевага вітряних джерел енергії. Оскільки вітрогенератори можна встановлювати та експлуатувати без спеціальних адміністративних дозволів,

то з їхньою допомогою можна отримувати практично безкоштовну електроенергію. Вітрогенератор не потребує палива, не забруднює навколишнє середовище та не створює надмірно великого шуму.

ВЕУ може використовуватися для основного або резервного живлення споживачів, віддалених від ліній електропередач, а також, у зв'язку з тарифами, що постійно зростають, з метою економії коштів.

Насправді ВЕУ поєднує у собі як устаткування виробництва та накопичення електричної енергії, а й пристрої, дозволяють отримувати напругу зі стандартними показниками якості електроенергії.

Наприклад, у складі ВЕУ є акумуляторна батарея (АКБ). Вона заряджається на постійному струмі. Електрогенератор, що входить до складу ВЕУ, виробляє енергію на змінному струмі. Тому у складі ВЕУ є пристрій, що перетворює систему напруги змінного струму – систему напруги постійного струму. Це випрямляч. Перетворення з постійного струму змінний (50 Гц, 220/380 В) здійснюється за допомогою інвертора, який також є складовою ВЕУ. Застосування інверторів у складі ВЕУ обов'язково, якщо електроприймачі, які отримують енергію від вітрогенератора, чутливі до якості напруги живлення.

Для живлення великих електроспоживачів ВЕУ може використовуватися у складі комплексу з дизельним або бензиновим генератором, сонячними батареями, а також центральною мережею електропостачання. Дизельний або бензиновий генератор, що включається в систему, сонячні батареї використовуються як резервні джерела зарядки акумуляторних батарей (далі АКБ) і для генерації необхідної електричної потужності, на випадок тривалого безвітря. Таким чином, створюється надійна та економічна система автономного гарантованого електропостачання.

Параметри вітроенергетичної установки залежать від обсягу електроенергії, який має вироблятися і вітроенергетичного потенціалу місця, де пропонується установка вітряка.

Вітровий потенціал місцевості характеризується значенням середньорічної швидкості вітру.

Об'єм електроенергії, який може бути вироблений вітряком, залежить від площі поверхні лопастей, що охоплені вітром. Ця площа визначається діаметром (або радіусом) вітроколеса [3, стор 15]. Залежність між швидкістю вітру та електричною потужністю, що виробляється вітрогенератором, відображає формулу:

$$P = \xi 0,5\pi R^2 \rho V_{CP}^3 \eta, \quad (2.3)$$

де ξ – Коефіцієнт використання енергії вітру;

R – Радіус вітроколеса, ;

ρ – щільність повітря (за нормальних умов $\rho = 1,2041 \text{ кг/м}^3$);

V_{CP} – Середньорічна швидкість вітру;

η – ККД електромеханічного перетворювача енергії ($\eta = 0,7 - 0,9$).

Визначимо критерії, відповідно до яких слід проводити вибір конкретної моделі вітрогенератора. Перший критерій – це середньорічна швидкість вітру на майданчику. Другий критерій - величина, що виробляється електричної потужності. Третій – значення стартової швидкості вітру, що варіюється для різних моделей у межах від 2-х до 4-х м/с. Четвертий – номінальна швидкість вітру, що становить зазвичай 8 – 15 м/с.

Середню річну швидкість вітру визначаємо з використанням шкали Бофорта та даних, отриманих шляхом спостереження за видимою дією вітру протягом року (рис. 3.2) на майданчику, що планується до встановлення вітрогенератора.

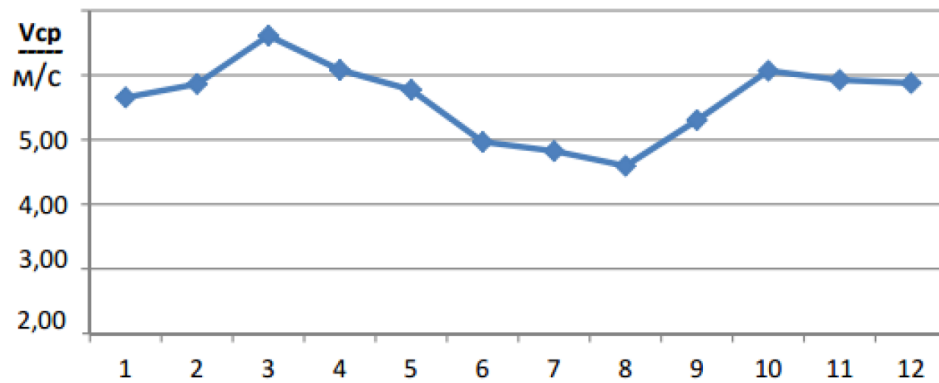


Рисунок 2.2 – Середня швидкість вітру за місяцями

Середня річна швидкість вітру за шкалою Бофорта та даними метеоспостережень становить

$$v_{\text{cp}} = 6 \text{ м/с.} \quad (2.4)$$

Для вибору вітрогенератора можна використовувати потужну характеристику, що наочно відображає можливості ВЕУ і являє собою залежність вироблюваної електричної потужності від швидкості вітру. Ця характеристика зазвичай знімається експериментально і наводиться у технічному описі вітрогенераторів.

На основі аналізу даних, представлених на сайтах виробників, попередньо вибираємо для альтернативного електропостачання столярного цеху вітрову установку типу WN6.4-5000. На рис.3.3 наведено потужну характеристику даної ВЕУ.

Вітрогенератор WN6.4-5000 характеризується номінальною потужністю 5 кВт. Функціонує при початковій швидкості вітру 2,5 м/с. На середній річній швидкості вітру в 6 м/с потужність, що виробляється, дорівнює приблизно 10000 Вт. Для генерування потужності в 14905Вт необхідно не менше двох «вітряків».

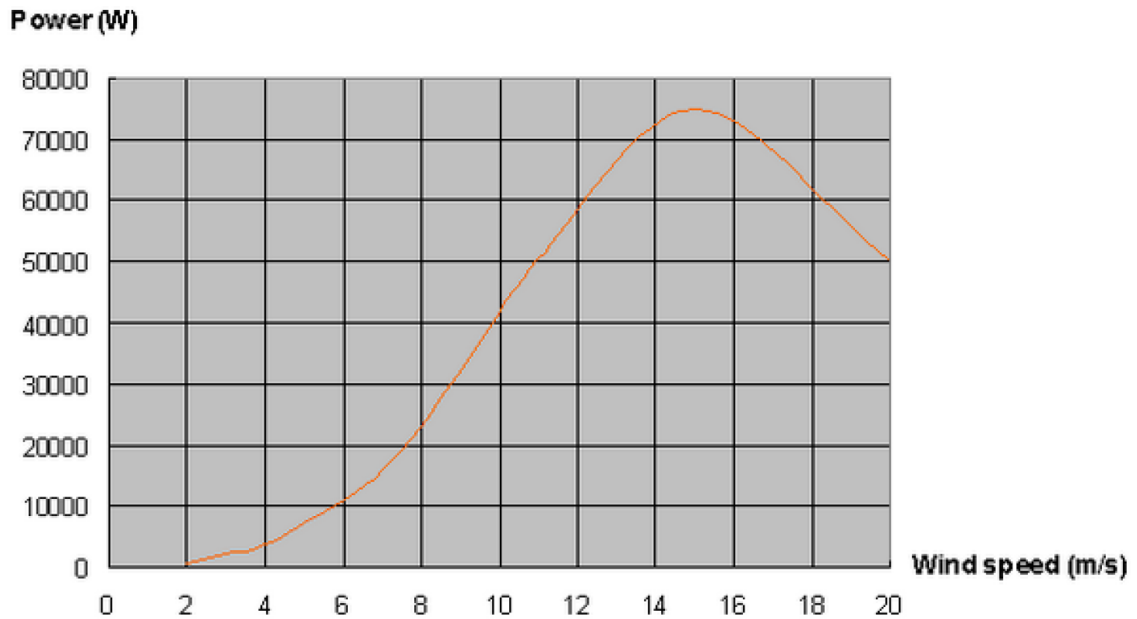


Рисунок 2.3 – Потужна характеристика вітрогенератора типу WH6.4-5000

Вітрогенератори Weswen є одними з найпередовіших у світі завдяки використанню запатентованого магнітного матеріалу, а також спеціальних сплавів міді, авіаційного алюмінію та нержавіючої сталі. Дані вітрогенератори можуть генерувати більше енергії, ніж конкурентні моделі. Коефіцієнт використання енергії вітру високий, причому ККД генератора становить понад 80%. Вал і хвіст крила виконані із сталі, полюсний хвіст – із марганцевої сталі.

Використання високоякісних матеріалів забезпечує надійність та довговічність. Стабільна робота системи. У моделі WH4.6-5000W і вище економічно обґрунтовано використання інтелектуальної системи управління Siemens PLC, яка реалізує функції: самозахисту, автоматичного пошуку оптимального напрямку вітру, моніторинг тощо, це виключає нищпорення валу вітрогенератора, що забезпечує плавне керування коробкою передач, що у свою чергу збільшує надійність та термін служби всієї системи.

2.3 Додаткове обладнання для вітроенергетичної установки

Додаткове обладнання до базового комплексу не входить, оскільки для різних вітрових умов та електричних навантажень на ту саму модель ВЕУ можливе встановлення різних за потужністю інверторів та різної кількості акумуляторів. Додаткове обладнання підбирається для кожного об'єкта індивідуально.

«Акумуляторні батареї – накопичують електроенергію для використання в безвітряний годинник. Також вони вирівнюють та стабілізують вихідну напругу генератора. Завдяки АКБ можна отримати стабільну напругу без перебоїв навіть при рвучкому вітрі» [35, 36]. У безвітряну погоду живлення електроприймачів здійснюється від акумуляторних батарей.

Стабільну та надійну роботу вітрогенераторів гарантують також різні типи акумуляторних пристроїв. Серед них зазначають:

1) Автомобільні стартерні АКБ, які відносяться до найпростіших видів батарей. Вони поділяються на обслуговуються та герметизовані. Перший вид АКБ, що витримує до 100 циклів розрядів, передбачає регулярну перевірку рівня електроліту та щорічне наповнення дистильованою водою, що відповідає вимогам ДСТУ. Герметизовані пристрої представляють вид батарей, що не обслуговуються, витримують до 200 циклів розрядів. Після виробітку ресурсу підлягають утилізації.

2) Гелеві АКБ ставляться до виду хімічних джерел електричної енергії, що не обслуговується. Вони відрізняються наявністю спеціального загусника селікогеля у складі кислотного електроліту та підвищеною чутливістю до перезарядів. Пластини виробляються звичайним штампуванням або з використанням «намазної» технології. Низьке значення кінцевої напруги, в порівнянні з іншими типами АКБ, забезпечує невелику кількість циклів розрядів, що варіюється в межах 350 разів.

Крім АКБ та акумуляторів до складу ВЕУ можуть входити такі пристрої. Стабілізатор напруги (з розширеним діапазоном напруги), що дозволяє при його використанні в складі різних систем гарантовано отримувати на виході з генератора напруга рівня 220/380В.

Цей пристрій зазвичай застосовувався раніше в системах, де для приймачів стабільна напруга була важливою. Керуючі пристрої, які можуть, наприклад, поєднувати в собі потужну систему збудження асинхронного генератора і потужний зарядний пристрій з ШИМ-регулюванням. Основною перевагою даних пристроїв є збудження асинхронного генератора лише при трьох обертах вітроколеса. Вже за таких малих оборотах створюється струм, достатній стійкої зарядки АКБ.

«АВР – автоматичне введення резервного джерела живлення. Здійснює автоматичне перемикання між кількома джерелами електроживлення за проміжок 0,5 секунд при зникненні основної напруги. Дозволяє поєднати вітрогенератор, електромережу, дизель-генератор та інші джерела живлення в єдину автоматизовану систему. АВР не дозволяє працювати мережі одного об'єкта одночасно від двох різних джерел живлення» [40].

Випрямляч - випрямляє вихідну напругу електрогенератора змінного струму, для подальшої передачі в АКБ або на інвертор (для підвищення якості напруги, що виробляється вітряком)

Інвертор - здійснює перетворення постійного струму випрямляча або акумуляторної батареї в змінний. Електроустаткування столярного цеху функціонує на змінному струмі. Тому наявність інвертора – обов'язкова умова.

Інвертори бувають різних типів. Оскільки навантаження столярного цеху – трифазна, то потрібний інвертор, на виході якого – 3-х фазна система напруги.

В даний час найбільш широко поширені автономні інвертори напруги, в яких в якості комутуючих ключів працюють біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT-транзистори).

За допомогою системи управління кожен з електронних ключів періодично підключається до постійної напруги, що має місце на виході некерованого випрямляча. Іншими словами, за допомогою ШІМ-модулювання формується трифазна напруга змінного струму, перша гармоніка якого має амплітуду та частоту, як у мережевої напруги.

На наш погляд, до складу ВЕУ має входити інвертор саме розглянутого тут типу.

2.5 Визначення технічних характеристик ВЕУ. Площа під розміщення ВЕУ

Визначимо площу землі безпосередньо займаної вітрогенератором. Це – сума площ перерізу нижньої основи щогли S_M та території, що займає розтяжки S_P .

З технічних показників вітрогенератора (табл. 2.1) візьмемо необхідні значення до розрахунку:

- діаметр труби щогли, $d=185\text{мм}$;
- висота щогли, $h=12\text{м}$;
- кут розтяжки, $\Omega=300$.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики вітрогенератора WH6.4-5000W

Номінальна потужність	5000Вт
Максимальна вихідна потужність	7500Вт
Зарядна напруга	Постійний струм, 180В
Вихідна напруга	Змінний струм, 180В
Лопасті/кількість	3
Матеріал лопасті	Армований скловолокном пластик
Лопасті несучого гвинта діаметра	6,4м

Початкова швидкість вітру	2,5м/с
Номінальна швидкість вітру	10м/с
Номінальна швидкість обертання	240
Регулювання швидкості (захист)	Механічна + ручна
Коефіцієнт вик. енергії вітру	40%
Вихід генератора	3 фазний змінний струм
Частота виходу напруги Розрахунковий струм	0 – 360Гц 20,0 А
Максимальний струм (короткий час)	32А
Рівень шуму (при швидкості вітру 5 м/с)	34дБ
Ефективність перетворення генератора	80%
Тип та вага генератора	Трифазний генератор на постійних магнітах, вага 147 кг
Вільно стояча матча(щогла) - діаметр	Ø495· Ø185/2шт.
Висота щогли	12м
Рекомендовані батареї	400/ 600 А·ч
Гарантія	Від 12 місяців до 5 років

Площа перерізу щогли

$$S_M = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{3,14 \times 1,85^2}{4} = 2,7 \text{ м}^2,$$

(2.5)

Визначимо площу, яку займає розтяжка

$$D_p = 2 \times h \times \sin \Omega = 2 \times 12 \times 0.5 = 12 \text{ м}, \quad (2.6)$$

Площа під установку розтяжок дорівнює площі вписаного в коло квадрата зі сторонами (рис.3.5)

$$S_p = S_{\text{КВ}} = L_{\text{КВ}}^2 = \frac{S_{\text{окр}}}{\pi \times 0,5} = \frac{\pi \times D_p^2}{\pi \times 4 \times 0,5} = \frac{D_p^2}{2} = \frac{12^2}{2} = 72 \text{ м}^2. \quad (2.7)$$

