

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами  
Кафедра систем управління літальних апаратів

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Дослідження інтелектуальної системи керування вітроенергетичної  
установки з вертикальною віссю обертання і використання мобільних додатків  
для контролю стану системи»

Виконав: студент 6 курсу, групи 362  
спеціальності

151 “Автоматизація та комп’ютерно-  
інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма

“Інженерія мобільних додатків”

Цуканов І. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Субота А. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

**Форма № Н-9.01**

Міністерство освіти і науки України  
 Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
 «Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами  
 Кафедра систем управління літальних апаратів  
 Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
 Спеціальність 7.151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології  
 (шифр і назва)  
 Спеціалізація “Інженерія мобільних додатків”  
 (шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідуючий кафедрою

к.т.н., с.н.с., доцент

\_\_\_\_\_ К.Ю. Дергачов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

## З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Цуканова Ігоря Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Дослідження інтелектуальної системи керування вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання і використання мобільних додатків для контролю стану системи»

керівник проекту проф., к.т.н. Субота А. М., затверджені наказом вищого навчального закладу від 1.11.2020 року № 2038-уч

2. Строк подання студентом проекту: 17 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту технічне завдання на дипломне проектування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд літератури та існуючих методів рішення задачі, дослідження проблеми та синтез математичних моделей, проектування системи, реалізація системи, експериментально-практична частина, розрахунок собівартості й ціни програмного продукту, побудова точки беззбитковості.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) приклади існуючих рішень, функціональна блок-схема програмного продукту, алгоритми рішень поставленої задачі, прототипи графічного інтерфейсу, зображення розробленого інтерфейсу, результати експерименту, результати розрахунку собівартості програмного продукту.

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Оцінка стану проблеми системи	проф., к.т.н. Субота А. М.		
Аналіз і синтез системи	проф., к.т.н. Субота А. М.		
Конструкторська частина	к.т.н. Джулгаков В.Г.		
Дослідна частина	проф., к.т.н. Субота А. М.		
Експериментально-практична частина	проф., к.т.н. Субота А. М.		
Економічне обґрунтування	Хлівна І.В., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 4.09.2020**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Початок переддипломної практики	01.09.2020	
2.	Формулювання теми проекту. Розробка технічного завдання	18.09.2020	
3.	Математичний опис системи управління. Аналіз і синтез системи управління. Проведення експериментальних досліджень	16.10.2020	Залік з переддипломної практики
4.	Конструкторська частина роботи. Дослідна частина роботи. Експериментально-практична частина. Економічне обґрунтування розробки.	20.11.2020	
5.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічного матеріалу	04.12.2020	
6.	Попередній захист проекту	11.12.2020	
7.	Рецензування проекту. Захист проекту в ДЕК	17.12.2020	

Студент \_\_\_\_\_ Цуканов І. В.

( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Субота А. М.

( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра 301

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідуючий кафедрою

к.т.н., с.н.с., доцент

\_\_\_\_\_ К. Ю. Дергачов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на дипломне проектування  
Цуканова Ігоря Володимировича

1 Тема роботи: «Дослідження інтелектуальної системи керування вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання і використання мобільних додатків для контролю стану системи».

затверджена наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р. № \_\_\_\_\_.

2 Строк здачі студентом закінченої роботи «11» \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2020 р.

3 Область застосування розробки: вітроенергетика.

4 Початкові дані для розроблювальної системи

4.1 Призначення і мета створення системи: розробка системи управління ВЕУ та моніторинг даних за допомогою мобільного додатку.

4.2 Загальні відомості: у вітроенергетиці потрібен моніторинг наборів параметрів з їх зберіганням і відображенням оператору.

5 Технічні вимоги до каналів системи управління

5.1 Питання, що підлягають розробці: огляд існуючих рішень; аналіз шляхів вирішення проблеми; розробка алгоритмів для рішення поставленого завдання класифікації зображень; проектування інтерфейсу користувача; створення програмного продукту з впровадженими алгоритмами; тестування; експеримент.

5.2 Режим роботи системи (безперервний, циклічний, одноразової дії): безперервний, автоматичний.

5.3 Показники якості системи управління:  $t_{пп} \leq 5с$ ,  $\sigma \leq 5\%$ ,  $\varepsilon \leq 5\%$ ,  $A_z \geq 10$  дБ,  $\varphi_z \geq 60^\circ$ .

5.4 Вимоги до приладового складу системи: приладовий склад повинен відповідати тактико-технічним вимогам.

5.5 Вимоги до взаємозамінності блоків: при відмові функціонального елемента він повинен бути замінений по відповідності до тактико-технічних характеристик.

## 6 Умови експлуатації системи

6.1 Кліматичні вимоги до експлуатації (температура середовища, у якій буде працювати система управління, її вологість, вміст хімічно активних компонентів і т.ін.)

а) температура середовища  $-30...+50^\circ\text{C}$ ;

б) наявність вітру.

6.2 Механічні вимоги (вібрація, тряска, можливі перекося, удари, нахили і т.ін.): допускається вібрація в частотному діапазоні 0-50 Гц.

6.3 Наявність перешкод (електричні наведення радіоперешкоди, магнітні впливи): не допускаються.

6.4 Електричні параметри системи (напруга джерел живлення, потужність, стабільність, частота):  $U=5\text{В}$ ,  $P \leq 5$  Вт.

7 Додаткові функції, реалізовані системою (сигналізація про несправності, реєстрація необхідної інформації, самоконтроль самої системи і т.ін.): не передбачені.

## 8 Обсяг виконуваних розроблювачем робіт

8.1 Етапи проведення роботи: аналіз стану проблеми або досліджуваного питання, вивчення готових рішень, опис математичної моделі, проектування системи,

реалізація системи, експериментальна частина, обґрунтування економічної ефективності проекту.

8.2 Обсяг розробки по кожному етапу: титульний лист, технічне завдання, анотація, список умовних позначень та скорочень, зміст, вступ, стан проблеми або досліджуваного питання і постановка задачі проектування, дослідження проблеми, проектування системи, реалізація системи, експериментальна частина, обґрунтування економічної ефективності проекту, висновок, список використаної літератури.

9 Параметри устаткування системи: визначаються в процесі проектування.

10 Вимоги безпеки: згідно з вимогами нормативно технічної документації.

11 Дослідницька частина: провести дослідження нечіткого регулятора у відповідності до заданих показників якості системи.

12 Експериментально-практична частина: розробка програмного продукту, тестування програмного засобу.

13 Економічна частина

13.1 Розробити (розрахувати, одержати): розрахувати собівартість і ціну ВЕУ з програмним проектом.

13.2 Умови і вимоги: оцінити економічну ефективність розвитку.

13.3 Очікуваний результат: ринкова вартість розробленого програмного продукту.

14 Перелік графічних матеріалів із зазначенням форматів: 10 плакатів формату А1 – функціональна схема системи, зовнішній вигляд програмних засобів, алгоритми у вигляді блок-схем.

Керівник роботи

Суббота А.М.

(П.І.Б.)

«    » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Прийняв до виконання

Цуканов І.В.

(П.І.Б. студента)

«    » \_\_\_\_\_ 2020 р.

Погоджено з питань:

конструкції

Джуглаков В.Г.

(П.І.Б.)

«    » \_\_\_\_\_ 2020 р.

дослідницької частини

Суббота А.М.

(П.І.Б.)

«    » \_\_\_\_\_ 2020 р.

економіки

Хлівна І.В.

(П.І.Б.)

«    » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## РЕФЕРАТ

Сторінок 123, рисунків 67, таблиць 14, джерел 50, додатків 2.

В даному дипломному проекті розглянуто завдання розробки і дослідження системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання і дистанційним контролем за рахунок мобільного додатка. Результатом даної роботи є розроблена система автоматичної стабілізації та мобільний додаток до операційної системи Android (який показано, як діюча частина проекту).

Ключові слова: об'єкт автоматичного керування, система автоматичного керування, ВЕУ, вертикальна вісь, нечіткий регулятор, вітроенергетичні установки, віротурбіни, лопаті віротурбіни, датчик швидкості вітру, енергія вітру, мобільний додаток.



## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

САУ – система автоматичного управління;  
ОУ – об'єкт управління;  
СУ – система управління;  
ОАУ – об'єкт автоматичного управління;  
ПП – підсилювач потужності;  
ЭД – електродвигун;  
МК – мікроконтролер;  
КП – коригуючий пристрій;  
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;  
АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;  
КМО – компоненти вбудовані (монтовані) в отвори;  
КМП – компоненти вбудовані (монтовані) в плату;  
ПК – персональний комп'ютер;  
ШІМ – широтно-імпульсний модулятор;  
ВЕУ – вітроенергетична установка.

## ЗМІСТ

Вступ.....	11
1 Оцінка стану проблеми системи.....	12
1.1 Аналіз технічного завдання .....	12
1.2 Загальна характеристика проблеми і існуючі підходи до її вирішення ..	12
1.3 Постановка задач проектування .....	27
1.4 Висновки .....	27
2 Аналіз і синтез системи .....	28
2.1 Цілі, завдання, структура та вибір шляху вирішення проблеми.....	28
2.2 Математичні моделі .....	28
2.3 Розробка нелінійної та лінеаризованої математичної моделі об'єкта стабілізації.....	33
2.4 Висновки .....	49
3 Конструкторська частина .....	50
3.1 Завдання контролера і визначення складу вхідної/вихідної інформації.	50
3.2 Розробка алгоритмічного забезпечення і оцінка необхідних обчислювальних ресурсів.....	50
3.3 Розробка структури цифрового контролера.....	53
3.4 Вибір елементної бази для реалізації контролера .....	55
3.5 Формування протоколів обміну даними між елементами контролера ...	58
3.6 Розробка конструкції друкованого вузла контролера.....	62
3.7 Проектування інтерфейсу і функціональних модулів.....	63
3.8 Висновки .....	63
4 Дослідна частина .....	64
4.1 Завдання і методи проведення дослідження .....	64
4.2 Результати дослідження .....	68
4.3 Висновки .....	74
5 Експериментально-практична частина .....	75
5.1 Опис програми .....	75
5.2 Керівництво користувача .....	75
5.3 Технологія тестування програмного забезпечення .....	77
5.4 Результати експериментального тестування.....	78
5.5 Перевірка та калібрування елементів системи .....	78
5.6 Висноки .....	81
6 Економічна частина .....	82
6.1 Опис продукту .....	82
6.2 Сегментування ринку .....	82
6.3 Аналіз конкурентоспроможності .....	83
6.4 Розрахунок собівартості і ціни .....	85
6.5 Висновки .....	91
Висновки .....	92
Список використаних джерел.....	93
Додаток А.....	98

Додаток Б.....	104
----------------	-----

## ВСТУП

У зв'язку зі щорічним збільшенням споживання людством енергії, зростаючими екологічними обмеженнями та стрімким ростом цін на непоновлювані органічні енергоресурси з кожним днем все актуальнішим стає збільшення обсягів отримання енергії за рахунок використання поновлювальних її джерел, особливо енергії вітру, яка у вітрових електричних установках перетворюється в електричну. Головними перевагами вітрових електричних установок (ВЕУ) є їх енергетична невичерпність, поновлювальність та екологічність.

Переважає більшість вітрових електроустановок, незважаючи на тенденцію зростання їх потужності працюють у вузькому діапазоні зміни швидкості вітру, оскільки системи автоматичного керування ними не в змозі забезпечити стабільність частоти струму, що генерується та стабільність кутової швидкості обертання вітрових коліс при поривчастому характері вітрового навантаження. Основним способом стабілізації кутової швидкості вітрового колеса ВЕУ є зміна кутів нахилу його лопатей в залежності від потужності вітрового потоку. Такий спосіб є недосконалим, він зменшує коефіцієнт використання вітрової енергії ВЕУ від максимально можливого, ускладнює конструкцію вітрового колеса та суттєво ускладнює систему керування. Тому актуальною є задача розробки такого пристрою та способу керування ВЕУ, із змінною швидкістю обертання вітрового колеса, який би забезпечував роботу її із жорстко фіксованими лопатями у широкому діапазоні зміни швидкостей вітру, максимально можливий відбір потужності від вітрового електротехнічного комплексу (ВЕК) та прийнятну якість генерованої напруги.

Метою даного проекту слугує створення такої системи, яка в автономному режимі буде здатна збирати показники з ВЕУ, відображати отримані данні користувачу і давати можливість їх зберегти.

## 1 ОЦІНКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ

### 1.1 ..... А аналіз технічного завдання

Згідно з поставленим технічним завданням, необхідно спроектувати систему, яка буде дозволяти користувачу віддалено керувати ВЕУ з вертикальною віссю обертання за допомогою мобільного додатку.

В якості інструментів і засобів реалізації буде використовуватися мова програмування Java за допомогою модульної платформи. Операційна система Android обрана у зв'язку з найбільшою популярністю серед населення з низьким і середнім рівнем доходів і через доступність пристроїв на даній операційній системі. Також для розробки буде використане середовище розробки Visual Studio 2019 Community, а також Visual Studio Code. Також у якості хостингу були обрані Amazon Web Services (далі AWS) через те що даний продукт є найшвидшим на ринку.

Для використання програмного продукту може бути використаний будь-який браузер.

Всі вимоги, наведені в технічному завданні, є достатніми для розробки програмного продукту.

### 1.2 ..... З загальна характеристика проблеми і існуючі підходи до її вирішення

Вітрогенератори - це генератори електричної енергії, призначені для перетворення енергії вітру в електричну. Вітрогенератори сучасних конструкцій дозволяють використовувати економічно ефективно енергію навіть найслабших вітрів - від 4 метрів в секунду. За допомогою вітрогенераторів сьогодні можна не тільки постачати електроенергію в «мережу» але і вирішувати завдання електропостачання локальних або острівних об'єктів будь-якої потужності [12].

Вітрогенератори застосовуються в самих різних місцях. Це відкриті території з хорошим вітропотенціалом, поля, острови, мілководді, гори. Як наслідок енергетичної політики в Україні-місця, де підключення до існуючих

мереж дорожче вітроенергетичного проекту або доставка дизельного палива обходиться дорого.

Працює вітрогенератор дуже просто, майже як і сотні років тому: набігають потоки вітру на висоті вежі вітрогенератора - від 40 до 100 метрів обертають лопаті вітрогенератора. Енергія обертання передається по валу ротора на мультиплікатор, який в свою чергу обертає асинхронний або синхронний електричний генератор. Широко поширені конструкції вітрогенераторів, які не мають мультиплікатора, що суттєво збільшує їх продуктивність. При зміні напрямку вітру сенсори на башті ВГ подають команду, і механізм орієнтації повертає вежу вітрогенератора за вітром. Стабілізація обертання вітроколеса вітрогенератора досягається різними методами, один з яких - поворот лопатей або їх фрагментів навколо своєї осі під кутом до напрямку вітру.

Вітрогенератори можуть працювати як поодиноці (одиночний комплекс), так і групами (вітропарк). Часто один або кілька вітрогенераторів працюють паралельно з дизель-генераторами як засіб економії витрат на дизельне паливо [13].

Вітрогенератори можна розділити на три категорії: промислові, комерційні та побутові (для приватного використання). Промислові встановлюються державою або великими енергетичними корпораціями. Як правило, їх об'єднують в мережі, в результаті виходить вітрова електростанція. Її основна відмінність від традиційних (теплових, атомних) - повна відсутність як сировини, так і відходів. Єдине важлива вимога для ВЕС - високий середньорічний рівень вітру. Потужність сучасних вітрогенераторів досягає 8 МВт.

Існують класифікації вітрогенераторів за кількістю лопатей, за матеріалами, з яких вони виконані, по осі обертання і по кроку гвинта [12].

Існують два основних типи вітротурбін:

1) з вертикальною віссю обертання («карусельні» - роторні, «лопатеві» ортогональні);

2) з горизонтальною віссю круглого обертання (крильчасті). Вони бувають швидкохідними з малим числом лопатей і тихохідними багатолопатевою, з КПД до 40%.

У даній роботі розглядається вітроенергетична установка з вертикальною віссю обертання.

Вертикально-осьові вітроенергетичні установки з точки зору впливу на навколишнє середовище мають наступні переваги перед швидкохідними горизонтальними пропелерними:

- рівні аеродинамічних, інфразвукових шумів, теле- і радіоперешкоди набагато нижче;
- менше радіус розкиду уламків лопатей в разі їх руйнування і менш ймовірно саморуйнування;
- нижча ймовірність зіткнення лопатей з птахами.

Класифікація установок з вертикальною віссю обертання.

За принципом дії ВЕУ з вертикальною віссю обертання можна розділити на дві групи, в яких для створення моменту обертання використовуються:

- відмінність в опорі лопатей при їх русі по вітрі і проти вітру;
- підйомна сила лопатей.

До першої групи належать:

- 1) ротор пластинчастий (рис. 1.1, а);
- 2) ротор чашковий (рис. 1.1, б);
- 3) вітротурбіна Лафонда (рис. 1.1, в);
- 4) ротор Савоніуса замкнутий (рис. 1.2, а), щілинний (рис. 1.2, б);
- 5) ротор Савоніуса з дифузором (рис. 1.2, в).

Вітроагрегати такого типу мають великий початковий крутний момент, але меншу швидкохідність і потужність в порівнянні з ВЕУ з горизонтальною віссю обертання пропелерного типу.

До другої групи належать:

- 1) ротор Дарье Ф-образний з замкнутими лопатями (рис. 1.3, а);
- 2) ротор Дарье Δ-образний з похилими лопатями (рис. 1.3, б);
- 3) ротор Дарье V-подібний з похилими лопатями (рис. 1.3, в);
- 4) ротор Дарье Н-подібний з прямими лопатями (рис. 1.4, 2);
- 5) ротор Дарье з гнучкими лопатями (рис. 1.4, б);
- 6) ротор Дарье із змінним кутом установки лопаті (рис. 1.4, в).

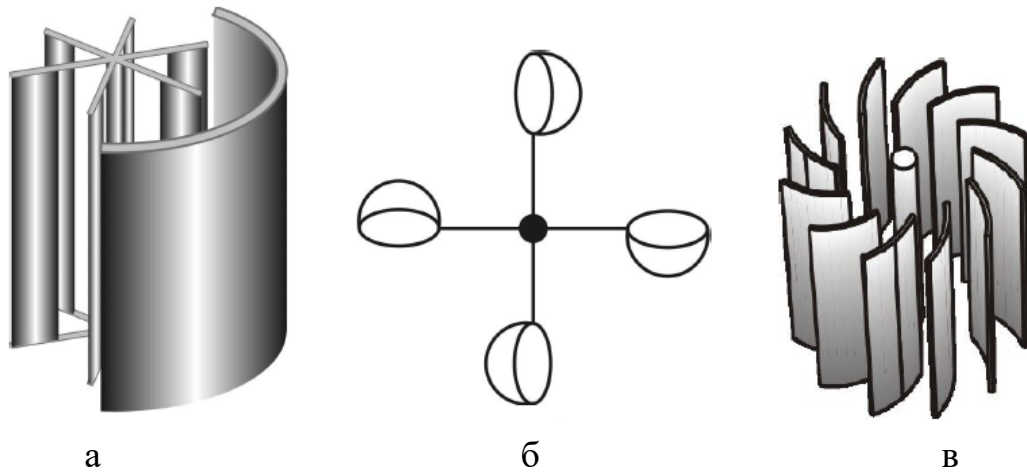


Рисунок 1.1 - Основні типи і конструктивні схеми ВЕУ з вертикальною віссю обертання, крутний момент у яких створюється за рахунок сили лобового опору: а - ротор пластинчастий; б - ротор чашковий; в - вітротурбіна Лафонда

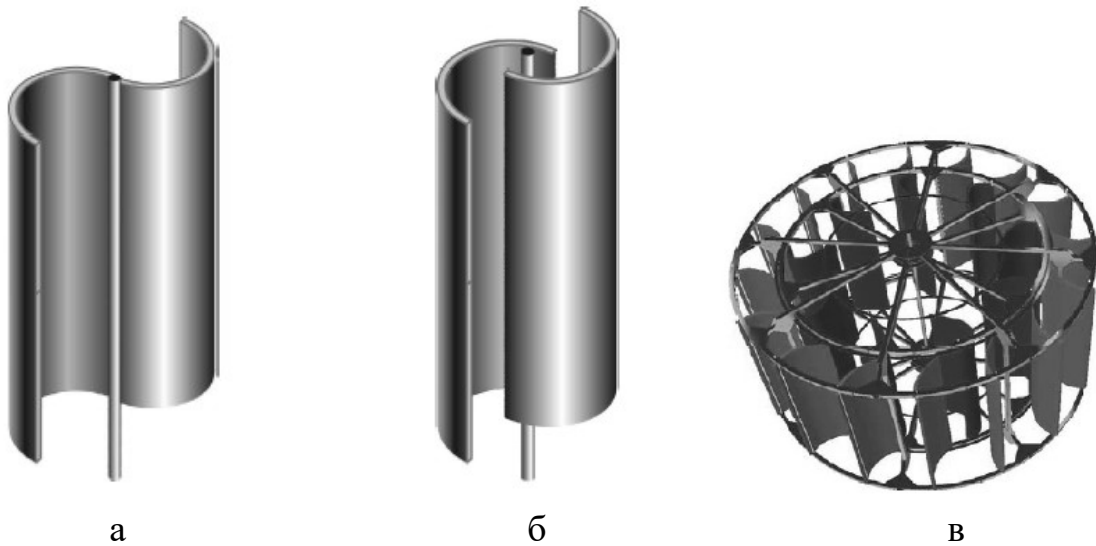


Рисунок 1.2 - Основні типи і конструктивні схеми ВЕУ з вертикальною віссю обертання, крутний момент у яких створюється за рахунок сили лобового опору: а - ротор Савоніуса замкнутий; б - ротор Савоніуса щілинний; в - ротор Савоніуса з дифуззором



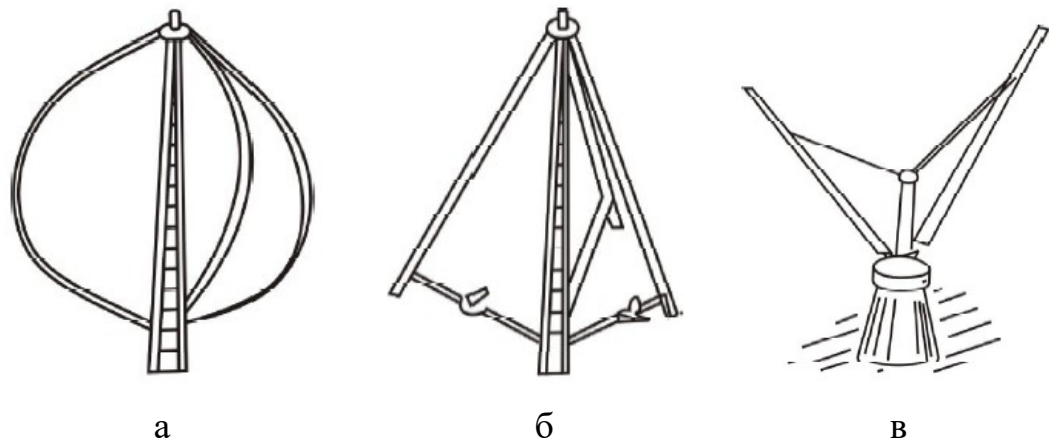


Рисунок 1.3 - Основні типи і конструктивні схеми ВЕУ, крутний момент у яких створюється за рахунок підйомної сили: а - ротор Дарьє Ф-подібний; б - ротор Дарьє Δ-подібний; в - ротор Дарьє V-подібний

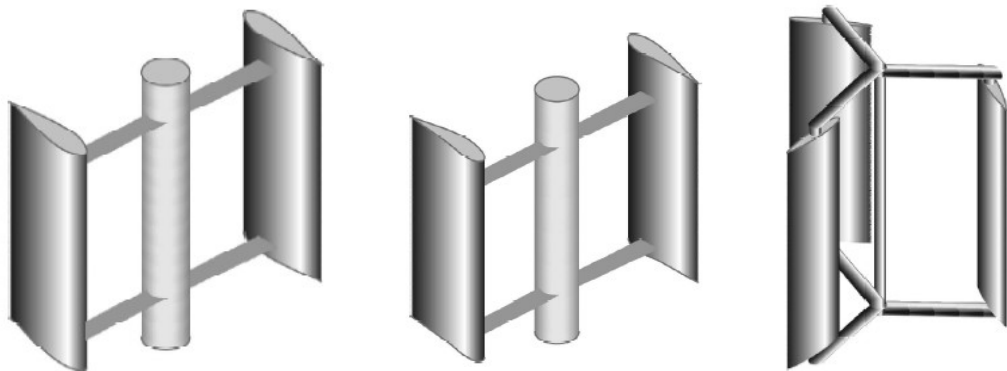


Рисунок 1.4 - Основні типи і конструктивні схеми ВЕУ, крутний момент у яких створюється за рахунок підйомної сили: а - ротор Дарьє Н-подібний; б - ротор Дарьє з гнучкими лопатями; в - ротор Дарьє із змінним кутом установки лопаті

Ці турбіни здатні перетворювати підйомну силу в позитивний момент обертання, якщо їх лопаті рухаються досить швидко в порівнянні з потоком, що набігає.

Саме ротори Дарьє становлять реальну конкуренцію ВЕУ з горизонтальною віссю обертання пропелерного типу.

1. Ротор Савоніуса. З існуючих типів роторів Савоніуса найбільш поширеними є замкнуті і щільні з двома і трьома лопатями. Ротори Савоніуса складаються з двох або трьох полуцилиндрів.

Різниця в опорі потоку вітру полуциліндров створює крутний момент. І хоча вони недорогі і прості у виготовленні в порівнянні з іншими типами турбін, проте, вони мають серйозні недоліки. Ротори Савоніуса вимагають не тільки багато матеріалу для виготовлення лопатей на одиницю площі, захопленої ротором, а й коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p$  (коефіцієнт потужності) у них малий у порівнянні з іншими ВЕУ. Типовими значеннями  $C_p$  для інших типів вітротурбін є значення в діапазоні 0,30-0,45, а для роторів Савоніуса вони не перевищують 0,25.

Цей тип турбін з точки зору їх вартісної ефективності не виправдовує себе, за винятком випадків з дуже низькою потужністю для виробництва електроенергії, і в подальшому вони будуть розглядатися в якості допоміжних роторів для забезпечення стартового крутного моменту для роторів Дарьє.

2. Ротор Дарьє з фіксованими лопатями. Ротор Дарьє є одним з ефективних механізмів по перетворенню енергії вітру в інші види енергії (електричну, механічну).

Ротор Дарьє у своїй первісній формі (рис. 2, а) має замкнуті лопаті (eggbeater), що представляють собою форму, яку приймає гнучка мотузка, коли вона обертається навколо вертикальної осі. Така форма дозволяє зменшувати (зводити до мінімуму) згинальні моменти в лопатях, що виникають за рахунок відцентрової сили, так, щоб на лопаті діяли тільки сила, що розтягує і сила лобового опору.

Однак і ця форма не може повністю усунути згинальні моменти, викликані змінюються комбінаціями аеродинамічних, гравітаційних і інерційних сил, що беруть участь в процесі роботи.

Ротори Дарьє з прямими лопатями встановлені на радіальних плечах з фіксованим кутом установки повинні витримувати великі згинальні моменти, викликані відцентровими навантаженнями, але при цьому вся довжина їх лопатей оперує при повному окружному радіусі і перпендикулярна до площини обертання. Вироблена їх потужність генерується за рахунок дії підйомної сили на лопаті. Лінійна швидкість лопаті при обертанні може бути набагато більше швидкості вітру.

3. Ротор Дарьє з гнучкими лопатями типу «парус». Ротори Дарьє з лопатями типу «парус» (рис. 2, е) можуть розвивати високий момент обертання, так як кривизна поверхні лопатей змінюється синхронно зі зміною кута атаки. І хоча «вітрила» ветроагрегата недовговічні (від одного до трьох років, в залежності від погоди в даній місцевості), вони дешеві, легкі і прості в

кріпленні. Існують і інші види ВО ВЕУ, які були запатентовані, але не набули широкого поширення через складність конструкцій.

4. Ротор Даріє із змінним кутом установки лопаті. Прямі лопаті ротора Дарині можуть обертатися щодо вертикальної осі. Зміна кута установки (тангажу) лопаті покращує аеродинамічні характеристики лопатей, знижуючи тенденцію до динамічного зриву потоку, і збільшує сумарний крутний момент ВЕУ. Ротори Дарині із змінним кутом тангажа можна розділити на «активні», в яких момент установки лопаті створюється за рахунок штовхачів, і «пасивні», в яких момент тангажу регулюється комбінацією аеродинамічних і інерційних сил.

Таким чином, вертикально-осьові вітроустановки є більш простими і володіють ще рядом переваг перед горизонтально-осьовими вітроустановками. Менший коефіцієнт використання потужності вітру і ККД компенсуються відсутністю втрат енергії при зміні напрямку вітру. У разі буферного акумулювання електроенергії, можна знизити вимоги до якості вихідної напруги і застосувати спрощені конструктивні рішення перетворення вітрового потоку в механічну енергію обертання валу (наприклад, нерегульовані лопаті і т.п.). При цьому необхідну якість електроенергії в каналі електропостачання може бути забезпечено стандартними пристроями перетворення електричної енергії (наприклад, джерелами безперебійного живлення типу UPS) з акумуляторною батареєю відповідної ємності.

Загальна схема використання вітрогенератора [21] зображена на рисунку 1.5.

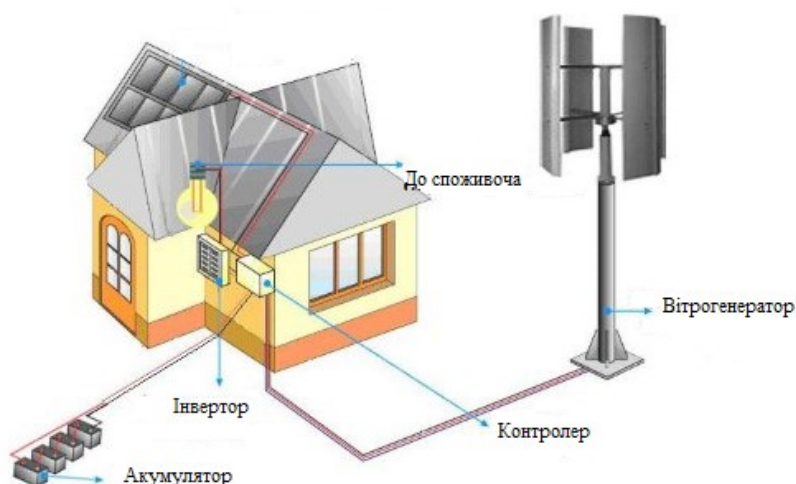


Рисунок 1.5 – Загальна схема використання вітрогенератора

Промислова розробка вертикально-осьових ВЕУ. Вертикально-осьові ВЕУ стали інтенсивно освоювати з початку 80-х років, причому діапазон їх потужностей безперервно розширюється. Сьогодні майже всі країни експлуатують ВО ВЕУ з ротором Дарье, причому в Канаді, США, Нідерландах перевага віддається класичною схемою з криволінійними лопатями, а в Великобританії та Румунії в якості основної схеми прийняті ротори з прямими лопатями, паралельними осі обертання. Найбільших успіхів добилася фірма VAWT (Великобританія). З 1986 р на о-ві Сардинія була випробувана ВЕУ цієї фірми з ротором діаметром 14 м і потужністю 40 кВт. У тому ж році була введена в промислову експлуатацію ВЕУ VAWT-450 з ротором діаметром 25 м потужністю 130 кВт.