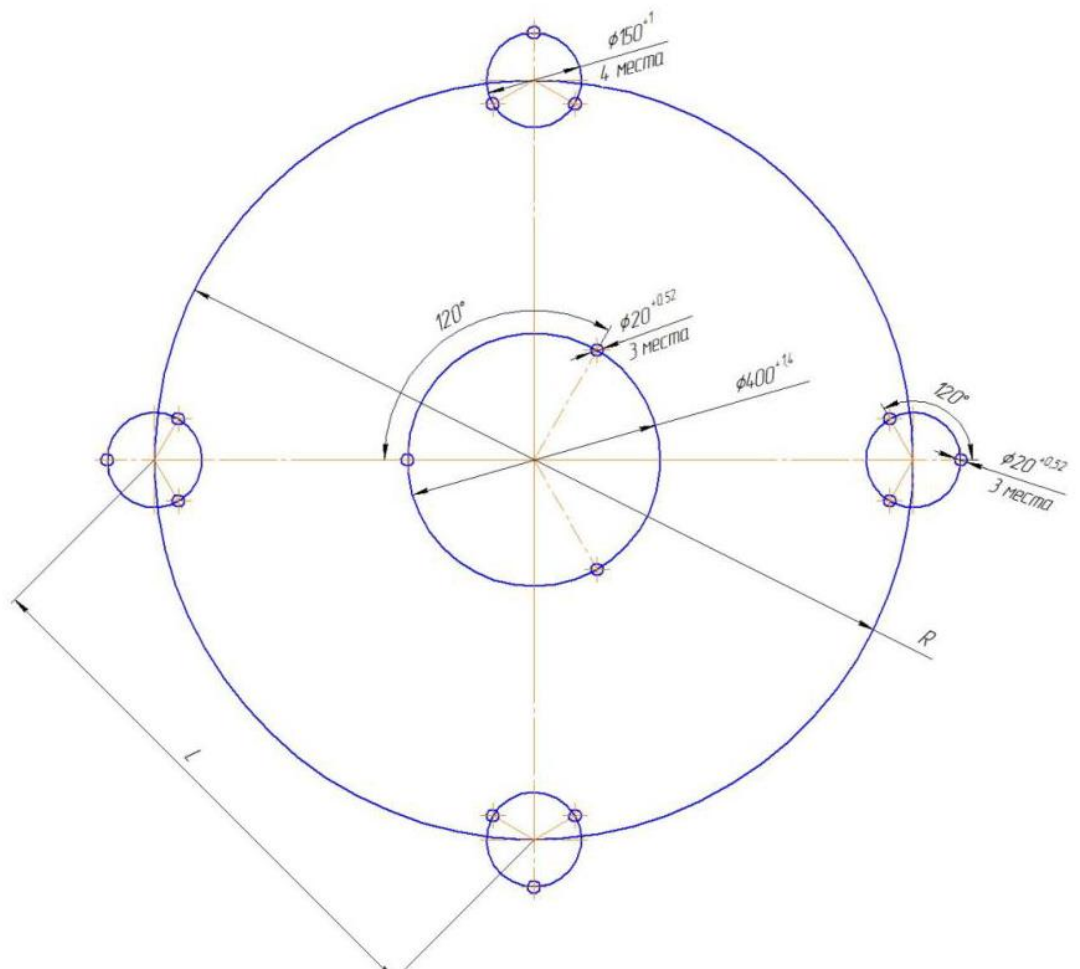


Рисунок 3.5 – Схема розташування фундаментів під щоглу та розтяжки

За результатами розрахунку отримуємо, площа землі займаної ВЕУ складається з площі перерізу щогли (3.5) і території під розтяжки (3.7). Сума

цих значень дорівнює $74,7\text{м}^2$. Ця площа, потрібна для встановлення однієї ВЕУ.

Так для розташування вітрової електростанції біля промислового підприємства, що складається з 2 «вітряків», знадобиться місце вдвічі більше, тобто. $149,4\text{м}^2$.

Вибір місця для встановлення вітроелектростанції повинен проводитись у сприятливих умовах з високим вітровим потенціалом, щоб забезпечувати економічну доцільність установки.

Найбільш сприятливими умовами вважаються височини та рівнинні ділянки.

Ми припускаємо встановити альтернативне електропостачання на даху підприємства, тим самим створимо умови для вироблення електроенергії для столярного цеху. Це місце захищене і недоступне для сторонніх осіб, віддалених від житлових будівель, тим самим забезпечує зниження рівня шуму вітроустановки до 45 дБ. На даху немає ліній електропередач, магістральних газопроводів, кабельних та водопровідних трас. Що створює ідеальну умову для монтажу та вироблення електроенергії вітроелектростанції.

2.5 Аеродинамічні параметри ВЕУ

Показники вітрогенератора залежить від його аеродинамічних особливостей.

Електрична потужність ВЕУ пов'язана з аеродинамічною потужністю через коефіцієнт використання енергії вітру

$$P = \xi \times P_A, \text{Вт.} \quad (2.8)$$

Реальний горизонтально-осьових установок змінюється не більше 0,25...0,4. Максимальне можливе значення коефіцієнта використання енергії вітру, що визначається розрахунковим шляхом за Жуковським-Бетц і становить 0,593. Насправді в реальному часі це значення отримати не можна через виникаючі втрати.

Аеродинамічна потужність є енергією потоку вітру, що набігає, що передається вітроколесу за 1 секунду:

$$P_A = \frac{m \times v^2}{2} = \frac{\rho \times v \times v^2}{2} = \frac{\rho \times S \times v \times v^2}{2} = \frac{\rho \times S \times v^3}{2}, \text{ Вт} \quad (2.9)$$

Площа, що охоплена вітром, для горизонтально-осьових установок дорівнює

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

D – діаметр вітроколеса.

Для розрахунків нам знадобляться технічні характеристики вітрогенератора WH6.4-5000W, наведені у табл. 2.1:

Номінальна потужність ВЕУ – 5000Вт;

Номінальна швидкість вітру – 10м/с .

З формули (3.8) знаходимо ідеальну аеродинамічну потужність при ідеальному коефіцієнті використання вітру за Жуковським:

$$P_A = \frac{P_{\text{э}}}{\xi_{\text{ж}}} = \frac{5000}{0,593} = 8432 \text{ Вт} .$$

З формули (3.9) знаходимо площу ротора S :

$$S = \frac{2 \times P_A}{\rho \times v^3} = \frac{2 \times 8432}{1.2041 \times 10^3} = 14 \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

Насправді охоплена площа має бути на 33-35% більше в порівнянні з ідеальною, оскільки реальний коефіцієнт використання вітру не перевищує 65-67% від ідеального.

$$S_{\text{реал}} = S \times 1,33 = 18,6 \text{ м}^2 \quad (2.12)$$

З формули 3.10 знаходимо діаметр ротора D:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = 4,9 \text{ м.} \quad (2.13)$$

Зовнішній діаметр колеса знайдемо за формулою:

$$D_{\text{расч}} = \sqrt{\frac{8N}{C_p \rho V^3 \pi \eta_{\text{эл}} \eta_{\text{мех}}}} = 3,63 \text{ м,} \quad (2.14)$$

Таким чином, ВЕУ, що розробляється, має наступні аеродинамічні характеристик: аеродинамічна потужність $P=8432$ вт ; ометана площа вітроколеса $S=18.6$ м²; діаметр ротора $D=4.9$ м; Зовнішній діаметр вітроколеса 4м.

2.6 Методика розрахунку вітроколеса з горизонтальною віссю обертання

Методика пропонує вести розрахунок вітроколеса за двома рівняннями. Перше рівняння говорить про те, що осьова складова сили реакції потоку на лопасті, що знаходяться в зоні кільцевого струменя (рис 2.6) дорівнює силі від впливу різниці тисків перед і за вітроколесом на площу перерізу кільцевого струменя площиною обертання колеса. Першим рівнянням є вираз:

$$i_n b C_{y_a} = \frac{8\pi r e}{1+e} \frac{1-e}{1-e^2(Z_u+\mu_a)} \frac{1}{1+Z_u^2}. \quad (2.15)$$

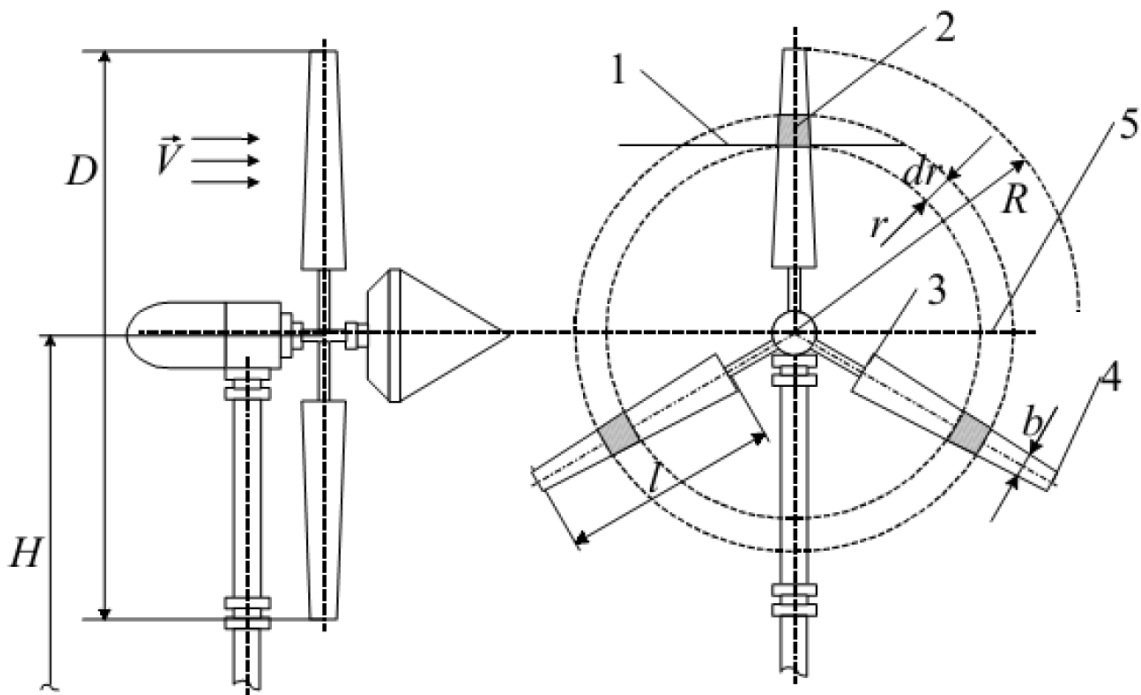


Рисунок 3.7 – Вітроколесо горизонтального типу:

На рис. 3.7 наведено наступні позначення: 1 – проміжний переріз; 2 – елементарна лопасть; 3 - коньовий перетин; 4 – периферійний переріз; 5 – кільцевий струмінь.

Друге рівняння відбиває теорему про зміну моменту кількості руху. Дана теорема у застосуванні до вітрового колеса формулюється наступним чином: момент щодо осі вітряка аеродинамічних сил, що діють на лопасті

(рис. 3.6), дорівнює за величиною і протилежний за знаком моменту кількості руху, що отримується кільцевим струменем, захопленої вітряним колесом. Другим рівнянням є вираз:

$$Z = Z_u \left(1 - e - \frac{e}{1+e} \cdot \frac{1-\mu_a \cdot Z_u}{Z_u + \mu_a} \right). \quad (2.16)$$

Рівняння (2.16) і (2.17) є основою для аеродинамічного розрахунку вітроколеса.

Запропонована методика дозволить розрахувати аеродинаміку вітроколеса з горизонтальною віссю обертання. У нашому випадку можна уникнути громіздких розрахунків. Оскільки, передбачається використовувати готову вітроустановку, до складу якої входить розраховане за даною методикою вітроколесо.

2.7 Оцінка технічних показників ВЕУ. Математичне моделювання ВЕУ

Оцінку працездатності ВЕУ проведемо, використовуючи один із найбільш актуальних та універсальних дослідницьких методів – математичне моделювання. Для реалізації цього виду дослідження необхідно спочатку розробити модель вітроенергетичної установки, яка повинна враховувати каталожні дані обраного в розділі 3 горизонтального вітрогенератора WH6.4-5000W.

Диференціальне рівняння рух вітрогенератора має вигляд

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_z - k_{mp}\omega, \quad (2.17)$$

де J - Сумарний приведений до валу генератора момент інерції, $кг \cdot м^2$;

M_6 - Механічний момент вітроколеса, $H \cdot м$;

M_2 - Електромагнітний момент електрогенератора, $H \cdot м$;

ω - Частота обертання валу генератора, $рад/с$.

Виконавши підстановку $s = \frac{d}{dt}$, запишемо рівняння (2.17) в операторній формі

$$Js\omega = M_6 - M_2 - k_{mp}\omega. \quad (2.18)$$

Структурна схема, що характеризує робочий процес у електроустановці, представлена на рис. 2.8.

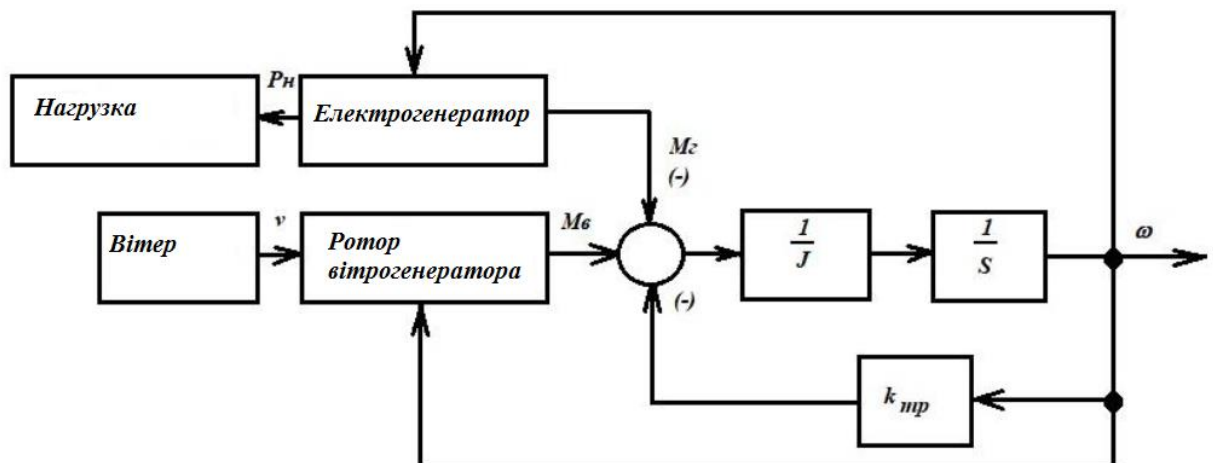


Рисунок 2.8 – Структурна схема вітроенергетичної установки

Знайдемо передатну функцію для механічної частини вітрогенератора:

$$\frac{\omega(s)}{M_{рез} s} = \frac{1}{1 + k_{тр} \cdot 1} \frac{Js}{Js}, \quad (2.19)$$

$$M_{рез} s = M_6 - M_2 \quad (2.20)$$

результуючий момент на валу електрогенератора, що створюється від обертання вітроколеса та дією електромагнітного моменту синхронного генератора.

Помножимо чисельник і знаменник виразу (2.20) на $J s$, отримаємо наступне вираз:

$$\frac{\omega(s)}{M_{\text{рез}} s} = \frac{1 J s}{1 + k_{\text{тр}} \cdot 1 J s} = \frac{1}{J s + k_{\text{тр}}}. \quad (2.21)$$

Винесемо коефіцієнт у знаменнику за дужку, отримаємо наступне вираз для передавальної функції:

$$\frac{\omega(s)}{M_{\text{рез}} s} = \frac{1 k_{\text{тр}}}{T_{\text{мех}} + 1}, \quad (2.22)$$

$T_{\text{мех}} = \frac{J}{k_{\text{тр}}}$ - це постійна часу механічної частини вітрогенератора.

Відобразимо введені спрощення на структурній схемі (рис.2.9)

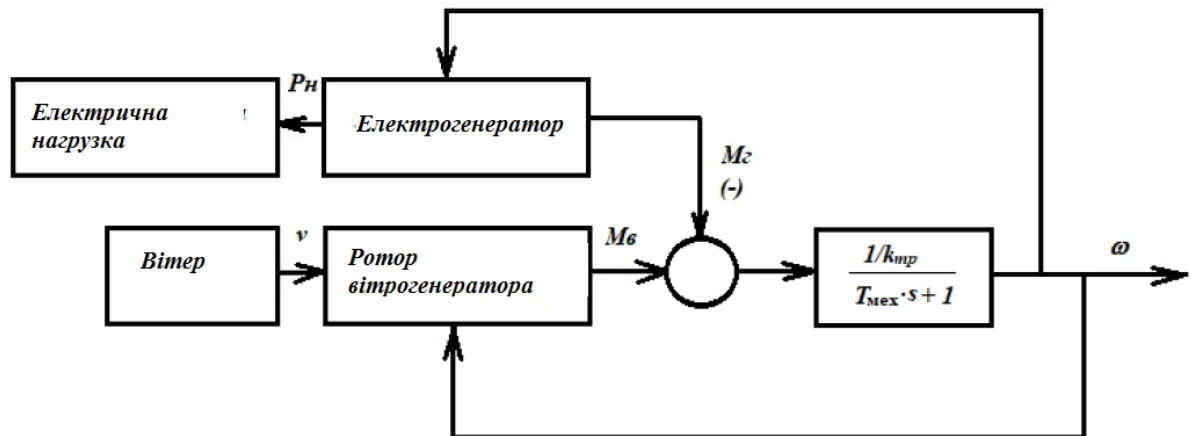


Рисунок 2.9 – Структурна схема вітроенергетичної установки зі спрощенням механічної частини

Позитивний механічний момент, що створюється вітряним колесом, залежить від його радіусу (R), щільності повітря (ρ) та швидкості вітру (v):

$$M_e = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 v^2 C_p. \quad (2.23)$$

Ця формула включає коефіцієнт потужності вітрового колеса C_p , величина якого нелінійно пов'язана з такими коефіцієнтами, як швидкохідність і кут атаки лопастей.

З паспортних даних вітрогенератора відомі:

Коефіцієнт використання потужності дорівнює $C_p=0.4$;

Радіус вітрового колеса $R=3.2$ м;

Номінальна швидкість обертання $\omega=25,12$ рад/с (240 об/хв);

Максимальна швидкість вітру $v=20$ м/с,

Щільність повітря $\rho=1.25$ кг/м³.

Виконавши підстановку зазначених параметрів формулу (2.22) отримуємо значення рухового моменту на валу електрогенератора:

$$M_e = 24,69 \cdot v^2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.23)$$

Сумарний момент інерції дорівнює сумі моментів інерції валу генератора та вітрового колеса. Оскільки діаметр вітрового колеса суттєво перевищує діаметр ротора електрогенератора, то при моделюванні будемо використовувати лише значення моменту інерції вітрового колеса

$$J = \frac{G \cdot D^2}{12} = \frac{2 \cdot 6,4^2}{12} = 6,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.24)$$

Коефіцієнт тертя становить 2-5% від номінальної потужності вітроенергетичної установки, що приблизно дорівнює

$$k_{mp} \approx 0,02 \cdot P_{ном} = 0,038 \cdot 5 = 0,019. \quad (2.25)$$

Модель створюватимемо у додатку Simulink програми Matlab.

1) Для моделювання вітру використовуватимемо генератор нормально-розподілених випадкових величин. Середнє значення випадкової послідовності відповідає середньої річної швидкості вітру біля заводу (6 м/с).

2) Для імітації генератора та навантаження будемо використовувати віртуальні блоки цих елементів із бібліотеки SimPowerSystem.

Рисунок 2.10 відображає схему розробленої моделі.

На наведеній віртуальній схемі виділено такі структурні частини:

а – електрогенератор та навантаження; б – вітер;

в – вітроколесо; г – механічна частина.

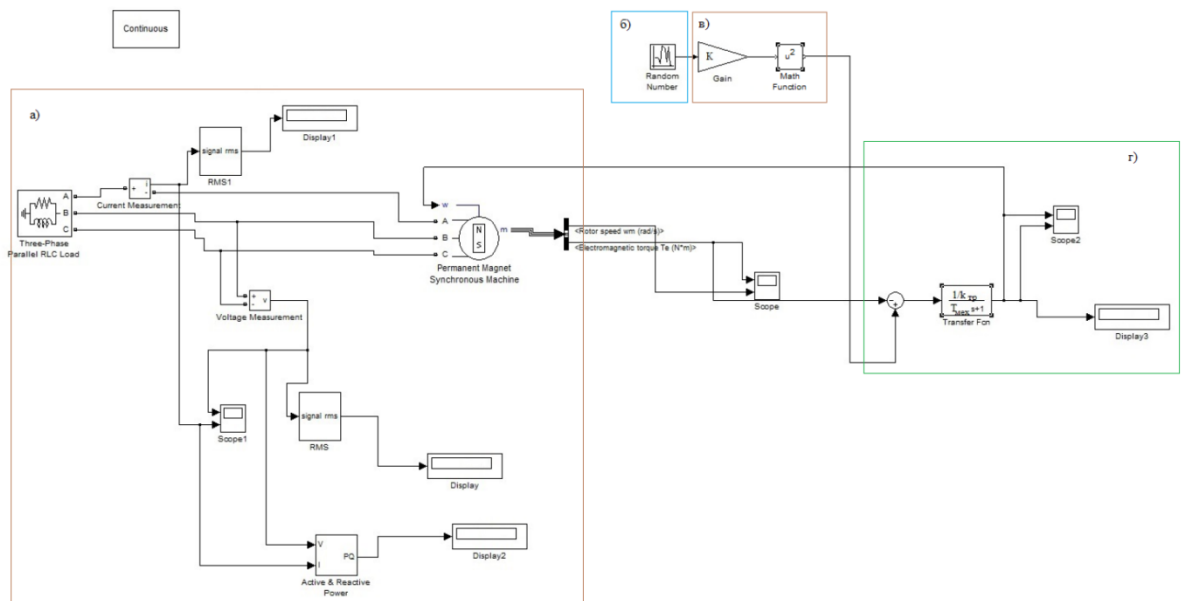


Рисунок 2.10 – Модель вітроенергетичної установки у програмі Simulink програми Matlab

На рис. 2.11 показано результати моделювання.

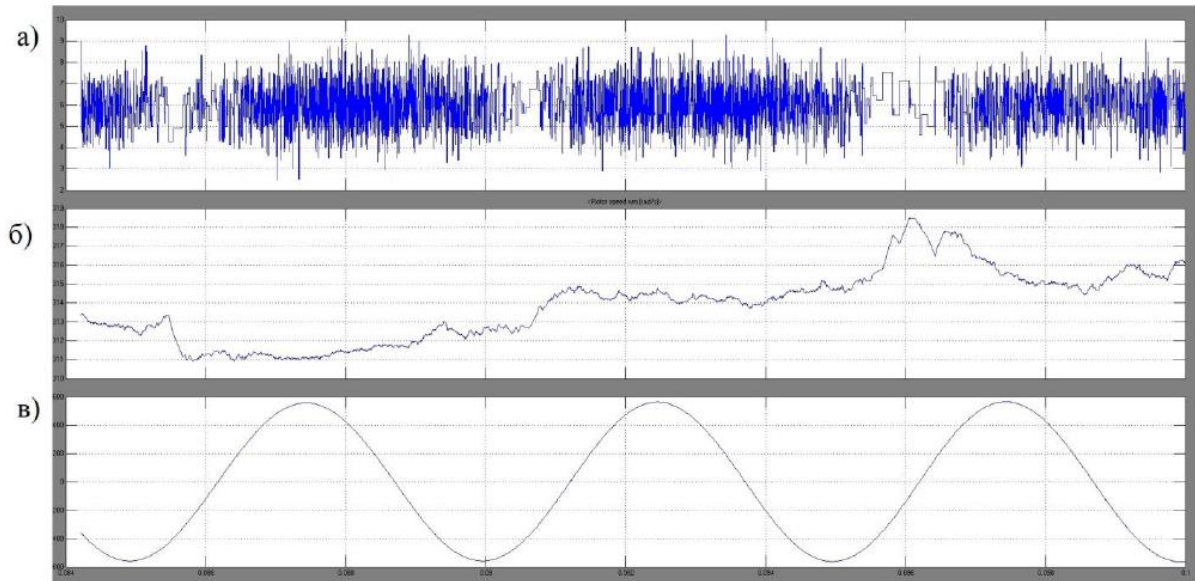


Рисунок 2.11 – Результати моделювання

На рис. 2.11 наведено наступні позначення: а – швидкість вітру, б – швидкість обертання валу синхронного генератора, в – напруга, що генерується

Як видно з графіків, швидкість обертання електрогенератора змінюється відповідно до зміни швидкості вітру. Цей результат відповідає дійсності. Тому дана модель може застосовуватися як основа для вирішення складніших завдань. Наприклад, її можна використовувати при проектуванні контуру стабілізації частоти обертання електрогенератора.

На рис. 2.12 показаний синхронний генератор (СГ) з постійними магнітами. Генератор може також працювати в руховому режимі, для цього в графу w треба подати сигнал в позитивній полярності (в нашому випадку потрібен генераторний режим, тому сигнал подається в негативній полярності).

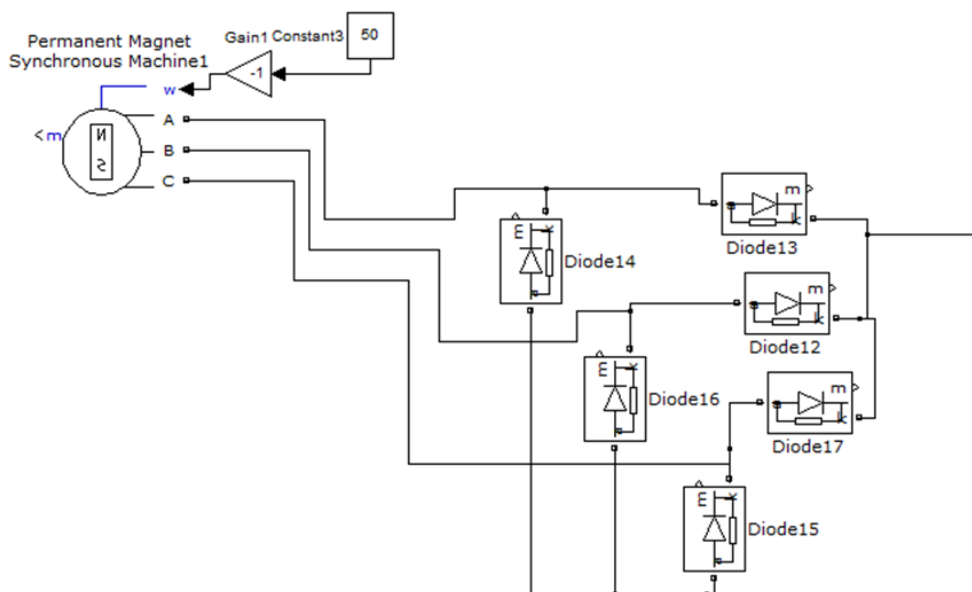


Рисунок 2.12 – Синхронний генератор з постійними магнітами

При випрямленні змінного струму після випрямляча виходить пульсуючий струм. Згладити дані пульсації допомагає згладжує LC фільтр рис. 2.13.

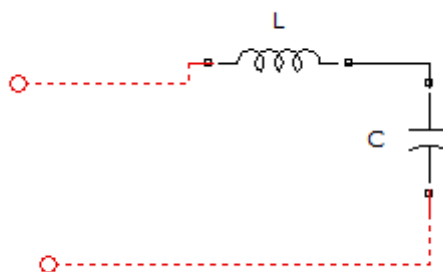


Рисунок 2.13 – Випрямляючий LC фільтр

Результати моделювання вихідної напруги з та без фільтру представлено на рис. 2.14 та 2.15.

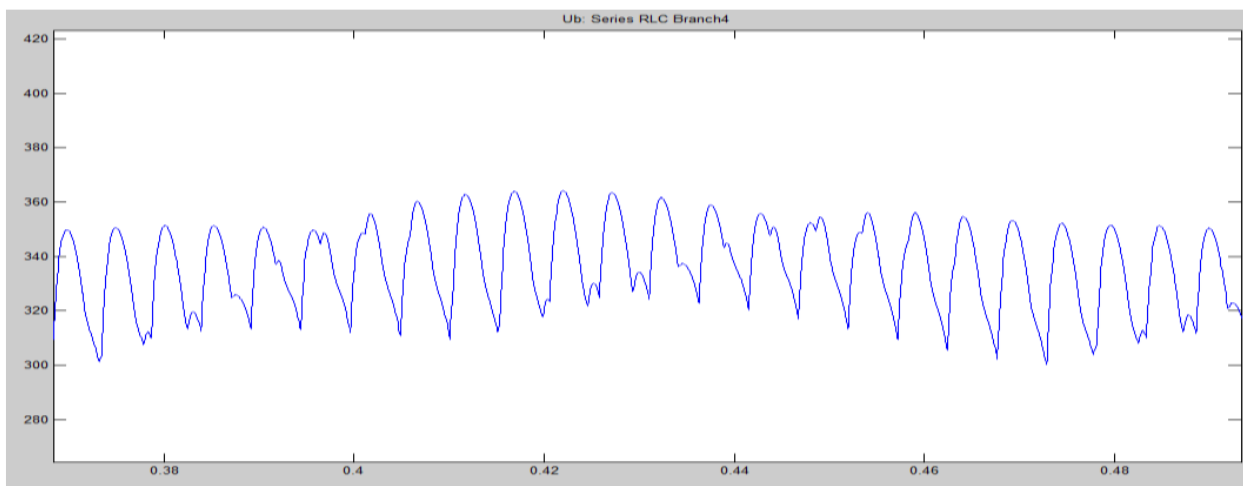


Рисунок 2.14 – Вихідна напруга без фільтру

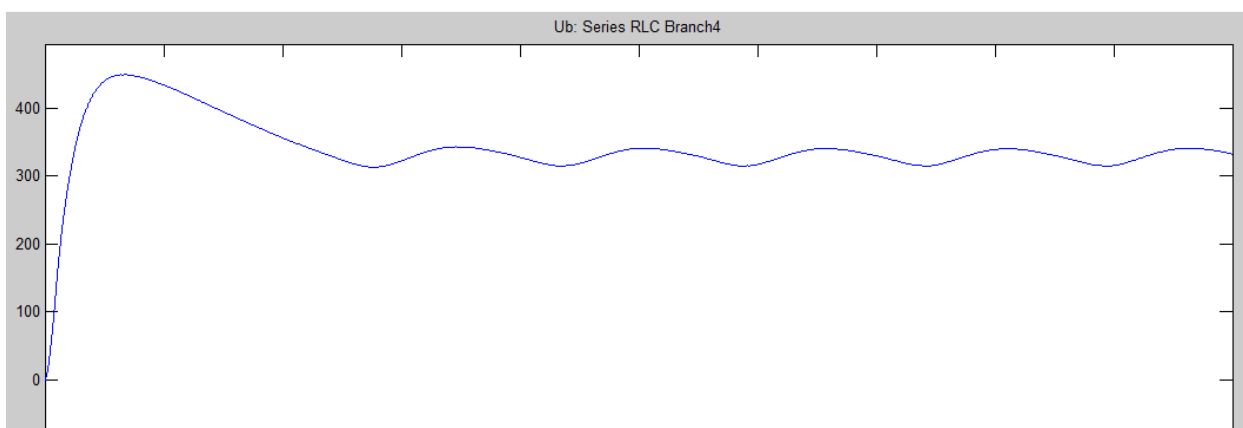


Рисунок 2.15 – Вихідна напруга з фільтром

На рис 2.16 показаний однофазний інвертор з системою управління. Інвертор будується на IGBT транзисторах. Відкривання транзисторів здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) за синусоїдальним законом.

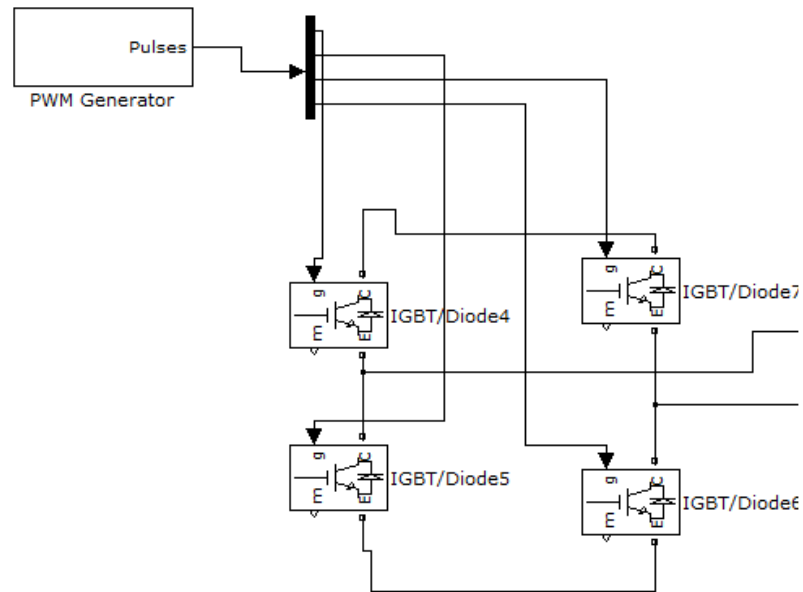


Рисунок 2.16 – Однофазний інвертор

Система управління побудована з використанням спеціального блоку PWM Generator. В даному блоці є можливість завдання необхідної вихідної частоти струму, кількість плечей моста і т.д. Для нормальної роботи більшості побутових приладів не можна використовувати напруга прямокутної форми (рис. 2.17), тому на вихід інвертора необхідно поставити низькочастотний LC фільтр (рис. 2.18).