В Україні в цей же час розробкою і виробництвом ВЕУ зайнялися приватні компанії. Так, в 1994 - 1995 рр. зусиллями фінансово-промислової групи «Атіка» (м.Київ) були розроблені і підготовлені до виробництва ВЕУ потужністю 5, 30, 45 кВт. В даний час правонаступником є компанія «Ветромаш» (м.Дніпропетровськ). Компанія «ЕСО» розробила ВЕУ потужністю 20 і 420 кВт з вертикальною віссю обертання (м.Дніпропетровськ). Для організації випуску на Україні ВЕУ USW-56/100 було створено українсько-американське підприємство (СП) «Уінденерго Лтд», зареєстровано 11 грудня 1992 г. З американської сторони до складу СП увійшли фірми «US Windpower» (вітроенергетичне відділення корпорації «Kenetech») і «Putman, Hayes and Bartlett».

Рекомендації по вибору місця розташування ВЕУ [35].

Вимоги до місць установки ВЕУ:

- велика середньорічна швидкість вітру;
- відсутність високих перешкод з підвітряного боку на відстані, яке визначається висотою перешкоди (плоска вершина, вирівнююча височина (з пологими схилами) на плоскій рівнині або островах озер або морів, відкриті рівнини або узбережжя, гірська ущелина, яка утворює тунель).

Можна навести такі загальні рекомендації по вибору місця:

1) вісь вітрогенератора розташовувати на 10 м вище будь-яких перешкод в радіусі 100 м;

2) кращими місцями розташування вітроустановок є відкриті простори, особливо на берегах великих водойм;

3) в горбистій місцевості вітрогенератор слід розташовувати на вітряній стороні пологої височини (якщо відомо домінуючий напрям вітру);

4) в гірській місцевості слід розташовувати в проходах, на пологих безлісих схилах, по можливості, на меншій висоті над рівнем моря, далеко від обривів і інших різких змін рельєфу.

Потужність вітрогенератора пропорційна кубу швидкості вітру. Це означає, що на території, де передбачається встановити ВЕУ слід визначити місцевість з найбільшою швидкістю вітру. Вибір місця досить просто зробити для рівнини, більш складно в разі гористій або горбистій місцевості.

Фактори, що враховуються при виборі місця:

1) Гальмування у землі. Швидкість вітру зменшується поблизу землі і цей ефект посилюється, якщо поверхня більш шорстка.

2) Турбуленція. Виникає позаду будівель, дерев, гребенів і т.д.

3) Орфографія місцевості. Прискорення потоку на вершинах пагорбів, гребенів і т.д.

4) Взаємний вплив ВЕУ.

Існує критерій, побудований на основі середньорічної швидкості вітру, при якій ВЕУ рентабельна і окупає себе. Ця швидкість знаходиться в діапазоні 5,4 - 5,9 м/с [23, 28].

Розміщення потужностей ВЕС в Україні, а також розподілення середньої швидкості вітру зображено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Розміщення потужностей ВЕС в Україні

Як видно з рис.1.6, на південному сході України середня швидкість вітру близька до такого показника, а отже, є всі умови для розміщення в цих регіонах як автономних ВЕУ, так і потужних мережевих вітропарків.

На початкових етапах розвитку вітроенергетики усі дослідження були зосереджені на горизонтально осьових вітрових турбінах. Однак останнім часом ця тенденція змінилася в бік вертикально осьових вітрових турбін зважаючи на низку конструктивних переваг і їх незалежності від напрямку вітру. Ці переваги, в поєднанні з простими методами управління, дозволяють використовувати їх в міських і ізольованих районах. У цьому випадку, як показує зарубіжний досвід, можна усунути або істотно зменшити вплив таких негативних чинників, як вібрація, шум, турбулізація вітрового потоку, створення перешкод для електроприладів і т.п. Дослідження в області малих вітроустановок вертикального типу, з діаметром ротора всього кілька метрів, підтверджують і рентабельність їх застосування, як в містах, так і в сільських населених пунктах з децентралізованою мережею електропостачання. Малі вертикально-осьові турбіни можуть бути інтегровані в будівлі вже починаючи з етапу проектування.

При установці вітрогенератора на дахах житлових висотних будівель необхідно дотримати кілька умов [30, 31].

Перш за все, встановлювати вітрогенератори слід в точках максимальної швидкості вітру. Це дозволить досягти найбільшої ефективності вітроустановки.

Другим важливим аспектом при виборі місця розташування установки необхідно врахувати умови виникнення явища турбулентності. Дослідження показали, що в разі квадратної і прямокутної конструкції будівлі, турбулентні потоки розподіляються рівномірно вздовж дахів і основних сторін будівель з першого до останнього поверху. У той час на торцевих сторонах будівель зареєстровані високі значення швидкості вітру. Варто відзначити, що турбулентність не часто зустрічається в разі трикутної або круглої форми споруди. Це робить їх кращими для застосування систем генерації енергії вітру.

І нарешті, необхідно зберегти комфорт мешканців та структурну стабільність будівлі. Дана умова забезпечується за допомогою дотримання критеріїв експертизи шумів і вібрації, які можуть виникнути при роботі вітрової турбіни. Однак експериментально підтверджено, що вітрогенератори малої потужності відповідають всім встановленим нормам по вібрації і шуму для житлових і офісних будівель і негативних наслідків не несуть.

Для поліпшення енергетичних показників вертикально-осьової турбіни, встановленої на даху висотного будинку можна скористатися деякими інноваційними розробками.

Інтеграція вітрогенераторів в систему електропостачання міських районів має великий потенціал. Застосування в заселених міських районах вітряків для додаткового харчування міських будівель допомогло б розвантажити центральну систему електропостачання і підвищити якість електроенергії. Довгостроковою перспективою стане поширення використання вітрової енергетики як поновлюваного джерела електроенергії для повсякденного життя.

### 1.2.1 Пристрій «всебічно спрямована лопать (omni-directional-guide-vane (ODGV))» [36]

Цей пристрій оточує вітрогенератор, розташований на даху. Конструкція ODGV може звести до мінімуму суспільні проблеми з установкою високошвидкісного вітряка на місці вироблення електроенергії. Також цей пристрій естетично гармонує з будівлею. Зовнішній вигляд будівлі з конструкцією ODGV показаний на рисунку 1.6.

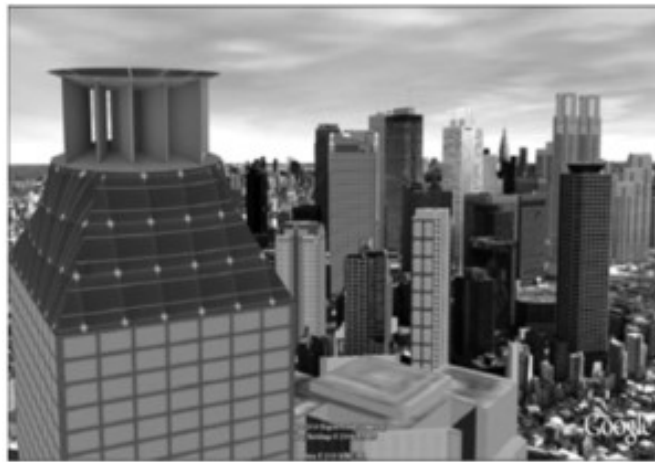


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд будівлі з конструкцією ODGV

Що стосується характеристик даного винаходу, то ODGV дозволяє збільшувати швидкість обертання ротора до 125%. При наявності ODGV, вихідна вироблена потужність однолопастний турбіни збільшується на 206% при швидкості 0,4. Негативна зона крутного моменту зводиться до мінімуму, тим самим збільшуючи крутний момент ротора. Геометрія конструкції може бути додатково покращена відповідно до різними типами вертикально-осьових вітряних турбін.

### 1.2.2 Система управління вітроагрегатами ABE\_250C №5, №7 і ВЭУ\_500 [16]

З 03.05.2001г. на Акташській ВЕС (республіка Крим) успішно експлуатується система управління вітроагрегатами ABE\_250C №5, №7 та ВЭУ\_500. ВЕС як промисловий об'єкт складається з вітроустановок,



розташованих на відстанях від 150 до 1000 м і більше один від одного, центрального пульта управління (ЦПУ), комплектних трансформаторних підстанцій і т. п.

На кожному з вітроагрегатів встановлений захищений контейнер, в якому змонтовані модуль восьмиканального аналогоцифрового перетворювача I\_7017F і модулі дискретного введення/виведення I\_7060, I\_7043, I\_7053, підключені до датчиків і виконавчих механізмів, а також джерела живлення.

На ЦПУ ВЕС розміщений персональний комп'ютер в промисловому виконанні (процесорна плата Rocky\_3702EV\_R4 в шасі PAC\_1700). На шину PCI комп'ютера встановлена плата 16 / 32\_канального АЦП 14 біт, 125 кГц з груповою гальванічною розв'язкою каналів L\_761 (L\_Card, Росія), до якої підключені датчики швидкості і напрямку вітру LOG\_GER. До комунікаційного порту підключений перетворювач інтерфейсу I\_7520, що забезпечує формування інтерфейсного каналу RS\_485, гальванічно розв'язаного від комп'ютера. Модулі збору даних на вітроагрегатах і комп'ютер ЦПУ з'єднані кабелем "вита пара". Харчування апаратури на ЦПУ здійснюється від джерела безперебійного живлення.

Система управління ВЕС в дистанційному режимі автоматично запускає кожен ВЕУ з ЦПУ за інформацією від датчика вітру, встановленого на метеовишке ВЕС і датчика нульової потужності, встановленого в системі генерування електричної енергії ВЕУ або в дистанційному режимі. Кожна ВЕУ запускається і зупиняється оператором ЦПУ незалежно від вітрової обстановки.

Циклічно з періодом не більше 0.2с виконується опитування параметрів ВЕУ, які перебувають в робочому стані, первинна обробка прийнятої інформації та архівування даних.

При цьому контролюються наступні основні параметри кожної ВЕУ:

- 1) активна потужність генератора;
- 2) реактивна потужність генератора;
- 3) повний струм фази генератора;
- 4) хід штоків гідроприводів;
- 5) керуючий струм гідроприводу;
- 6) частота обертання вітроколеса;
- 7) швидкість вітру за ветроколесом;
- 8) віброприскорення корпусу підшипника вітроколеса;
- 9) віброприскорення підшипника генератора;
- 10) віброприскорення гідроприводу;

- 11) температура маслобака;
- 12) температура корпусу підшипника генератора;
- 13) температура корпусу підшипника швидкохідного валу мультиплікатора;
- 14) температура повітря на виході генератора;
- 15) режим управління (місцевий або дистанційний);
- 16) готовність СЕО і САУ;
- 17) проходження команди пуску;
- 18) включення генератора;
- 19) аварійне вимкнення ВЕУ.

Прикладне програмне забезпечення, розроблене в середовищі Borland Delphi, має призначений для користувача інтерфейс, подібний оболонці Microsoft Windows, що значно полегшує освоєння програмно-апаратного комплексу обслуговуючим персоналом ВЕС. У головному вікні програми, що управляє ВЕС постійно відображаються стан кожної ВЕУ ("Готовність до пуску", "Запуск", "Робота в мережі", "Зупинка по спрацьовуванню захистів", "Технічне обслуговування", "Ремонт"), швидкість і напрям вітру, поточні дата і час, Вира лення енергії ВЕС за поточну добу, місяць, рік.

Оператор ВЕС може викликати:

- вікно відображення стану всіх діагностованих параметрів ВЕУ (рис. 1.8);
- вікно відображення параметрів системи генерування ВЕУ (рис.1.9);
- вікно відображення параметрів системи управління ВЕУ (рис.1.9б);
- вікно відображення статистичних характеристик ВЕУ (рис.1.10);
- панель налаштувань режимів управління ВЕУ;
- вікно протоколу роботи ВЕС (час включення/вимканення комп'ютера на ЦПУ ВЕС, час запуску і зупинки кожної ВЕУ, час переведення кожної ВЕУ в режим готовності до пуску, технічного обслуговування, ремонту і т. п).

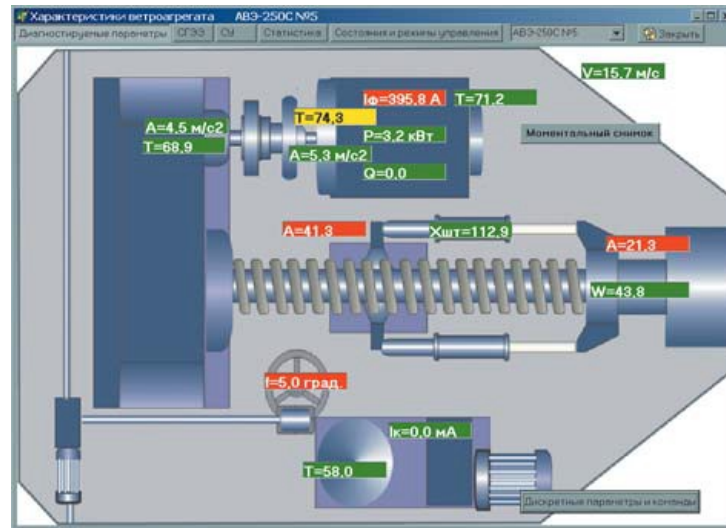


Рисунок 1.8 – Вікно відображення стану всіх діагностованих складових СУ ВЕУ



Рисунок 1.9 – Вікно відображення параметрів  
а) системи генерування ВЕУ і б) системи управління ВЕУ

Для отримання найбільш повної статистичної інформації про роботу ВЕУ програмне забезпечення дозволяє архівувати наступну інформацію:

- середню за одну хвилину швидкість вітру;
- середню за 10 хвилин швидкість вітру;
- середню за одну хвилину активну потужність кожного ветроагрегата;
- середню за 10 хвилин активну потужність кожного ветроагрегата;
- середню швидкість вітру за кожну годину;
- погодинну вироблення електроенергії кожної ВЕУ;
- час роботи кожної ВЕУ на мережу протягом кожної години;

- час включення/вимикання кожної ВЕУ;
- час знаходження ВЕУ в ремонті і технічному обслуговуванні;
- контрольовані параметри ветроагрегата при його аварійній зупинці.

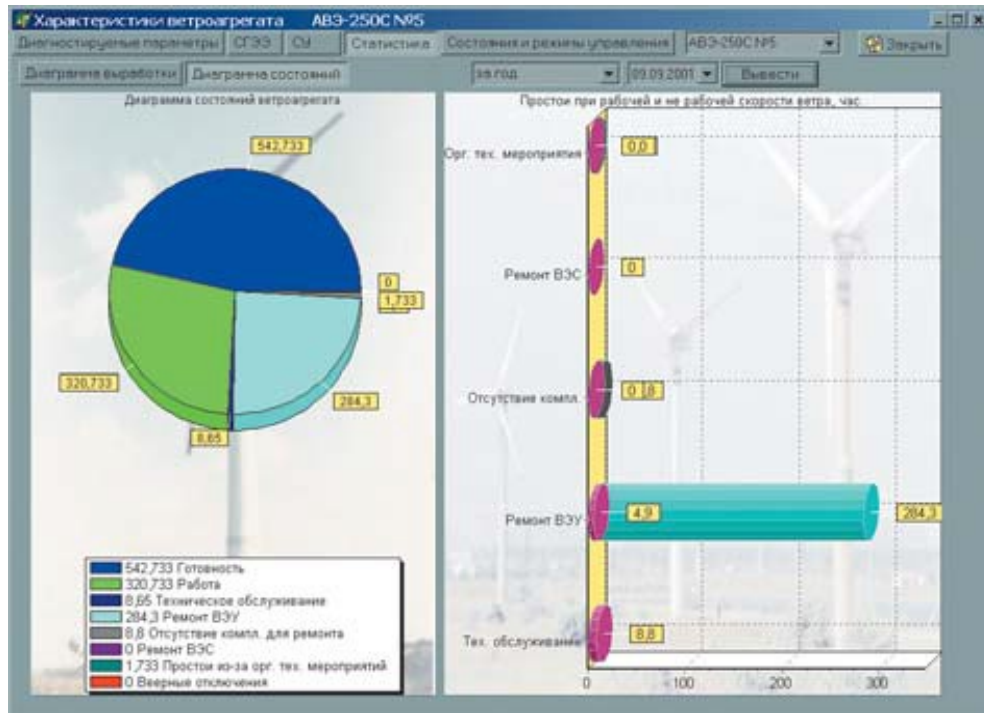


Рисунок 1.10 – Вікно відображення статистичних характеристик ВЕУ

Особливістю програмного забезпечення системи є те, що виконується в середовищі Windows при відображенні діагностованих параметрів в графічному вигляді в режимі реального часу. При розробці системи застосовані спеціальні методи синхронізації потоків, що мають високу швидкість виконання. Всі характеристики діагностованих параметрів (масштабні коефіцієнти, адреси, номери каналів, тощо) ВЕУ збережені в базі даних, що значно спрощує обслуговування - проведення калібрувань, заміну датчиків і виконавчих пристроїв при великій кількості ВЕУ.

Застосування технології об'єктно-орієнтованого програмування і модулів серії I\_7000 дозволяє при мінімальних витратах і у найкоротші терміни розширювати можливості системи і створювати нові системи для ВЕС з різними типами і кількістю ВЕУ.

### 1.3 Постановка задач проектування

Завдання проектування полягає в розробці проекту, який буде відповідати всім вимогам, пред'явленим в технічному завданні, а також у розробці планів і документації, яка спростить реалізацію даного проекту у подальшому.

Для полегшення розробки програмного продукту, необхідно застосувати об'єктно-орієнтований підхід при проектуванні системи. Першим етапом є проведення об'єктно-орієнтований аналіз, другим – об'єктно-орієнтоване проектування. Застосувавши цей підхід, буде отримана система з декомпованих елементів, які можна буде легко інтегрувати в сторонні і вже існуючі продукти. Також цей підхід дає можливість швидкої подальшої розробці нових функцій та легкої підтримки актуальності продукту.

Для оптимальної системи управління необхідно урахувати такі параметри, як напрям, швидкість вітру, а також закони керування не тільки ПД, а й нечіткий регулятор, бо він є робастним та адаптивним.

### 1.4 Висновки

Був розглянутий загальний стан проблематики використання непоновлюваних органічних енергоресурсів, а саме ВЕУ з вертикальною віссю обертання, на основі чого можна зробити висновок про те, що проблема вітряної енергетики на сьогоднішній день має велику актуальність і вже існує багато варіатів вирішення проблеми.

## 2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИСТЕМИ

### 2.1 Цілі, завдання, структура та вибір шляху вирішення проблеми

Головною метою розробки є розробка інструменту за допомогою котрого користувач зможе задавати та регулювати параметри ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

Одна з найпоширеніших проблем при розробці багатьох програм є те, що тяжкі процеси розрахунків чи обробки даних виконуються в основному потоці з графічним інтерфейсом, що приводить до втрати відклику інтерфейсу та, іноді, до аварійного завершення програми. [41]

### 2.2 Математичні моделі

Принцип дії всіх вітродвигунів полягає в обертанні вітроколеса з лопатями під натиском вітру. Момент, що обертає вітроколеса через систему передач передається на вал генератора, який виробляє електроенергію.

Як об'єкт автоматичного управління буде використана енергетична установка з вертикальною віссю обертання, а саме ротор Дар'є [24, 45].

Графічна модель ротора Дар'є з його розмірними параметрами зображено на рис.2.1.

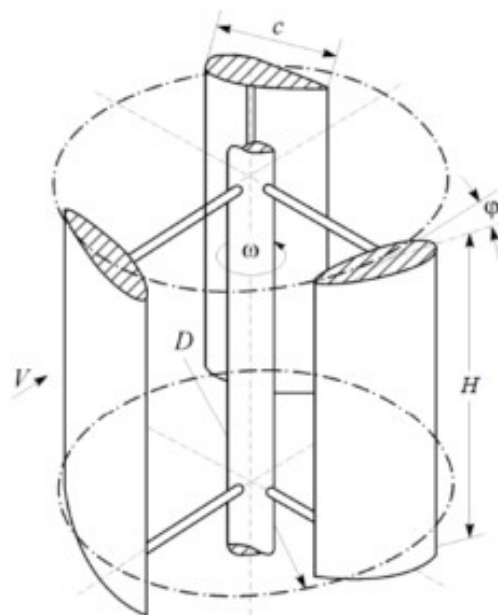


Рисунок 2.1 – Розмірні параметри ротора Дар'є

На рис. 2.1 прийняті наступні позначення:

$c, m$  – хорда лопаті;

$R, D = 2R, m$  – радіус, діаметр ротора;

$S, m^2$  – площа поперечного перерізу ротора;

$\omega, \text{рад/с}$  – кутова швидкість обертання ротора;

$V, \text{м/с}$  – швидкість вітрового потоку;

$\varphi, \text{рад, град}$  – кут установки лопаті;

$\lambda$  – швидкохідність ротору;

$n_b$  – число лопатей;

$\sigma$  – коефіцієнт заповнення;

$Re$  – число Рейнольдса.

Відомо, що основним недоліком ротора Дар'є є труднощі самозапуску. Для його здійснення ротора Дар'є потрібна висока початкова швидкість вітрового потоку. Основним способом поліпшення режиму самозапуску, на даний момент, є правильний вибір кута атаки лопатей. Існує два основні методи регулювання цього кута: пасивний метод і активний метод. При пасивному методі вибір кута атаки проводиться на основі чисельного та експериментального дослідження (фіксований крок). Активний метод заснований на зміні значення кута для кожної лопаті при обертанні (змінний крок). За останні кілька років в світі було зареєстровано кілька десятків патентів на механізми для управління лопатями ротора Дар'є. Вони дозволили знизити вітрове навантаження на вал ротора і значно поліпшити його ефективність.

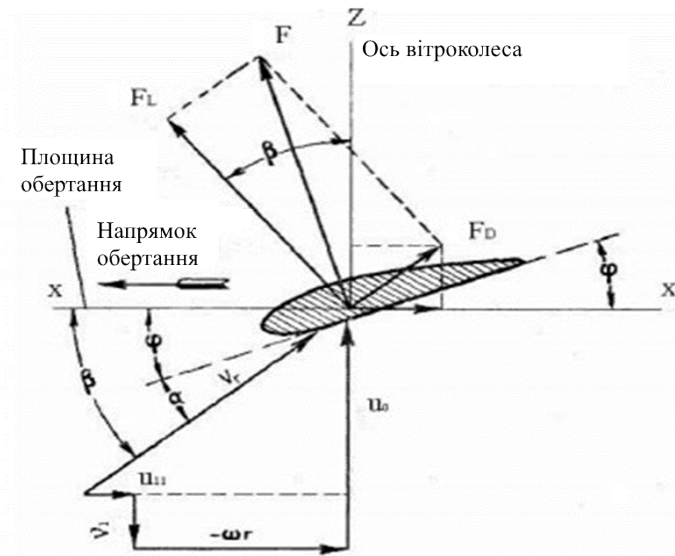
Зміна кута атаки лопаті ротора Дар'є показано на рисунку 2.2.



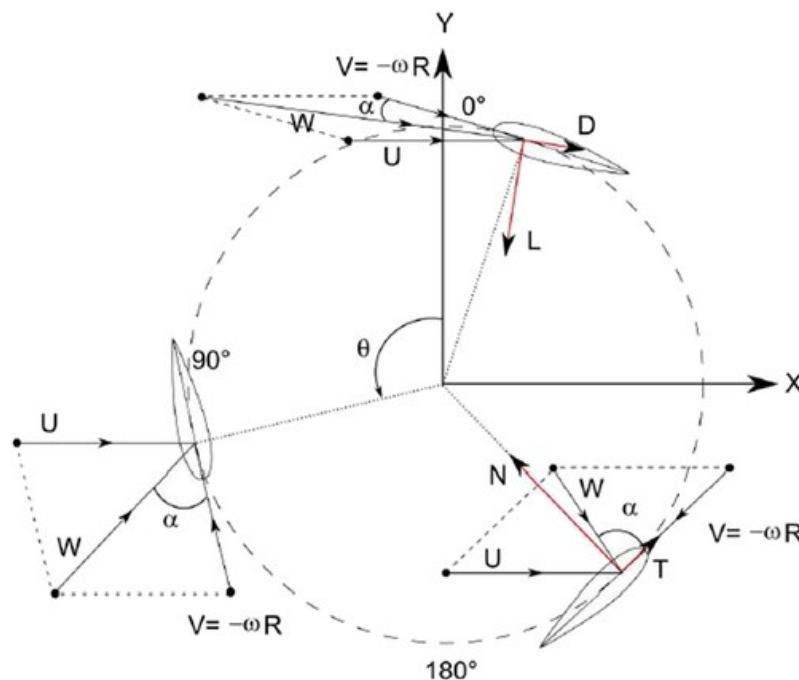
### Рисунок 2.2 – Зміна кута атаки лопаті ротора Дар'є

Що стосується зміни спірального кута лопаті, то він позитивного впливу на збільшення продуктивності ветроротор не робить. Експериментально підтверджено, що віте лезо показує низький коефіцієнт потужності.

Потік вітру в моделі представлений за допомогою коефіцієнтів аеродинамічних сил, що діють на поперечний переріз лопаті вітрової турбіни типу Дар'є. На рисунках 2.3-2.4 показані напрямки дії цих сил.



### Рисунок 2.3 – Переріз аеродинамічного профілю лопаті





### Рисунок 2.4 – Переріз аеродинамічного профілю лопатей

Під впливом повітряного потоку, що набігає зі швидкістю  $V_T$  під кутом  $\alpha$ , який називають кутом атаки, на вітряній стороні аеродинамічного профілю виникає підвищений тиск, а на підвітряній стороні - знижений тиск і через різницю тисків створюється сила  $F$ . Кути  $\varphi$  та  $\alpha$  значною мірою визначають ефективність крил. Силу  $F$  розкладають на сили  $F_D$  та  $F_L$ . Сила  $F_D$  виробляє тиск в напрямку вітру, яке називається лобовим тиском. Сила  $F_L$  спрямована перпендикулярно напрямку результуючої силі (результуючої швидкості вітру), що виникає як векторне складання напрямку швидкості що діє на лопать турбіни вітру і напрямку обертання лопаті турбіни і створює крутний момент.

Максимальні сили, що призводять колесо в обертання, виходять при деякому значенні кута атаки  $\alpha$ , тобто кута нахилу відносного потоку до поверхні лопаті. З огляду на те, що окружна швидкість по довжині крила неоднакова, а зростає в міру віддалення його елементів від осі обертання вітроколеса, відносна швидкість  $V_T$  набігаючого потоку на лопать також зростає. Разом з цим зменшується кут атаки  $\alpha$ , і при деякій окружній швидкості  $\omega R$ , де  $\omega$  кутова швидкість, цей кут стане негативним [31].

Так як підйомна сила прямо-пропорційно пов'язана з обертовим моментом ВЕУ, а, отже, і з потужністю, що виробляється ВЕУ, то логічно припустити, що підвищення і зниження її може стати додатковим способом регулювання роботи ВЕУ.

Синтез системи автоматичного управління полягає у формуванні об'єкта автоматичного управління і в цілому автоматизованих систем управління відповідно до обраного принципу управління за вимогами до якості функціонування [7].

Для побудови принципу управління системи автоматичного управління було вибрано принцип управління по відхиленню, оскільки він забезпечує більшу точність управління.

Загальна схема вітрогенератора представлена на рисунку 2.5 -2.6.

Особливість даної системи - наявність в ній виконавчого двигуна для повороту лопатей щодо осі обертання на певний кут залежно від параметрів вітру. Це дозволяє підтримувати постійну швидкість обертання ротора ВЕУ і тим самим - постійну кутову швидкість обертання електрогенератора. При максимальному значенні швидкості вітру двигун переводить лопаті у флюгерний стан, що сприяє зниженню навантаження на всю конструкцію ВЕУ в цілому.

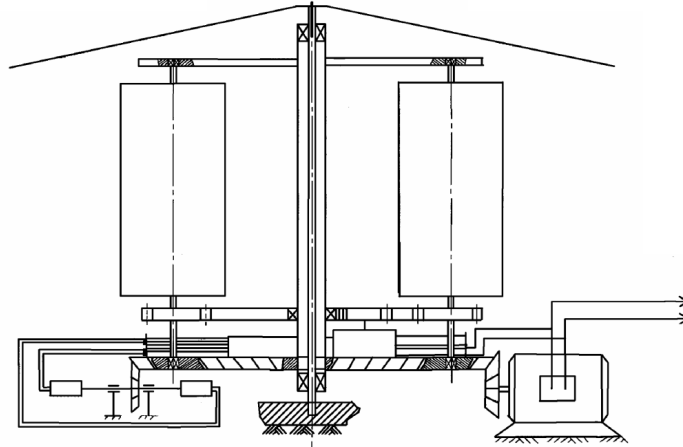


Рисунок 2.5 – Загальна схема вітрогенератора

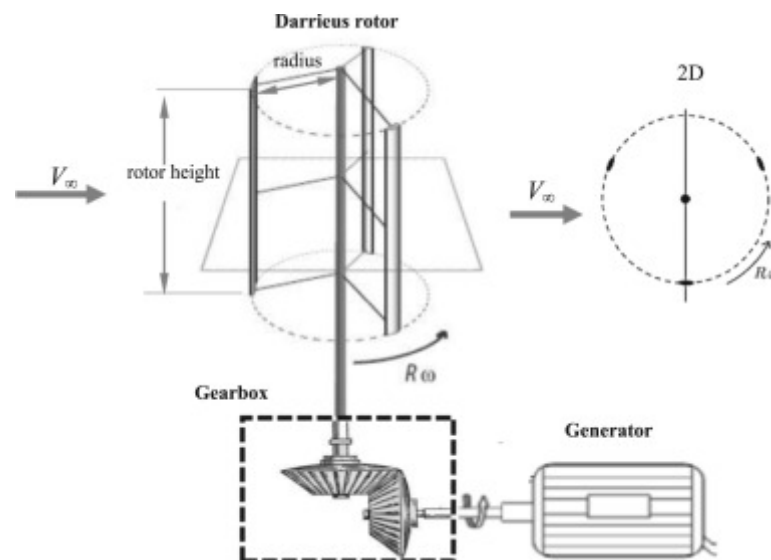


Рисунок 2.6 – Схема вітрогенератора з трьома лопатями

На рухомій основі розміщується барабан з необхідною кількістю струмопровідних доріжок, які забезпечують передачу енергії і необхідної інформації для реалізації зв'язку наземної апаратури (джерел живлення, датчиків кутової швидкості і прискорення ВЕУ, анемометрів і датчиків навантаження) з елементами системи управління, що знаходяться на рухомій основі (двигуном, мікроконтролерним обчислювачем, датчиками кута і кутової швидкості повороту лопаті).

Функціональна схема об'єкта управління приведена на рис. 2.7.

Досліджуваний ОУ вертикально-осьовий вітрогенератор з поворотними лопатями представимо у вигляді послідовного з'єднання відповідних блоків:

регулюючого щабля - блоку поворотних лопатей, блоку вироблення сумарного крутного моменту - ротора ВЕУ та блоку електричного генератора.

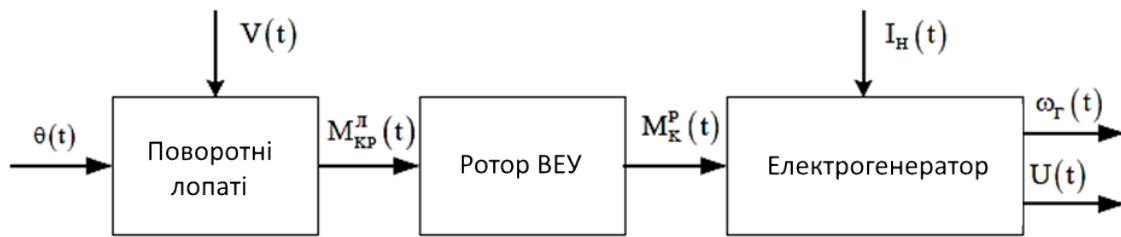


Рисунок 2.7 – Функціональна схема об'єкта управління

На рис. 2.7 прийняті наступні позначення:

$V(t)$  – швидкість вітру;

$\theta(t)$  – кут повороту лопаті;

$M_{кр}^л(t)$  – крутний момент, створюваний лопатою;

$M_{кр}^р(t)$  – сумарний крутний момент, створюваний ротором ВЕУ;

$\omega_r(t)$  – кутова швидкість обертання ротора електрогенератора;

$I_H(t)$  – струм навантаження електрогенератора;

$U_H(t)$  – напруга на виході генератора.

### 2.3 Розробка нелінійної та лінеаризованої математичної моделі об'єкта стабілізації

В основі аналітичного опису лежить диференціальне рівняння руху ротора ВЕУ навколо власної осі обертання, складене на основі закону збереження енергії [34]:

$$J\omega\dot{\omega} = P_{BK} - P_H, \quad (2.1)$$

де  $J$  – момент інерції вітротурбіни щодо власної осі обертання;

$\omega$  – кутова швидкість обертання вітротурбіни;

$P_{BK}$  – потужність, що передається вітроколесом на вал ротора;

$P_H$  – потужність, споживана навантаженням (з урахуванням всіх втрат).

Потужність  $P_{BK}$  є результатом перетворення частини енергії вітрового потоку:

$$P_{\text{вк}} = C_p \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2}, \quad (2.2)$$

де  $R$  - радіус вітроколеса;

$\rho$  - щільність повітря;

$V$  - швидкість вітрового потоку;

$C_p$  - коефіцієнт використання потужності вітрового потоку.

Оскільки дана вітроенергетична установка буде використовуватися для ділянки, то її потужність буде складати 1,5 кВт.

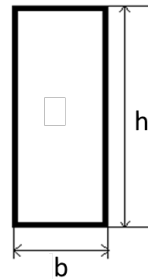


Рисунок 2.8 – Зовнішній вид лопаті ВЕУ

На рисунку 2.9 приведена залежність коефіцієнта потужності від швидкохідності для різних типів вітроустановок. Вибираємо робочу точку для ВЕУ обраного типу (4 - установка Дар'є) - це точка з швидкохідністю 5 і  $C_p = 0,45$ .

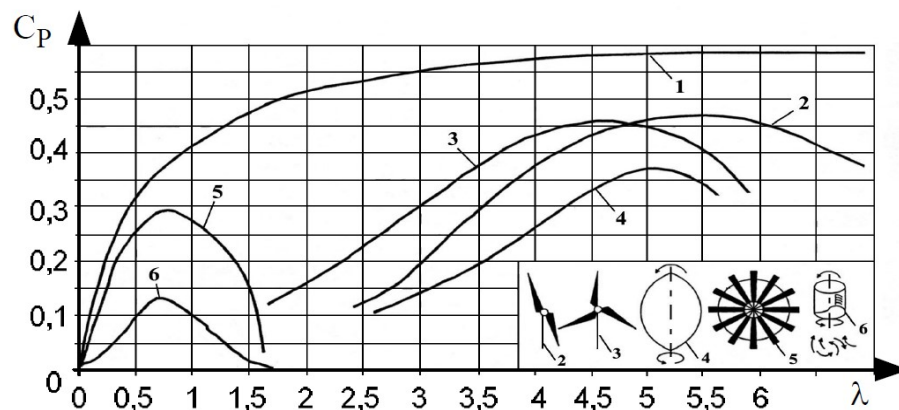


Рисунок 2.9 – Залежність коефіцієнта потужності  $C_p$  від швидкохідності

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для розрахунків

Номінальна потужність ВЭУ, кВт	1,5
Номінальна швидкість вітру, м/с	7,5
Коефіцієнт використання енергії вітру	0.45
Щільність повітря $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> ;	1,25

Визначимо радіус вітроколеса  $R$  (зовнішнього перетину лопаті).

$$R^2 = \frac{P_{\text{вк}}}{C_p \cdot \pi \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2}} = \frac{1500}{0.45 \cdot 3.14 \cdot \frac{1.25 \cdot 7.5^3}{2}} = 4.026; \quad (2.3)$$

$$R = \sqrt{4.026} \approx 2.$$

Отже, радіус вітроколеса  $R = 2$  м.

Для того, щоб обрати параметри лопаті ВЭУ з вертикальною віссю з потужністю 1,5 кВт треба знайти момент інерції лопаті.

$$P = M_{\text{кр}} \cdot \omega; \quad (2.4)$$

$$M_{\text{кр}} = \varepsilon \cdot I, \quad (2.5)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання, 18 град/с;

$M_{\text{кр}}$  – крутячий момент;

$\varepsilon$  – прискорення (1 рад/с);

$I$  – момент інерції лопаті ВЭУ.

За формулами (2.4) та (2.5) момент інерції лопаті:

$$I = \frac{P}{\varepsilon \cdot \omega}; \quad (2.6)$$

$$I = \frac{1.5}{4,84 \cdot 0,31} = 1.$$

Момент інерції прямокутника (форма лопаті) розраховується за наступною формулою:

$$I = \frac{bh^3}{12}. \quad (2.7)$$

Прийmemo, що висота лопаті  $h = 3$  м.

$$b = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I}{h}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1}{3}} = 1.59.$$

Був вибраний двигун АИР 71 В2 потужністю 1,5 кВт.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики двигуна

Двигун	Потужність, кВт	Об/хв	ККД, %	Коефіцієнт потужності	Маса, кг
АИР 71 В2	1,5	3000	79.5	0.8	9.5

Момент, створюваний вітровим потоком на роторі

$$M_{кр}^P(t) = \frac{C_p}{\lambda} \cdot \frac{\pi \rho}{2} \cdot R^3 \cdot V^3, \quad (2.8)$$

де  $\lambda$  – швидкодія ротора.

Швидкохідність залежить від типу ротора і визначається за формулою

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V}. \quad (2.9)$$

Коефіцієнт використання енергії вітру знаходиться в нелінійній залежності від швидкохідності і установки кута лопаті

$$C_p = f(\lambda, \theta). \quad (2.10)$$

Тоді вираз (2.8) приймає вигляд

$$M_k^P = \frac{\pi \rho}{2} \cdot R^2 \cdot \frac{V^4}{\omega} \cdot C_p, \quad (2.11)$$

або

$$M_k^P = K_p \cdot \frac{V^4}{\omega} \cdot C_p, \quad (2.12)$$

де  $K_p$  – постійний коефіцієнт для даної конструкції ВЕУ.

Виходячи з класичних законів механіки рівняння динаміки ротора ВЕУ описується виразом

$$I_{\text{Пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_k^P - M_c - M_a - M_{\text{Тр}}, \quad (2.13)$$

де  $M_c$  – момент опору електрогенератора;

$M_a$  – аеродинамічний момент опору;

$M_{\text{Тр}}$  – момент тертя;

$I_{\text{Пр}}$  – приведений до осі ротора ВЕУ момент інерції всіх рухомих частин.

Оскільки сумарний момент  $M_a$  та  $M_{\text{Тр}}$  набагато менше  $M_c$ , то вираз (2.13) приймає вигляд

$$I_{\text{Пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_k^P - M_c. \quad (2.14)$$

В якості електричного генератора в залежності від його потужності, роду струму, умов експлуатації та режимів роботи (на власну навантаження або на мережу) можуть бути використані генератори змінного струму або іншого типу, наприклад, вентильні. Незважаючи на їх істотні конструктивні відмінності, загальним для них є те, що при заданому навантаженні, певній, наприклад, електричною потужністю  $P$  або струмом  $I_H$  вони вимагають відповідної стабілізації, перш за все, кутової швидкості обертання якоря або ротора. Таким

чином, можна записати, що момент опору електрогенератора в загальному випадку є функцією двох основних змінних.

$$M_c = M_c(P, \omega), \quad (2.15)$$

або

$$M_c = M_c(I_H, \omega). \quad (2.16)$$

В даному випадку мається справа з малими збуреннями швидкості вітру і навантаження електричного генератора, а отже, з малими коливаннями ВЕУ біля положення рівноваги:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = \omega_0 + \Delta\omega; \\ V = V_0 + \Delta V; \\ \theta = \theta_0 + \Delta\theta; \\ I_H = I_{H0} + \Delta I; \\ \Delta M_k^P = M_k^P(V, \omega, \theta) - M_{k0}^P(V_0, \omega_0, \theta_0); \\ \Delta M_c = M_c(I_H, \omega) - M_{c0}(I_{H0}, \omega_0). \end{array} \right. \quad (2.17)$$

Далі враховуючи, що для рівноважного стану  $M_{k0}^P = M_{c0}$  і розкладаючи функції в ряд Тейлора за відповідними змінним, а також, обмежуючись лише першими ступенями, отримують:

$$\Delta M_k^P = \frac{dM_k^P}{dV} \Delta V + \frac{dM_k^P}{d\omega} \Delta\omega + \frac{dM_k^P}{d\theta} \Delta\theta; \quad (2.18)$$

$$\Delta M_c = \frac{dM_c}{dI_H} \Delta I_H + \frac{dM_c}{d\omega} \Delta\omega. \quad (2.19)$$

Тоді:



$$\left. \begin{aligned}
 T\Delta\bar{\omega} + \Delta\bar{\omega} &= R_1\Delta\bar{V} + R_2\Delta\bar{\theta} + R_3\Delta\bar{I}_H; \\
 T &= \frac{I_{\text{пр}} \cdot \omega_0^2}{K_P V_0^4 C_P + \frac{dM_c}{d\omega} \omega_0^2}; \\
 R_1 &= \frac{4K_P C_P}{K_P C_P + \frac{dM_c}{d\omega} V_0^4}; \\
 R_2 &= \frac{3\theta_0 C_P}{K_P C_P + \frac{dM_c}{d\omega} V_0^4}; \\
 R_3 &= \frac{\frac{I_H dM_c}{V_0^4 dI_H}}{K_P C_P + \frac{dM_c}{d\omega} V_0^4}; \\
 \Delta\bar{\omega} &= \frac{\Delta\omega}{\omega_0}; \\
 \Delta\bar{V} &= \frac{\Delta V}{V_0}; \\
 \Delta\bar{\theta} &= \frac{\Delta\theta}{\theta_0}.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

Вихідні дані для моделювання наведені в табл. 2.3

Таблиця 2.3 - Вихідні дані для моделювання

Номінальна потужність ВЭУ, кВт	1,5
Номінальна швидкість вітру, м/с	7,5
Кут обертання лопаті, град	13
Кутова швидкість обертання ротора, рад/с	12,5
Висота лопаті, м	3
Ширина лопаті, м	1,59
Кількість лопатей, шт	3

Особливістю ОУ є наявність трьох вхідних змінних.

Система управління ВЭУ з вертикальною віссю обертання має 3 контура: за швидкістю вітру, по куту нахилу лопаті і навантаженні.

Застосовуючи до вираження (2.13) перетворення Лапласа при нульових початкових умовах, отримані відповідне рівняння динаміки і структура об'єкта управління (рис. 2.10):

$$(Ts + 1)\bar{\omega}(s) = R_1\bar{V}(s) + R_2\bar{\theta}(s) + R_3\bar{I}_H(s).$$

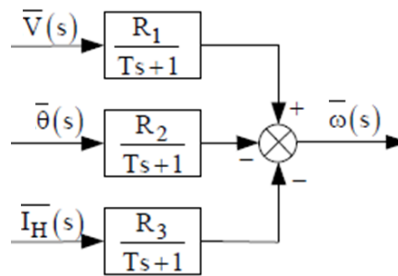


Рисунок 2.10 – Структурна схема об'єкта управління

У даній роботі розглянуто активне управління вихідними параметрами ВЕУ шляхом зміни кута повороту лопатей.

Кутова швидкість обертання ротора залежить від швидкості вітру, кута повороту лопаті і навантаження на генераторі. Отже, при зміні вітру і навантаження, варіюючи кутом повороту лопаті можна забезпечити сталість кутової швидкості ротора ВЕУ [15, 18, 25].

На рисунку 2.9 приведена функціональна схема системи управління, в якій використовувався даний принцип. На підставі інформації з датчиків про величину поточних параметрів формується керуючий сигнал для виконавчого механізму, в ролі якого виступає електродвигун, який повертає лопать на необхідний кут для забезпечення заданої кутової швидкості обертання електрогенератора.

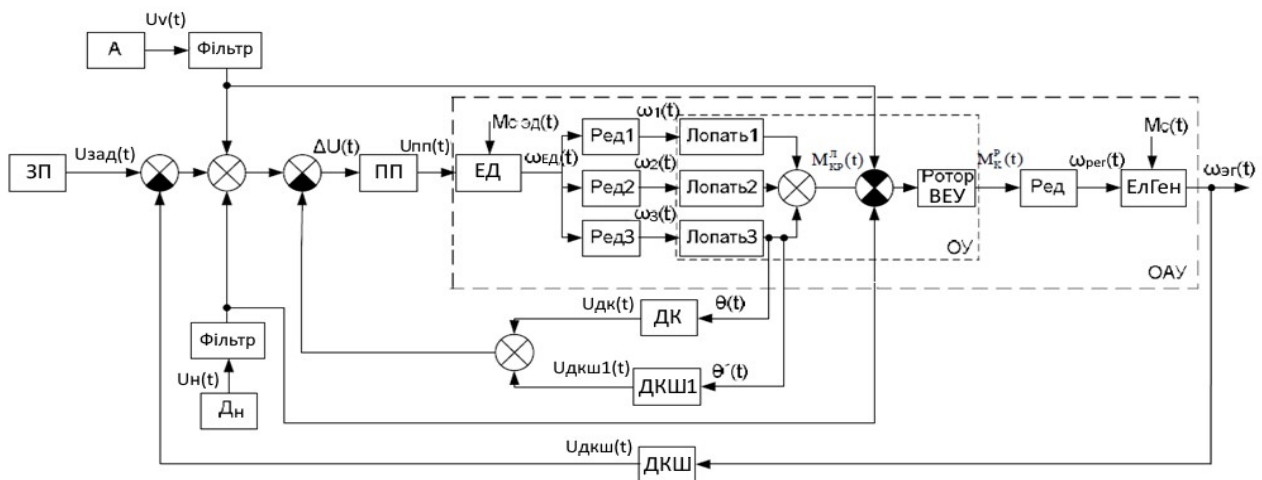


Рисунок 2.11 – Функціональна схема системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання

На рис 2.11 введено такі позначення:

ЗП – задаючий пристрій вихідної кутової швидкості електрогенератора;

ПП – підсилювач потужності;

ЕД – електродвигун;

Ред – редуктори;

ЕлГен – електрогенератор;

ДК – датчик кута поворота лопаті;

ДКШ1 – датчик кутової швидкості поворота лопаті;

ДКШ – датчик кутової швидкості генератора;

А – анемометр;

Дн – датчик навантаження.

У цю систему, на відміну від класичної, яка має один зворотний зв'язок по кутовій швидкості обертання електрогенератора, введені ще дві додаткові зворотні зв'язки за кутом повороту і кутової швидкості повороту лопаті, що значно підвищує швидкодію і точність системи.

Розглянемо повну відмовостійку систему управління швидкістю обертання лопатями ВЕУ. Функціональна схема представлена на рисунку 2.10.

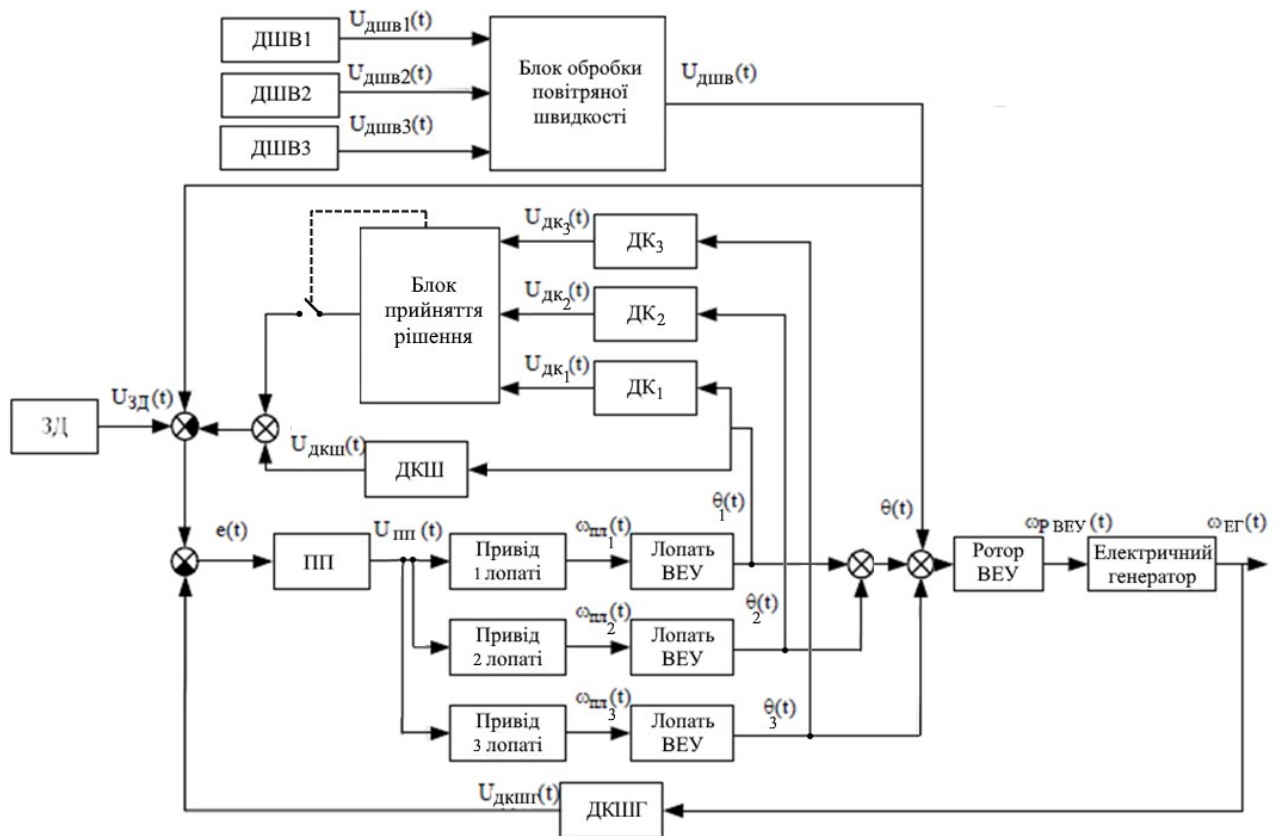


Рисунок 2.12 - Функціональна схема відмовостійкої системи управління ВЕУ

На рис 2.12 введено такі позначення:

ЗД - вихідний задатчик кутової швидкості електрогенератора;

ДКШ - датчик кутової швидкості;

ДК - датчик кута;

ДШВ - датчик швидкості вітру;

ПП - підсилювач потужності;

Р - редуктор;

ДКШГ - датчик кутової швидкості генератора.

Три ДШВ розташовані таким чином, що фіксують значення швидкості вітру в 3 різних точках і напрямках щодо осі обертання ротора. Блок обробки повітряної швидкості формує середнє значення швидкості. Таким чином, вирішується проблема обліку виникнення різких поривів вітру і вихрових потоків, які виникають в результаті обертання ротора ВЕУ.

За функціональною системою складемо структурну схему САУ (рис. 2.11).

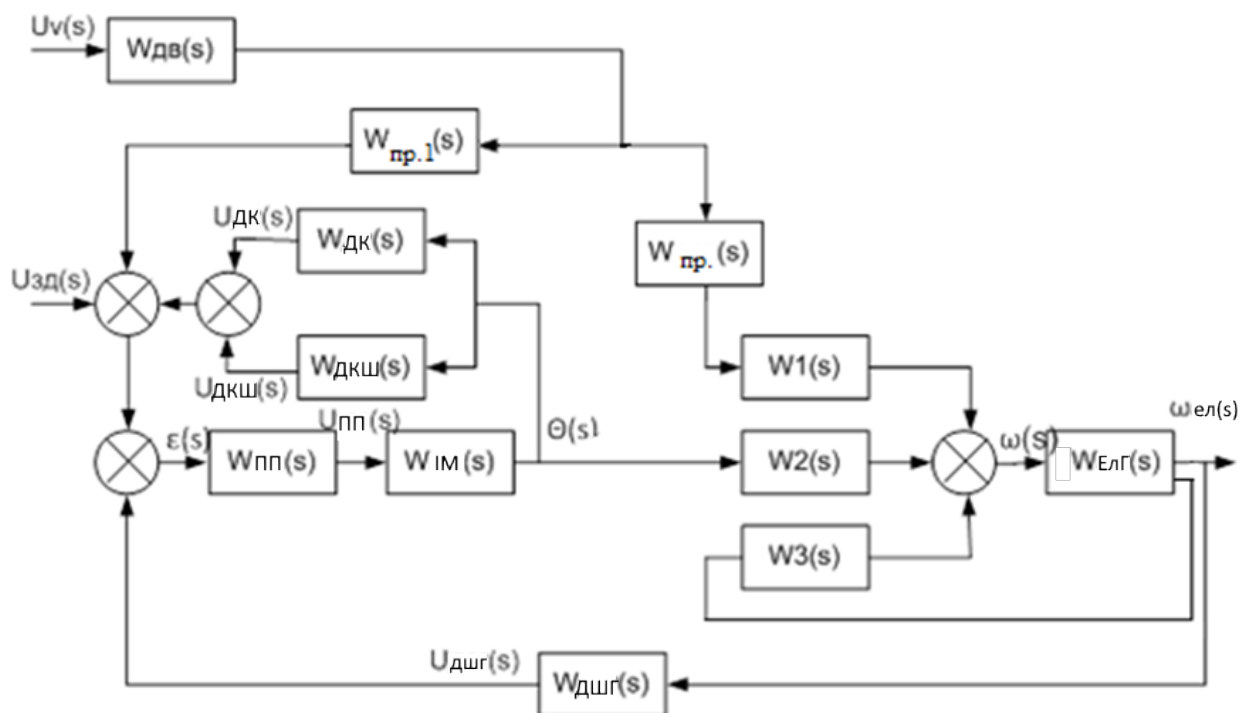


Рисунок 2.13 - Структурна схема системи управління ВЕУ

На рис. 2.11 прийняті наступні позначення:

$W_{дк}(s)$  – передавальна функція датчика кута;

$W_{дкш}(s)$  – передавальна функція датчика кутової швидкості;

$W_1(s) - W_3(s)$  – передавальні функції об'єкта управління;

$W_{ЕлГ}(s)$  – передавальна функція електрогенератора;

$W_{пр.}(s), W_{пр.1}(s)$  – передавальні функції перетворювачів;

$W_{дшг}(s)$  – передавальна функція датчика кутової швидкості генератора.

Передавальні функції системи:

$$W_{IM}(s) = \frac{U_{IM}(s)}{U_{YM}(s)} = \frac{0.1}{0.5s^2 + s};$$

$$W_1(s) = \frac{\omega(s)}{U_{np}(s)} = \frac{1.41}{0.3s+1};$$

$$W_2(s) = \frac{\omega(s)}{\theta(s)} = \frac{0.016}{0.3s+1};$$

$$W_3(s) = \frac{\omega(s)}{\omega_{2n.r}(s)} = \frac{0.24}{0.3s+1};$$

$$W_{дcr}(s) = \frac{U_{дcr}(s)}{\omega_{2n.r}(s)} = 0.002;$$

$$W_{np.1}(s) = \frac{\omega_{дз}(s)}{U_{np.1}(s)} = \frac{0.05s}{10s+1};$$

$$W_{np.}(s) = \frac{\omega_{дз}(s)}{U_{np.}(s)} = 0.05.$$

На підставі структурної схеми (рис. 2.11) побудуємо машинну модель в пакеті Simulink. Отримана схема представлена на рис. 2.12.

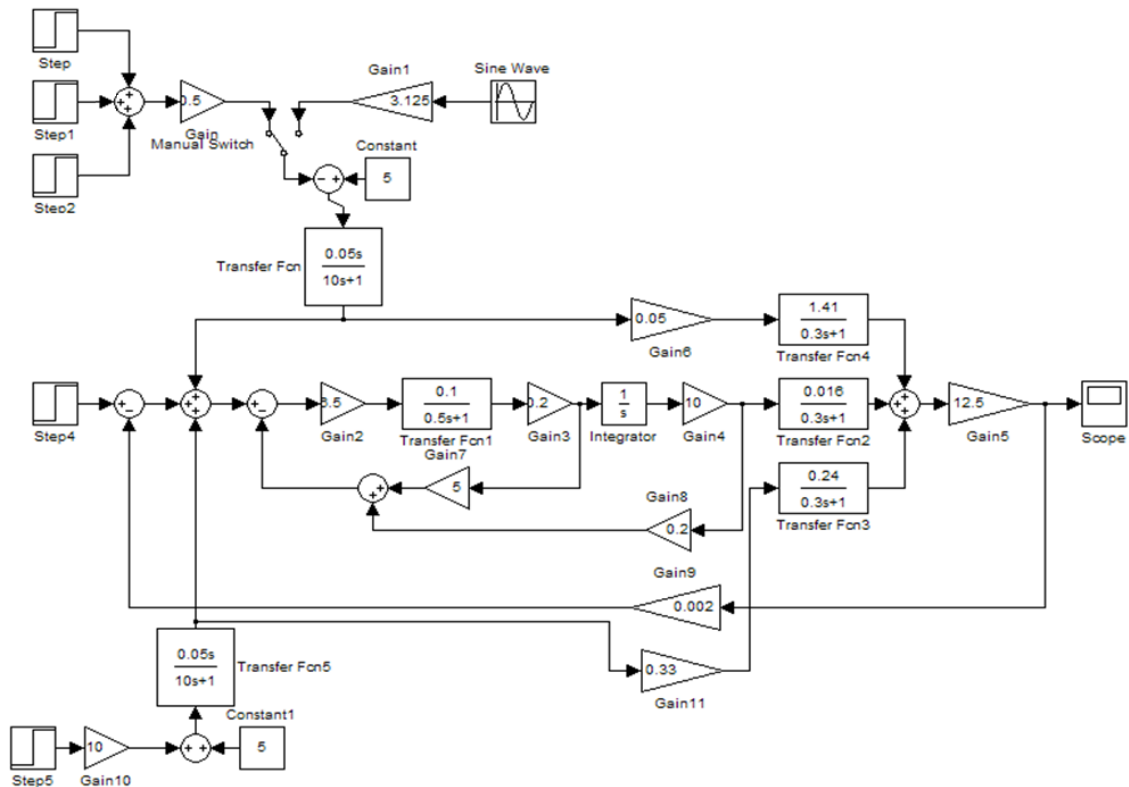


Рисунок 2.14– Машинна модель системи управління ВЕУ

На підставі машинної моделі (рис. 2.12) побудуємо спрощену машинну модель системи автоматичного регулювання.

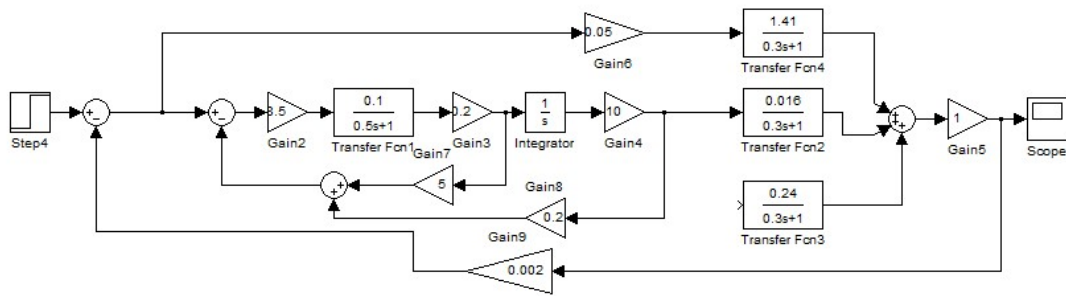


Рисунок 2.15 – Спрощена схема машинного моделювання роботи замкнутої САУ

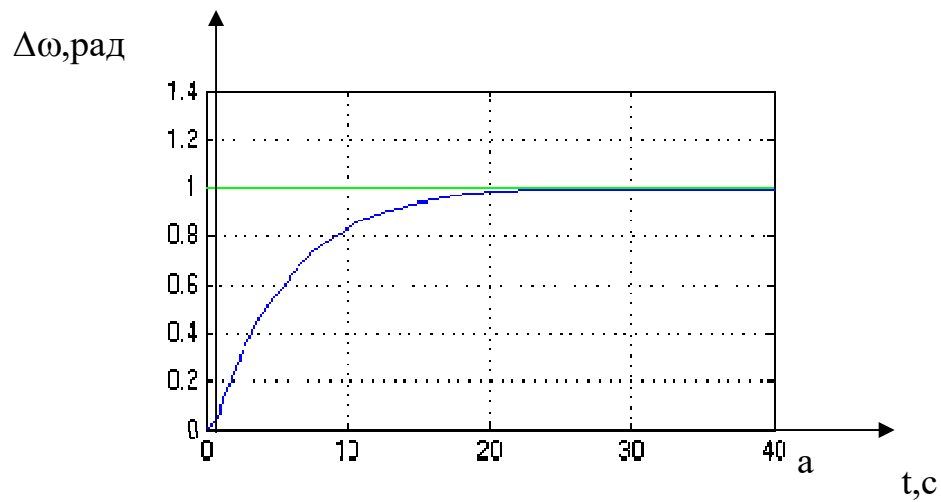


Рисунок 2.16 – Перехідний процес замкнутої САУ

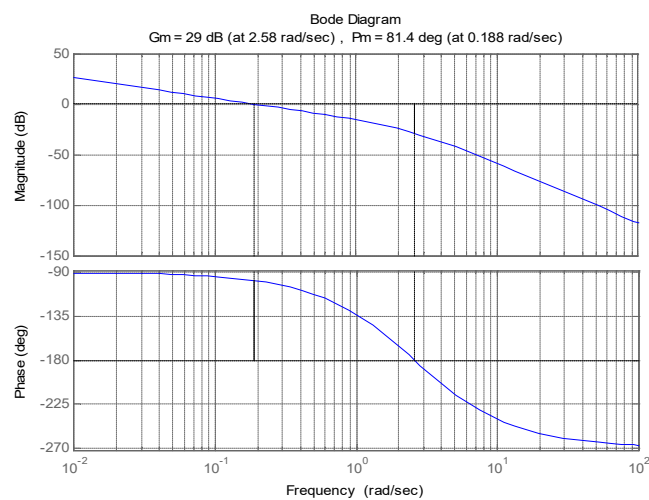


Рисунок 2.17 – ЛАЧХ і ЛФЧХ замкнутої системи

За даними рисунків визначимо показники якості:

- 1) час перехідного процесу -  $t_{\text{пн}}^u = 21$  с.;
- 2) встановилася помилка з управління -  $\epsilon_{\text{уст}}^u = 0$  рад/сек;
- 3) перерегулювання –  $\sigma$  – відсутня;
- 4) запас стійкості по амплітуді – 29 дБ;
- 5) запас стійкості по фазі – 81.4 град.

Дані показники якості не задовольняють систему по часу перехідного процесу, тому в систему необхідно ввести коригуючий пристрій.

Промодельюємо систему з коригувальним пристроєм у вигляді ПД-регулятора. Для того, щоб досягти відповідності вимогам ТЗ, необхідно вибрати для відповідного закону управління коефіцієнти. Вибір коефіцієнтів закону управління було здійснено за допомогою блоку SignalConstraint пакета Simulink. Схема моделювання системи з КЕ представлена на рис. 2.16.