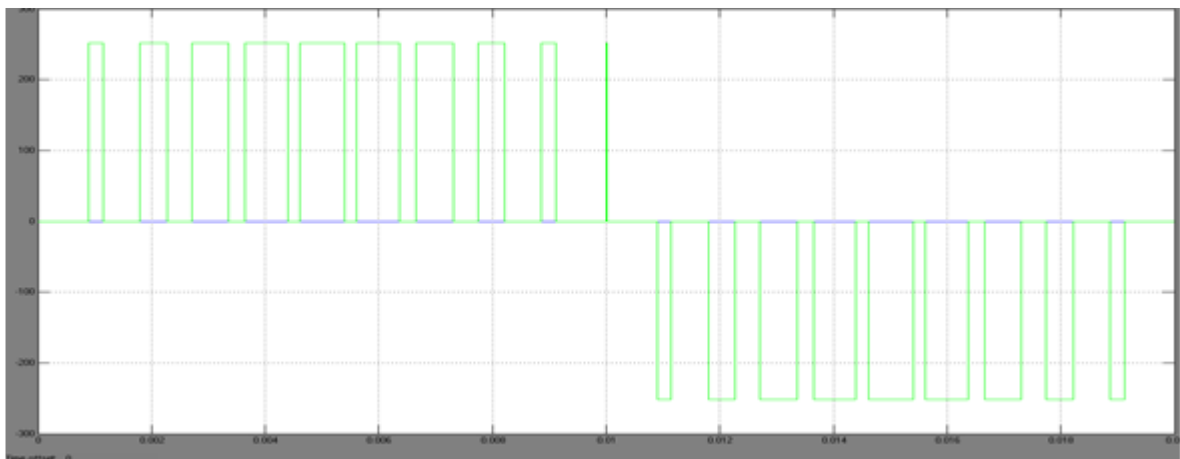


Рисунок 2.17 – Вихідна напруга після інвертора без фільтра

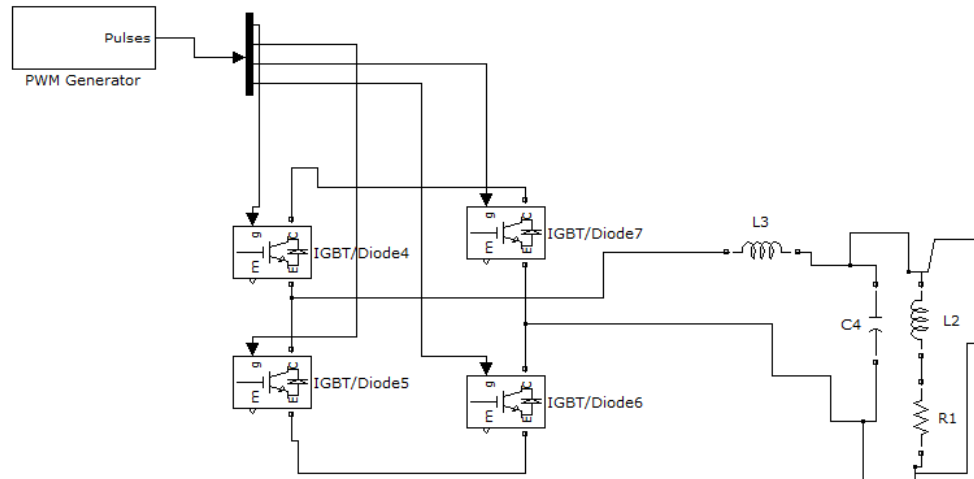


Рисунок 2.18 – Інвертор з фільтром і навантаженням

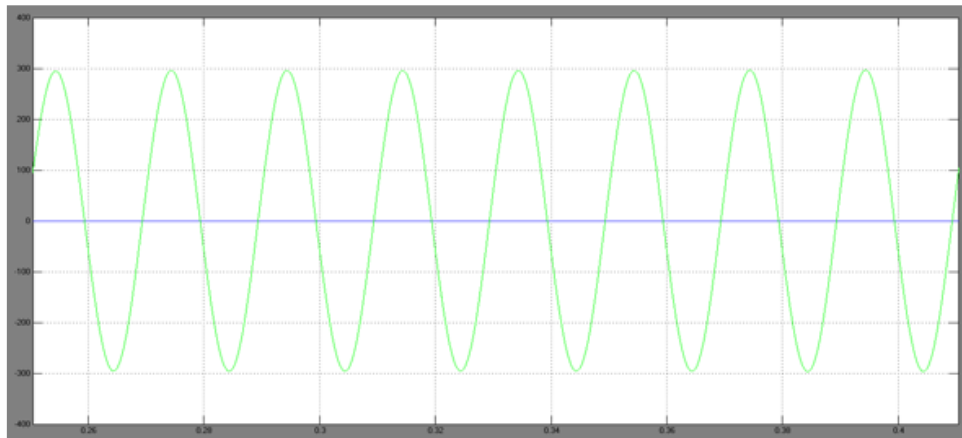


Рисунок 2.19 – Вихідна напруга після інвертора з фільтром

На рис. 2.19 можна побачити як після фільтра виходить струм синусоїдальної форми. Тут ми розглянули складові компоненти, складові вітроенергетичну установку.

Тепер приступимо до моделювання системи стабілізації вихідної напруги. Фазна напруга, яка прийнята в Україні становить 220 В (діюче значення). Її амплітудне значення дорівнює 312 В. Але так як вітер непостійний, отже, не постійно і вихідна напруга генераторів, з'являється необхідність в системі стабілізації вихідної напруги. Згідно нашої моделі на виході випрямлячів необхідно мати загальну напругу в 312 В.



Рисунок 2.20 – Функціональна схема системи стабілізації вихідної напруги

Загальна вихідна напруга з випрямлячів порівнюється із заданим значенням (312 В). Неузгодженість подається на систему стабілізації. Систему стабілізації стабілізує вихідну напругу, змінюючи напругу, що подається на обмотку збудження синхронного генератора. Система стабілізації побудована з використанням широтно-імпульсної модуляції.

Система працює наступним чином: сигнал неузгодженості надходить на вхід системи. Залежно від величини неузгодженості система змінює шпаруватість імпульсів, що подаються на транзистор. Транзистор в свою чергу отримує живлення величиною 15 В постійного струму. Імпульси напруги згладжуються LC фільтром і подаються на обмотку збудження генератора. Проведемо серію експериментів, що ілюструють роботу системи стабілізації. Для цього прийемо: СГ1 - синхронний генератор з обмоткою збудження, СГ2 - синхронний генератор з постійними магнітами №1 і СГ3 - синхронний генератор з постійними магнітами №2, ω - швидкості обертання роторів генераторів в рад/с. Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 2.21.

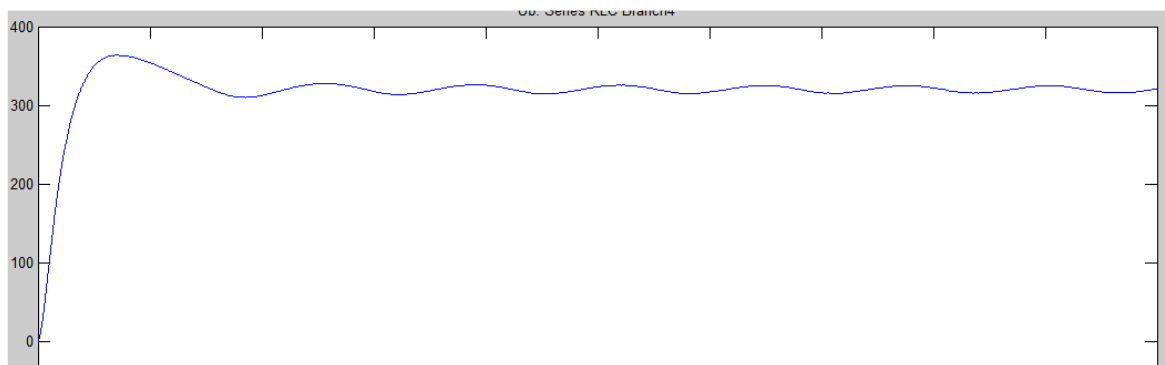


Рисунок 2.21 – Результати експериментальних досліджень

2.8 Висновок до розділу 2

У другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи представлено результати моделювання вихідної напруги з та без фільтру. Отримані результати проаналізовані. Проведено моделювання системи стабілізації вихідної напруги ВЕУ в програмі Matlab. Спроектовано систему моніторингу роботи автономної енергоустановки.

Розроблено математичну модель вітроенергетичної установки, яка враховує параметри вітрогенератора типу WH6.4-5000W і складається з віртуального синхронного генератора, що є елементом бібліотеки SimPowerSystem, а також блоків з програми Simulink пакету програм Matlab, що імітують дію вітру та рух механічної частини. перевірки працездатності ВЕУ та проектування системи управління вітрогенератором.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ОБЕРТАННЯ ЛОПАТИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

3.1 Рівняння перетворення

Рівняння перетворення показує залежність між вхідною і вихідною величинами вимірювального перетворювача, що дозволяє встановити можливі відхилення (похибки) реального рівняння перетворення від градуовальної характеристики, викликані зміною конструктивних параметрів [1].

Перетворення швидкості обертання в первинному вимірювальному перетворювачі здійснюється за формулою:

$$f_x = \frac{n \cdot z}{60} \quad (3.1)$$

де f_x – частота електричних імпульсів; n – кількість обертів; z – кількість імпульсів за один повний оберт.

Для перетворення вихідної вличини з первинного вимірювального перетворювача використаємо цифровий частотомір середніх значень. Оскільки його похибка квантування зменшується при збільшенні вимірювальної величини, то такий частотомір є ефективним в області середніх і високих частот. Його принцип дії заснований на підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти f_x за зразковий часовий інтервал, який формується зразковою мірою часу.

Кількість імпульсів невідомої частоти, які підраховує двійковий лічильник за час t_0 , визначається за формулою:

$$N_i = \int_{t_1}^{t_2} T_x dt = \frac{t_0}{T_x} = t_0 \cdot f_x, \quad (4.2)$$

де t_1 і t_2 – моменти початку і закінчення зразкового часового інтервалу.

Зразковий часовий інтервал формується в подільнику частоти і визначається виразом:

$$t_0 = k \cdot T_0 = \frac{k}{f_0}, \quad (4.3)$$

де k – коефіцієнт ділення подільника частоти; T_0 – період імпульсів зразкової частоти f_0 .

Таким чином кількість імпульсів невідомої частоти визначатиметься за формулою:

$$N_F = k \cdot T_0 \cdot f_x = \frac{k \cdot f_x}{f_0}, \quad (4.4)$$

Отже, підставивши вираз 4.1 у рівняння 4.4 отримаємо рівняння перетворення вимірювального каналу для швидкості обертання:

$$N_x = \frac{k \cdot n \cdot z}{60 \cdot f_0}, \quad (4.5)$$

Підставимо в рівняння перетворення числові значення, для графічного представлення рівняння перетворення та похибки квантування (рисунок 4.1-4.2), де $k = 100000$; $n = 0 \dots 400$ об/хв; $f_0 = 100000$ Гц; $z = 1024$.

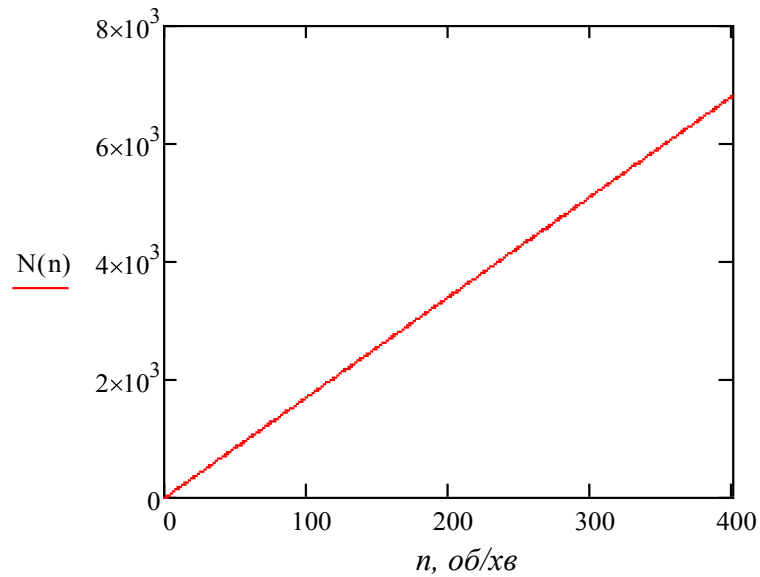


Рисунок 3.1 – Графічне представлення рівняння перетворення вимірювального каналу швидкості обертання

З отриманого рівняння перетворення можна вести похибку квантування, яка є методична похибка, що виникає через обмежене число рівнів квантування h внаслідок заміни неперервної величини квантованою і має загальний вигляд:

$$\delta_{\text{КВ}} = \frac{1}{N} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

Підставимо в рівняння 3.5 вираз рівняння 3.6 і отримаємо похибку квантування для розроблюваного каналу:

$$\delta_{\text{КВ}} = \frac{60 \cdot f_0}{k \cdot n \cdot z} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

Графічно представимо похибку квантування на рисунку 3.2

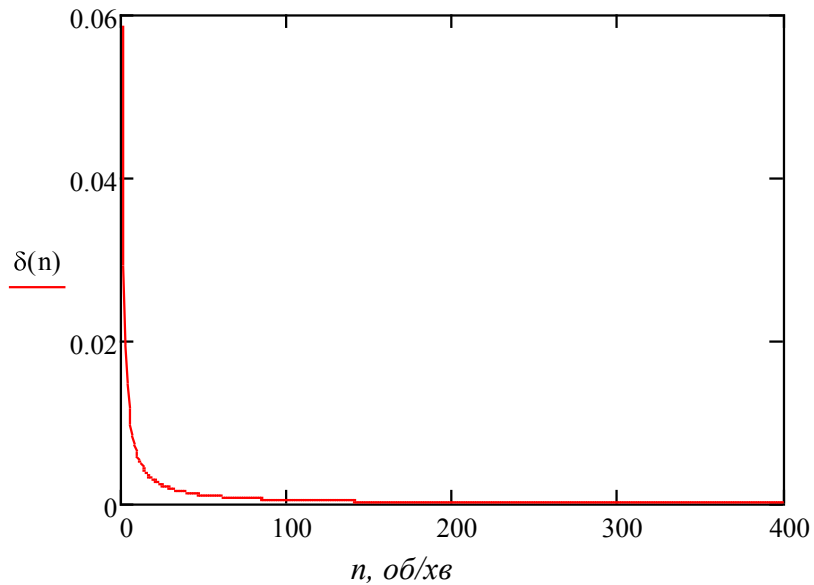


Рисунок 3.2 – Графічне представлення похибки квантування вимірювального каналу

3.2 Статичні характеристики вимірювального каналу швидкості обертання

Статичні характеристики засобу вимірювання – характеризують ЗВ в статичному режимі, тобто коли вхідна фізична величина незмінна в часі, і всі перехідні процеси закінчені.

До основних статичних характеристик відносять: номінальна функція перетворення; чутливість, поріг чутливості, діапазон показів, діапазон вимірювань. В даному дипломному проекті розраховуються такі характеристики, як чутливість, адитивна і мультиплікативна складові похибок [1].

В загальному вигляді функція перетворення має вигляд:

$$y = y(x, \Delta f), \quad (4.8)$$

де y – вихідна величина засобу вимірювань;

x – вхідна величина;

Δf - впливні величини.

Розклад функції перетворення в ряд Тейлора [14] представлено в наступних виразах:

$$y = y_0 + \left[\frac{\partial y}{\partial x} \right]_0 + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right]_0 \cdot x^2 + \frac{1}{6} \left[\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right]_0 \cdot x^3 + \dots +$$

$$+ \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial f} \right]_0 \cdot x \cdot \Delta f + \left[\frac{\partial y}{\partial f} \right]_0 \cdot \Delta f + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial f^2} \right]_0 \cdot \Delta f^2 + \dots \quad (4.9)$$

Індекс «0» біля частинних похідних показує, що вони визначаються для значень впливних величин, які відповідають нормальним умовам $f = f_0$ (умовам градування).

Проаналізуємо складові рівняння (6.9):

y_0 - вільний член розкладу, який дорівнює y при $x=0$ і $\Delta f = 0$.