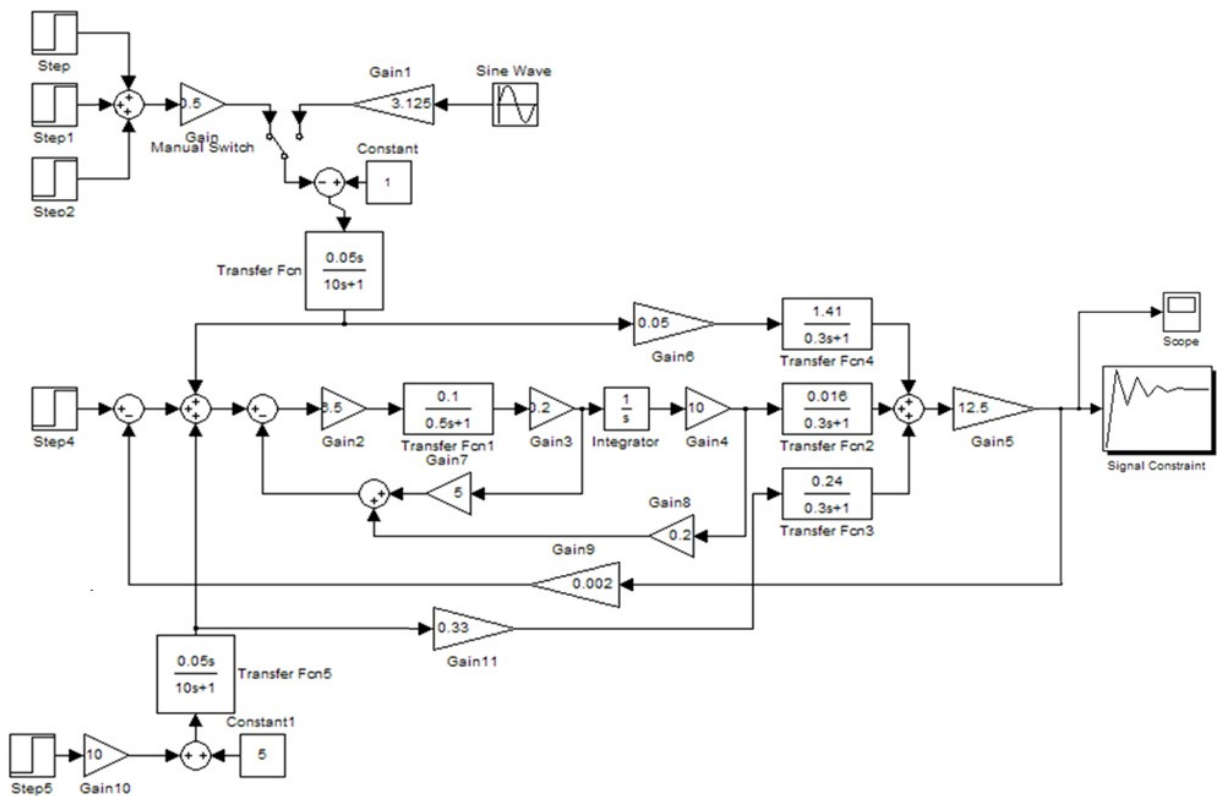


Рисунок 2.18 – Схема моделювання системи з КЕ

Результат роботи блоку SignalConstraint для вибору коефіцієнта П-складової представлений на рис. 2.18.

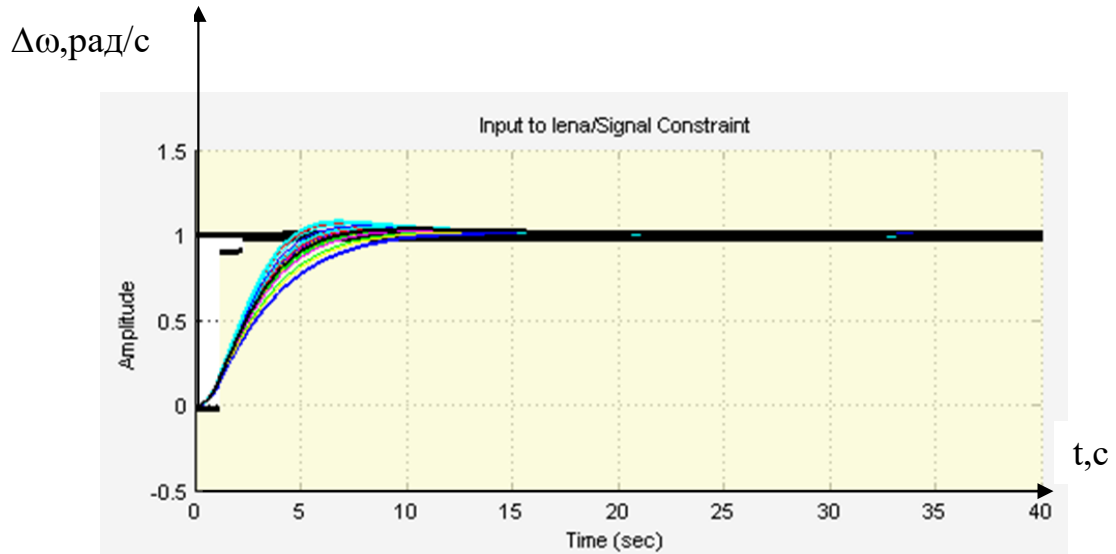


Рисунок 2.19 – Результат роботи блоку SignalConstraint для вибору коефіцієнта П-складової

Отриманий коефіцієнт  $k_p = 2.0948$ . Перехідний процес з П - регулятором представлений на рис. 2.18.

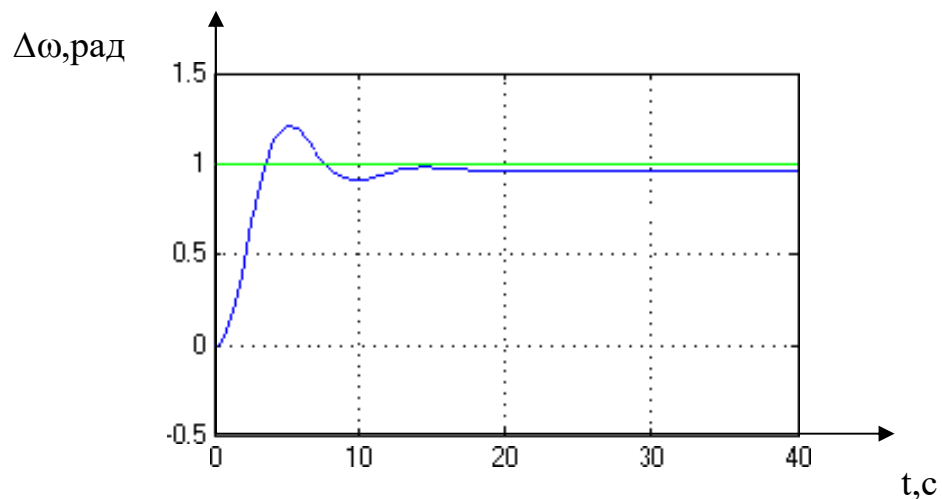


Рисунок 2.20 – Перехідний процес з П-регулятором

Показники якості:

- 1) час перехідного процесу -  $t_{mn}^u = 17$  с.;
- 2) встановлена помилка з управління -  $\varepsilon_{уст}^u = 0,01$  рад/сек;
- 3) перерегулювання –  $\sigma = 25\%$ .



Аналогічно було отримано коефіцієнт  $k_d=0.2044$ . Перехідний процес з ПД-регулятором ( $k_p = 2.0948$ ,  $k_d = 0.2044$ ) представлено на рис. 2.19.

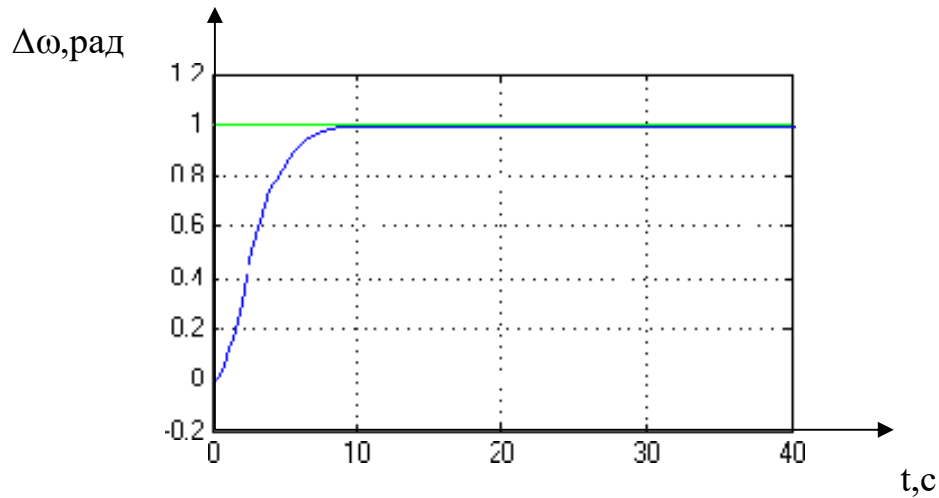


Рисунок 2.21 – Перехідний процес з ПД - регулятором

Показники якості:

- 1) час перехідного процесу -  $t_{\text{пп}}^u = 8$  с.;
- 2) встановлена помилка з управління -  $\varepsilon_{\text{уст}}^u = 0$  рад/сек;
- 3) перерегулювання –  $\sigma$  – відсутня.

Моделювання динаміки системи управління при заданих початкових умовах і зовнішніх впливах.

На рис. 2.20 приведена схема моделювання в середовищі MatLab/Simulink. На вході системи присутні кілька моделей вітру. Для формування діаграми стрибкоподібно змінюється вітровий потік, використовують групою блоків Step – Step2, таким чином, задаючи різні значення швидкості вітру в різні моменти часу. Блок Sine Wave підійде для формування вітрового обурення, що синусоїдально змінюється. Підключивши через дані моделі отримаємо відповідні графіки перехідних процесів.

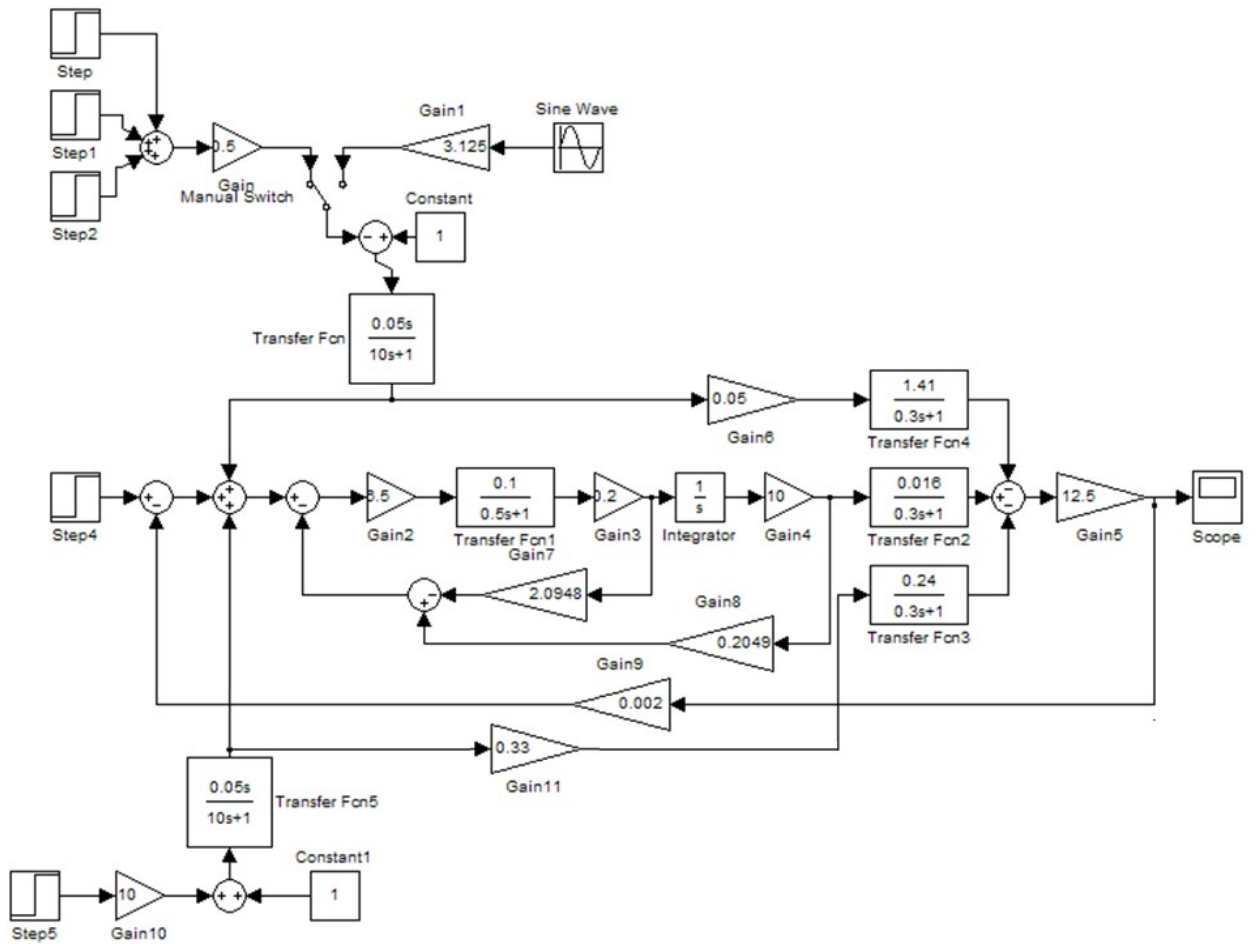


Рисунок 2.22 - Схема машинного моделювання швидкості обертання ВЕУ

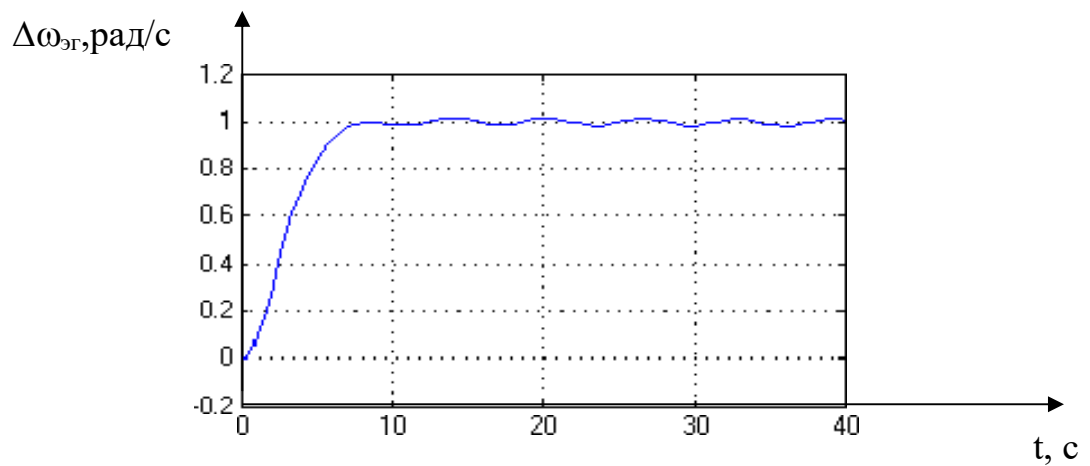


Рисунок 2.23 – Реакція системи на синусоїдально змінювану швидкість вітру

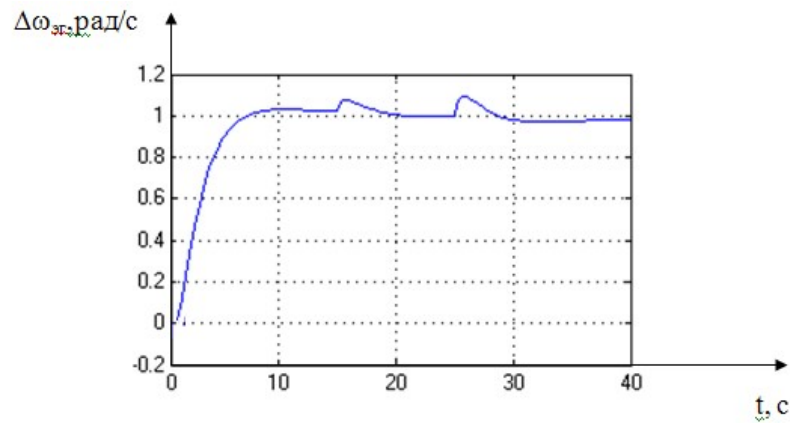


Рисунок 2.24 – Реакція системи на швидкість вітру, що стрибкоподібно змінюється

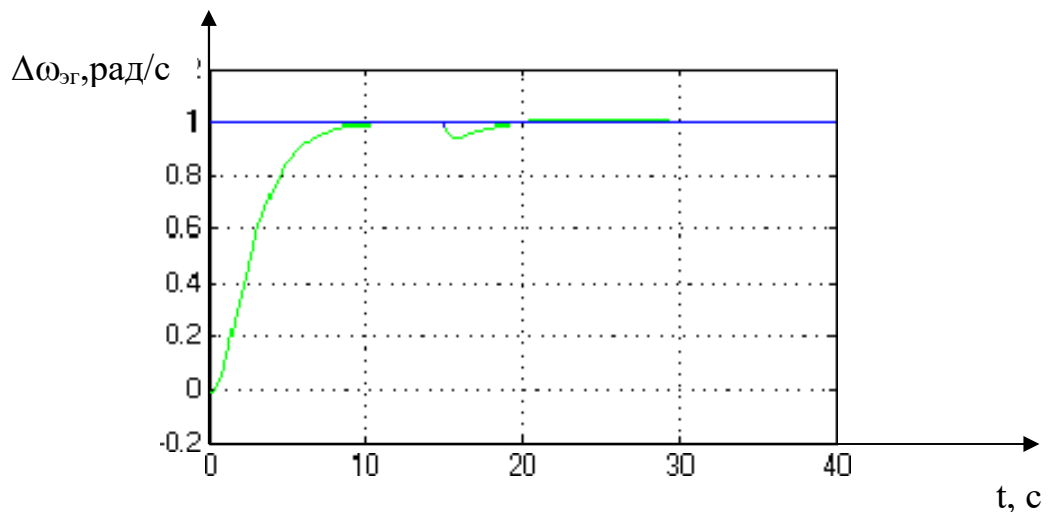


Рисунок 2.25 – Реакція системи на зміну навантаження

Показники якості: час перехідного процесу –  $t_{mf}^f = 5$  с, встановлена помилка, перерегулювання, коливальність – відсутні.

Можна зробити висновок, що скоригована система відповідає вимогам за показниками якості, зазначеним у ТЗ.

## 2.4 Висновки

В даному розділі було приведено математичну модель системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання. Були приведені: графічна модель, функціональна схема, структурна схема. Виходячи з структурної схеми, отримані передавальні функції системи. Особливість системи - наявність  $Z_x$  вхідних  $Z_x$  змінних.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Завдання контролера та визначення складу вхідної і вихідної інформації

До розроблювальної системи управління ВЕУ висуваються наступні вимоги користувача:

- орієнтація осі вітрового ротора на вітер при швидкості, що не перевищує номінального значення;
- обмеження потужності вітроустановки при перевищенні номінальної швидкості вітру виводом ротора з-під вітру;
- утримання вітроустановки на максимумі коефіцієнта використання енергії вітру в усьому діапазоні швидкостей вітру;
- управління системою гальмування вітрового ротора і його захисту при аварійних ситуаціях.

Для реалізації зазначених вимог необхідно забезпечити виконання таких функцій:

- 1) вимір напрямку вітру з аналізом величини кута відхилення,
- 2) управління електроприводом системи наведення ротора на вітер,
- 3) зміна логіки управління (пошук вітру або виведення з-під вітру),
- 4) зміна навантаження електрогенератора для забезпечення кутової швидкості ротора електрогенератора, що відповідає максимуму коефіцієнта використання енергії вітру (управління зарядом акумуляторної батареї, електронагрівачами, роботою на зовнішню електромережу),
- 5) управління електроприводом гальмівної системи вітроустановки.

#### 3.2 Розробка алгоритмічного забезпечення і оцінка необхідних обчислювальних ресурсів

Наступним етапом розробки системи управління режимами роботи ВЕУ є розподіл функцій між апаратною і програмною частинами, які представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розподіл функцій між апаратною і програмною частинами системи управління режимами роботи ВЕУ

Номер	Спосіб реалізації	
	апаратний	програмний
1	Вимірювання величини і напрямку відхилення осі вітрового ротора тахометричними датчиком	Аналіз величини і напрямки кута відхилення осі вітрового ротора
2	Електропривод і система керування електроприводом	Формування сигналів управління поворотною системою
3	Вимірювання швидкості вітру анемометром	Аналіз швидкості і формування сигналів управління наведення на вітер, або виведенням з-під вітру
4	Приєднання навантаження електрогенератора електронними ключами	Аналіз швидкості вітру і частоти обертання вітрового ротора, розрахунок швидкохідності, аналіз коефіцієнта використання енергії вітру, формування сигналів управління навантаженням
5	Висновок вітроустановки з-під вітру. Включення і вимикання гальмівної системи в ручному та автоматичному режимах	Аналіз швидкості вітру, формування сигналів виведення з-під вітру і гальмування ротора вітроустановки

Реалізація функцій вимагає підбору відповідних апаратних засобів:

- вимірювання напрямку вітрового потоку;
- анемометр з крильчатим первинним перетворювачем з перпендикулярним розташуванням напрямком осі анемометра щодо осі вітрового ротора або флюгерним первинним перетворювачем;
- вимірювання швидкості вітру;
- анемометр з чашковим первинним перетворювачем;
- наведення ротора вітроустановки на вітер і висновок з-під вітру;
- поворотний механізм з реверсивним електроприводом на базі двигуна постійного струму;
- управління електроприводом поворотного механізму;
- автоматизована система управління на базі віртуальних приладів фірми "National Instruments" з виносним блоком введення-виведення, наприклад, NI USB 6212 і ПК;
- зміна навантаження електрогенератора;
- блок силових ключів на базі IGBT транзисторів з можливістю приєднання до регулятора заряду акумуляторної батареї;
- тени бака-акумулятора системи гарячого водопостачання;

- мережевий інвертор або інші споживачі електроенергії, які не потребують чіткої регламентації їх роботи в часі;
- гальмування вітрового ротора – дисковий гальмівний пристрій з автономним електроприводом з можливістю дистанційного ручного та автоматичного керування.

Алгоритм управління режимами роботи ВЕУ зображено на рисунку 3.1.

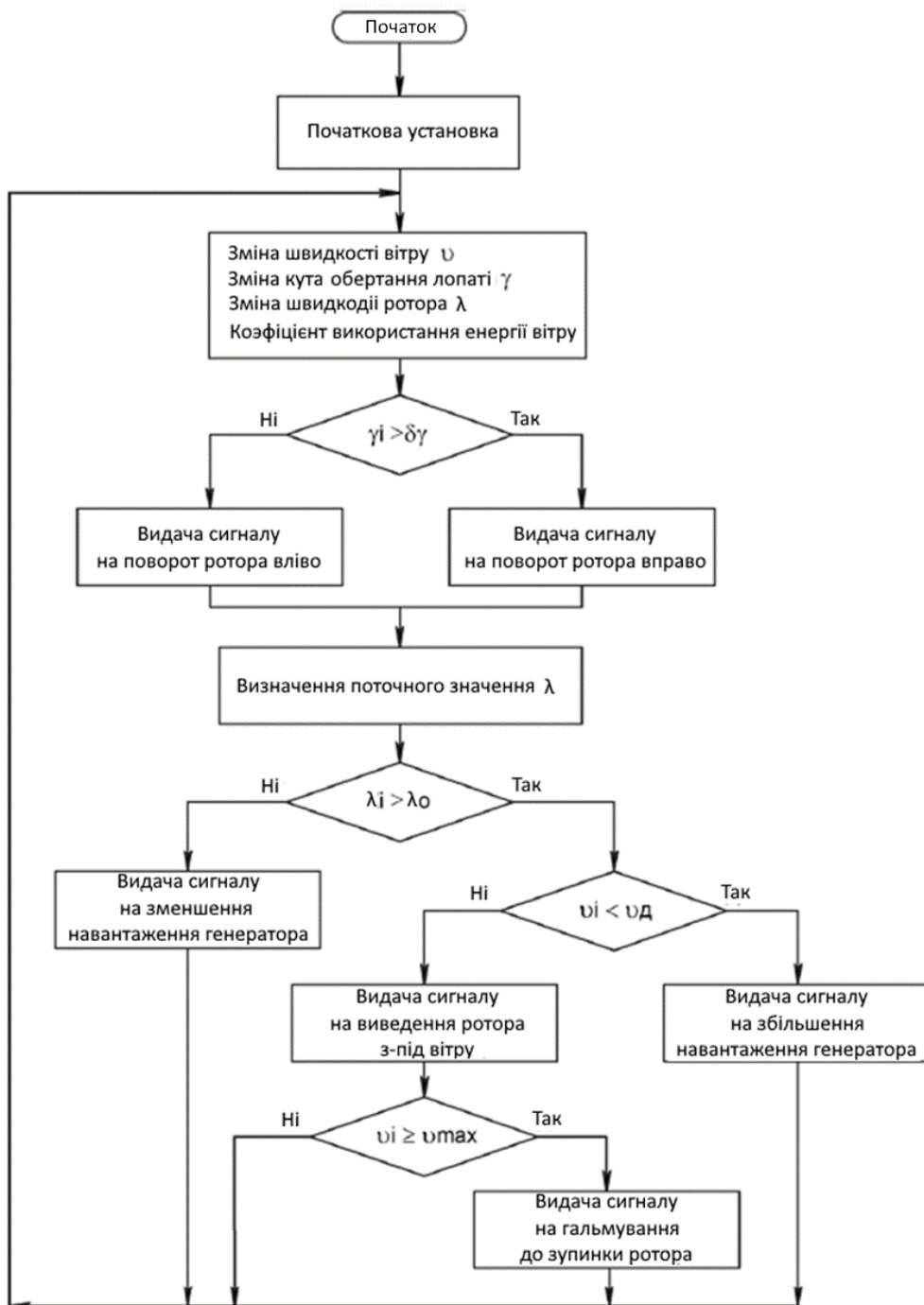


Рисунок 3.1 – Алгоритм управління режимами роботи ВЕУ

До пристроїв управління ВЕУ відносяться: електропривод наведення вітрової турбіни на вітер і виведення з-під вітру; електропривод гальмівної системи; дискова гальмівна система.

До пристроїв навантаження електрогенератора ВЕУ відносяться блок електричних акумуляторних батарей; блок ТЕНів бака-акумулятора системи гарячого водопостачання; мережевий інвертор.

Управління режимами роботи ВЕУ здійснюється на підставі обробки даних вхідних потоків інформації у вигляді аналогових електричних сигналів, що надходять з первинних перетворювачів та інших джерел, які подаються на відповідні входи блоку введення-виведення, який, приєднаний до USB-порту ПК.

Узгодження вихідних сигналів ПК з пристроями використання електричної енергії здійснюється із застосуванням блоку узгодження вихідних сигналів з вхідними параметрами силових ключів, вихідні параметри яких узгоджені з параметрами виконавчих пристроїв.

Загальний алгоритм роботи ВЕУ в режимі пошуку оптимального навантаження, який забезпечує максимальне значення коефіцієнта використання енергії вітру. Однак, в ньому не відображено управління ВЕУ в режимі перевищення номінальної швидкості вітру, а також її захист в аварійних режимах. Крім того, не відображені виконавчі пристрої, що забезпечують зміну режимів роботи ВЕУ, в залежності від зміни швидкості вітру.

### 3.3 Розробка структури цифрового контролера

Основним елементом системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання і дистанційним контролем за рахунок мобільного додатка є контролер, за допомогою якого виконується опитування датчиків, обробка отриманої інформації, формування керуючого сигналу на органи управління.

Для ефективного управління контролер повинен виконувати такі завдання:

- прийом заданого оператором значення кутової швидкості;
- отримання даних с датчика кутової швидкості, які відображають текуче значення кутової швидкості ротору вітряної енергетичної установки;
- обробку контролером цих даних і формування вихідного сигналу згідно з законом управління;
- обробку вихідного сигналу за допомогою ЦАП.

За допомогою мобільного додатка повинен проводитись контроль параметрів ВЕУ.

Контролер повинен приймати два вхідних сигнали. Перший – сигнал з нашого датчика кутової швидкості а другий – це задане оператором значення потрібної кутової швидкості. До вихідних сигналів відноситься лише цифровий оброблений сигнал згідно з законом управління. Значення сигналів зображено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення вхідних та вихідних сигналів

№	Вхідний/вихідний сигнал	Тип сигналу	Діапазон	Периферійне обладнання для обробки сигналу
1	Вхідний	Імпульсний	0-30 Гц	Датчик кутової швидкості
2	Вхідний	Імпульсний	0-30 Гц	Датчик кутової швидкості
3	Вхідний	Імпульсний	0-30 Гц	Датчик кутової швидкості
4	Вхідний	Аналоговий	0-5 В	Потенціометр
5	Вихідний	Цифровий	0-8 біт	ЦАП

Окрім самого контролера, для побудови схеми над знадобиться датчик кутової швидкості, один потенціометр, який буде формувати вхідний сигнал від оператора, та цифро-аналоговий перетворювач(ЦАП).

Функціональна схема плати управління зображена на рис. 3.2.

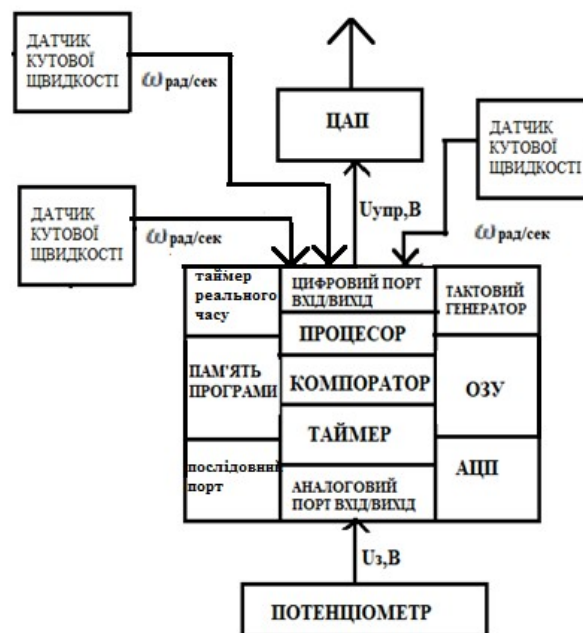


Рисунок 3.2– Функціональна схема плати управління



### 3.4 Вибір елементної бази для реалізації контролера

На основі функціональної схеми контролера формуються вимоги до контролера, які представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вимоги до контролера

Вимоги	Модель			
	Arduino UNO	Arduino NANO	Arduino MEGA	Arduino Leonardo
Тактова частота 10 МГц	16MHz	16MHz	16MHz	16MHz
Пам'ять не менше 20 Кб	32 Кб флеш-пам'яті	32 Кб, з яких 2 Кб використовується завантажувачем	256 Кб, з яких 8 Кб використовується завантажувачем	32 Кб, з яких 4 Кб використовується для завантажувача
Мікроконтролер ATmega328P (ATmega32)	ATmega328P	ATmega328	ATmega2560 - 16AU	ATmega32u4
Принаймні 10 цифрових входів (не менше 5 ШІМ)	14 (6 з них ШІМ)	14 (6 з них ШІМ)	54 (15 з них ШІМ)	20 (7 з них ШІМ)
Принаймні 5 аналогових входів	6	6	12	16
Напруга живлення 11,1 В	7-12 В	7-12 В	7-12 В	7-12 В
Розмір	68x53x15мм	42x18x15мм	75x55x19мм	69x54x17мм
Вартість	200 грн	115 грн	300 грн	400 грн

На підставі таблиці 3.3 можна зробити висновок, що Arduino Uno підходить для всіх вимог.

У якості складових елементів системи, яка буде вирішувати поставлену задачу, були обрані такі елементи:

- 1) Arduino Uno R3;
- 2) датчик швидкості LM393;
- 3) протоколи передачі даних RS-232 і RS-485;
- 4) Потенціометр (модуль змінного резистора 10 кОм (Трема-модуль));
- 5) ЦАП MCP4725

На відміну від всіх попередніх плат Arduino Uno в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega16U2 замість мікросхеми FTDI.

Arduino Uno (рис.3.3) - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікро контролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати

живлення від AC/DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд Arduino UNO R3

Датчик швидкості обертання LM393 використовується в проектах на мікроконтролерах для вимірювання механічних параметрів рухомих частин різних механізмів. датчик швидкості використовується спільно зі спеціальними дисками, які одягаються на вал редуктора або електродвигуна. Таким чином, мікроконтролер отримує інформацію про кількість обертів, зроблених двигуном, і так визначається його швидкість.

LM393 Датчик швидкості для Arduino побудований на мікросхемі LM393 (подвійний компаратор).

Технічні характеристики мікросхеми LM393 приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики мікросхеми LM393

Тип компаратора	Precision
Кількість компараторів в мікросхемі	2 штуки
Час відгуку компаратора	1.3 мкс
Тип виходу компаратора	CMOS, MOS, TTL, DTL, ECL
Струм споживання компаратора	1 мА
Діапазон напруги живлення компаратора	від $\pm 1.0$ до $\pm 18$ В
Напруга живлення	+3.3 В ~ +5.0
Струм споживання енкодера	1.4 мА
Інтерфейс або тип вихідного сигналу енкодера	цифровий TTL
Вихідний формат	цифровий вихід (0 та 1)
Робоча температура	від $0^{\circ}\text{C}$ ~ $+70^{\circ}\text{C}$
Розміри (ДхШхВ)	32 x 14 x 10 мм
Ширина паза в щелевому датчику	5 мм

Датчик швидкості LM393 зображений на рис. 3.4.

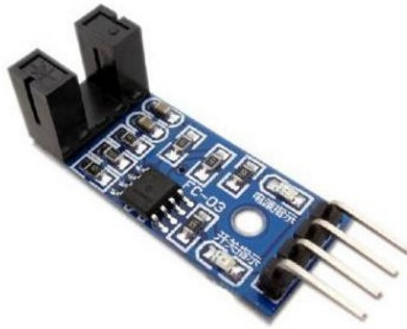


Рисунок 3.4 – Датчик швидкості LM393

Потенціометр слугує для задання швидкості обертання ротору ВЕУ з вертикальною віссю обертання. В якості потенціометра обрано модуль змінного резистора 10 кОм (Трема-модуль). В комплекті є кабель для швидкого підключення до Trema Shield. Датчик підключається до будь-якого з аналогових входів.

Модуль змінного резистора 10 кОм (Трема-модуль) зображений на рис. 3.5.

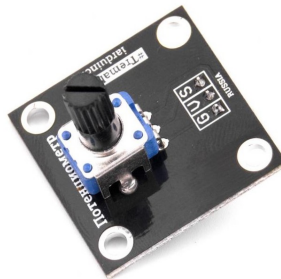


Рисунок 3.5 – Модуль змінного резистора 10 кОм (Трема-модуль)

Технічні характеристики Трема-модуля приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики Трема-модуля

Характеристики	Значення
Опір	10 кОм
Тип потенціометра	лінійна зміна опору
Кут повороту	300°

В якості цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) використано ЦАП МСР4725 (рис.3.6).

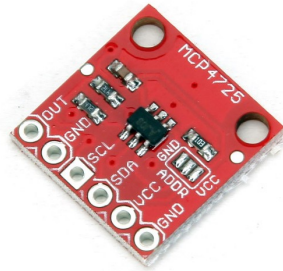


Рисунок 3.6 – ЦАП МСР4725

Технічні характеристики ЦАП МСР4725:

- 1) вбудована енергонезалежна пам'ять (EEPROM);
- 2)  $\pm 0.2$  LSB DNL (тип);
- 3) зовнішній контакт установки адреси A0;
- 4) нормальний або режим вимикання живлення;
- 5) швидке налаштування  $6\mu s$  (тип);
- 6) вхід опорної напруги (VDD);
- 7) вихід з повним розмахом сигналу;
- 8) низька споживана потужність;
- 9) напруга живлення: 2.7 ~ 5.5 В;
- 10) інтерфейс I2C: вісім доступних адрес;
- 11) швидкість перетворення: номінальна (100 Кбіт/с); висока (400 Кбіт/с); максимальна (3.4 Мбіт/с);
- 12) маленький чіп з 6 висновками SOT-23 корпусі;
- 13) розширений діапазон температур:  $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 Формування протоколів обміну даними між елементами контролера

Програмна частина складається з безкоштовної програмної оболонки (Arduino IDE) для написання програм, їх компіляції та програмування апаратури. Апаратна частина являє собою набір змонтованих друкованих плат. Arduino може використовуватися як для створення автономних об'єктів автоматики, так і підключатися до програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові і бездротові інтерфейси. Мікроконтролери для Arduino

відрізняються наявністю попередньо прошитого в них завантажувача (bootloader). За допомогою цього завантажувача користувач завантажує свою програму в мікроконтролер без використання традиційних окремих апаратних програматорів. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою окремого перехідника UART-USB. Підтримка завантажувача вбудована в Arduino IDE і виконується в один клік мишею.

Порти введення-виведення мікроконтролерів оформлені у вигляді штирьових лінійок. Ніякого буферізованія, захисту, конвертації рівнів або підтяжок, як правило, немає. Arduino Uno може бути живиться від USB або від зовнішнього джерела живлення - тип джерела вибирається автоматично. Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 В. Мікроконтролери видають напругу від 5В або 3,3, в залежності від моделі плати. Відповідно порти мають такий же розмах допустимих вхідних і вихідних напруг. Програмісту доступні деякі спеціальні можливості портів введення-виведення мікроконтролерів, наприклад широтно-імпульсна модуляція (ШИМ), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), інтерфейси UART, SPI, I2C. Кількість і можливості портів введення-виведення визначаються конкретним варіантом мікропроцесорної плати.

Крім портів на платах мікроконтролерів іноді встановлюється периферія в вигляді інтерфейсів USB або Ethernet. Опціональний набір зовнішньої периферії на модулях розширення включає в себе:

1. USB Device (найчастіше як віртуальний COM порт через FTDI FT232, є також версії з емуляцією USB HID Class клавіатур і мишок);

2. Дротової і бездротової Ethernet як на основній платі так і на платах розширення;

3. Модуль GSM і інші бездротові інтерфейси;

4. USB Host;

5. SD card;

6. Модуль управління низьковольтних мотором на базі L298. Підтримуються кроковий і колекторний двигуни з напругою до 12 В і струмом до 2А на канал. Можуть підключатися також реле, електромагніти і т. П. Модуль не має гальванічної розв'язки;

7. Графічний РКІ індикатор;

8. Модуль з макетним полем.

Протокол передачі даних - набір угод інтерфейсу логічного рівня, які визначають обмін даними між різними програмами. Ці угоди задають однаковий спосіб передачі повідомлень і обробки помилок при взаємодії програмного забезпечення рознесеною в просторі апаратури, з'єднаної тим чи іншим інтерфейсом.

Стандартизований протокол передачі даних також дозволяє розробляти інтерфейси (вже на фізичному рівні), не прив'язані до конкретної апаратної платформи і виробникові (наприклад, USB, Bluetooth).

I<sup>2</sup>C (IIC, англ. Inter-Integrated Circuit) - послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами всередині електронних приладів. Послідовний інтерфейс I<sup>2</sup>C забезпечує двосторонню передачу даних між парою пристроїв, використовуючи два сигнали: дані SDA (Serial Data) і синхронізацію SCL (Serial Clock). В обміні беруть участь два пристрої - провідне (Master) і ведене (Slave). Кожне з них може виступати в ролі передавача, поміщає на лінію SDA інформаційні біти, або приймача. Протокол обміну ілюструє рис. 3.7.

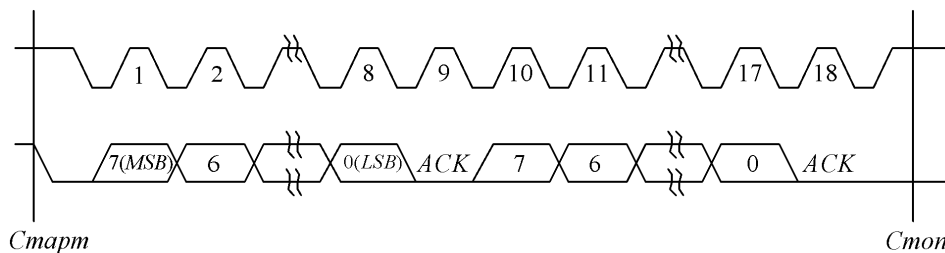


Рисунок 3.7 – Протокол передачі даних в інтерфейсі I<sup>2</sup>C

Синхронізацію задає ведучий пристрій - контролер. Лінія даних – двонаправлена з виходом типу «відкритий колектор» - управляється обома пристроями по черзі. Частота обміну (не обов'язково постійна) обмежена зверху величиною 100 кГц для стандартного режиму і 400 кГц - для швидкісного, що дозволяє організувати програмно-керовану реалізацію контролера інтерфейсу. Кожен пристрій, підключений до шини, може бути програмно адресовано по унікальному адресою. Для вибору приймача повідомлення провідний використовує унікальну адресну компоненту в форматі посилки. При використанні однотипних пристроїв IC часто мають додатковий селектор адреси, який може бути реалізований як у вигляді додаткових цифрових входів

селектора адреси, так і у вигляді аналогового входу. При цьому адреси таких однотипних пристроїв виявляються рознесені в адресному просторі пристроїв, підключених до шини.

Процедура адресації на шині І<sup>2</sup>С полягає в тому, що перший байт після сигналу СТАРТ визначає, який ведений пристрій адресується провідним пристроєм для проведення циклу обміну. Виняток становить адресу «Спільного виклику», який адресує всі пристрої на шині. Коли використовується ця адреса, всі пристрої в теорії повинні послати сигнал підтвердження. Однак пристрої, які можуть обробляти «загальний виклик», на практиці зустрічаються рідко.

Перші сім бітів першого байта утворюють адреса веденого. Восьмий, молодший біт, визначає напрямок пересилки даних. «Нуль» означає, що провідний буде записувати інформацію в обраного веденого. «Одиниця» означає, що провідний буде зчитувати інформацію з веденого.

Після того, як адресу посланий, кожен пристрій в системі порівнює перші сім біт після сигналу СТАРТ зі своєю адресою. При збігу пристрій вважає себе обраним як ведений-приймач або як ведений-передавач, в залежності від біта напрямки.

Адреса веденого може складатися з фіксованою і програмованої частини. Часто трапляється, що в системі буде кілька однотипних пристроїв (наприклад, ІМС пам'яті, або драйверів світлодіодних індикаторів), тому за допомогою програмованої частини адреси стає можливим підключити до шини максимально можливу кількість таких пристроїв. Кількість програмованих біт в адресі залежить від кількості вільних висновків мікросхеми. Іноді використовується один висновок з аналогової установкою програмованого діапазону адрес. При цьому в залежності від потенціалу на цьому адресному виведення ІМС, можливий зсув адресного простору драйвера так, щоб однотипні ІМС не конфліктували між собою на загальній шині.

Всі спеціалізовані ІМС, що підтримують роботу в стандарті шини І<sup>2</sup>С, мають набір фіксованих адрес, перелік яких зазначений виробником в описах контролерів.

Комбінація біт 11110XX адреси зарезервована для 10-бітної адресації.

Як впливає з специфікації шини, допускаються як прості формати обміну, так і комбіновані, коли в проміжку від стану СТАРТ до стану СТОП провідний і ведений можуть виступати і як приймач, і як передавач даних. Комбіновані формати можуть бути використані, наприклад, для управління послідовної пам'яттю.

Під час першого байта даних можна передавати адресу в пам'яті, який записується у внутрішній регістр-засувку. Після повторення сигналу старту і адреси веденого видаються дані з пам'яті. Всі рішення про авто-інкремент або декремент адреси, до якого стався попередній доступ, приймаються конструктором конкретного пристрою. Тому в будь-якому випадку кращий спосіб уникнути неконтрольованої ситуації на шині перед використанням нової (або раніше яка не використовується) ІМС - слід ретельно вивчити її опис (datasheet або reference manual), отримавши його з сайту виробника. Більш того, виробники часто розміщують поруч більш докладні інструкції по застосуванню.

У будь-якому випадку за специфікацією шини всі розробляються пристрої повинні скидати логіку шини при отриманні сигналу СТАРТ або повторний СТАРТ і готуватися до прийому адреси. Проте, основні проблеми з використанням І<sup>2</sup>С шини виникають саме через те, що розробники, «початківці» працювати з І<sup>2</sup>С шиною, не враховують того факту, що ведучий (часто - мікропроцесор) не має монопольного права ні на одну з ліній шини .

### 3.6 Розробка конструкції друкованого вузла контролера

Схема підключення всіх компонентів системи стабілізації ВЕУ з вертикальною віссю обертання представлено на рис. 3.8.

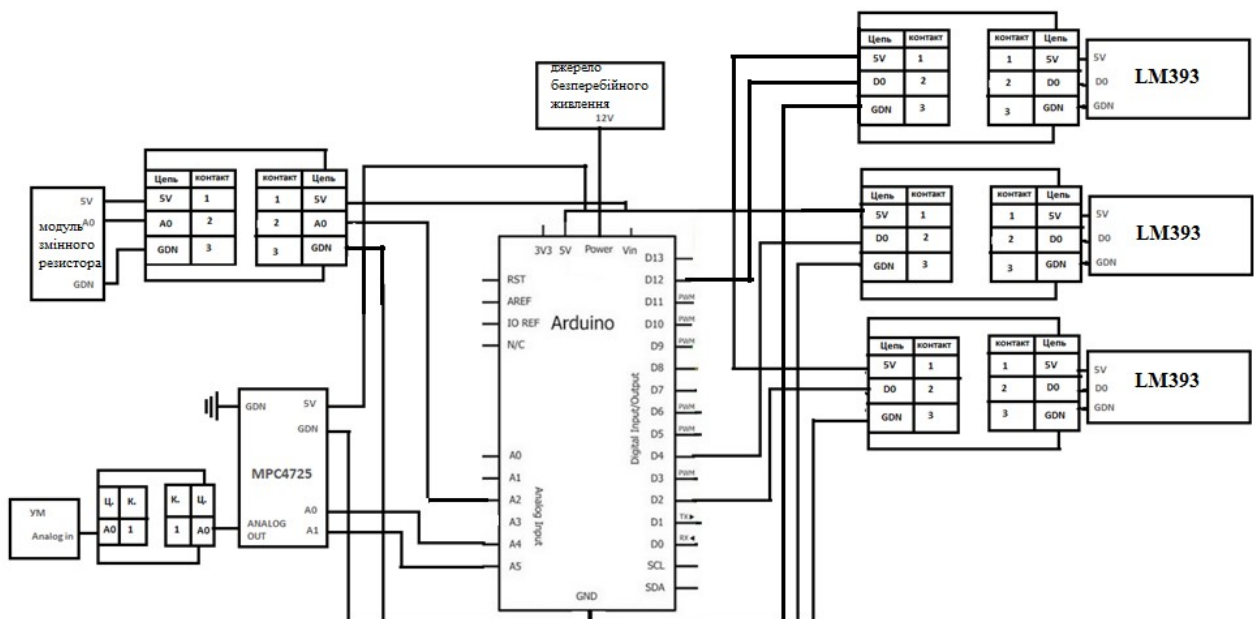


Рисунок 3.8 – Електрична схема плати управління ВЕУ



з вертикальною віссю обертання

### 3.7 Проектування інтерфейсу і функціональних модулів

Стартова форма повинна мати два поля для введення IP-адреси.  
Макет приведено на рисунку 3.9.

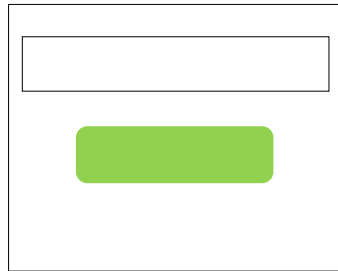


Рисунок 3.9 – Макет стартового вікна

Після авторизації програма повинна направити користувача на головне вікно, де відображаються графік показників ВЕУ. Макет головного вікна приведено на рисунку 3.10.

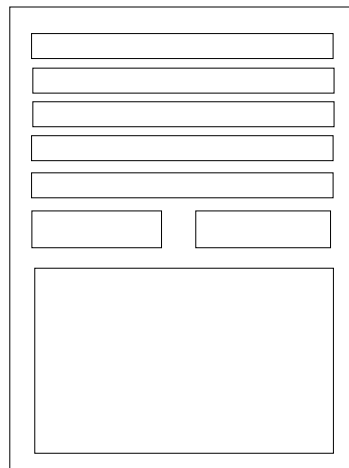


Рисунок 3.10 - Макет головного вікна

### 3.8 Висновки

В результаті проектування були отримані алгоритми обробки даних, обрані засоби реалізації для рішення поставленого завдання та спроектовано графічний інтерфейс користувача.

## 4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Завдання і методи проведення дослідження

Зазвичай для зміни кута повороту користуються стандартними ПІ-контролерами, але вони вимагають знання динаміки системи. Регулятор з закладеним в нього алгоритмом на основі нечіткої логіки не вимагає знань про систему і може бути застосований в умовах нелінійності параметрів.

Процес здійснення нечіткого управління відображений на рисунку 4.1.

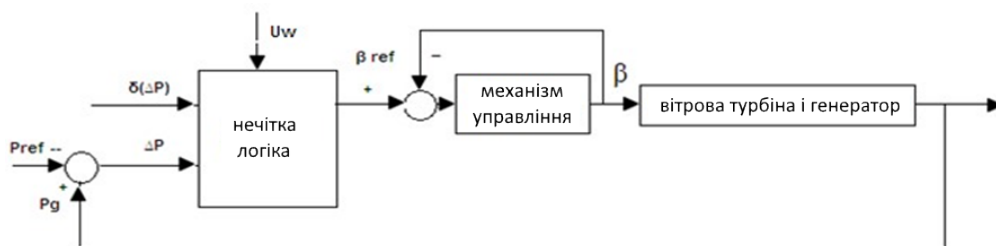


Рисунок 4.1 – Блок-схема контролера з алгоритмом на основі нечіткої логіки для зміни кута відхилення лопаті ВЕУ

Вітер – це пересування повітряних мас в атмосфері. Ці широкомасштабні пересування генеруються спочатку різницею температур, яка відбувається через нерівномірне нагрівання поверхні землі сонцем: екваторіальні регіони отримують більше сонячної енергії, ніж полярні регіони. З іншого боку, зміни швидкості і напрямку вітру відбуваються за рахунок атмосферної турбулентності, форми мікрометеорологічного діапазону. Отже, поведінка і структура вітру буде варіюватися від місця до місця в залежності від загальної обстановки в регіоні, фізичної географії місцевості, стану поверхні місцевості навколо ділянки, а також різних інших факторів.

В рамках даної роботи вітер може бути представлений будь-якою моделлю вітру з розглянутих в роботах [43,46]. Також в роботі пропонуються альтернативні моделі вітру. В кінцевому підсумку, для представлення результатів, прийнята модель вітру, що складається з чотирьох компонентів (рисунки 4.2-4.4):

$$V_{wind} = V_{bw} + V_{gw} + V_{rw} + V_{nw},$$

де  $V_{bw}$  – базова компонента вітру (м/с);

$V_{gw}$  – компонента поривів вітру (м/с);

$V_{rw}$  – компонента зростання вітру (м/с);

$V_{nw}$  – компонента шуму вітру (м/с).

Базова компонента може бути представлена постійним значенням швидкості; компонента поривів вітру може бути виражена хвильовою функцією синуса або косинуса, або їх комбінацією; звичайна функція, яка збільшується використовується для представлення компоненти зростання швидкості вітру і трикутна хвиля для функції шуму вітру, для якої частота і амплітуда будуть відповідно скориговані (рисунок 4.2).

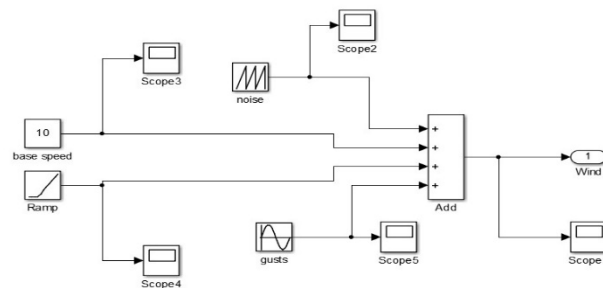


Рисунок 4.2 – Модель вітру в Simulink/Matlab

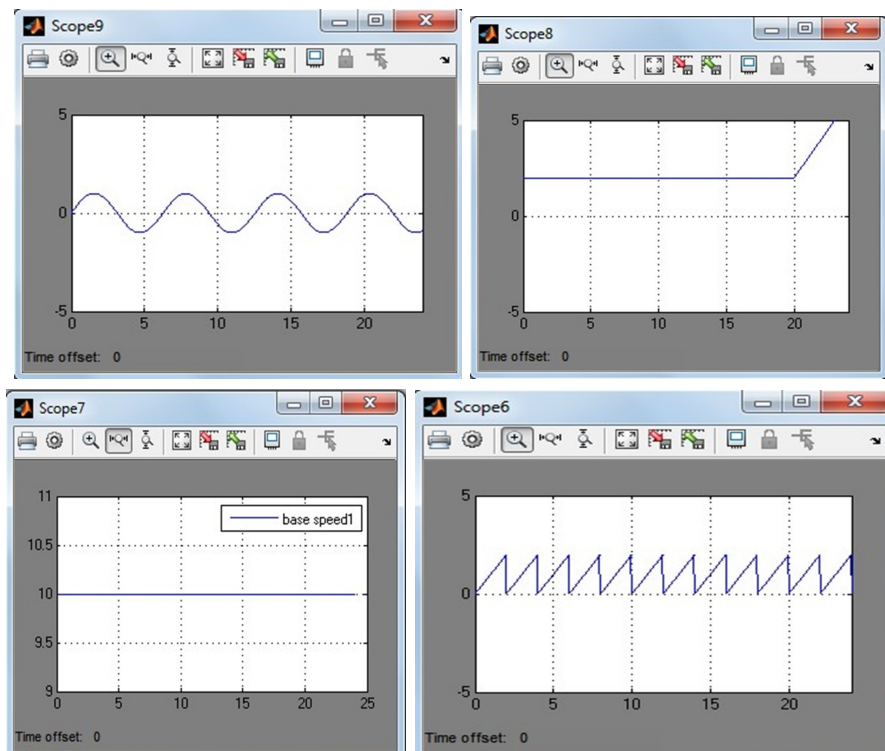


Рисунок 4.3 – Графічне представлення чотирьох компонент вітру

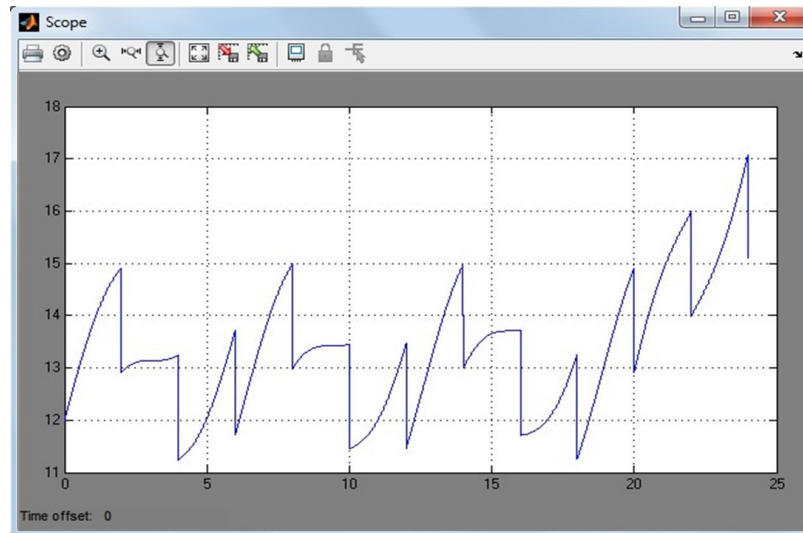


Рисунок 4.4 – Сумарний графік моделі швидкості вітру

Механічний модуль представлений вбудованою моделлю вітрової турбіни, зображеної на рисунку 4.5.

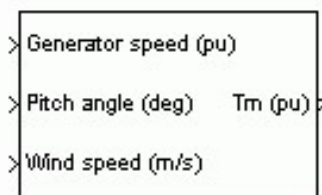


Рисунок 4.5 – Блок-схема вітрової турбіни

Вихідна потужність турбіни задається наступним виразом:

$$P_m = c_p(\lambda, \beta) \cdot \frac{\rho \cdot A}{2} V_{wind}^3,$$

У цьому рівнянні використовується залежність  $c_p(\lambda, \beta)$ . Це значення ґрунтується на моделюванні характеристик турбіни і може бути розрахована коли коефіцієнти  $c_1$ - $c_6$  приймають значення:  $c_1=0.5176$ ,  $c_2=116$ ,  $c_3=0.4$ ,  $c_4=5$ ,  $c_5=21$  та  $c_6=0.0068$ . Максимальне значення  $c_p=0.48$  досягається при  $\beta=0$  градусів і для  $\lambda=8.1$ .

Модель вітрової турбіни реалізована в Simulink, представлена на рисунку 4.6.

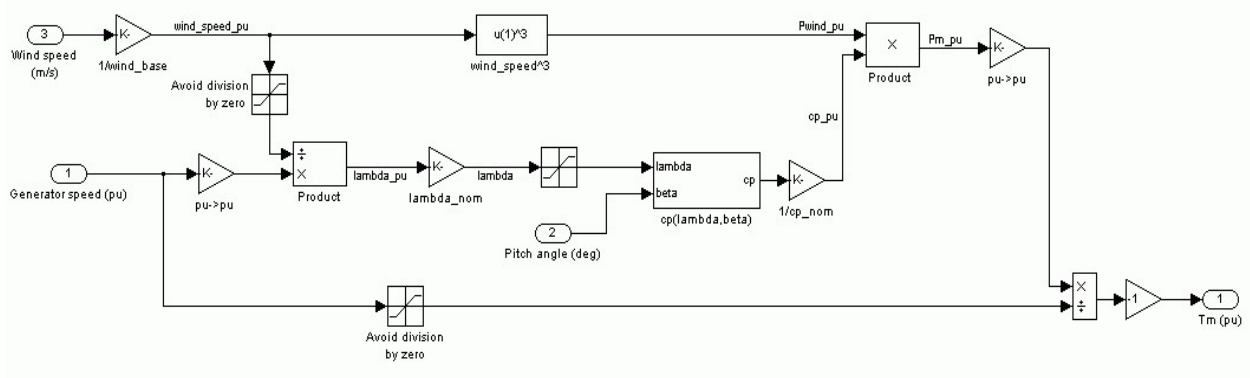


Рисунок 4.6 – Модель вітрової турбіни в Simulink/Matlab

Також, як і на блок-схемі, тут є три вхідних змінних: швидкість вітру (м/с), швидкість обертання ротора від номінальної швидкості ротора і кут повороту лопаті (градуси). Коефіцієнт швидкохідності  $\lambda_{\text{ном}}$  виходить розподілом швидкості обертання від базової швидкості обертання на швидкість вітру від базової швидкості вітру. Вихідна змінна - момент, що прикладається до валу генератора.

Управління виробленням ВЕУ реалізовано за логічною схемою, заснованої на результатах, отриманих за методом парних порівнянь. У контурі управління присутні регулятори на основі нечіткої логіки [44].

Всі результати моделювання представлені для випадку, коли в зонах 2 і 3 роботи ВЕУ працюють всі можливі контури управління.

## 4.2 Результати дослідження

Загальний вигляд моделі ВЕУ в Simulink/Matlab представлений на рисунку 4.7.

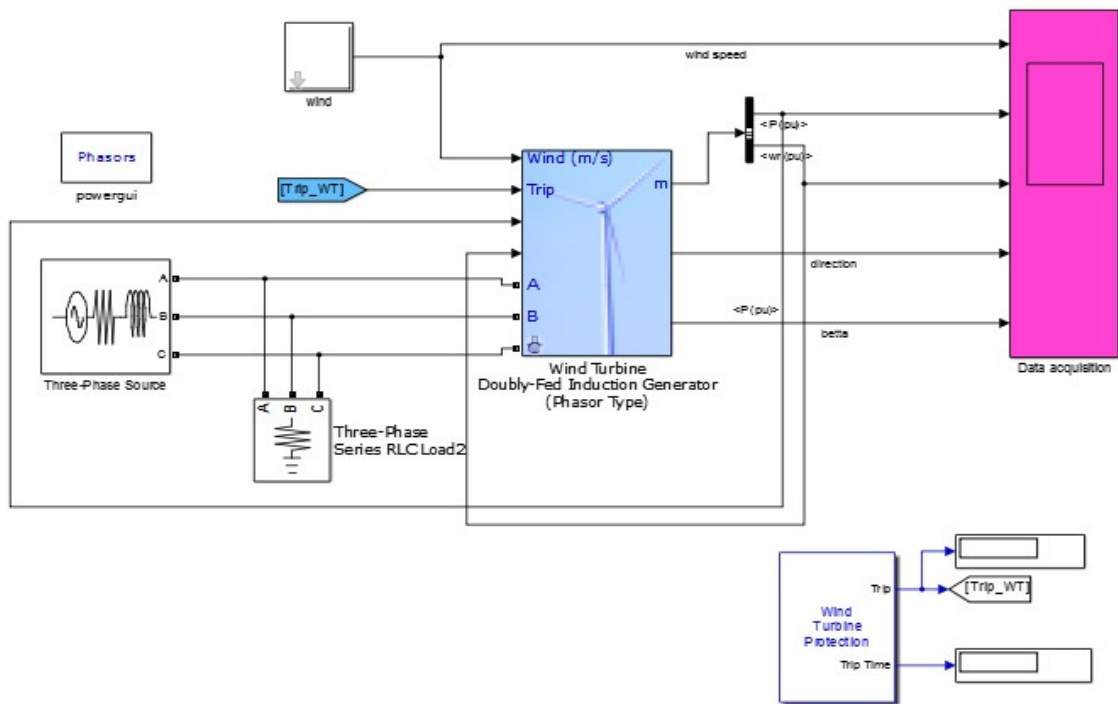


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд моделі в Simulink/Matlab

Початок роботи програми задається активацією блоку швидкості вітру. Залежно від того, яка швидкість вітру, система управління подає сигнал на активацію першого, другого або третього порту, відповідних першій, другій і третій зоні роботи ВЕУ (рисунок 4.8). Визначення зони роботи відбувається за принципом простого порівняння зі швидкостями вітру, регламентованими для конкретної ВЕУ – швидкість включення, номінальна швидкість і гранично допустима швидкість. Результати порівняння поточної швидкості вітру з межами робочих діапазонів подаються на логічний блок. Де, за допомогою оператора AND – логічне множення, робиться висновок про активацію того чи іншого порту.

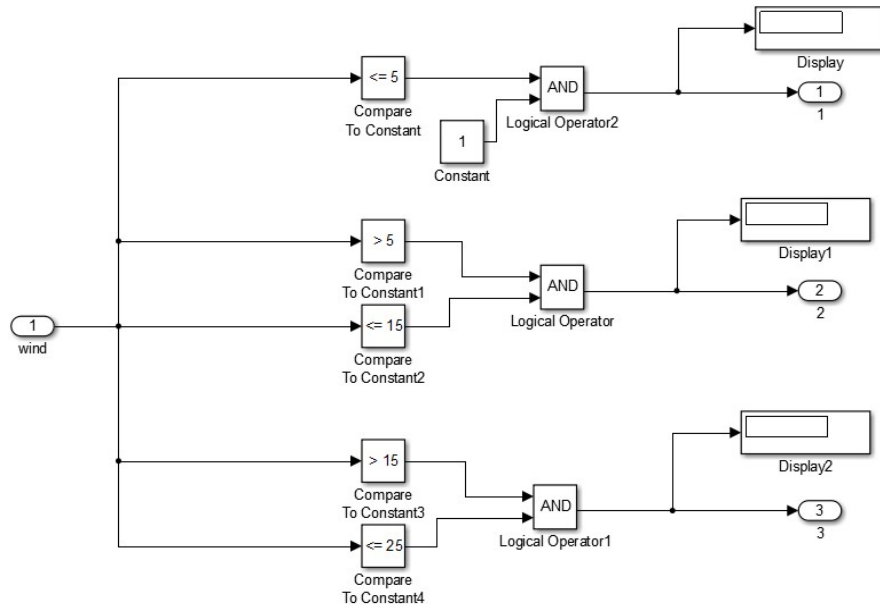


Рисунок 4.8 – Блок визначення зони роботи ВЕУ

Сигнали з виходу блоку визначення зони роботи ВЕУ надходять до відповідних блоків *Zone2*, *Zone3* (рисунки 4.9-4.10). У них реалізована пріоритетність того чи іншого контуру управління згідно матрицями парних порівнянь. Активація кожного з контурів управління реалізована за допомогою множення - коли на виході з блоку — *product* є одиниця, то даний контур вступає в дію. І так по черзі до останнього можливого контуру управління. Один множник є постійним - 1 і подається на вхід — *product* всіх контурів. А друга одиниця виходить в результаті закінчення дії попереднього контуру управління.