Номинальний коефіцієнт перетворення або чутливість:

$$\left[\frac{\partial y}{\partial x} \right]_0 = S_0. \quad (4.10)$$

Зміна чутливості в діапазоні перетворення:

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right]_0 = S'_0; \quad (4.11)$$

$$\frac{1}{6} \left[\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right]_0 = S''_0. \quad (4.12)$$

Коефіцієнти впливу впливних величин на вихідний параметр y :

$$\left[\frac{\partial y}{\partial f} \right]_0 = \beta'_0; \quad (4.13)$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial f^2} \right]_0 = \beta_0'' \quad (4.14)$$

Коефіцієнт впливу виливних величин на номінальну чутливість S_0 :

$$\left[\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial f} \right]_0 = S_0' \quad (4.15)$$

З урахуванням прийнятих позначень рівняння перетворення (4.16) представимо у вигляді:

$$y = y_0 + S_0 \cdot x + S_0' \cdot x^2 + S_0'' \cdot x^3 + \dots + \alpha_0 \cdot x \cdot \Delta f + \beta_0' \cdot \Delta f + \beta_0'' \cdot \Delta f^2 + \dots, \quad (4.17)$$

де, $y = S_0 \cdot x + S_0' \cdot x^2 + S_0''$ - номінальна функція перетворення;

$\Delta y_n = S_0' \cdot x^2 + S_0'' \cdot x^3$ - похибка не лінійності номінальної функції перетворення;

$\Delta y_m = \alpha_0 \cdot x \cdot \Delta f$ - мультиплікативна похибка перетворення в умовах зміни f_0 на величину Δf , тобто зміна чутливості S_0 на величину $\Delta S = \alpha_0 \cdot \Delta f$;

$\Delta y_a = \beta_0' \cdot \Delta f + \beta_0'' \cdot \Delta f^2$ - адитивна похибка перетворення в умовах зміни f_0 на величину Δf , тобто зміна y_0 під дією впливних величин.

Для проведення розрахунку статичних метрологічних характеристик використовуємо математичний пакет Maple

Розрахуємо номінальний коефіцієнт перетворення або чутливість вимірювального каналу за формулою (4.10):

$$S_0 = \frac{\partial N}{\partial n} = \frac{z}{60} \quad (4.18)$$

Зміна чутливості в діапазоні перетворення за формулою (4.11):

$$S_{02} = \frac{\partial N^2}{\partial n^2} = 0. \quad (4.19)$$

Оскільки рівняння перетворення має вигляд:

$$N_x = \frac{k \cdot n \cdot z}{60 \cdot f_0}, \quad (4.20)$$

де $k = 100000$;

$f_0 = 100000$;

$z = 1024$.

То, номінальна функція перетворення виглядатиме (формула 4.21), а її графічне представлення наведено на рисунку 3.3:

$$y(n) = S_0 \cdot n + \frac{1}{2} \cdot S_{02} \cdot n^2 + \frac{1}{6} \cdot S_{03}; \quad (4.21)$$

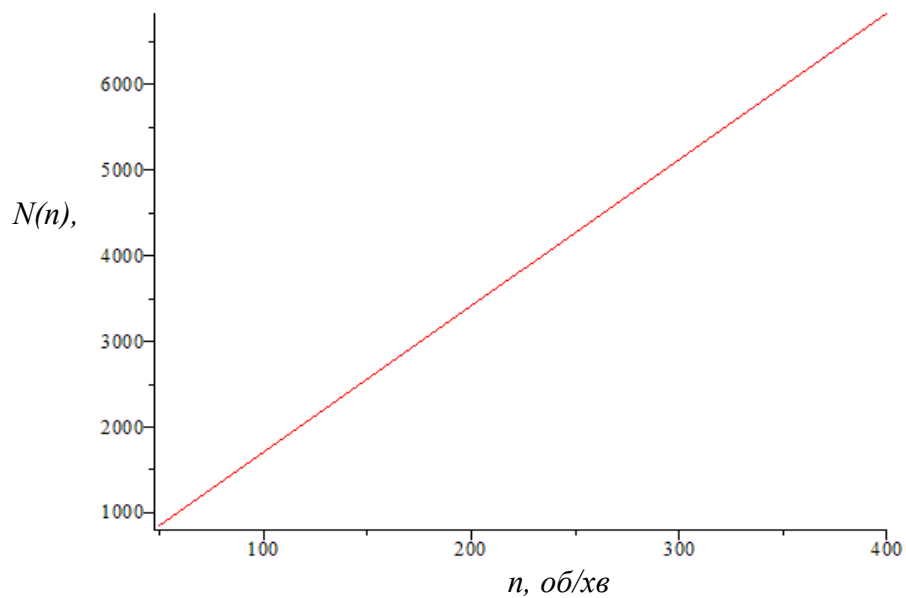


Рисунок 3.3 – Графік номінальної функції перетворення

Похибка не лінійності визначається за виразом 4.21:

$$\Delta y_{\text{н}}(n) = S_0 2 \cdot n^2 + S_0 3 \cdot n^3; \quad (4.22)$$

$$\Delta y_{\text{н}}(n) = 0.$$

Визначимо коефіцієнт впливу β впливної величини z — кількість імпульсів за один оберт, яка залежить від швидкості обертання.

$$\beta'_0 = \frac{\partial N}{\partial z} = \frac{k \cdot n}{60 \cdot f_0}, \quad (4.23)$$

$$\beta''_0 = \frac{\partial N^2}{\partial z^2} = 0, \quad (4.24)$$

Розрахуємо коефіцієнт впливу впливних величин на номінальну чутливість S_0 засобу вимірювань:

$$\beta'_0 = \frac{\partial N^2}{\partial z \partial n} = \frac{k}{60 \cdot f_0}, \quad (4.25)$$

На рисунку 4.4 представлена адитивна похибка [1] перетворення.

$$\Delta N = \beta'_0 \cdot z + \beta''_0 \cdot z^2 = \frac{n \cdot z}{60} \quad (4.26)$$

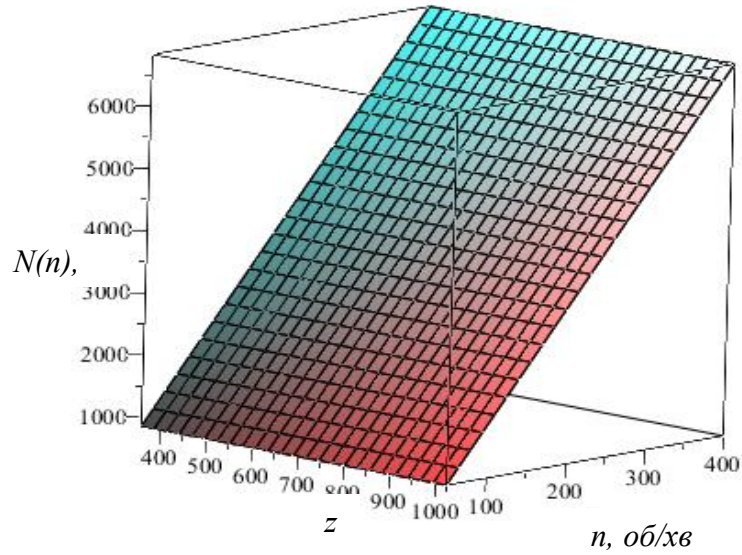


Рисунок 3.4 – Адитивна похибка

Мультиплікативна похибка [1] перетворення вимірювального каналу представлена на рисунку 3.5:

$$\Delta N = \alpha \cdot n \cdot z = \frac{n \cdot z}{60} \quad (4.27)$$

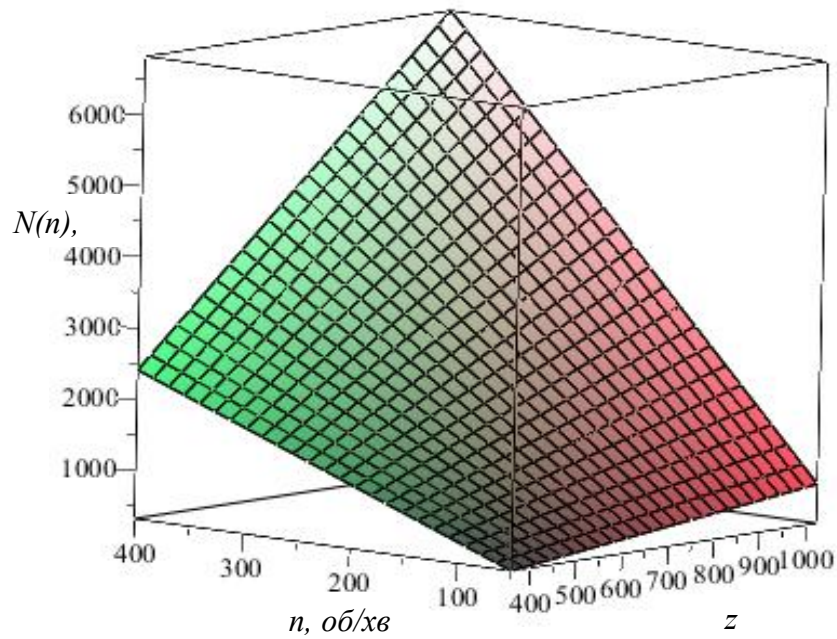


Рисунок 3.5 – Мультиплікативна похибка

3.3 Висновок до розділу 3

У третьому розділі досліджені статичні та динамічні метрологічні характеристики вимірювального каналу обертання лопаті вітрогенератора. Отримано номінальну функцію перетворення, яку буде використано у розділі 4 під час математичного моделювання роботи вітроелектричних установок.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Загальна схема вітроустановки

Наведемо функціональну схему побудови дослідного зразка вітрогенераторної системи на рис 3.1.

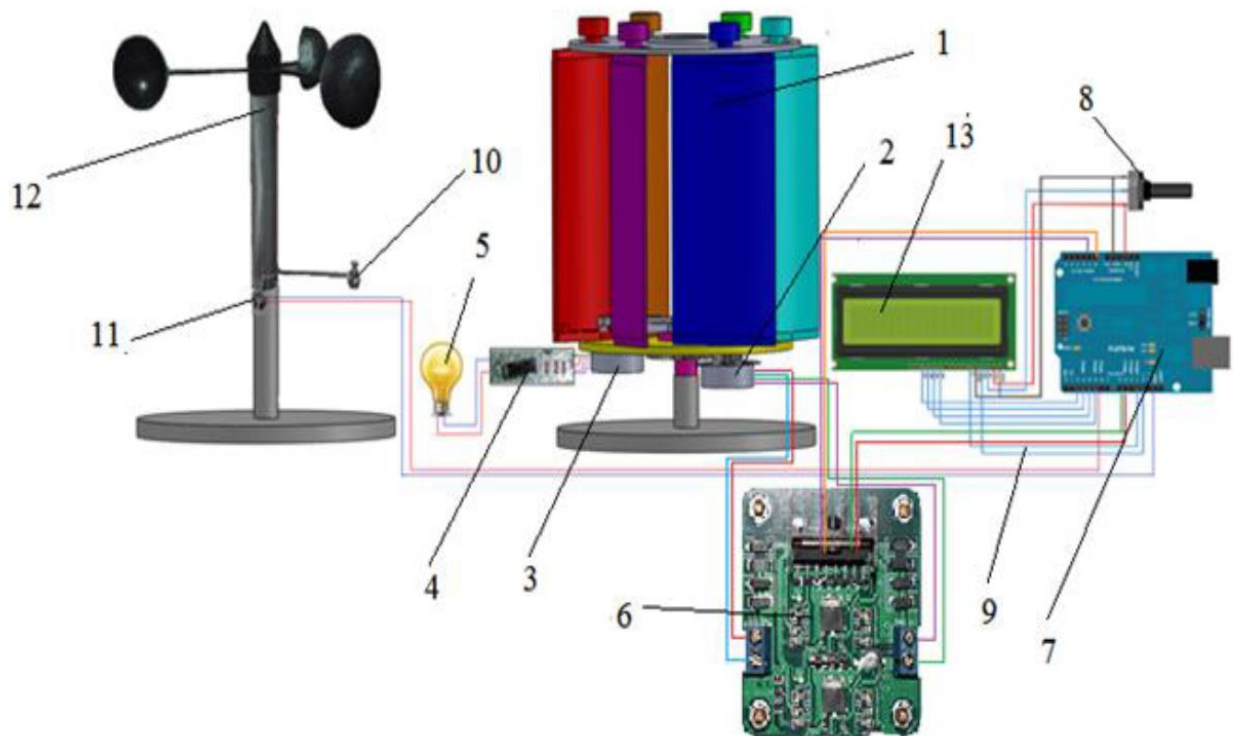


Рисунок 4.1 – Будова вітрогенераторної системи

На рис. 4.1 наведено наступні позначення: 1 – віротурбіна, 2 – керуючий елемент, 3 – генератор, 4 – перетворювач, 5 – споживач, 6 – драйвер двигуна, 7 - мікроконтролер, 8 – потенціометр, 9 – дроти, 10 – датчик Холла, 11 – магніт, 12 – анемометр, 13 – дисплей.

Віротурбіна (1) обертається при дії на нього потоку вітру (рисунок 3.1), далі завдяки генератору (3) відбувається перетворення механічної енергії в електричну і за допомогою перетворювача (4) конвертований змінний струм надходить споживачеві (5). Анемометр (12) необхідний для

зняття показника поточного значення швидкості вітру, на ньому встановлюється датчик обертання (10) і магніт (11), датчик за допомогою проводів (9) дає аналогового сигнал мікроконтролеру (7) для перетворення цього сигналу в значення швидкості вітру. Виходячи із значення швидкості вітру відбувається управління лопастями вітротурбіни за допомогою драйвера двигуна (6) і керуючого елемента (2). Необхідні дані виводяться на дисплей (13) у вигляді звичних для людини показників, як поточна швидкість вітру, потужність, струм, напруга.

4.2 Проектування генератора

З метою економічності дослідно-лабораторної установки вітрогенератора був використаний кроковий двигун в ролі генератора. Основним обґрунтуванням вибору такого типу генератора є те, що кроковий двигун генерує потужність на 3Вт більше при мінімальному значенні швидкості вітру.

Складання перетворювача. Генератор в складі вітроустановки є основним компонентом, так як він виробляє струм змінного значення. І, для перетворення його в постійний розроблена схема перетворювача, що складається з діодних мостів і конденсатора. Дана схема показана на рис.4.2

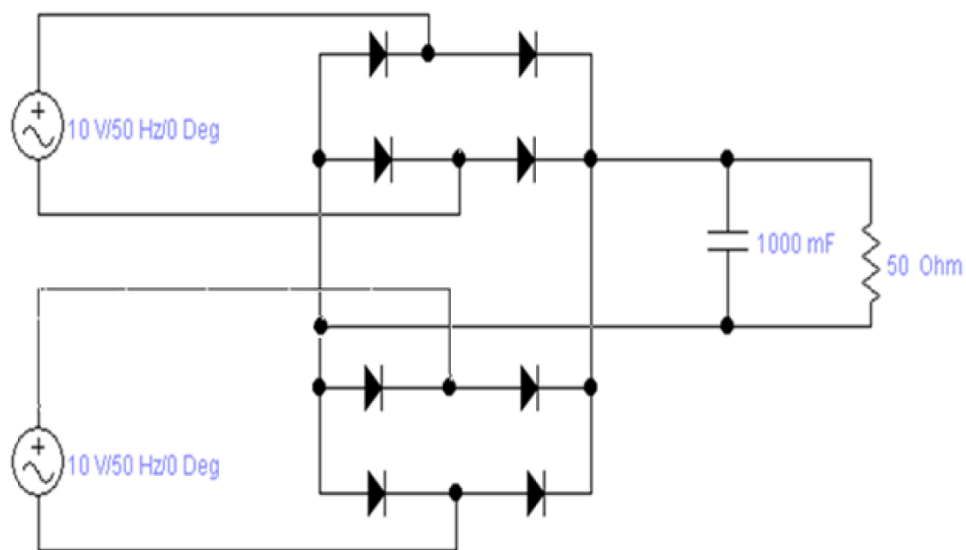


Рисунок 4.2 – Схема перетворювача

Драйвер крокової двигуна. У ролі керуючого компонента для здійснення автоматизованого управління лопастями вітротурбіни був використаний кроковий двигун. Для узгодження сигналів між мікроконтролером і кроковим двигуном застосований драйвер двигунів L298N. Схема підключення двигуна до мікроконтролера за допомогою драйвера двигунів показаний на рис.4.3

Конструювання анемометра. Механічна складова анемометра зібрана з підручних матеріалів. Варто врахувати, що вузол обертання є ключовим елементом анемометра. Найпростіший і надійний в виготовлення тип анемометра є чашковий. У якості чашок було вирішено використовувати кульку від пінпонга. Таким чином, в результаті було зібрано обертову частина анемометра, що показана на рис. 4.4

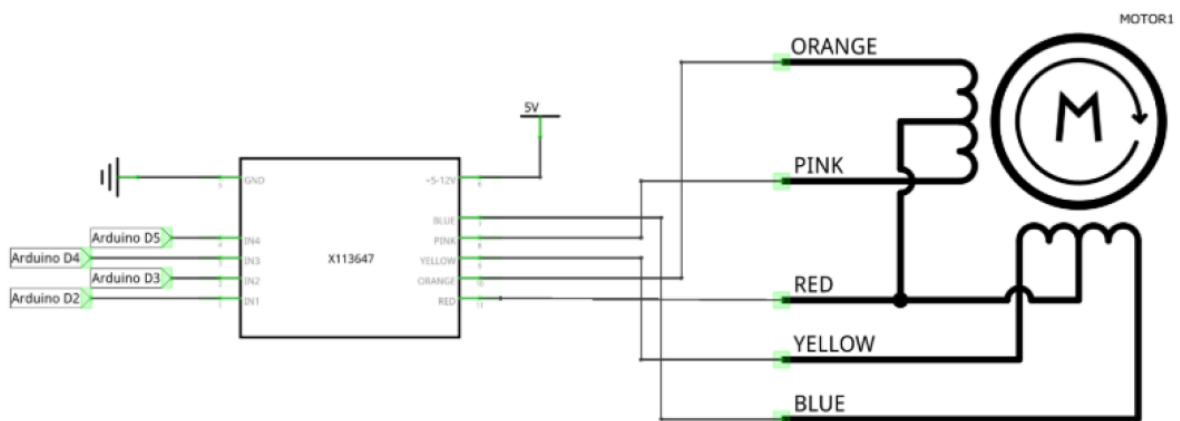


Рисунок 4.3 – Схема підключення драйвера двигунів



Рисунок 4.4 – Обертальна частина анемометра

Далі встановлюється обертається частина анемометра на щоглу, яка являє собою металевий стрижень. Далі встановлюється магніт на обертову частину приладу, а сам датчик, який реагує на магніт (геркон) на нерухому стійку на максимально близьку відстань від магніту (рисунок 4.5). Геркон реагує на магніт (замикаючи свої контакти) тим самим відправляє електричні сигнали мікроконтролеру, який обробляє цей сигнал і трансформує його в значення швидкості вітру. Значення поточної швидкості вітру необхідно для настройки автоматизованого управління лопастями вітротурбіни і для виведення цього значення оператору на дисплей.