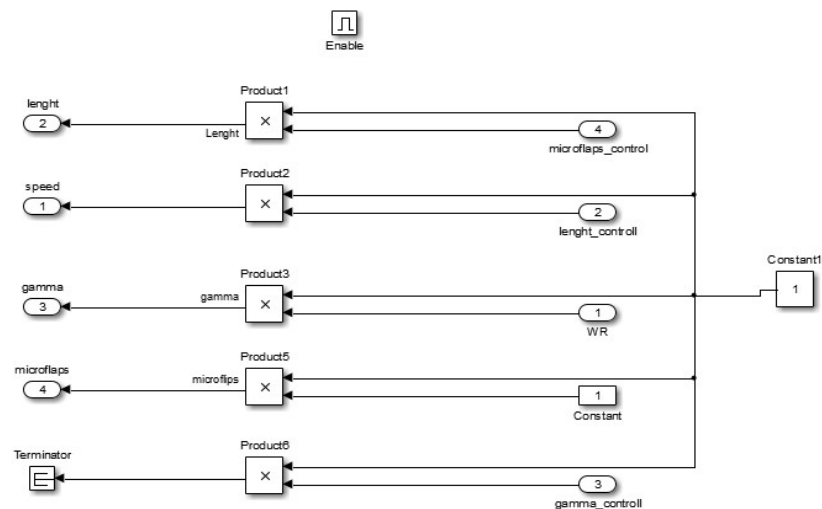


Рисунок 4.9 – Блок управління ВЕУ в зоні 2



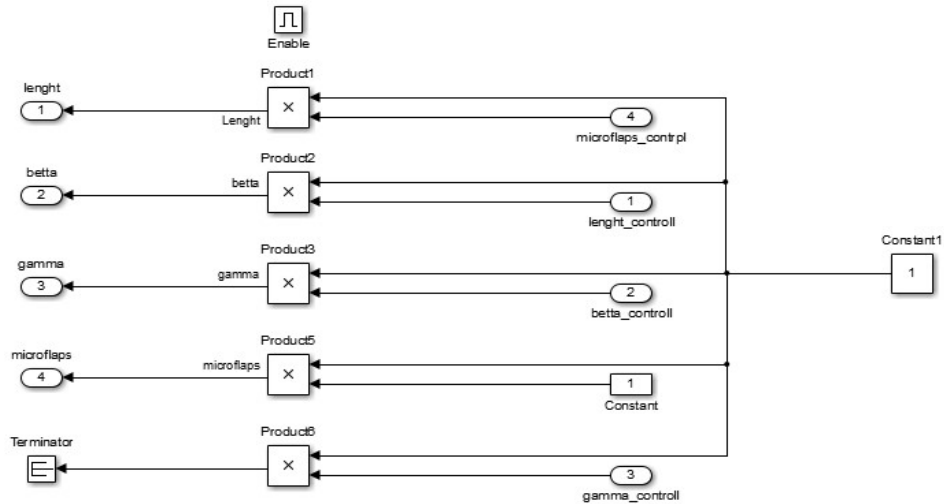


Рисунок 4.10 – Блок управління ВЕУ в зоні 3

Блок зміни кута повороту з застосуванням регулятора на основі нечіткої логіки наведено на рисунку 4.11. В якості входніх змінних використовуються значення відхилення потужності від номінальної величини, швидкість вітру і останнім прирістом потужності. Так само, як і в попередніх випадках, вихідна величина порівнюється з межею регулювання і при позитивному рішенні нерівності подається сигнал на активацію наступного блоку управління.

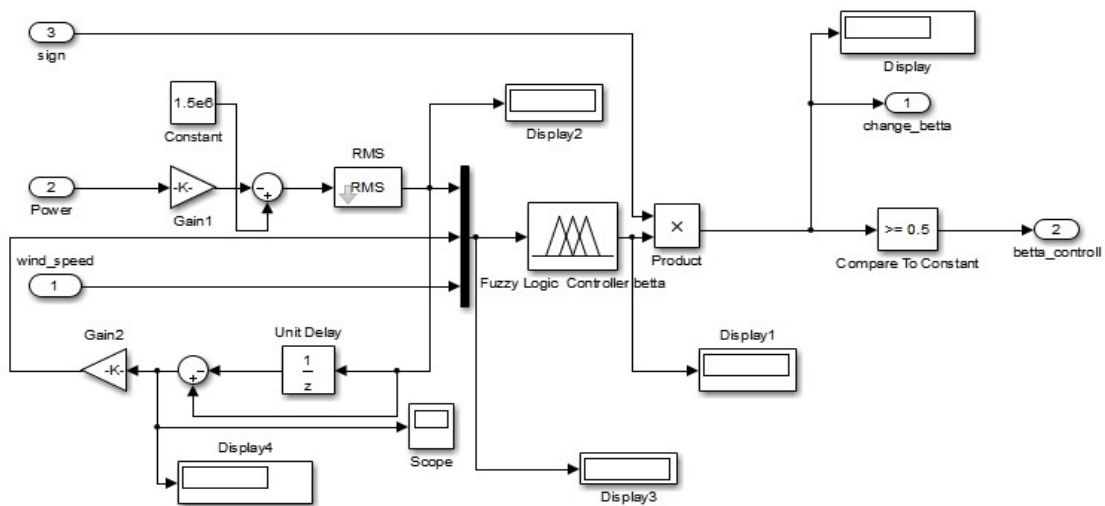


Рисунок 4.11 – Блок зміни кута повороту із застосуванням алгоритму на основі нечіткої логіки

Блок —Fuzzy logic controller bettal містить fis-файл, в якому закладена інформація про відповідню керуючу дію. Для його реалізації, також як і в попередньому випадку, використовується алгоритм Ларсена. Функції приналежності для вхідних і вихідної величин, база правил, результат дефазифікації і поверхня залежності вихідної величини від вхідних наведені на рисунках 4.12 - 4.15.

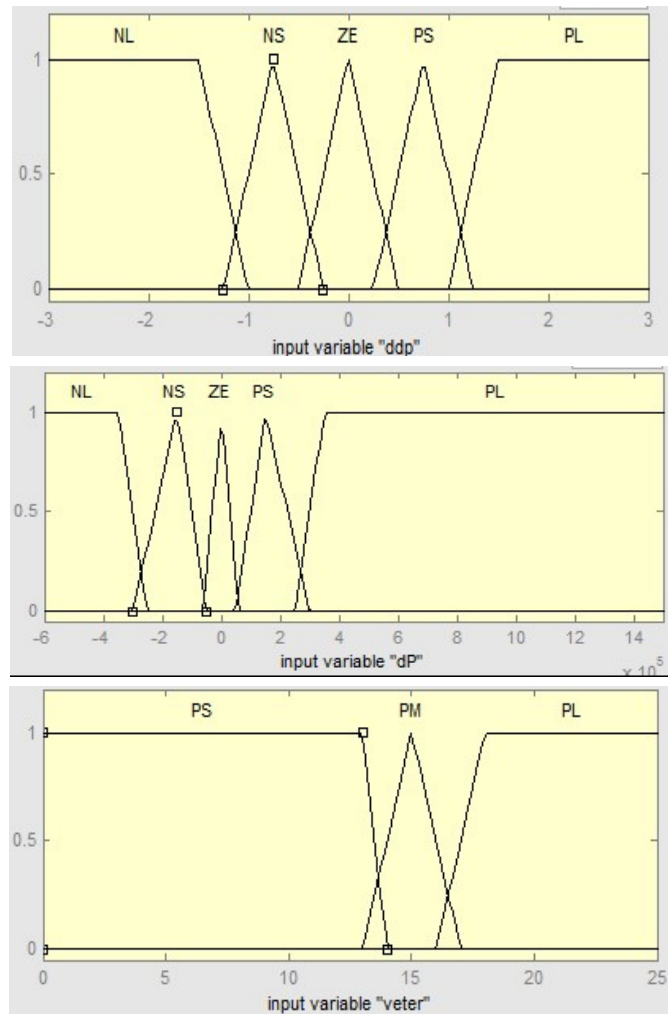


Рисунок 4.12 – Функції належності вхідних величин dP, ddP і швидкості вітру для алгоритму на базі нечіткого логічного висновку, керуючого зміною кута повороту лопаті

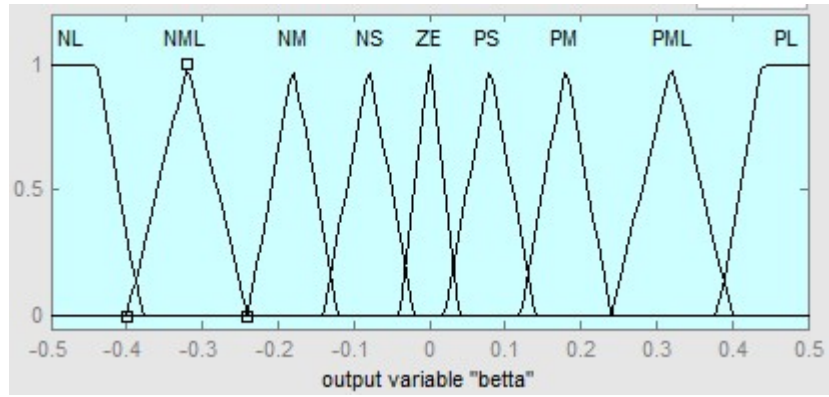


Рисунок 4.13 – Функція належності вихідної величини кута повороту лопаті

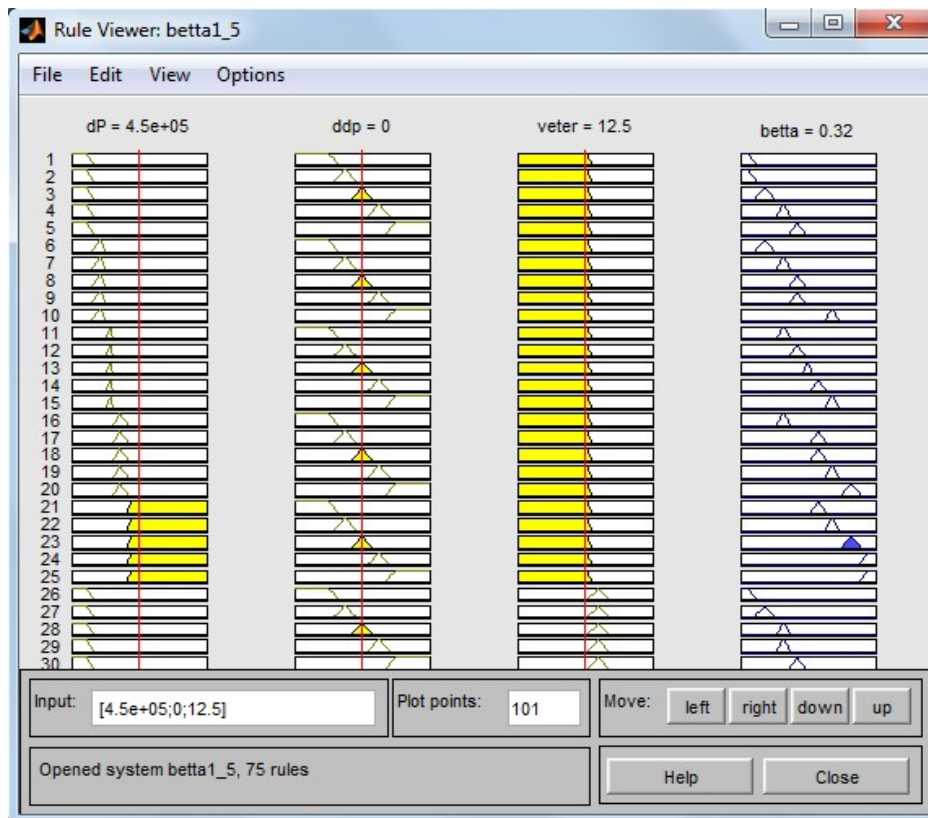


Рисунок 4.14 – Візуалізація бази правил і результату дефазифікації для алгоритму, керуючого кутом повороту

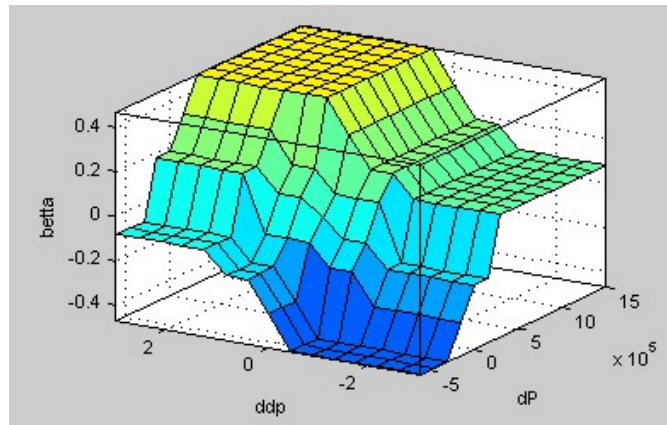


Рисунок 4.15 – Поверхня результатів дефазифікації алгоритму, що змінює кут повороту

На рисунку 4.16 представлені результати моделювання роботи ВЕУ при системі управління, заснованої на пріоритетності дії регуляторів, в основі яких закладені алгоритми нечіткого виведення.

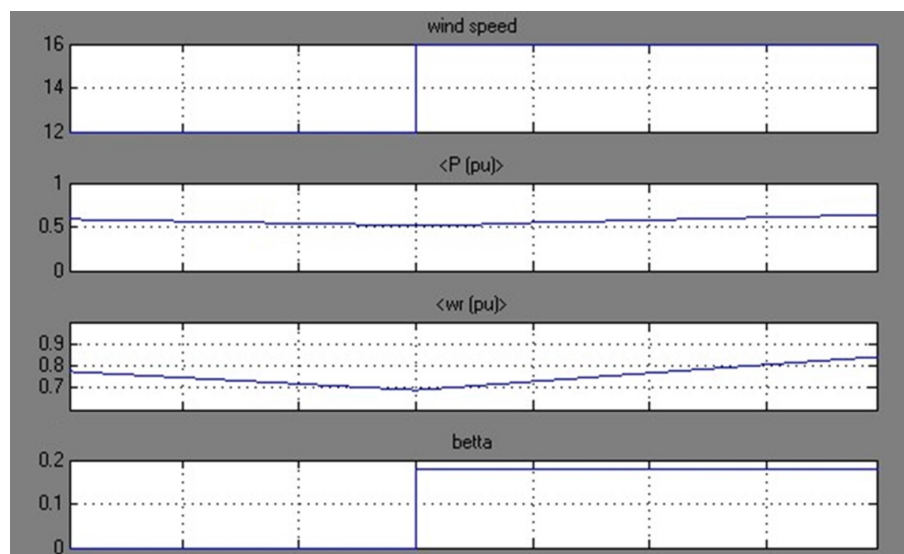


Рисунок 4.16 – Результати моделювання роботи ВЕУ з системою управління на основі алгоритмів нечіткого виводу

З графіків видно, що при збільшенні швидкості вітру відбувається набір потужності ВЕУ, при цьому контур управління кутом повороту починає впливати на поворот лопаті, щоб обмежити можливий вихід за межі видаваної потужності, спостерігається підвищення вироблюваної потужності.

### 4.3 Висновки

Розроблено модель системи управління ВЕУ при застосуванні регуляторів на основі нечіткої логіки, що дозволяє підвищити вироблення електроенергії в зоні робочих вітрів і знизити коливання потужності в режимі обмеження при роботі ВЕУ в складі електричної мережі. У моделі використовується пріоритетність контурів, яка попередньо оцінена за методом парних порівнянь для різних умов експлуатації ВЕУ. Дана модель дозволяє експериментально перевірити правильність теоретичних положень щодо підвищення ефективності регулювання потужності.

## 5 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Опис програми

Проект являє собою панель для користувача. Спочатку при відкритті з'являється форма для входу, після підключення до IP адреси ВЕУ відкриється головне вікно програми, де відображаються графік залежності кута відхилення лопаті від часу, а також деякі параметри ВЕУ в реальному режимі часу.

### 5.2 Керівництво користувача

Аби запустити програму в робочому режимі треба виконати такі дії:

1) Включити wi-fi на мобільному пристрої.

2) Відкрити розроблене програмне забезпечення.

3) Вибрати до якої IP адреси підключена ВЕУ та натиснути кнопку «Приєднатися» (рис.5.1). При коректному підключенні відкриється головне вікно програми.

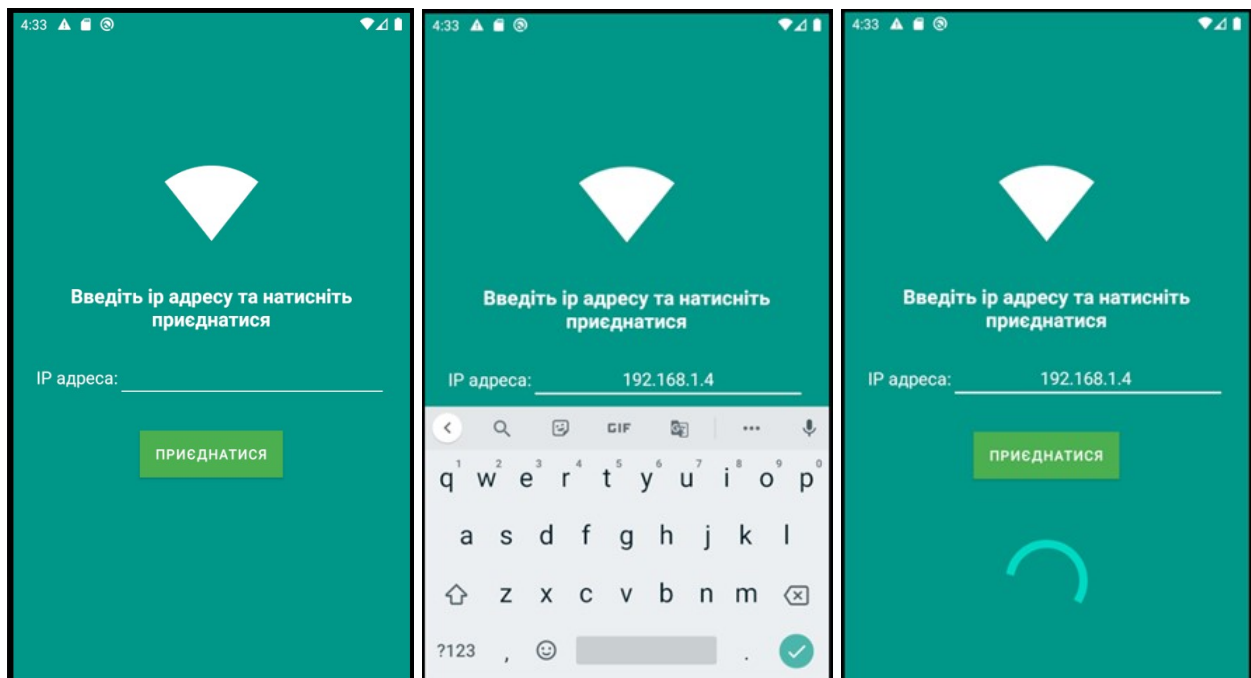


Рисунок 5.1 - Форма запуску програми

4) Після початку моделювання на полі відображаються графік залежності кута відхилення лопаті від часу в реальному режимі часу. Також окремо фіксуються значення поточної швидкості вітру, кута відхилення лопаті, кутова швидкість обертання ротора, потужність та коефіцієнт використання енергії вітру (рис.5.2).

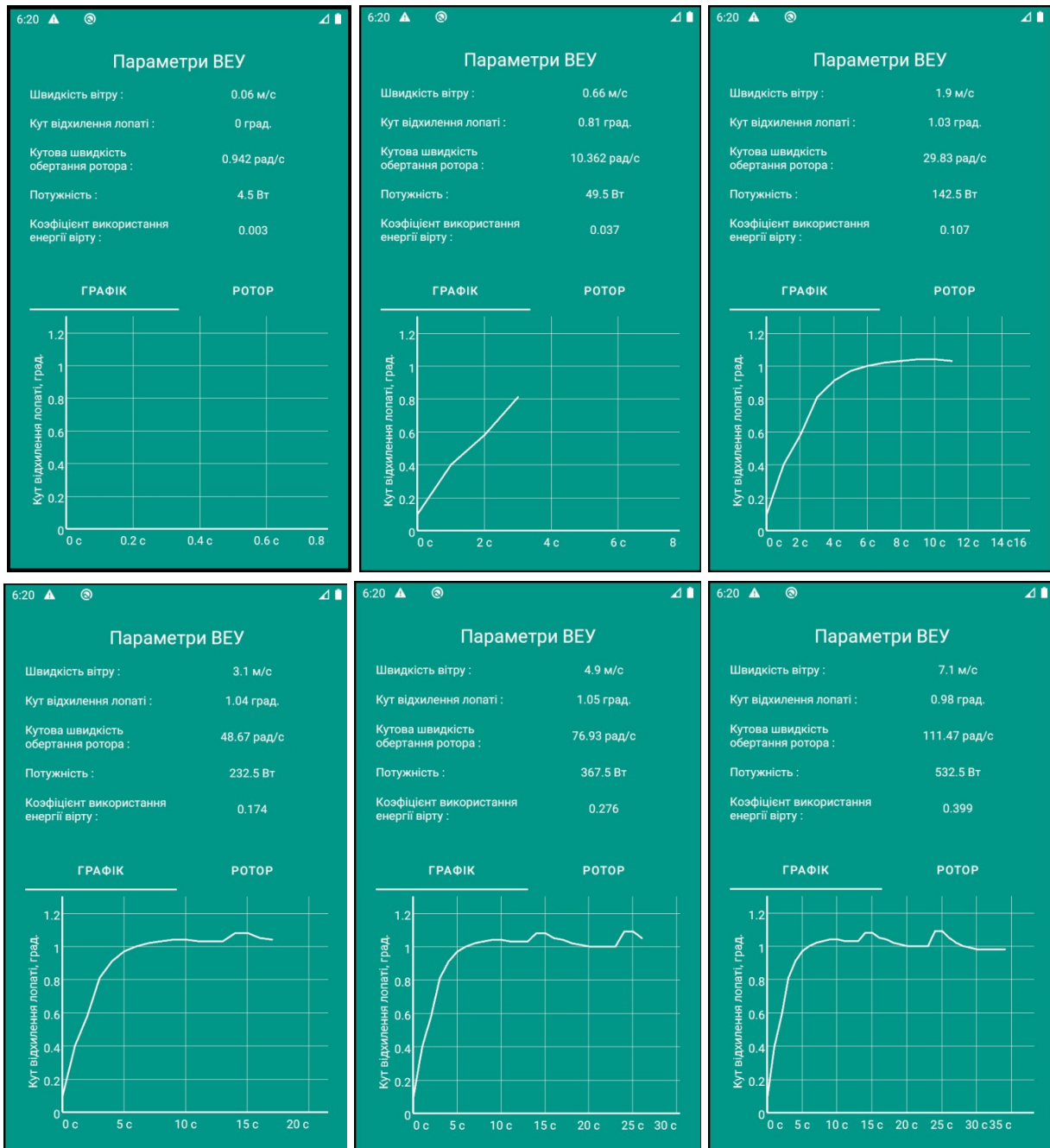


Рисунок 5.2 – Головне вікно програми, вкладка з зображенням графіка

4) Обрати вкладку «Ротор», на полі відображається загальний вигляд ротора ВЕУ (рис.5.3).

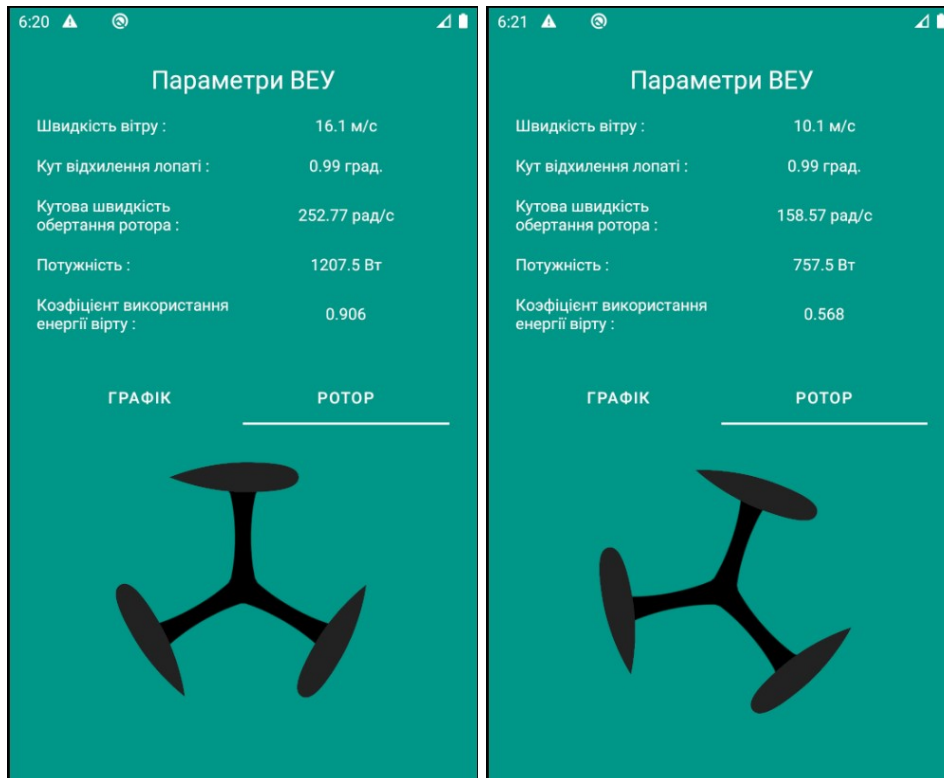


Рисунок 5.3 - Головне вікно програми, вкладка з зображенням ротора ВЭУ

### 5.3 Технологія тестування програмного забезпечення

Першим етапом тестування було модульне тестування. На даному етапі була проведена перевірка функціональності та пошук дефектів в компонентах програми, котрі можуть бути протестовані окремо (модулі програми, класи, функції та інше).

Наступним етапом йде інтеграційне тестування, де перевіряється взаємодія між модулями програми.

Після інтеграційного тестування проводилось системне тестування. Основним завданням системного тестування є перевірка як функціональних, так і не функціональних вимог в системі в цілому. При цьому виявляються дефекти, такі як неправильне використання ресурсів системи, непередбачені комбінації даних користувача рівня, несумісність з оточенням, непередбачені сценарії використання, відсутня або неправильна функціональність, незручність використання і т.п.



## 5.4 Результати експериментального тестування

Нижче наведено послідовність операцій для повного тестування.

1) Відкрити мобільний додаток. Ввести невірні дані IP-адреси, натиснути кнопку «Приєднатися». Результат при невірно введених даних зображено на рисунку 5.4.

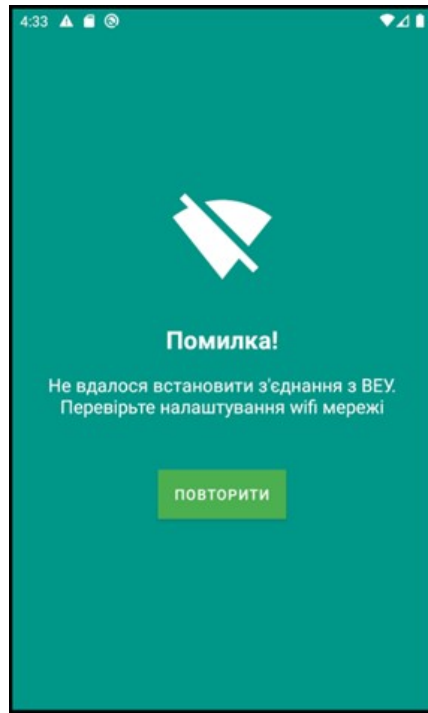


Рисунок 5.4 - Валідація при неправильному введенні IP-адреси

## 5.5 Перевірка та калібрування елементів системи

Перед підключенням датчика швидкості і виконуючих пристроїв, кожен елемент системи пройшов перевірку і калібрування.

Система складається з таких компонентів:

- мікроконтролер;
- датчик швидкості;
- потенціометр;
- ЦАП MCP4725.

Перевірка мікроконтролера Arduino UNO R3 полягала в підключенні до персонального комп'ютера і завантаженні тестової прошивки через середовище Arduino. Тестова прошивка полягає в періодичному миганні світлодіода,

розташованого на платах і пов'язаного з 13 піном контролера. Ця прошивка дозволяє перевірити зв'язок контролера з персональним комп'ютером, працездатність вбудованої пам'яті, виконання простих завдань у вигляді встановлення високого рівня на будь-якому з пінів мікроконтролера.

При перевірці вибраного для даної системи контролера, була визначена повна працездатність, що дозволяло в подальшому використовувати їх для побудови системи управління.

Кожен датчик системи перевіряється за своїм власним алгоритмом.

Перевірка датчика LM393 полягала в підключенні до мікроконтролера.

1) Підключити датчик до контролера. Схема підключення компонентів для перевірки датчика LM393 представлена на рис. 5.5.

2) Завантажити на Arduino програму зняття показників з датчиків.

3) Підключити датчик до прибору обертання, та задати йому певну частоту.

4) В програмі зняття показників з датчика звіряти параметри датчика з заданими параметрами на приборі обертання. Якщо вони співпадають, то датчик справний.

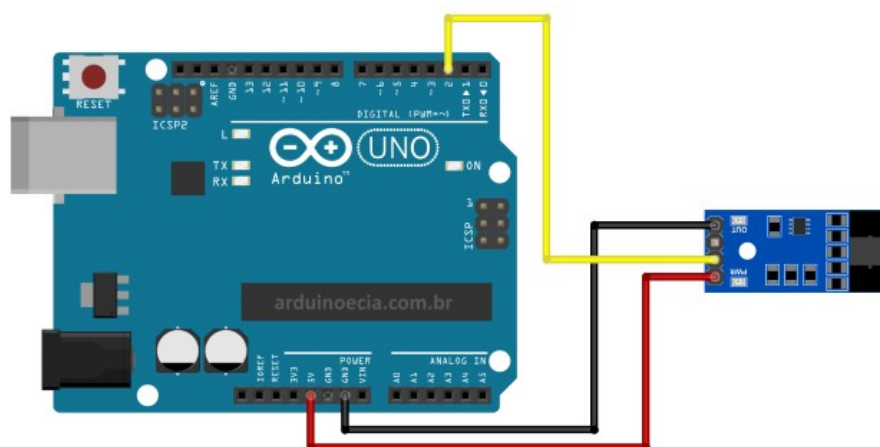


Рисунок 5.5 – Схема підключення компонентів для перевірки датчика

При перевірці датчика не було виявлено проблем, була перевірена працездатність, що дозволяло в подальшому використовувати датчик в побудові системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

Потенціометри необхідно перевірити на можливі несправності за допомогою мультиметра, а також перевірити дані, які показує датчик.

Щоб дізнатися повний опір потенціометра, потрібно заміряти опір між крайніми ніжками. Перевірку плавності ходу потенціометра проводять аналоговим мультиметром зі стрілкою, так як на цифровому екрані дефект можна не помітити.

Схема підключення потенціометра до контролера представлена на рис.5.6.

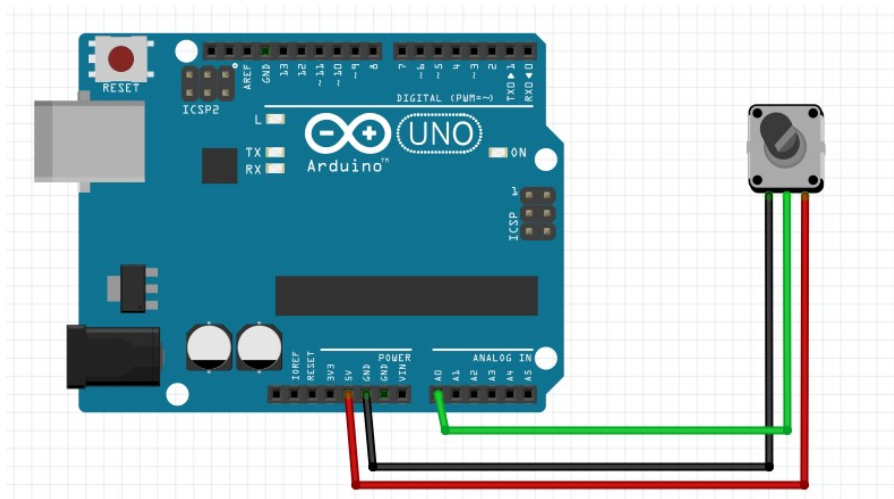


Рисунок 5.6 – Схема підключення потенціометра до контролера

Перевірка потенціометра завершена успішно, що дозволяє в подальшому використовувати його для побудови системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

Перевірка ЦАП.

- 1) Підключити ЦАП до контролера.
- 2) В Arduino завантажити програму задання вихідного значення з ЦАП.
- 3) Задати в програмі вихідний аналоговий сигнал.
- 4) Вихід з ЦАП підключити до вольтметра. Вольтметр повинен показувати значення, яке задано програмно.
- 5) Програмно змінити вихідний сигнал з ЦАП, перевірити за допомогою вольтметра. Якщо значення на ньому змінилися на стільки ж, на скільки було задано, то ЦАП працює правильно.

Схема підключення компонентів для перевірки ЦАП представлено на рис. 5.7.

Перевірка ЦАП МСР4725 завершена успішно, що дозволяє в подальшому використовувати його для побудови системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

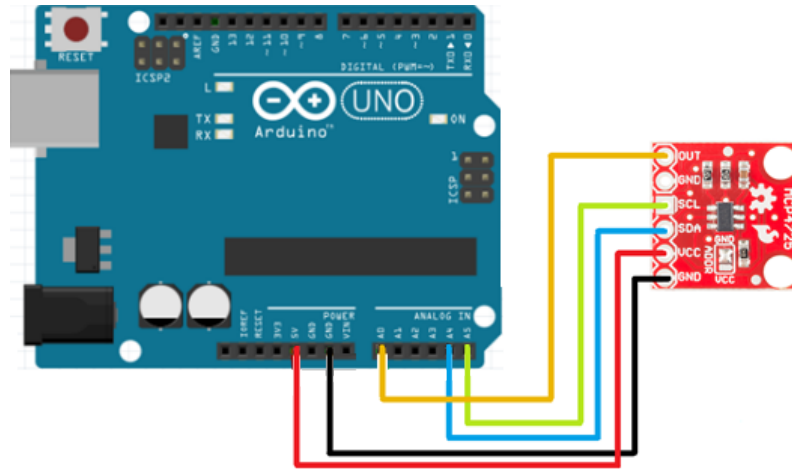


Рисунок 5.7 – Схема підключення ЦАП МСР4725 до контролера

## 5.6 Висновки

Перевірені всі компоненти системи управління. Обрані пристрої пройшли перевірку успішно, показання працездатності задовольняють вимогам до побудови системи.

## 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

### 6.1 Опис продукту

Основною метою розробки економічної частини полягає у розрахунку собівартості, ціни, трудомісткості робіт при створенні даного програмного продукту.

Розроблюваний продукт – система управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання і дистанційним контролем за рахунок мобільного додатка. Для роботи системи потребується комп'ютер з будь-якою операційною системою, доступ до мережі Інтернет та макетна система вітрогенератора.

### 6.2 Сегментування ринку

Сегментування ринку - це процес поділу споживачів на групи з урахуванням різних принципів і факторів сегментації. У процесі сегментації виділяють сегменти ринку. Основною характеристикою сегмента є ємність - кількість виробів, які можуть бути продані в рік.

Повна потреба сегменту розраховується з урахуванням конкретних особливостей товару і сегментів. Для багатьох видів товарів індивідуального і промислового призначення  $S_{1пол.і}$  можна розрахувати по формулі 6.1.

$$S_{1пол.і} = N_1 \cdot Q_1 \cdot m_1; \quad (6.1)$$

де  $N_1$  – кількість підприємств споживачів виробу в і-му сегменті;

$Q_1$  – середня річна програма виробів в і-му сегменті, для яких буде постачатись розглянутий товар;

$m_1$  – кількість комплектуючих виробів, йдучих в один виріб (1 шт.)

Таблиця 6.1 – Сегментування і розрахунок повної ємності ринку

Виробник	Завод-виробник			
	$N_1$	$Q_1$ , шт	$m_1$ , шт	$S_1$ , шт/рік
СУ вітроагрегатами на Акташській ВЕС	1	40	2	80
АСУ ВЕУ-15	1	20	1	20

СУВ компанії Ельстар	1	45	2	90
	3	105	5	190

Як видно з таблиці 7.1 повна ємність ринку складає 190 шт./рік.

### 6.3 Аналіз конкурентоспроможності

Конкурентоспроможність товару – це ступінь його відповідності обраному ринку з комерційних, технічних і економічних показників, забезпечуючи можливість збуту товару на цьому ринку. Це ті характеристики, які вигідно вирізняють даний товар від товарів-конкурентів.

Проведемо аналіз конкурентоспроможності нового виробу, за допомогою узагальненого показника якості, який враховує всю систему основних одиничних показників, і характерний для даного пристрою.

У процесі аналізу ринку збуту були виявлені основні конкуренти на українському ринку. Головною відмінністю їх виробів від розроблюваної системи є те, що їх аналогові системи, а не цифрові. Так само відмінність у технічних характеристиках.

При порівнянні варіантів використовується наступний порядок розрахунку.

1. Виділяються еталонні значення окремих показників якості і формується гіпотетичний варіант. Гіпотетичний варіант - штучно створений варіант, в якому кожен показник має найкраще можливе значення.

2. Кожному показнику якості присвоюємо коефіцієнт вагомості (в сумі 1).

Розраховується відносне значення одиничних показників шляхом порівняння  $P_{ij}$  із  $P_{i\text{гип}}$  з урахуванням того, що для гіпотетичного варіанти відносні показники дорівнюють одиниці ( $K_{i\text{гип}} = 1$ ), для інших  $K_{ij} \leq 1$ .

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{i\text{гип}}}; \quad (6.2)$$

де  $P_{ij}$  – абсолютні значення і-го показника для j-го варіанту;

$P_{i\text{гип}}$  – абсолютні значення і-го показника для гіпотетичного варіанти

Отримані результати наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Аналіз конкурентоспроможності

Показники якості	Коефіцієнт вагомості	Абсолютні значення показників якості				Відносні значення показників якості							
		1	2	3	4	1		2		3		4	
		Розроблений пристрій	АСУ ВЕУ-15	СУВ Ельстар	Гіпотитичний	Ki1	Ki1*b1	Ki2	Ki2*b1	Ki3	Ki3*b1	Ki4	Ki4*b1
Швидкість обробки даних	0.4	10	8	7	10	1.0	0.4	0.80	0.32	0.70	0.28	1.00	0.4
Здатність підлаштуватися під зміну параметрів	0.15	10	8	7	10	1.0	0.15	0.80	0.12	0.70	0,1	1.00	0,15
Швидкодія	0.25	9	9	6	10	0.9	0.22	0.90	0.22	0.60	0.15	1.00	0.25
Складність реалізації	0.1	8	9	5	10	0.8	0.08	0.90	0.09	0.50	0.05	1.00	0.1
Напрацювання на відмову	0.1	9	7	10	10	0.9	0.09	0.70	0.07	1.00	0.1	1.00	0.1
	1						0.94		0.82		0.68		1.00

Виходячи з результатів порівняльного аналізу, найбільше значення показника якості має розроблений продукт. Найближчим конкурентом є продукція PLX Devices. Рівень якості пропонованого виробу порівняно з цим конкурентом становить:

$$Y_{н-б} = Y_{1-2} = \frac{K_1^0}{K_2^0} = \frac{0.94}{0.82} = 1.14.$$

Порівняння виробів, присутніх на українському ринку, показало, що розроблений продукт забезпечує найбільшу швидкість обробки даних.

За отриманими рівнем якості можна зробити висновок, що становище на ринку буде стійким.

#### 6.4 Розрахунок собівартості і ціни

Собівартість продукції складається з ряду найменувань витрат, а саме витрати на основні матеріали, комплектуючі вироби, пряма і додаткова заробітна плата, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, утримання транспорту, а також ряд загальнодержавних податків і відрахувань.

В створенні даної системи приймають участь такі особи:

- 1) програміст;
- 2) керівник проекту;
- 3) інженер-тестувальник.

Виконавці робіт та їх заробітні плати наведені в табл. 6.3. Кількість робочих днів у місяці 20.

Таблиця 6.3 – Склад виконавців роботи

Посади	Посадкові оклади, грн.	
	Місячні	Денні
Програміст	8000	400
Керівник проекту	10000	500
Інженер-тестувальник	5000	250

Перелік робіт, які повинні бути виконані кожним працівником, а так їхня тривалість, наведені в табл. 6.4.

Розрахунок собівартості робіт починається з розрахунку основної заробітної плати (ЗП). Обчислення ЗП розробників лабораторного стенду формується з урахуванням трудовитрат, кількості виконавців і середньоденної ЗП. Для цього кількість днів, відпрацьованих окремими виконавцями за стадіями, множимо на їх денні оклади:

$$\text{ОЗП} = 400 \cdot 36 + 500 \cdot 31 + 250 \cdot 36 = 38900 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата складе:

$$\text{ДЗП} = \frac{20\% \cdot 38900}{100\%} = 7780 \text{ грн.}$$



Таблиця 6.4 – Розрахунок трудомісткості робіт

Вид робіт	Тривалість, дні	Трудомісткість, чол/дні	Виконавці		
			Програміст	Керівник проекту	Інженер-тестувальник
Постановка задачі	2	2	-	+	-
Розробка графіку роботи	1	1	-	+	-
Розробка ТЗ	2	2	-	+	-
Погодження та затвердження ТЗ	3	9	+	+	+
Аналіз існуючих засобів рішення	2	6	+	+	+
Розробка алгоритму	3	3	+	-	-
Реалізація алгоритму	10	10	+	-	-
Розробка структурної схеми	3	6	-	+	+
Створення робочого макету	10	20	-	+	+
Тестування	3	6	+	-	+
Приймально-здавальні роботи	3	9	+	+	+
Випуск робочої документації	7	14	+	-	+
Випробування і здача продукту	5	15	+	+	+
Всього	47	103	36	31	36

Розрахуємо вартість закупних виробів необхідних для виготовлення системи.

Таблиця 6.5 – Перелік закупних виробів

Матеріал	Кількість, шт.	Ціна, грн.	Вартість, грн.	Призначення
Плата Arduino Uno R3	1	200	230	Створення робочого макету
Датчики швидкості LM393	3	19	57	Створення робочого макету
Макетна плата	1	30	30	Створення робочого макету
ЦАП МСР4725	1	35	35	Створення робочого макету
Потенціометр	1	63	63	Створення робочого макету
Набір конекторів	1	25	25	Створення робочого макету
Друк документації	100	0.6	60	Випуск робочої документації
Доступ до інтернету	2	100	200	Аналіз існуючих засобів рішення
Всього			700	

Таблиця 6.4 – Перелік основних засобів

Обладнання	Кількість, шт.	Вартість, грн.
Комп'ютер	3	21000
Стіл	3	2400
Стілець	3	2000
Паяльна станція	1	2000
Всього		27400

Норма амортизації становить 25% від основних коштів, для виготовлення 1 виробу, що розраховується по формулі 6.3.

$$A_m = \frac{OC \cdot 0.25 \cdot D_p}{D_r}; \quad (6.3)$$

де **OC** – вартість обладнання;

**D<sub>p</sub>** – тривалість робочих днів;

**D<sub>r</sub>** – кількість робочих днів у році.

Для виконання робіт, пов'язаних з виробництвом системи, необхідно обладнання вартістю 27400 грн. Так, як трудомісткість становить 79 днів, то амортизація обчислюється наступним чином:

$$A_m = \frac{27400 \cdot 0.25 \cdot 47}{240} = 1219,508.$$

Розрахунок собівартості і договірної ціни наведено в табл. 6.5

Таблиця 6.5 - Розрахунок собівартості і ціни виробу за статтями

№	Статті	Сума, грн	Примітки
1	Основна заробітна плата (ОЗП)	<b>38900</b>	$OЗП = \sum N_i \cdot ЗП_{cp}$
2	Додаткова заробітна плата (ДЗП)	<b>5835</b>	20% від ОЗП
3	Єдиний соціальний внесок	9841,7	22% від (ОЗП+ДЗП)
4	Матеріали та куплені вироби	700	Из табл. 7.5
5	Амортизація	<b>1219,508</b>	Формула (6.3)
6	Витрати на утримання обладнання	3890	10% від вартості основних засобів
7	Додаткові витрати	15560	40% від ОЗП
8	Виробнича вартість (С)	79836,21	п.1+п.2+п.3+...+п.7
9	Адміністративні витрати	17505	45% від ОЗП
10	Витрати на збут	1995,9	2.5% від п.8

11	Собівартість власних робіт	175281	п.1+п.2+п.3+...+п.10
12	Прибуток (П)	35056	20% від п.11
13	Ціна без ПДВ	210337	П+п.11
14	ПДВ	42067,4	20% від ціни без ПДВ
15	Ціна з ПДВ	252404	п.13+п.14

Таким чином, собівартість власних робіт з розроблення програмного продукту складає – 175 281 грн., а його ціна з врахуванням ПДВ – 252404.

Кількість замовлених екземплярів має бути не менше ніж 190 шт.

Виробничу собівартість одного екземпляру програмного продукту (BC) визначають за формулою 6.4.

$$BC_0 = \frac{BC}{KPP}; \quad (6.4)$$

де BC – виробничі витрати;

KPP – кількість замовлених екземплярів.

$$BC_0 = \frac{79836,21}{190} = 420.$$

Повна собівартість одного екземпляру складається з суми виробничої собівартості (BCП), адміністративних витрат (AB) і витрат на збут (BЗ), які приходяться на один екземпляр виробу:

$$CP_0 = BC_0 + AB_0 + BЗ_0; \quad (6.5)$$

$$CP_0 = 420 + 92,13 + 10,5 = 522,63.$$

Адміністративні витрати  $AB_0$ , які приходяться на один екземпляр виробу, визначається формулою 6.6.

$$AB_0 = \frac{AB}{KPP}; \quad (6.6)$$

$$AB_0 = \frac{17505}{190} = 92,13 \text{ грн.}$$

Витрати на збут  $VZ_0$ , які приходяться на один екземпляр виробу, визначається формулою:

$$VZ_0 = \frac{BZ}{KПП}; \quad (6.7)$$

$$VZ_0 = \frac{1995,9}{190} = 10,5 \text{ грн.}$$

Таким чином,  $СП_0 = 420 + 92,13 + 10,5 = 522,63$ .

Рентабельність продукції (норма прибутку) – це відношення загальної суми прибутку до витрат виробництва і реалізації продукції (відносна величина прибутку, що припадає на 1 грн. поточних витрат):

$$P_{\pi} = \frac{Ц-BC}{BC} \cdot 100\%; \quad (6.8)$$

де Ц – ціна одиниці продукції;

С – собівартість одиниці продукції.

$$P_{\pi} = \frac{252\,405 - 175\,281}{175\,281} \cdot 100\% = 46\%.$$

Величина оптової ціни одного виробу ЦПП (без врахування ПДВ):

$$ЦПП = СП \cdot \left(1 + \frac{P_{\pi}}{100}\right); \quad (6.7)$$

де  $P_{\pi}$  – коефіцієнт рентабельності.

$$ЦПП = 522 \cdot \left(1 + \frac{46}{100}\right) = 523,46.$$

При впровадженні у виробництво продукту важливо знати чи стане цей виробничий процес рентабельним і чи буде він приносити бажаний прибуток. Для цього необхідно визначити точку беззбитковості (ТБ) і зобразити її графічно.

Для підтвердження стійкості проекту необхідно, щоб значення ТБ було менше значень нормальних обсягів виробництва. Чим далі від них значення ТБ (у відсотковому співвідношенні), тим стійкіше проект.

Дохід від реалізації виробів знаходимо множенням ціни одного ПП на кількість замовлених екземплярів ПП:

$$ДР = ЦПП \cdot КПП; \quad (6.8)$$

$$ДР = 523,46 \cdot 190 = 99,457.$$

Аналітичний розмір критичної програми (РКП) розраховують діленням постійних витрат  $РП_{ост}В$  на різницю між ціною одного виробу ЦПП і змінними витратами, які приходяться на один виріб ( $З_мВ_0$ ), тобто:

$$РКП = \frac{РП_{ост}В}{ЦПП - З_мВ_0}. \quad (6.9)$$

Річні постійні витрати  $РП_{ост}В$  складаються із суми наступних витрат:

$$РП_{ост}В = ВУО + А_м + ДВ + АВ + ВЗ; \quad (6.10)$$

де ВУО – витрати на утримання обладнання;

$А_м$  – амортизація;

ДВ – додаткові витрати;

АВ – адміністративні витрати;

ВЗ – витрати на збут.

$$РП_{ост}В = 3890 + 1219,508 + 15560 + 17505 + 1995 = 40\ 169 \text{ грн}$$

Річні змінні витрати  $РЗ_мВ$  складаються із суми наступних витрат:

$$РЗ_мВ = ВМ + ФОП + ЄСВФОП; \quad (6.11)$$

де ВМ – матеріали та куплені вироби;  
 ФОП – фонд оплати праці;  
 ЄСВФОП – єдиний соціальний внесок.

$$P_{3,В} = 700 + (38900 + 5835) + 9841,7 = 55\,276,7 \text{ грн.}$$

Змінні витрати, які приходяться на один виріб, визначаємо діленням річних змінних витрат на річну програму випуску виробу:

$$Z_{мВ_0} = \frac{P_{3,В}}{КПП}. \quad (6.12)$$

$$Z_{мВ_0} = \frac{55\,276,7}{190} = 290,93 \text{ грн.}$$

$$РКП = \frac{55\,276,7}{523,46 - 290,93} = \frac{55\,276,7}{233} = 237,71 \approx 238 \text{ шт.}$$

Річний дохід в точці беззбитковості:

$$ДР_{БЗ} = 523,46 \cdot 238 = 124\,583,24 \text{ грн}$$

Графічне представлення точки беззбитковості представлено на рис. 6.1.

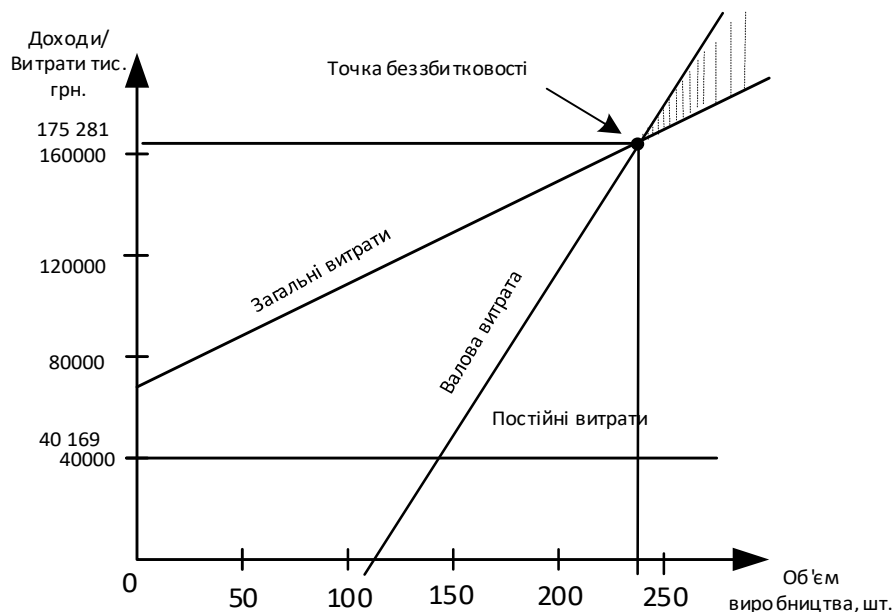


Рисунок 6.1 – Графік беззбитковості

Графік беззбитковості показує, що при об'ємі продаж 238 шт., дохід від реалізації продукції перевищує загальні витрати, таким чином, в зоні між ними знаходиться прибуток.

### 6.5 Висновки

В даному розділі був проведений розрахунок ціни і собівартості мобільного додатку. Ціна продукту без ПДВ - 210 337 грн, ціна з ПДВ - 252 404 грн. Собівартість становить 175 281 грн. Розрахунок проведений з врахуванням всіх необхідних трудовитрат, ПДВ - 42067,4 грн, відрахування в єдиний соціальний фонд 9841,7 грн. Було встановлено, що рентабельність становить 46%, що є високим показником.

Також був побудований графік беззбитковості, на якому був визначен обсяг беззбитковості продукту - 238 шт.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі спроектовано та реалізовано програмний продукт – системи управління ВЕУ з вертикальною віссю обертання і дистанційним контролем за рахунок мобільного додатка. Розробка являє собою мобільний додаток до операційної системи Android.

В ході виконання даної роботи було проведено аналіз існуючих рішень, відповідно до котрого знайдені рішення або складні в освоєнні, або мають високу вартість. Були обрані всі необхідні елементи, для розробки системи, отримані математичні моделі по задаючому і збурюючому впливам, оцінені властивості моделі і були визначені необхідні показники якості. Розроблено функціональну схему для системи автоматичного управління, на основі якої була побудована структурна схема. Побудовано характеристики для системи автоматичного управління. Далі був створений цифровий коригувальний пристрій, який зможе забезпечувати задані показники якості розроблюваної системи. Було отримано характеристики моделі скоригованої системи, проведено її експериментальне відпрацювання, і отримані її динамічні характеристики. Після обробки всіх отриманих даних визначили, що розрахований коригуючий пристрій забезпечує наявність всіх необхідних показників якості.

Були сформовані алгоритми отримання значень з бази даних, виконання автоматичних завдань та алгоритм роботи системи управління ВЕУ. Був проведений вибір засобів реалізації, а саме датчики, мікроконтролер та виконавчі механізми, спроектован інтерфейс і функціональні модулі. Сформовано керівництво користувача.

В результаті виконання експериментальної частини успішно пройдено тестування програмного забезпечення та зроблено перевірку і калібрування кожного елементу системи.

В економічній частині був проведений розрахунок собівартості і ціни програмного продукту.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кулик, А.С. Основы моделирования систем: Учеб.пособие/А.С. Кулик// – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1998. – 90 с.
2. Проектування систем управління/ А.Б. Жукевич, – Лекційний курс дисципліни «Проектування систем управління». – Харків: Нац. Аерокосм. ун-т «ХАІ», 2017.
3. Кулик А.С. Методы расчёта цифровых систем управления. – Харьков: Харьков авиац. ин-т, 1989. – 97 с.
4. Кулік А.С., Джулгаков В.Г., Гавриленко О.І., Дыбская І.Ю., Руденко К.Н.. Проектування систем автоматичного управління з використанням метода напівнатурного моделювання. Посібник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харьк. авиац. ін-т», 2007.
5. Кулік А.С. Розрахунок і проектування елементів і систем управління: навчальний посібник. Харків, ХАІ, 1989
6. Проектування систем управління/ А.Б. Жукевич,– Лекційний курс дисципліни «Проектування систем управління». – Харків: Нац. Аерокосм. ун-т «ХАІ», 2018.
7. Теорія автоматичного управління/ А.С. Кулик, С.Н. Пасічник – Лекційний курс з дисципліни «Теорія автоматичного управління». – Харків: Нац. Аерокосм. ун-т «ХАІ», 2016.
8. Суббота А. М. Будущее энергетики - альтернативные источники энергии / А. М. Суббота, Д. А. Гаевая // Радиоэлектрон. і комп'ют. системи. - 2010. - № 4. - С. 125-132. - Библиогр.: 7 назв. - рус.
9. Суббота А. М. Система управления ветроэнергетической установкой / А. М. Суббота, И. Ю. Дыбская, А. В. Заболотный //Радиоэлектрон. і комп'ют. системи. - 2009. - № 3. - С. 61-67. - Библиогр.: 7 назв. - рус.
10. Суббота А.М., Петрова О.А. Вітрогідроенергетична установка - №43322, Украина, 2006.
11. Гордін А.Г. Збірник завдань по системам автоматичного управління., К. Ю. Дергачов, В. Г. Джулгаков і ін. За редакцією А. С. Кулика, В. Ф. Симонова. Національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2009 - 206 стор.
12. Кривцов В.С., Олійников А.М., Яковлев А.И. Невичерпна енергія. Кн.1. Вітрогенератори – Харків: ХАІ, 2003. – 400с.

13. Кривцов В.С., Шефтер Я.И., Яковлев А.И. Вітроенергетика. - Харків: ХАІ, 2004. – 519с.
14. Дорф Р., Бишоп Р./ Современные системы управления– Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
15. Гимадиев А.Г. Экспериментальное исследование статических и динамических характеристик датчиков энергетических установок/ Методические указания к лабораторной работе. — Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. — 20с.
16. Дж. Твайделл, А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990
17. Соломин Е.В. Ветроэнергетические установки ГРЦ-Вертикаль // Альтернативная энергетика и экология, 2010 № 1. С. 10-15
18. Беляков П. Ю., Доильницын В.В., Гончаров В.Н., Сапронов Н.В. Математическое моделирование ветроэнергетической установки с ротором циклоидного типа // Прикладные задачи электромеханики, энергетики, электроники: Труды межвузовской студенческой научно-технической конференции; Воронежский государственный технический университет. Воронеж, 2001.
19. Кирпичникова, И.М. Преобразование энергии в ветроэнергетических установках/И.М. Кирпичникова, А.С. Мартыанов, Е.В. Соломин// Альтернативная энергетика и экология. –2010. – № 1. – С. 93–97.
20. Кирпичникова, И. М. Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения. [Текст] / И. М. Кирпичникова, Е. В. Соломин // Вестник Южно-Уральского Государственного университета. Серия «Энергетика». – 2008. – № 26, Вып. 10. – С. – 32–35.
21. Лукутин Б. В. Энергоэффективные управляемые генераторы для ветроэлектростанций / Б. В. Лукутин, Е. Б. Шандарова, А. И. Муравлев // Известия вузов. Сер. Электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 63–66.
22. Кудря С. О. Вітроенергетика: передумови і особливості розвитку/ С. О. Кудря, Б. Г. Тучинський // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 1. – С. 38 – 49.
23. Кудря С. А. Предпосылки, стимулы и перспективы развития ветроэнергетики в Европе и в Украине / С. А. Кудря, Б. Г. Тучинский // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2011. – № 8. – С. 29 – 37.

24. Горелов Д. Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения // Горелов Д.Н.–Омск. – 2012.
25. Гринченко В. Т. Оптимизация характеристик ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями / В.Т. Гринченко, В.П. Каян // Доповіди Національної академії наук України. – 2015. – №. 6. – С. 37–45.
26. Экспериментальное исследование статических и динамических характеристик датчиков энергетических установок/ Гимадиев А.Г. – Методические указания к лабораторной работе. — Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. — 20с.
27. Солод М. Вітроенергетика. Спроба реанімації? / М. Солод // Наука і техніка. - 2008.-№11. - С. 21-26.
28. Сабінін Г.Х. Характеристики вітродвигуна в залежності від напрямку вітру. Праці ЦАГІ, вип. 28 / Г.Х Сабінін. - М. : ЦАГІ, 1926.-112 с.
29. P'yankov K. S. Mathematical modeling of flows in wind turbines with a vertical axis / K. S. P'yankov, M. N. Toporkov // Fluid Dynamics. – 2014. – Т. 49. – №. 2. – С. 249–258.
30. Ганич П.С. Розрахунок і проектування елементів систем управління. ХАІ, 1994.-74с
31. Яковлев А. І., Затучная М. А. Аеродинамічний розрахунок вітротурбін пропелерного типу - Харків: ХАІ, 2001. - 80с.
32. Кузьо І.В. Математичне моделювання динаміки тихохідного вітроколеса / І.В. Кузьо, В.М. Корендій // Наукові нотатки. - 2011. - № 33. - С.115-123.
33. Буяльський В.І. Підвищення ефективності управління вітротурбін / В.І. Буяльський // Вісник Севастопольського державного технічного університету. - 2008. - № 88.
34. Яковлев, А.І. Розрахунок ВЕУ з вертикальною віссю обертання. Розрахунок вітротурбін з вертикальною віссю обертання / А. І. Яковлев, М. А. Затучная. - Посібник по курсовому проектуванню. - Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіація. інс. », 2002 р.
35. Безруких, П.П. Використання енергії вітру / П.П. Безруких.- М. : Колос, 2008.
36. Белей, В.Ф. Аналіз технічних характеристик ВЕУ провідних фірм світу/ В.Ф. Белей, А.Ю. Нікішин // Міжнародна наукова конференція «Інновації в науці та освіті -2006»: зб. доп. / КДТУ. Калінінград: Изд-во КДТУ, 2006

37. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.

38. Штерцер В.А. Системы генерации электроэнергии для ветроэнергетических установок/ В.А. Штерцер, С.Д. Саленко// Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», Научно-технический центр «ТАТА», 2010. – № 5 (85).

39. Зубова Н. В. Основные принципы управления ветроэнергетической установкой / С. Н. Удалов, Н. В. Зубова // Научный вестник НГТУ.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, №3(48), 2012 г. – с.153–161.

40. Беляков П.Ю. Анализ структур и применимости главных схем электрических соединений современных сетевых ветропарков / П.Ю. Беляков, Р.М. Панов// ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, Электротехнические комплексы и системы управления. – 2009. – № 4 – с.39–43.

41. Милованова К. А. Интеграция ветровой генерации в работу энергосистемы/ К.А. Милованова// Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: Типография МЭИ. – 2011. – 20 с.

42. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. Пособие. – Изд. 4-е испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 672 с.

43. Обухов С.Г. Моделирование продольной составляющей скорости ветра/ С.Г.Обухов, Е.Ж. Саркисеев // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции. – Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – с. 74–75.

44. Манусов В. З. Анализ функционирования нечеткого регулятора мощности ВЭУ на границе II и III зон работы / В. З. Манусов, Э. Г. Ядагаев // Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии», Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – с.141–142.

45. Редчиц Д.А. Аэродинамика вращающейся лопасти ротора Дарье. / Д.А. Редчиц // ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ, Серія МЕХАНІКА. – 2007. – Т.2 – № 11.

46. Воронин С.М., Бабина Л.В. Работа ветроустановки при изменении направления ветра // Альтернативная энергетика и экология, 2010 № 1. С. 98-100.

47. Пат. 2525998 РФ. F03D/06. Способ управления лопастями ротора ветряка с вертикальной осью вращения [Текст]/Кашманов, И. А. – №20122149268/06 ; заяв. 19.11.2012 ; опубл. 20.08.2014, Бюл. №23.

48. Порядок оформления учебных и научно-исследовательских документов / В.Н. Павленко, А.С. Набатов , И.М. Тараненко. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 65 с.

49. Состояние проблемы//<http://www.racurs.ru/?page=681>.

50. Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://base.uipv.org/searchINV/>, вільний.