Рисунок 4.5 - Механічна частина анемометра

Принципова схема приведена в додатку В.

Далі наводиться електрична схема приладу на рис.4.6. Електрична схема включає в себе декількох перемикачів:

1. Перемикач живлення 12 В;
2. Перемикач для включення LCD дисплея;
3. Геркон для реєстрації кількості оборотів в поточний момент часу.

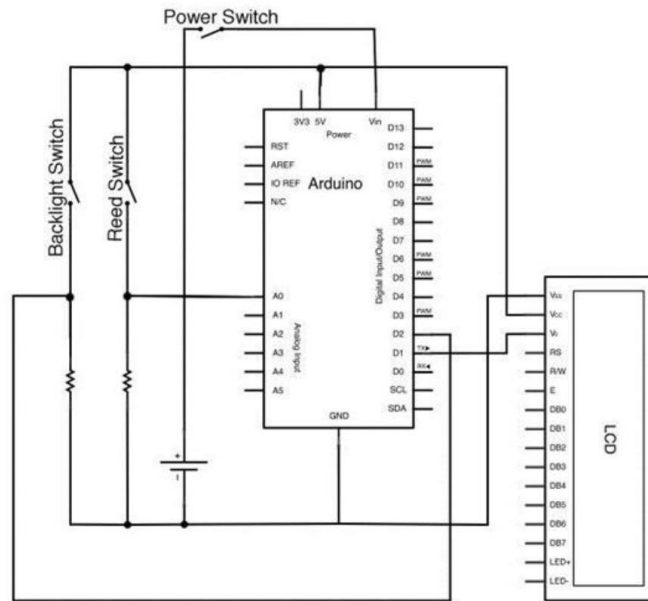


Рисунок 4.6 – Електрична схема анемометра

2.6 Збірка вітрогенератора та основи

Після проведення аналізу вітрів в даній місцевості був обраний шестилопастевої тип вітрогенератора. Лопасті вітрогенератора були виготовлені з підручних засобів (алюмінієві газові балони, розпилені навпіл). Далі за допомогою програмного середовища SolidWorks зібрана 3D модель лопасті (рисунок 4.7). Також деталі зібрані в даній програмі, можливо, роздрукувати на 3D принтері (рисунок 4.8).



Рисунок 4.7 – Лопасть вітрогенератора



Рисунок 4.8 – Роздруківка лопасті на 3D принтері

Конструювання підставки (основи). У ролі основної осі вітротурбіни використана різьбова сталева шпилька (рисунок 4.9). Як опори лабораторного зразка вітротурбіни виготовлені дві неметалеві кришки (рисунок 4.10).



Рисунок 4.9 – Опора

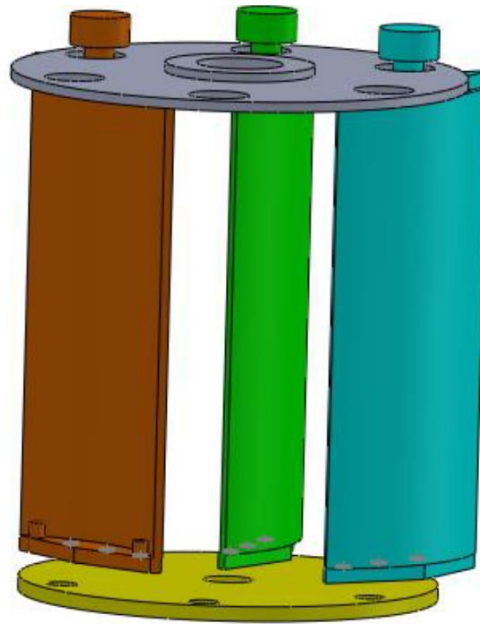


Рисунок 4.10 – Основа вітротурбіни

2.7 Гальмівна система

Для управління лопастями вітрогенератора застосований кроковий двигун. Таким чином, необхідно розробити гальмівну систему, яка зможе закривати всі лопасті в залежності від швидкості вітру, використовуючи при цьому тільки один двигун. Керуючий елемент необхідно розташувати під підставою, а для того щоб передати енергію з двигуна необхідно зібрати зубчасту передачу (рисунок 4.11)

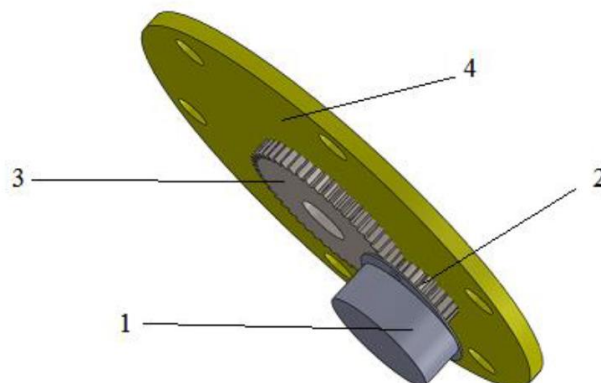


Рисунок 4.11 – Зубчаста передача

На рис. 4.11 наведено наступні позначення: 1 - кроковий двигун, 2 - шестерня (мала), 3 - велика шестерня, 4 - підстави вітротурбіни.

Далі необхідно сконструювати систему важеля передачу для управління лопатями. Така система представлена на рис. 4.12

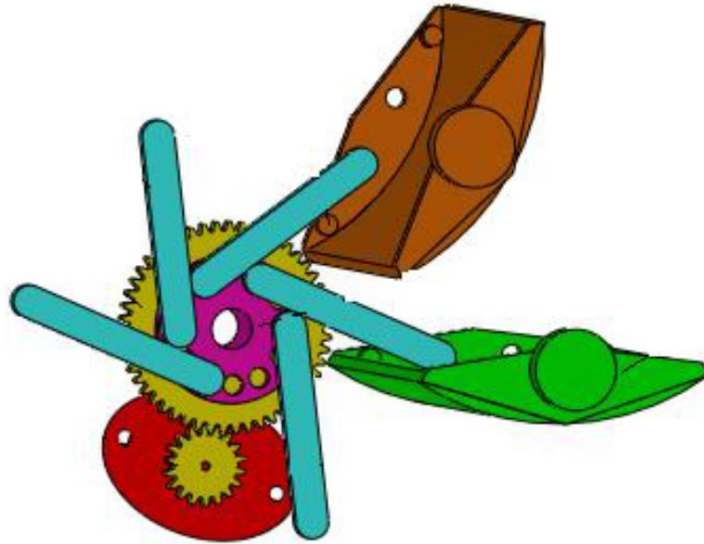


Рисунок 4.12 – Важелі управління лопастями

Таким чином, принцип дії системи важеля представлений на малюнку 4.13. Де зліва показано положення шести лопастей в нормальному режимі, коли вітрогенератор приймає вітрової потік максимально. По центру показана ситуація, коли значення швидкості вітру трохи більше критичного значення, і є необхідність в невеликому закриванні лопастей. Справа представлений аварійний режим, коли є необхідність у відключенні роботи вітрогенератора.

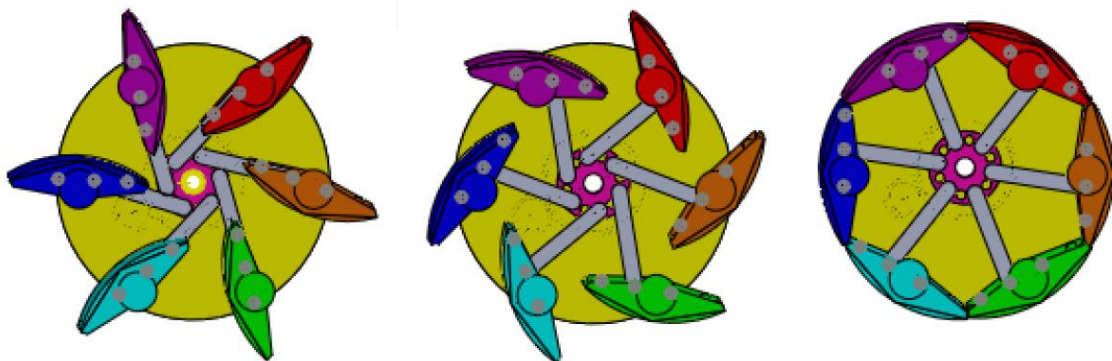


Рисунок 4.13 – Режими автоматизованої системи вітрогенератора

4.5 Експериментальні дослідження. Математичне моделювання роботи вітроелектричних установок

Складність моделювання виробництва електричної енергії вітроелектричною установкою $E_{BEV}(t)$ обумовлюється випадковим характером вітрового потоку (який виступає в ролі енергетичного ресурсу), та нелінійним алгоритмом перетворення енергії вітру в електричну, що вносить додаткову невизначеність через особливості роботи вітроелектричних установок в різних кліматичних умовах та різних рельєфних ландшафтах.

З метою розроблення математичної моделі процесу зарядження АБ на зарядних станціях електромобілів (ЗСЕМ) з використанням в їх складі вітроелектричних установок (ВЕУ) та буферного акумулятора енергії для вирівнювання виробітку та споживання електричної енергії, проведемо аналіз існуючих підходів до моделювання процесу перетворення енергії вітрового потоку в електричну енергію шляхом застосування вітроелектричних установок.

Крім того, проаналізуємо роботу акумуляторних батарей, з урахуванням специфіки реалізації процесу зарядження та стану заряду АБ. На основі проведеного аналізу можливо запропонувати математичний опис роботи системи автономної зарядної станції електромобілів на основі ВЕУ.

Енергія вітрового потоку як випадкова величина має не симетричний розподіл, відповідно виробництво електроенергії вітростанціями (як автономними так і мережевими), також має непостійний характер.

Розподіл швидкості вітру найчастіше описують функцією Вейбула [38]. Однак за наявності певної специфіки у поведінці вітру пропонуються також інші види представлення функції щільності розподілу швидкості вітру по градаціях: розподіл Релея (найпростіша форма), експоненційний розподіл за методом максимуму ентропії, комбінування кількох розподілів (в тому числі нормального, поліномів Чебишева тощо).

Потужність ВЕУ обмежена певною величиною, яка дорівнює номінальній (установленій) потужності P_n незалежно від сили вітру. Графічний приклад типової кривої потужності приведено на рис. 4.14.

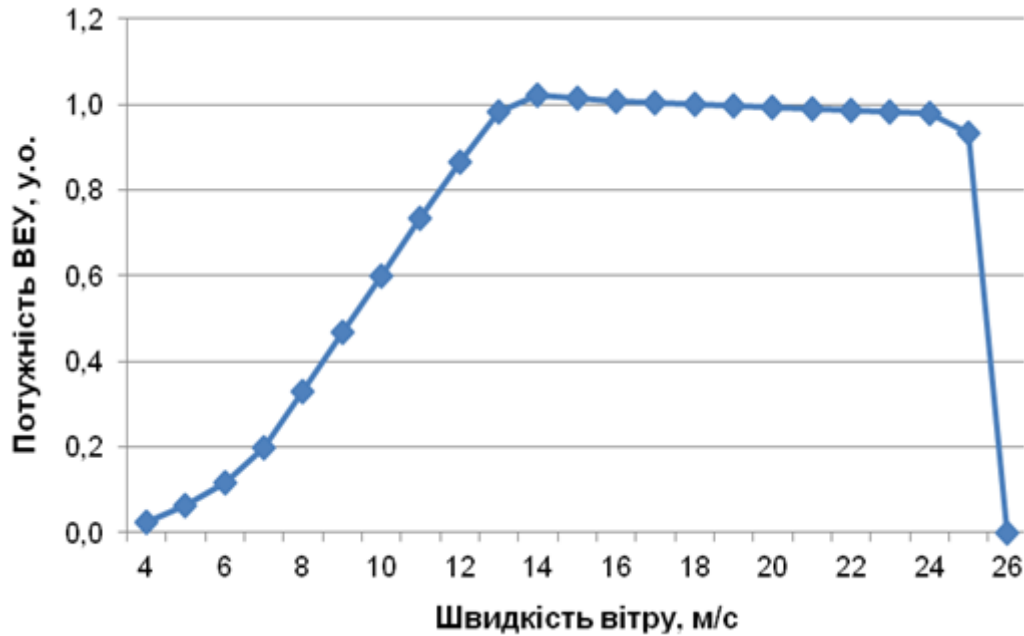


Рисунок 4.14 – Типова крива потужності ВЕУ.

Згідно [90] потужність при заданій швидкості вітру визначають за виразом:

$$P_{BEV}(v) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot \eta(v) \cdot \eta_m \cdot \eta_{ex}, \quad (4.1)$$

де: P_{BEV} – потужність вітроелектричної установки при заданій швидкості вітру, кВт;

ρ – густина вітрового потоку, кг/м³, при атмосферному тиску

760 мм.рт.ст., та температурі 15 °С становить 1,225 кг/м³;

v – поточна величина швидкості вітрового потоку, м/с;

$\eta(v)$ – коефіцієнт використання вітрової потужності;

F – площа обмаху ротора, м², зазвичай визначається як площа кола,

тобто:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (4.2)$$

де: d – діаметр ротора, м.

Поточна (миттєва) величина потужності ВЕУ має певний змінний характер. Для більш повної оцінки ефективності роботи зарядної станції на базі ВЕУ більш наочним є графік виробітку електричної енергії протягом певного періоду (декади, місяця, кварталу чи року), що буде накопичена в буферному акумуляторі, а потім надана акумуляторній батареї ЕМ. При високому коефіцієнті надійності роботи кількість ВЕУ в складі однієї зарядної станції практично не впливає на характер (динаміку) виробітку електричної енергії, що підтверджується реальними даними роботи Краснодонської ВЕС, до складу якої входить 10 ВЕУ типу FL 2500 (рис.4.15) [91].

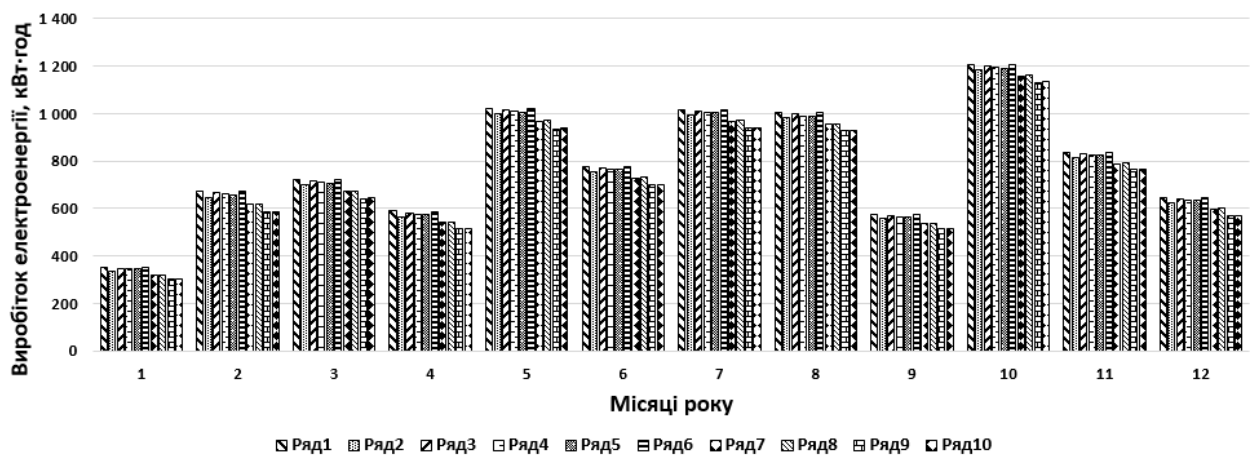


Рисунок 4.15 – Діаграма виробітку електричної енергії десяти ВЕУ

На рис 4.15 входять наступні позначення Ряд 1 – ВЕУ 1 (FL-801); Ряд 2 – ВЕУ 2 (FL-802); Ряд 3 – ВЕУ 3 (FL-803); Ряд 4 – ВЕУ 4 (FL-804); Ряд 5 – ВЕУ 5 (FL-805); Ряд 6 – ВЕУ 6 (FL-806); Ряд 7 – ВЕУ 7 (FL-807); Ряд 8 – ВЕУ 8 (FL-808); Ряд 9 – ВЕУ 9 (FL-809); Ряд 10 – ВЕУ 10 (FL-810).

Вихідна напруга ВЕУ приймається незмінною в межах 120 В. Розглянемо режим роботи ВЕУ (типу ZH5KW встановленою потужність $P_{ВТС}$

= 5 кВт), при якому заряджається тягова акумуляторна батарея ємністю $Q_{AB} = 100 \text{ А}\cdot\text{год}$ та напругою $U = 120 \text{ В}$. Згідно [19] для ВЕУ даного типу характерна наступна залежність потужності від швидкості набігаючого повітряного потоку. Як приклад, приймається, що стаціонарна ВЕУ буде розташована поблизу міста Вінниця. На основі даних багаторічних метеорологічних спостережень, наведених в [20], проведено розрахунок середньодобового, місячного та річного виробітку електричної енергії ВЕУ. При розрахунках встановлено, що згідно прийнятих вище умов загальний виробіток електричної енергії протягом року складає 7716,02 кВт·год (рис. 4.16). При цьому згідно [119] виробіток електроенергії починається при швидкості вітру 3 м/с, однак вихідна потужність ВЕУ при даній швидкості становить 200 Вт, а відповідно струм – 1,67 А, що є недостатнім для реалізації ефективного режиму заряду. В результаті подальших розрахунків встановлено, що ефективний заряд АБ буде відбуватись при швидкостях вітру більше 5 м/с.

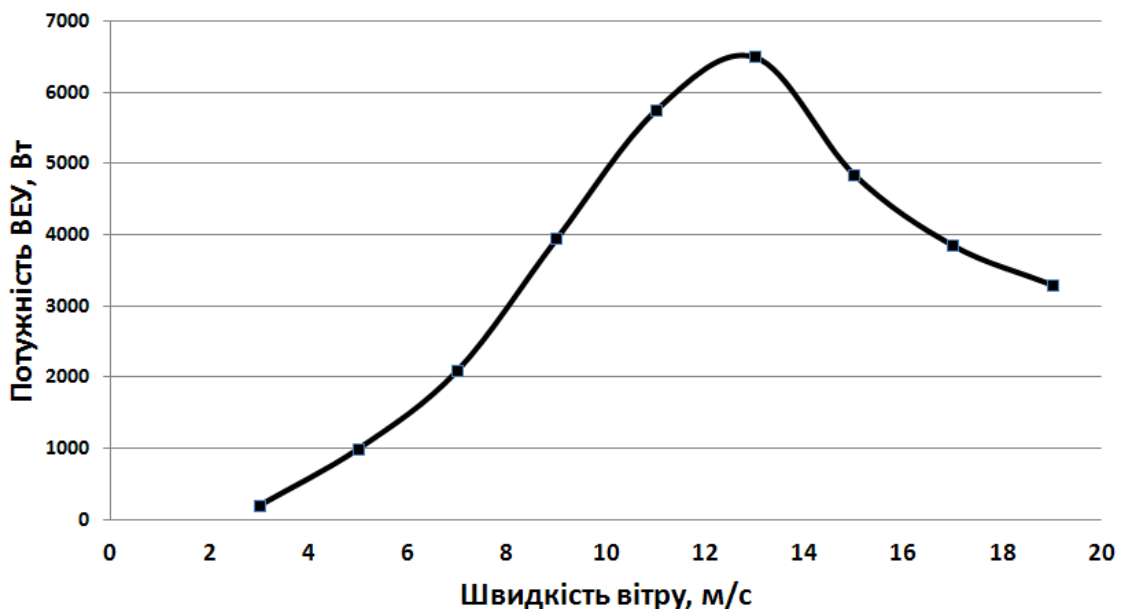


Рисунок 4.16 – Крива залежності потужності розробленого ВЕУ від швидкості вітру.

При використанні класичного методу зарядження тягової свинцево-кислотної АБ ємністю 100 А·год і напругою 120 В, що експлуатуються на

електромобілях, від розробленого ВЕУ встановленою потужністю 5 кВт при класичному заряді використовується $W_{AB} = 6680,04$ кВт·год електричної енергії (рис.5.4), тоді як сумарний показник виробітку складає $W_{ЗАГ} = 7716,02$ кВт·год.

Використання низькопотенційної електричної енергії, виробленої ВЕУ при малих швидкостях вітру (а для ВЕУ даного типу це 1035,98 кВт·год), необхідно проводити шляхом застосування імпульсного режиму зарядження АБ, переваги використання якого викладені в [1].

4.6 Висновок до розділу 4

Представлено діаграма виробітку електричної енергії десяти ВЕУ отриману експериментальним шляхом. Також розраховано виробництво середньодобової електричної енергії ВЕУ встановленою потужністю 5 кВт та енергії, що використовується для зарядження АБ ємністю 100 А·год та напругою 120 В класичним методом та імпульсним методом.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення комерційного та технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу впровадження засобів перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними метрологічними характеристиками.

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри метрології та промислової автоматики: д.т.н., проф. Кулакова П. І., к.т.н доц. Маньковську В. С. та з кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних систем к.т.н., доцент Овчинников К.В. Для проведення технологічного аудиту було використано таблицю 4.1 [1] в якій за п'ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв здійснено оцінку комерційного потенціалу.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та	Технічні та	Технічні та	Технічні та	Технічні та

	споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	споживчі властивості продукту на рівні аналогів	споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
--	--	---	---	---	--

Продовження табл. 4.1

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних	Необхідно отримання великої кількості	Процедура отримання дозвільних	Необхідно тільки повідомлення	Відсутні будь-які регламентні обмеження на

документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	виробництво та реалізацію продукту
---	--	--	--	------------------------------------

Таблиця 4.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 4.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 4.3 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Маньковська В.С.	Кулаков П. І.	Овчинніков К.В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	3	3	3
3	2	2	3
4	3	1	2
5	3	2	3
6	2	3	2
7	3	2	3
8	2	2	2
9	3	3	2
10	3	3	3
11	2	3	3
12	3	3	3
Сума балів	СБ ₁ =31	СБ ₂ =29	СБ ₃ =30
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{31+29+30}{3} = 30$		

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів склала 30 бали, що згідно таблиці 4.2 вважається, що рівень комерційного потенціалу проведених досліджень є середнім.

Система, що розробляється призначена для отримання, збереження, обробки вимірювальної інформації про станвітрогенераторних систем та може бути використана на електричнихстанціях.

Порівняємо нову розробку з аналогами, які існують на ринку. В якості для розробки було обрановітроколесо з двома лопотями.

Основними недоліками аналога є не високий ККД. Також до недоліків можна віднести великий діаметр лопаті

У розробці дана проблема вирішується додаванням двох лопатей меншого діаметру. Також система випереджає аналог за такими параметрами як мережевийінвертор, навідміну від попередніх типів дозволяє системі працювати без акумуляторних батарей, але його можна використовувати тільки для виведенняелектроенергії в громадськуелектромережу.

Проведемо оцінку якості і конкурентоспроможності нової розробки порівняно з аналогом. В таблиці 4.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Таблиця 4.4 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Кількість лопатей, шт	2	4	2	10%
Потужність, кВт	5	6	1,2	50%
Стабільність, умовний показник	0,9	1	1,1	10%
Напрацювання на відмову, год	10000	15000	1,5	20%
Висота, м	40	40	1	10%

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (4.1) та (4.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 4.5.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (4.1)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (4.2)$$

де P_{Hi} , P_{Bi} – числові значення i -го параметру відповідно нового і базового виробів.

$$q_1 = \frac{4}{2} = 2;$$

$$q_2 = \frac{6}{5} = 1,2;$$

$$q_3 = \frac{1}{0,9} = 1,1;$$

$$q_4 = \frac{15000}{10000} = 1,5;$$

$$q_5 = \frac{40}{40} = 1.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i \quad (4.3)$$

$$K_{\text{я.в.}} = 2 \cdot 0,1 + 1,2 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,1 = 2,3$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою

конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

В табл. 4.5 наведено технічні та економічні показники для розрахунку конкурентоспроможності нової розробки відносно товару-аналога, технічні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 4.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри нової розробки і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар- конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
Кількість лопатей, шт	2	4
Потужність, кВт	5	6
Стабільність, умовний показник	0,9	1
Напрацювання на відмову, год	10000	15000
Висота, м	40	40
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн	70000	55000

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (4.4)$$

де $I_{m.n.}$ – індекс технічних параметрів; $I_{e.n.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (4.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (4.5)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{e.n.} = \frac{55000}{70000} = 0,79;$$

$$K = \frac{2,3}{0,79} = 2,9.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи групуються за такими статтями: витрати на оплату праці, витрати на соціальні заходи, матеріали, паливо та енергія для науково-виробничих цілей, витрати на службові відрядження, програмне забезпечення для наукових робіт, інші витрати, накладні витрати.

1. Основна заробітна плата кожного із дослідників Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} * t \text{ (грн)} \quad (4.6)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p \approx 21...23$ дні;

t – число робочих днів роботи дослідника.

Для розробки засобу перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними метрологічними характеристиками і необхідно залучити інженера з посадовим окладом 7000 грн. Кількість робочих днів у місяці складає 22, а кількість робочих днів інженера складає 21. Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.6.

Таблиця 4.6 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату грн.
Керівник	13000	590,9	5	2955
Інженер-програміст	7000	318,2	21	6682
Інженер	6500	295,5	10	2955
Всього				12591

2. Основна заробітна плата робітників Z_p розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (4.7)$$

де n – число робіт по видах та розрядах;

t_i – норма часу на виконання конкретної операції, годин;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує певну роботу, грн./год.:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{3m}}, \quad (4.8)$$

де M_m – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, грн.;

K_i – тарифний коефіцієнт робітника даного розряду;

T_p – число робочих днів в місяці ($T_p=21 \dots 23$ дні);

$T_{зм}$ – тривалість зміни, годин ($T_{зм} = 8$ годин).

Прожитковий мінімум працездатної особи на 01.12.2021 року складає 2481 грн.

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду. Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 4.7:

Таблиця 4.7 – Тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду

Розряд	K_i
1	1,00
2	1,1
3	1,35
4	1,5
5	1,7
6	2,0
7	2,2
8	2,4

Інформацію про основну заробітну плату заносимо до таблиці 4.8

Таблиця 4.8 – Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1	2	3	4	5
Налагоджувальні	3	4	21,1	63,4
Складальні	2	4	21,1	42,3
Механічні	2	3	19,0	38,1
Заготівельні	4	2	15,5	62,0
Всього				205,8

3. Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників.

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 10% від основної заробітної плати.

$$Z_d = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{дод}}}{100\%} \quad (4.9)$$

$$Z_d = 0,11 * (12591 + 205,8) = 1407,64 \text{ (грн)}$$

4. Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (4.10):

$$H_{зп} = (Z_o + Z_p + Z_d) * \frac{\beta}{100} \text{ (грн)} \quad (4.10)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$H_{зп} = (12591 + 205,8 + 1407,64) * \frac{22}{100} = 3124,06 \text{ (грн)}$$

5. Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_B \quad \text{грн.}, \quad (4.11)$$

- де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;
 C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;
 K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$;
 B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;
 C_B – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг;
 n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.9 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Флюс ФКСН	4	0,1	0,4
Каніфоль	11	0,3	3,3
Припій ПОС-61	500	0,2	100
Всього			103,7
З врахуванням коефіцієнта транспортування			114,07

6. Витрати на комплектуючі вироби, які використовують при виготовленні одиниці продукції, розраховуються, згідно їх номенклатури, за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.12)$$

- де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;
 C_i – покупна ціна комплектуючих i -го найменування, грн.;
 K_i – коефіцієнт транспортних витрат $(1,1 \dots 1,15)$.

Таблиця 4.10 – Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Датчик температури	1	300	300
Пластикова пластина	5	30	150

Кабель міжвузловий	2	10	20
Операційний підсилювач	1	2	2
Інтерфейси	2	70	140
Джерело напруги	1	20	20
Трансформатор	1	45	45
Всього (з врахуванням транспортних витрат)			744,70

7. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час виконання даного етапу роботи

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

$$A = \frac{Ц \cdot T}{T_{кор} \cdot 12} \text{ [грн]}, \quad (4.13)$$

де Ц – балансова вартість даного виду обладнання (приміщень), грн.;

$T_{кор}$ – час користування;

T – термін використання обладнання (приміщень), цілі місяці.

Згідно пункту 137.3.3 Податкового кодекса амортизація нараховується на основні засоби вартістю понад 2500 грн. В нашому випадку для написання магістерської роботи використовувався персональний комп'ютер вартістю 15000 грн.

$$A = \frac{15000 \cdot 1}{2 \cdot 12} = 625$$

8. До статті «Паливо та енергія для науково-виробничих цілей» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються з технологічною метою на проведення досліджень.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yt} \cdot t_i \cdot Ц_e \cdot K_{emi}}{\eta_i} \quad (4.14)$$

де W_{yt} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

Ц_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{\text{впі}}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{\text{впі}} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$V_e = \frac{0,3 \cdot 160 \cdot 4,1 \cdot 0,5}{0,8} = 123$$

9. Витрати на службові відрядження, витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи, організації та інші витрати. Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$V_{\text{св}} = (Z_o + Z_p) * \frac{H_{\text{св}}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де $H_{\text{св}}$ – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$V_{\text{св}} = 0,2 * (12591 + 205,8) = 2559,34 \text{ (грн)}$$

12. Накладні (загальновиробничі) витрати $V_{\text{нзв}}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо. Накладні (загальновиробничі) витрати $V_{\text{нзв}}$ можна прийняти як (100...150)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$V_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$V_{\text{нзв}} = (12591 + 205,8) \cdot \frac{100}{100\%} = 12796,72 \text{ грн}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$B = 12593 + 205,8 + 1407,64 + 3124,06 + 114,07 + 744,70 + 625 + 123 + 2559,34 + 12796,72 = 34292,2$$

Прогнозування загальних втрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\eta}, (4.17)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то коефіцієнт $\beta = 0,5$.

Звідси:

$$ЗВ = \frac{34292,2}{0,5} = 68584,3 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.18)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

Π_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

l – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $l = 0,8333$.

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. $p = 0,25$;

x – ставка податку на прибуток. У 2021 році – 18%.

Припустимо, що при впровадженні результатів наукової розробки покращується якість програмного продукту для формування індивідуальних тренувань. Припустимо, що ціна від зросте на 5000 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 10 шт., протягом другого року – на 15 шт., протягом третього року на 20 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 1 шт., а її ціна до складає 55000 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_1 &= [5000 \cdot 1 + (55000 + 5000) \cdot 10] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 103350,03 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= [5000 \cdot 1 + (55000 + 5000) \cdot (10 + 15)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 261239,75 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= [5000 \cdot 1 + (55000 + 5000) \cdot (10 + 15 + 20)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \\ &\cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 466231,55 \text{ грн.} \end{aligned}$$

5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки.

$$PV = k_{інв} \cdot ЗВ, \quad (4.19)$$

$k_{інв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо ($k_{інв} = 2 \dots 5$).

$$PV = 2 \cdot 68584,3 = 137168,6$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$ згідно наступної формули:

$$E_{абс} = (ПП - PV) \quad (4.20)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.21)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{103350,03}{(1 + 0,2)^1} + \frac{261239,75}{(1 + 0,2)^2} + \frac{466231,55}{(1 + 0,2)^3} = 538606,37 \text{ грн.}$$

$$E_{abc} = (538606,37 - 874697,06) = 401437,78 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g . Для цього користуються формулою:

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.22)$$

$T_{жс}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_g = \sqrt[3]{1 + \frac{401437,78}{137168,6}} - 1 = 0,9 = 90\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.23)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$.

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23$$

Так як $E_g > \tau_{\min}$ то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g} \quad (4.24)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,9} = 1,1 \text{ роки}$$

Так як $T_{ок} \leq 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

5.5 Висновки до економічного розділу

Було проведено оцінку комерційного потенціалу засобу перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними метрологічними характеристиками, який є на середньому рівні. При порівнянні нової розробки з аналогом виявлено, що вона є якіснішою і конкурентоспроможнішою відносно аналога, а також краще по технічним і економічним показникам.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат складе 34292,2грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 68584,3грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 1,1 роки при прогнозованому прибутку 538606,37 грн. за три роки.

ВИСНОВКИ

Відповідно до теми та індивідуального завдання, у даній магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено перетворювач кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та система контролю параметрів вітрогенераторів. Дана система може застосовуватись на об'єктах з різними вихідними параметрами, як по потужності, так і по номіналу напруги.

В ході виконання роботи було визначено особливості об'єкту контролю, зроблено огляд структури ВЕУ, вибір схеми забезпечення об'єкта енергією, розроблено систему автономного енергозабезпечення на прикладі реального господарства. В ході роботи було здійснено проектування системи моніторингу роботи автономної енергоустановки, а також проведені дослідження метрологічних характеристик вимірювального каналу обертання лопаті вітрогенератора.

Представлено результати моделювання вихідної напруги з та без фільтру. Отримані результати проаналізовані. Проведено моделювання системи стабілізації вихідної напруги ВЕУ в програмі Matlab. Спроектовано систему моніторингу роботи автономної енергоустановки.

Розроблено математичну модель вітроенергетичної установки, яка враховує параметри вітрогенератора типу WH6.4-5000W і складається з віртуального синхронного генератора, що є елементом бібліотеки SimPowerSystem, а також блоків з програми Simulink пакету програм Matlab, що імітують дію вітру та рух механічної частини. перевірки працездатності ВЕУ та проектування системи управління вітрогенератором.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 1,1 роки при прогнозованому прибутку 538606,37 грн. за три роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головка В.М. Вплив параметрів системи орієнтації ротора з використанням конструктивної схеми "хвіст на косому шарнірі" на статичні характеристики вітроустановки / В.М. Головка, В.П. Коханевич, М.О. – С.45–54.
2. Шихайлов, В.І. Будько // Відновлювана енергетика. – 2016. – №1. – С.45–54.
3. Будько В.И. Современное состояние и развитие возобновляемой энергетики / В.И. Будько, С.А. Кудря, А.В. Пепелов, // Альтернативная энергетика и экология. – 2017. – №4-6. – С.130–141.
4. Павлов В.Б. Зарядження електромобілів від відновлюваних джерел/ В.Б. Павлов, В.І. Будько // Технічна електродинаміка. – 2017. – №6. – С.32–35.
5. Павлов В.Б. Особливості роботи автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок та буферних акумуляторів енергії / В.Б. Павлов, С.О. Кудря, В.І. Будько, В.М. Кириленко, В.Ю. Іванчук // Технічна електродинаміка. – 2019. – №4. – С. 70-76.
6. Кудря С.О. Використання вітрової та сонячної енергії для опіснення /С.О. Кудря, М.А. Ткаленко, Л.В. Яценко, Л.Я. Шинкаренко, В.І. Будько // XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика XXI століття». – Київ, 2016.– С.229–231.
7. Остапчук О.В. Перспективи використання джерел розподіленої генерації в енергосистемі України / О.В. Остапчук, В.І. Будько // Міжнародна науково-практична конференція — Енергозбереження та енергоефективність -2018, Дніпро, 2018р. .– С.36–38.
8. Electricity access database - International Energy Agency. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iea.org/energyaccess/database/>

9. Работа ОЕС. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/dyspatcherska-informatsiya/roboata-oes-ukrayiny-zatyzhden/>
10. ДСТУ 3466-96 Якість електричної енергії. Терміни та визначення. Київ, 1998. 22 с.
11. Каплун В.В. Структурно-параметричний синтез комбінованих систем електроживлення: монографія / В.В.Каплун – К.: КНУТД , 2017. – 187с.
12. Кудря С.О., Будько В.І. «Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»: електронний курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько // – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2013. – 360 с. 171.
13. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 7 жовтня 2015 р.) / С. О. Кудря // Вісник Національної академії наук України. - 2015. - № 12. - С. 19-26. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_12_6
14. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.
15. Э. Парр Программируемые контроллеры. Руководство для инженера – Москва: «Бином», 2007.
16. А. А. Копесбаева Программно-технические комплексы управления. Методические указания к курсовой работе для студентов всех форм обучения специальностей 050702 – Автоматизация и управление – Алматы: АИЭС, 2010.
17. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.

18. Безруких П.П. Ветроэнергетика. (Справочное и методическое пособие). М.: – ИД «Энергия». 2010.
19. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011.
20. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
21. Енергія вітру [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL:<http://www.energy-village.in.ua/index.php?form=WindEnergy>.
22. Вітрогенератори [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL:<http://ibud.ua/ua/statuya/vetrogeneratoru-3041>
23. Параметри вітрогенераторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL:http://ecost.lviv.ua/ua/osnov_parametr.html
24. Юкиш М.Й., Кухарчук В.В., Білинський Й.Й. Оптико-електронні засоби контролю параметрів обертального руху на основі просторової модуляції: монографія / М.Й, Юкиш, В.В. Кухарчук, Й.Й. Білинський. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 138с.
25. В.О. Бржезицький, Я.О. Гаран, І.М. Маслюченко Трансформування вищих гармонічних складових напруги електромагнітними трансформаторами // Наукові праці НУХТ. — 2013. — № 49. — с. 98 – 103.
26. Схеми роботи вітрогенераторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: http://ecost.lviv.ua/ua/pr_work.html
27. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. Навчальний посібник. – К.: УМК ВО, 1991. – 240 с.
28. ДСТУ 3481-96 (ГОСТ 30485-97) Локальна мережа введення - виведення для розподілених автоматизованих систем керування. Загальні технічні вимоги
29. ДСТУ 2827-94 Комплекс мікропроцесорних засобів диспетчеризації, автоматики, телемеханіки. Правила приймання і методи випробувань

30. ДСТУ ІЕС 61069-1:2007 Вимірювання та керування в промислових процесах. Визначення властивостей системи для її оцінення. Частина 1. Загальні аспекти та методологія (ІЕС 61069-1:1991, IDT)

31. ДСТУ ІЕС 61069-2:2007 Вимірювання та керування в промислових процесах. Визначення властивостей системи для її оцінення. Частина 2. Методологія оцінювання (ІЕС 61069-2:1993, IDT)

32. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

Засіб перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними
метрологічними характеристиками

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Кафедра метрології та промислової автоматики
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МПА

д.т.н., професор Кучерук В.Ю.

_____ (підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**Засіб перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними
метрологічними характеристиками**

08-03.МКР.007.00.000.ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. Дудатьєв І.А.

« ____ » _____ 2021 р.

Розробив студент гр. КІВТ-20м

Ульянівський Д.В.

« ____ » _____ 2021 р.

Додаток А
(обов'язковий)

Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

1 Підстава для проведення робіт

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Засіб перетворення кінетичної енергії вітрового потоку з покращеними метрологічними характеристиками» є наказ № 277 від 24.09.2021 р.

Термін виконання робіт:

початок 01.09.2021 р.

кінець 17.12.2021 р.

2 Мета та вихідні дані для проведення робіт

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка перетворювача кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та системи контролю параметрів вітрогенераторів на основі контролера, яка забезпечить моніторинг та управління роботи вітроелектричних установок.

Вихідними даними для проведення робіт є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу від 01.09. 2021 р.

3 Етапи виконання робіт

Виконавцем всіх перерахованих в даному розділі етапів є: студент групи КІВТ-20м Ульяновський Денис Володимирович факультету комп'ютерних систем та автоматики Вінницького національного технічного університету, а замовником є: кафедра метрології та промислової автоматики.

№ Етапу	Зміст етапу	Строки виконання
E1	Особливості об'єкту дослідження	01.09.2021 14.09.2021
E2	Вибір та розрахунок параметрів вітроенергетичної установки	14.09.2021 28.09.2021
E3	Дослідження метрологічні характеристики вимірювального каналу обертання лопаті вітрогенератора	28.09.2021 07.10.2021
E4	Практична реалізація вітрогенераторної системи та експериментальні дослідження	07.10.2021 19.10.2021
E5	Економічна частина	16.11.2021 17.12.2021

4 Призначення і галузь застосування

Розвиток вітроенергетики потребує розробок систем для контролю роботи генераторів та інших параметрів вітроустановок. Ці системи повинні мати високий рівень автоматизації, для швидкого реагування елементів та надійності їх роботи, з виключенням похибок від людського фактора.

5 Технічні дані

5.1 Діапазон вихідної напруги 220...340 В;

5.2 Тип об'єкта – асинхронний генератор з вітроколесом (3 лопаті);

6 Джерела розробки

6.1 Положення про магістерську кваліфікаційну роботу // Романюк О.Н., Лисенко Г.Л., Обертюх Р.Р., Видмиш А.А., Громова Л.П. – ВНТУ, Вінниця, – 2010. – 16с.

6.2 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О.Н. Романюк, Р.Р. Обертюх, Т.О. Савчук, Л.П. Громова – Вінниця: ВНТУ, 2015 – 27с.

6.3 ДСТУ 3481-96 Локальна мережа введення - виведення для розподілених автоматизованих систем керування. Загальні технічні вимоги

6.4 ДСТУ ІЕС 61069-1:2007 Вимірювання та керування в промислових процесах. Визначення властивостей системи для її оцінення. Частина 1. Загальні аспекти та методологія (ІЕС 61069-1:1991, ІДТ)

6.5 ДСТУ ІЕС 61069-2:2007 Вимірювання та керування в промислових процесах. Визначення властивостей системи для її оцінення. Частина 2. Методологія оцінювання (ІЕС 61069-2:1993, ІДТ)

Ст. гр. КІВТ-20м _____ Ульянівський Д.В.

Додаток Б

Лістинг програми керування

network 1

```
A(  
  L  "Anemometer"  
  L  3.000000e+001  
  >D  
  )  
  S  "Diesel generator"  
  S  "High velocity"  
  R  "Wind Power"
```

network 2

```
A(  
  L  "Anemometer"  
  L  3.000000e+001  
  <=D  
  )  
  R  "High velocity"
```

network 3

```
A(  
  L  "Volt"  
  L  2.200000e+002  
  ==D  
  )  
  AN "Disconnect"  
  AN "High velocity"  
  S  "Wind Power"  
  R  "Diesel generator"  
  R  "Accumulator"
```

network 4

A "Disconnect"

R "Wind Power"

network 5

A(

L "Accumulation Degree"

L 9.500000e+001

>=D

)

AN "Wind Power"

S "Accumulator"

R "Diesel generator"

network 6

A(

L "Accumulation Degree"

L 3.500000e+001

<D

)

AN "Wind Power"

S "Diesel generator"

network 7

A "Power off"

R "High velocity"

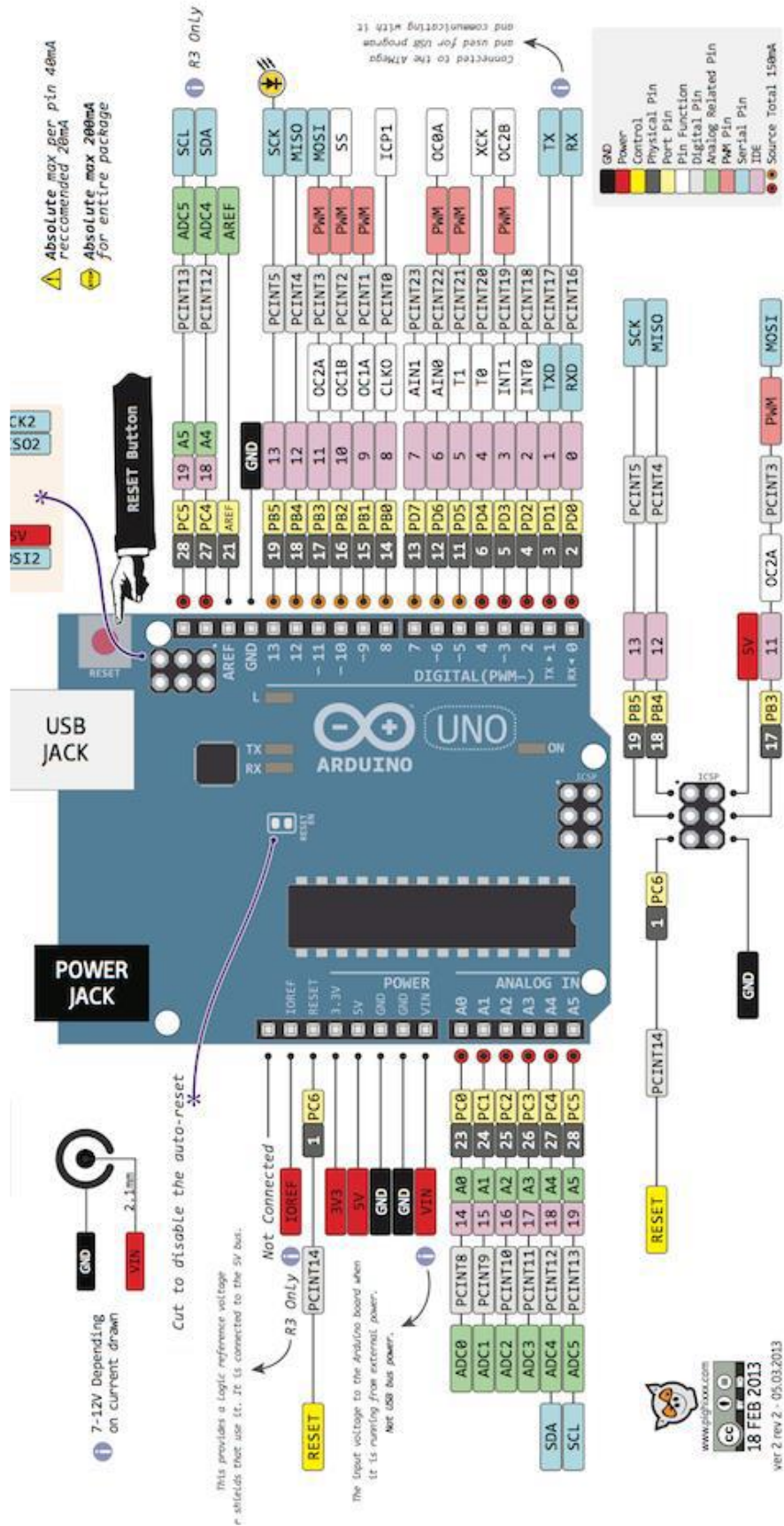
R "Accumulator"

R "Wind Power"

R "Diesel generator"

Додаток В

Схема підключення



Додаток Г

UniCheck



Ім'я користувача:
Маньковська В.С. МПА

ID перевірки:
1009683889

Дата перевірки:
15.12.2021 11:22:00 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
15.12.2021 11:28:51 EET

ID користувача:
100001333

Назва документа: Ульяновський плагіат

Кількість сторінок: 64 Кількість слів: 7738 Кількість символів: 59887 Розмір файлу: 5.75 MB ID файлу: 1009683202

4.48%

Схожість

Найбільша схожість: 1.73% з Інтернет-джерелом (https://aesd.org.ua/?page_id=88)

4.48% Джерела з Інтернету

62

Сторінка 66

Пошук збігів з Бібліотекою не проводиться

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0%

Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

8

Додаток Д
Презентація