## ДОДАТОК А

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Патентний аналіз

№	Номер патента, клас, країна, рік, автор	Назва патента	Опис винаходу	Постанова задачі	Результат	Недоліки
1	2	3	4	5	6	7
1	46052 Україна Смирнова Л.І. Качинський М.С.	Вітроустановка	Створення можливостей для аеродинамічного самозапуску і саморегулювання при будь-яких режимах роботи, без додаткової витрати енергії в широкому діапазоні швидкостей вітру	До вітроустановці, що містить вітроколесо з горизонтальним валом, радіальні лопатки у вигляді циліндрів з торцевими дисками, приводи для обертання циліндрів і електрогенератор, причому приводи виконані у вигляді роторів типу Савоніуса, встановлені на осях обертання циліндрів і жорстко пов'язані з ними відповідно до винаходу введений датчик кутової швидкості	Установка створює можливості для аеродинамічного самозапуску і саморегулювання при будь-яких режимах роботи, без додаткової витрати енергії в широкому діапазоні швидкостей вітру	Обмежені можливості для самозапуску і саморегулювання роботи вітроколеса
2	49497 Україна Коханевич В.П. Шихайлов Н.А. Грищенко М.М.	Вітроустановки з обмежувачем швидкості повороту гондол	Винахід відноситься до вітроенергетики і може бути використано для обмеження кутової швидкості повороту гондоли вітроустановки з горизонтальною віссю обертання	Поставлена задача вирішується тим, що в вітроустановці, що містить поворотну гондолу з ротором, встановлену за допомогою поворотного пристрою на нерухомій опорі до якої за допомогою осі кріпиться важіль з флюгерної площиною, який через пружину регулювання пов'язаний з кронштейном, жорстко кріпиться до гондолі і штормовий лопаті, яка жорстко кріпиться до гондолі	Ветроустановка, що містить шарнірно підвішену гондолу до якої між ротором і шарнірним кріпленням жорстко кріпляться похилі флюгерні площині	При різкій зміні напрямку вітру виникає значний гіроскопический момент, призводить до руйнування лопатей
3	79610 Україна Трегуб Н.І. Василенко А.С.	Безредукторна електромеханічна ветроустановка	Підвищити чутливість і швидкодія механізму орієнтації вітродвигуна за напрямком вітру з одночасним його поліпшенням його аеродинамічних показників і полегшенням запуску	Позаду площині обертання лопатей вітродвигуна встановлений хвостовий дифузор в формі оболонки бічної поверхні зрізаного конуса, орієнтованого площиною отвори меншого підстави вперед, а більшого підстави назад, концентрично з віссю обертання вітродвигуна, що підвищує чутливість і швидкодія механізму орієнтації з одночасним підвищенням аеродинамічних показників	Конструкція такої вітроустановки дозволяє виконувати електромеханічне перетворення прийнятої лопатями вітрової енергії без багатоступеневих механізмів мультиплікації, які мають труться	Конструкція не забезпечує необхідної швидкодії механізму орієнтації за напрямком вітру з одночасним підвищенням аеродинамічних показників і полегшенням запуску, а також стабілізації оборотів при поривчастим вітром

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
4	97757 Україна Горенюк В.В.	Вітроенергетична установка	Винахід відноситься до області енергетичного машино-будови і стосується установок для отримання корисної енергії від протікає середовища	Створити вітроенергетична установку, в якій за рахунок виконання вхідного пристрою у вигляді окремих каналів з односторонніми клапанами і закріплення постійних магнітів на ободі, які при взаємодії з магнітопроводом статора компенсують вагу вітротурбіни, забезпечується зменшення загальної вартості вітротурбіни	Вітроенергетична установка високої надійності і ефективності при експлуатації в зонах з різним вітровим потенціалом.	Велика матеріаломісткість, низький коефіцієнт корисної дії перетворення енергії вітру і, як наслідок, мала питома потужність.
5	80216 Україна Макарчук А.В. Щур І.З. Ковальчук А.І.	Безконтактна контр роторна ветроустановка	Використання для заряду акумуляторних батарей і харчування різних електроспоживачів	У безконтактної контр роторної вітроустановці, що містить два вітроколеса з можливістю обертання в різні боки в підшипникових опорах, а якір - з другим ветроколесом, відповідно до винаходу, додатково містить трансформатор, встановлений на несучої конструкції	Така конструкція безконтактної контрроторной ВУ дозволяє залишити основна перевага генераторів з порушенням від постійних магнітів	
6	2209999 Россия Акаро А.И. Зелинский А.М. Медведев М.М. Пепелин А.Б.	Ветродвиатель	Создание ветродвигателя, в котором обеспечивается наиболее полное преобразование энергии ветра в полезную работу за счет уменьшения проходного сечения для ветрового потока при прохождении его через ветродвигатель и выбора формы и расположения лопастей	Задача, решаемая изобретением, достигается за счет того, что в ветродвигателе, содержащем горизонтальные валы с закрепленными на них лопастными ветроколесами, согласно изобретению на каждом валу закреплены два ветроколеса на одинаковом расстоянии друг от друга, оси валов расположены параллельно друг другу так, что лопасти одного ветроколеса каждой соседней пары валов расположены между лопастями двух ветроколес второго вала, каждая лопасть имеет трапециевидную форму с углом раствора, равным половине углового шага расположения лопастей на одном ветроколесе	Ветродвиатель, в котором обеспечивается наиболее полное преобразование энергии ветра в полезную работу за счет уменьшения проходного сечения для ветрового потока при прохождении его через ветродвигатель и выбора формы и расположения лопастей	Большая площадь, занимаемая рядом расположенными ветроколесами, и вследствие этого неэффективное использование энергии ветра с определенной площади



1	2	3	4	5	6	7
7	2235900 Україна Федичев А.З. Шумахер Ю.В. Луцишин А.І. Михайличенко О.П.	Вітроенергетична установка малої потужності крильчатого типу	В основу винаходу поставлена задача підвищення коефіцієнта використання енергії вітру вітроенергетичної установки малої потужності з одночасним спрощенням конструкції ветроприємного пристрої	Вітроенергетична установка малої потужності крильчатого типу, що містить вхідний конфузори і вітроколесо, направляючий апарат з гладкою конічної поверхнею, встановлений в конфузори перед ветроколесом, і жорстко пов'язаний з валом вітродвигуна, перетворювач механічної енергії обертання валу в електричну енергію, пристрій орієнтації вітроколеса за вітром, поворотну головку і щоглу, додатково забезпечена другим співвісним ветроколесом такого ж діаметру, але з меншою кількістю лопатей	Технічний результат полягає в прискоренні набігаючого повітряного потоку; підвищенні ефективності використання енергії вітру; спрощення конструкції, зменшення габаритних розмірів і ваги установки; збільшенні терміну служби	Установка не може повністю використовувати енергію набігаючого вітрового потоку. Це обумовлено недосконалістю конструкції вітроколеса
8	2295058 Россия Заболотный А.М. Шевченко И.П. Бойченко А.Н. Лисин С.П.	Роторно-ветровая энергоустановка	Повысить выходной мощности электрогенератора	Роторно-ветровая энергоустановка содержит вертикальную опору, на которой установлен электрогенератор с горизонтальным валом, несущим ветроколесо, лопасти которого выполнены в виде цилиндров Магнуса, снабженных приводами для их вращения, при этом роторно-ветровая энергоустановка оснащена дополнительным ветроколесом	Улучшение рабочих характеристик роторно-ветровой энергоустановки за счет увеличения крутящего момента на валу электрогенератора	Ветроколесо расположено по одну сторону электрогенератора, что вызывает возникновение дополнительных радиальных сил, действующих на корпус электрогенератора и требует энергетических затрат на их преодоление.
9	102458 Україна Кривцов В.С., А.І., Березюк В.В.	Вітроенергетична установка	Винахід відноситься до вітроен-ке, до конструкції вітроустановки з двигуном горизонтально-осьового типу і ручним гальмом	Підвищення надійності, поліпшення експлуатаційних характеристик вітроустановки і забезпечення ефективною і безпечною роботи вітроустановки при всіх режимах експлуатації.	Система забезпечує безпечну і надійну зупинку вітроустановки за рахунок принудительного гальмування вітродвигуна при проведенні регламентних і ремонтних робіт	Значний шум, який створюють стабілізатори; неможливість використання режиму антифлюгерного регулювання; необхідність заміни всього комплексу лопатей при поломці однієї з них.

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
10	2193687 Россия Кесель Б.А. Баширов А.А. Воскобойников Д.В.	Ветродвиатель	Преобразование энергии ветра в другие виды энергии	Ветроколесо ветродвигателя выполнено в виде обода и ступицы, соединенных радиальными спицами, на которых с возможностью свободного вращения вокруг осей спиц и перемещения вдоль осей указанных спиц выполнены роторы Савониуса. Перемещение роторов вдоль осей спиц осуществляется посредством двуплечего рычага, одно плечо которого связано через кулисный механизм с нижней опорой ротора Савониуса, а на втором, подпружиненном относительно вала ветроколеса, расположен груз с возможностью регулировки центробежной силы	Повышение коэффициента подъемной силы и КПД, и упрощение конструкции, обеспечивается за счет того, что ветроколесо ветродвигателя выполнено в виде обода и ступицы, соединенных радиальными спицами	Усложненный запуск ветродвигателя, связанный с отключением электрической нагрузки и включением принудительного привода роторов Магнуса, что снижает эффективность использования энергии ветра и требует достаточно сложной системы управления ветродвигателем.
11	2179261 Россия Макаров Ю.С.	Ветроэлектрическая станция	Создание ветроэлектрической станции, заключающейся в упрощении конструкции и обеспечении бесшумности в работе	В ветроэлектрической станции, содержащей корпус, установленный с возможностью его поворота в горизонтальной плоскости на опоре под напором ветра на стабилизатор, закрепленный на корпусе, согласно изобретению корпус выполнен в виде рамы, стороны рамы выполнены в виде осей, на которых установлены валы с лопастями	Корпус выполнен в виде рамы, стороны рамы выполнены в виде осей, на которых установлены валы с лопастями, причем валы установлены с возможностью синхронного вращения в плоскости	Низкий КПД и надежность работы за счет значительных нагрузок на корпус, а также сложность конструкции.
12	2118700 Россия Огнев В.В. Василенко С.Е.	Ветроэнергетическая установка	Повышение КПД и мощности ветроэнергетической установки за счет создания воздушной турбины с наиболее эффективным использованием ветроэнергии	Ветроэнергетическая установка, содержащая полую башню с выходным отверстием в нижней части, с полый самоустанавливающейся головкой наверху, два ветроколеса, первое из которых установлено на оси, закрепленной в головке, и генератор энергии, имеющий выход на потребителя	В нижней части, с полый самоустанавливающейся головкой наверху, два ветроколеса, первое из которых установлено на оси, закрепленной в головке, и генератор энергии,	Невысокий КПД

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
13	2132966 Россия Артамонов А.С.	Ветроэлектростанция	Получение энергии с помощью ветра или в качестве газовой турбины при его отсутствии	Поставленная в изобретении цель достигается за счет дополнительного снабжения ветродвигателя ветроэлектростанции струйным аппаратом-эжектором, выполненным в виде кольцевого сопла, размещенного коаксиально относительно корпуса, причем многоступенчатые турбины размещены последовательно друг с другом, а последняя ступень снабжена ветроколесом	Возможность работы и получения электроэнергии тогда, когда не только дует ветер, но и при его полном отсутствии или низкой скорости; высокий коэффициент использования энергии ветра	Низкий КПД агрегатов (не более 30%) не позволяет их широкого использования
14	2286477 Россия Кончаков Е.И. Федорев А.А. Суменков В.М.	Ветроэнергетическая установка	Автономный источник энергии на зданиях, имеющих достаточную высоту	Ветроэнергетическая установка, содержащая ротор, выполненный в виде вала, размещенного вертикально с возможностью вращения внутри корпуса и снабженного турбинными лопатками радиального типа, установленными вертикально по окружности, при этом корпус ветроэнергетической установки выполнен в виде направляющего аппарата	Повышение эффективности ВТУ и в обеспечение максимального расхода воздуха через установку за счет использования его вертикального и горизонтального потоков	Нестабильность работы установки, связанная с природными условиями, а именно с непостоянством ветра.
15	2103545 Россия Глазунов И.М.	Ветроэнергетическая установка	Повышение до предельно возможного уровня эффективности работы и возможностей использования ветроэнергетических установок, уменьшения затрат на изготовление, монтаж и эксплуатацию	Условием получения максимальной возможной мощности от потока воздуха является одна и та же величина входного и выходного сечений трубы и определенное геометрическое соотношение между диаметрами воздушного и водяного винтов	Используемый ветродвигателем поток воздуха принудительно формируется аэродинамической трубой	Недостатком устройства является необходимость применения воздушного винта ветродвигателя большого диаметра и использование трубы, практически, только как ограждения вращающегося воздушного винта.
16	43014 США Томас Самбрано, Тайлер Макреди.	Ветроэнергетическая установка	Создание ветроэнергетической установки, способной работать с высоким КПД, несложной в изготовлении и надежной в работе.	Ветроэнергетическая установка, которая включает в себя опорный узел, который сконфигурирован для соединения со зданием в непосредственной близости к парапету и узел ротора соединен с поддержкой таким образом, что его ротор ориентирован по отношению к усилению ветра для оптимизации выработки электроэнергии.	Создание ветроэнергетической установки, способной работать с высоким КПД, несложной в изготовлении и надежной в работе.	Низкий КПД

## ДОДАТОК Б

## ДОДАТОК Б

Лістинг файлу ConnectionActivity.java

```
package zeek1910.com.sy_vey;

import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity;

import android.content.Intent;
import android.os.AsyncTask;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.widget.Button;
import android.widget.EditText;
import android.widget.ProgressBar;
import android.widget.TextView;

import java.util.concurrent.TimeUnit;

public class ConnectionActivity extends AppCompatActivity {

    private ProgressBar progressBar = null;
    private Button btn = null;
    private EditText edt = null;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_connection);

        progressBar = findViewById(R.id.progressBar);
        progressBar.setVisibility(View.INVISIBLE);

        edt = findViewById(R.id.editTextNumber);

        btn = findViewById(R.id.button2);
        btn.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
            @Override
            public void onClick(View v) {
                new MyAsyncTask().execute(edt.getText().toString());
            }
        });
    }

    class MyAsyncTask extends AsyncTask<String, Void, Void> {

        @Override
        protected void onProgressUpdate(Void... values) {
            super.onProgressUpdate(values);
        }
    }
}
```

```

@Override
protected void onPreExecute() {
    super.onPreExecute();
    progressBar.setVisibility(View.VISIBLE);
}

@Override
protected Void doInBackground(String... params) {
    try {
        TimeUnit.MILLISECONDS.sleep(2500);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    if(params[0].equals("192.168.0.4")){
        startActivity(new Intent(getApplicationContext(),MainActivity.class));
        finish();
    }else {
        startActivity(new Intent(getApplicationContext(),
ConnectionErrorActivity.class));
    }
    return null;
}

@Override
protected void onPostExecute(Void result) {
    super.onPostExecute(result);
    progressBar.setVisibility(View.INVISIBLE);
}

}
}

```

Лістинг файлу ConnectionErrorActivity.java

```

package zeek1910.com.sy_vey;

import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity;

import android.os.Bundle;
import android.view.View;

public class ConnectionErrorActivity extends AppCompatActivity {

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_connection_error);

        findViewById(R.id.button).setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
            @Override
            public void onClick(View v) {
                finish();
            }
        });
    }
}

```

```

    }
}

```

#### Лістинг файлу GrafFragment.java

```

package zeek1910.com.sy_vey;

import android.graphics.Color;
import android.os.AsyncTask;
import android.os.Bundle;

import androidx.annotation.ColorRes;
import androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout;
import androidx.fragment.app.Fragment;

import android.util.Log;
import android.view.LayoutInflater;
import android.view.View;
import android.view.ViewGroup;
import android.widget.TextView;

import com.jjoe64.graphview.DefaultLabelFormatter;
import com.jjoe64.graphview.GraphView;
import com.jjoe64.graphview.series.DataPoint;
import com.jjoe64.graphview.series.LineGraphSeries;

import java.text.DecimalFormat;
import java.util.ArrayList;
import java.util.concurrent.TimeUnit;

public class GrafFragment extends Fragment {

    private GraphView graph = null;

    private ArrayList<Double> y_value = null;

    TextView tv1 = null;
    TextView tv2 = null;
    TextView tv3 = null;
    TextView tv4 = null;
    TextView tv5 = null;
    TextView tv6 = null;

    public GrafFragment() {
        // Required empty public constructor
    }

    @Override
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);

        tv1 = getActivity().findViewById(R.id.textView4);
        tv2 = getActivity().findViewById(R.id.textView6);
        tv3 = getActivity().findViewById(R.id.textView8);
        tv4 = getActivity().findViewById(R.id.textView10);
        tv5 = getActivity().findViewById(R.id.textView12);
    }
}

```

```

}

@Override
public View onCreateView(LayoutInflater inflater, ViewGroup container,
                        Bundle savedInstanceState) {
    // Inflate the layout for this fragment
    View view = inflater.inflate(R.layout.fragment_graf, container, false);

    y_value = new ArrayList<>();
    y_value.add(0.1);
    y_value.add(0.4);
    y_value.add(0.58);
    y_value.add(0.81);
    y_value.add(0.91);
    y_value.add(0.97);
    y_value.add(1.0);
    y_value.add(1.02);
    y_value.add(1.03);
    y_value.add(1.04);
    y_value.add(1.04);
    y_value.add(1.03);
    y_value.add(1.03);
    y_value.add(1.03);
    y_value.add(1.08);
    y_value.add(1.08);
    y_value.add(1.05);
    y_value.add(1.04);
    y_value.add(1.02);
    y_value.add(1.01);
    y_value.add(1.0);
    y_value.add(1.0);
    y_value.add(1.0);
    y_value.add(1.0);
    y_value.add(1.09);
    y_value.add(1.09);
    y_value.add(1.05);
    y_value.add(1.02);
    y_value.add(1.0);
    y_value.add(0.99);
    y_value.add(0.98);
    y_value.add(0.98);
    y_value.add(0.98);
    y_value.add(0.98);
    y_value.add(0.99);
    y_value.add(0.99);
    y_value.add(0.99);
    y_value.add(0.99);
    y_value.add(0.99);

    graph = view.findViewById(R.id.graph);
    graph.getGridLabelRenderer().setLabelFormatter(new DefaultLabelFormatter() {
        @Override
        public String formatLabel(double value, boolean isValueX) {
            if (isValueX) {
                // show x values
            }
        }
    });
}

```



```

        return super.formatLabel(value, isValueX) + " c";
    } else {
        // show y values
        return super.formatLabel(value, isValueX);
    }
}
});
graph.getGridLabelRenderer().setGridColor(Color.WHITE);
graph.getGridLabelRenderer().setHorizontalLabelsColor(Color.WHITE);
graph.getGridLabelRenderer().setVerticalLabelsColor(Color.WHITE);
graph.getViewport().setYAxisBoundsManual(true);
graph.getViewport().setMinY(0);
graph.getViewport().setMaxY(1.3);
new MyTask().execute();

return view;
}

class MyTask extends AsyncTask<Void, Void, Void> {

    LineGraphSeries<DataPoint> series = new LineGraphSeries<>(new DataPoint[] {
        new DataPoint(0, 0)
    });

    int index = 0;
    int index_y = 0;

    float wind_speed = 0f;
    float angle_speed = 0f;
    float power = 0f;
    float koef = 0f;

    @Override
    protected void onProgressUpdate(Void... values) {
        super.onProgressUpdate(values);
        DecimalFormat df = new DecimalFormat("###.###");
        if(wind_speed>=0.3) {
            DataPoint point = new DataPoint(index, y_value.get(index_y));
            series.appendData(point, true, 100);
            graph.getViewport().setXAxisBoundsManual(true);
            graph.getViewport().setMinX(0);
            graph.getViewport().setMaxX(point.getX() + 5);
            graph.addSeries(series);

            tv2.setText(String.valueOf(df.format(point.getY()))+" град.");

            if(++index_y==40) {
                index_y=39;
            }
            index++;
        }

        tv1.setText(String.valueOf(df.format(wind_speed))+" м/с");
    }
}

```

```

        tv3.setText(String.valueOf(df.format(angle_speed))+" рад/с");
        tv4.setText(String.valueOf(df.format(power))+" Вт");
        tv5.setText(String.valueOf(df.format(koef))+"");
    }

    @Override
    protected void onPreExecute() {
        super.onPreExecute();
        series.setColor(Color.WHITE);
        graph.addSeries(series);
    }

    @Override
    protected Void doInBackground(Void... params) {
        int i = 1;
        int index = 0;

        while (true) {

            if (i <= 20) {
                wind_speed += 0.01 * i;
            } else if (i <= 40) {
                wind_speed += 0.2;
            } else if (i <= 60) {
                wind_speed += 0.5;
            } else if (i <= 80) {
                wind_speed -= 0.3;
            } else {
                break;
            }

            angle_speed = wind_speed*15.7f;
            power = wind_speed*75;
            koef = wind_speed*0.05625f;

            publishProgress();

            i++;

            try {
                TimeUnit.MILLISECONDS.sleep(500);
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        return null;
    }

    @Override
    protected void onPostExecute(Void result) {
        super.onPostExecute(result);
    }
}

```

```

    }
}

```

#### Лістинг файлу MainActivity.java

```

package zeek1910.com.sy_vey;

import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity;
import androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout;
import androidx.viewpager.widget.ViewPager;
import androidx.viewpager2.widget.ViewPager2;

import android.content.Intent;
import android.os.AsyncTask;
import android.os.Bundle;
import android.util.Log;
import android.view.View;
import android.widget.ImageView;
import android.widget.SeekBar;
import android.widget.TextView;

import com.google.android.material.tabs.TabItem;
import com.google.android.material.tabs.TabLayout;

import java.util.concurrent.TimeUnit;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {

    private TabLayout tabLayout = null;
    private ViewPager viewPager = null;

    private TextView textView1 = null;
    private TextView textView2 = null;
    private TextView textView3 = null;
    private TextView textView4 = null;
    private TextView textView5 = null;
    private TextView textView6 = null;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);

        textView1 = findViewById(R.id.textView4);
        textView2 = findViewById(R.id.textView6);
        textView3 = findViewById(R.id.textView8);
        textView4 = findViewById(R.id.textView10);
        textView5 = findViewById(R.id.textView12);

        viewPager = findViewById(R.id.viewPager);
        setupViewPager(viewPager);

```

```

        tabLayout = findViewById(R.id.tabLayout);
        tabLayout.setupWithViewPager(viewPager);

    }

    private void setupViewPager(ViewPager viewPager) {
        ViewPagerAdapter adapter = new ViewPagerAdapter(getSupportFragmentManager());
        adapter.addFragment(new GrafFragment(), "Графік");
        adapter.addFragment(new RotorFragment(), "Ротор");
        viewPager.setAdapter(adapter);
    }
}

```

}

Лістинг файлу RotorFragment.java

```

package zeek1910.com.sy_vey;

import android.os.AsyncTask;
import android.os.Bundle;

import androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout;
import androidx.fragment.app.Fragment;

import android.view.LayoutInflater;
import android.view.View;
import android.view.ViewGroup;
import android.widget.ImageView;
import android.widget.TextView;

import java.util.concurrent.TimeUnit;

public class RotorFragment extends Fragment {

    private ConstraintLayout rotor = null;
    private ImageView imageView1 = null;
    private ImageView imageView2 = null;
    private ImageView imageView3 = null;

    public RotorFragment() {
        // Required empty public constructor
    }

    @Override
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
    }

    @Override

```

```

public View onCreateView(LayoutInflater inflater, ViewGroup container,
                        Bundle savedInstanceState) {
    // Inflate the layout for this fragment
    View view = inflater.inflate(R.layout.fragment_rotor, container, false);
    rotor = view.findViewById(R.id.rotor);
    imageView1 = view.findViewById(R.id.imageView1);
    imageView2 = view.findViewById(R.id.imageView2);
    imageView3 = view.findViewById(R.id.imageView3);

    new MyAsyncTask().execute();

    return view;
}

```

```

class MyAsyncTask extends AsyncTask<Void, Void, Void> {

    private boolean status = false;
    int angle = 1;
    int count = 0;

    @Override
    protected void onProgressUpdate(Void... values) {
        super.onProgressUpdate(values);

        rotor.setRotation(rotor.getRotation()-1);
        TextView tv = getActivity().findViewById(R.id.textView6);
        if(count == 5){
            imageView1.setRotation(imageView1.getRotation()+angle);
            imageView2.setRotation(imageView2.getRotation()+angle);
            imageView3.setRotation(imageView3.getRotation()+angle);
            count++;
        }
        count++;
    }

    @Override
    protected void onPreExecute() {
        super.onPreExecute();
    }

    @Override
    protected Void doInBackground(Void... params) {
        int i = 0;
        while (true){
            if (i<=20){
                angle = 1;
            }else if (i > 20 && i <=40){
                angle = -1;
            }else{
                i = 0;
            }
            try {
                TimeUnit.NANOSECONDS.sleep(10);
            } catch (InterruptedException e) {

```

```

        e.printStackTrace();
    }
    publishProgress();
    i++;
}

}

@Override
protected void onPostExecute(Void result) {
    super.onPostExecute(result);
}

}
}

```

Лістинг файлу ViewPagerAdapter.java

```

package zeek1910.com.sy_vey;

import androidx.fragment.app.Fragment;
import androidx.fragment.app.FragmentManager;
import androidx.fragment.app.FragmentStatePagerAdapter;

import java.util.ArrayList;
import java.util.List;

public class ViewPagerAdapter extends FragmentStatePagerAdapter {

    private final List<Fragment> mFragmentList = new ArrayList<>();
    private final List<String> mFragmentTitleList = new ArrayList<>();

    public ViewPagerAdapter(FragmentManager fm) {
        super(fm);
    }

    @Override
    public Fragment getItem(int position) {
        return mFragmentList.get(position);
    }

    @Override
    public int getCount() {
        return mFragmentList.size();
    }

    @Override
    public CharSequence getPageTitle(int position) {
        return mFragmentTitleList.get(position);
    }

    public void addFragment(Fragment fragment, String title) {
        mFragmentList.add(fragment);
        mFragmentTitleList.add(title);
    }
}

```

}

## Лістинг файлу розмітки activity\_connection.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout
xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
android:background="@color/main_bg"
tools:context=".ConnectionActivity">

    <TextView
        android:id="@+id/textView13"
        android:layout_width="0dp"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_marginStart="24dp"
        android:layout_marginTop="32dp"
        android:layout_marginEnd="24dp"
        android:text="P' PIPµPrC-C, CЪ ip P° PrCЪPµcCí C, P° PSP°C, PèCíPSC-C, CЪ
PíCЪPèC" PrPSP°C, PèCíCí"
        android:textAlignment="center"
        android:textColor="@color/white"
        android:textSize="20sp"
        android:textStyle="bold"
        app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
        app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
        app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/imageView4" />

    <ImageView
        android:id="@+id/imageView4"
        android:layout_width="100dp"
        android:layout_height="100dp"
        android:layout_marginStart="24dp"
        android:layout_marginTop="120dp"
        android:layout_marginEnd="24dp"
        app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
        app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
        app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
        app:srcCompat="@drawable/ic_baseline_signal_wifi_4_bar_24" />

    <LinearLayout
        android:id="@+id/linearLayout6"
        android:layout_width="0dp"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_marginStart="24dp"
        android:layout_marginTop="24dp"
        android:layout_marginEnd="24dp"
        android:orientation="horizontal"
        app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
        app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
        app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/textView13">

        <TextView
            android:id="@+id/textView14"

```

```

        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_gravity="center_vertical"
        android:text="IP P°PrCᄁPᄁCÍP°:"
        android:textColor="@color/white"
        android:textSize="18sp" />

<EditText
    android:id="@+id/editTextNumber"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="center"
    android:layout_weight="1"
    android:backgroundTint="@color/white"
    android:ems="10"
    android:inputType="text"
    android:textAlignment="center"
    android:textColor="@color/white"
    android:textColorHint="@color/white" />
</LinearLayout>

<Button
    android:id="@+id/button2"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="32dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:background="@drawable/button_bg"
    android:text="PᄁCᄁPᄁC°PrPSP°C, PᄁCÍCᄁ"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout6" />

<ProgressBar
    android:id="@+id/progressBar"
    style="?android:attr/progressBarStyle"
    android:layout_width="100dp"
    android:layout_height="100dp"
    app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/button2"
    tools:visibility="invisible" />
</androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout>

```

#### Лістинг файлу розмітки activity\_connection\_error.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout
    xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:background="@color/main_bg"
    tools:context=".ConnectionErrorActivity">

```





```
</androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout>
```

#### Лістинг файлу розмітки activity\_main.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout
xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
android:id="@+id/main"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
android:background="@color/main_bg"
tools:context=".MainActivity">

<TextView
    android:id="@+id/textViewMain"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="24dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:text="P̄P̄°C̄P̄°P̄P̄C, C̄P̄P̄ P' P•PJ"
    android:textAlignment="center"
    android:textColor="@color/white"
    android:textSize="22sp"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent" />

<com.google.android.material.tabs.TabLayout
    android:id="@+id/tabLayout"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="32dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:scrollbarThumbHorizontal="@color/white"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout5"
    app:tabBackground="@color/main_bg"
    app:tabIconTint="@color/white"

    app:tabIndicatorColor="@android:color/white"
    app:tabTextColor="@color/white">

    <com.google.android.material.tabs.TabItem
        android:id="@+id/tabItem1"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="P̄ P̄sC, P̄sC̄" />

    <com.google.android.material.tabs.TabItem
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="P̄°C̄P̄°C, C-Pe" />
```

```

</com.google.android.material.tabs.TabLayout>

<androidx.viewpager.widget.ViewPager
    android:id="@+id/viewPager"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="0dp"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:layout_marginBottom="24dp"
    app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/tabLayout" />

<LinearLayout
    android:id="@+id/linearLayout"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="70dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:orientation="horizontal"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent">

    <TextView
        android:id="@+id/textView3"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_weight="1"
        android:text="ПЕПИПЕПрРeC-СÍC, СЪ PIC-C, СЪCÍ : "
        android:textColor="@color/white" />

    <TextView
        android:id="@+id/textView4"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_weight="1"
        android:text="0 Pj/СÍ"
        android:textAlignment="center"
        android:textColor="@color/white" />
</LinearLayout>

<LinearLayout
    android:id="@+id/linearLayout2"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="16dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:orientation="horizontal"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout">

```

```

<TextView
    android:id="@+id/textView5"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_weight="1"
    android:text="P̄C̄C, PIC-PrC...P̄P»PuPSPSC̄ P»PsPiP°C,C- : "
    android:textColor="@color/white" />

<TextView
    android:id="@+id/textView6"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_weight="1"
    android:text="0 PiC̄P°Pr."
    android:textAlignment="center"
    android:textColor="@color/white" />
</LinearLayout>

<LinearLayout
    android:id="@+id/linearLayout3"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="16dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:orientation="horizontal"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout2">

<TextView
    android:id="@+id/textView7"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_weight="1"
    android:text="P̄C̄C,PsPiP° C̄PIP̄PrPeC-C̄C,C̄ PsP±PuC̄C,P°PSPSC̄
C̄PsC,PsC̄P° : "
    android:textColor="@color/white" />

<TextView
    android:id="@+id/textView8"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="center_vertical"
    android:layout_weight="1"
    android:text="0 C̄P°Pr/C̄"
    android:textAlignment="center"
    android:textColor="@color/white" />
</LinearLayout>

<LinearLayout
    android:id="@+id/linearLayout4"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="16dp"

```

```

android:layout_marginEnd="24dp"
android:orientation="horizontal"
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout3">

<TextView
    android:id="@+id/textView9"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_weight="1"
    android:text="PµPσC, CµP¶PσC-CÍC, Cß : "
    android:textColor="@color/white" />

<TextView
    android:id="@+id/textView10"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="center_vertical"
    android:layout_weight="1"
    android:text=" 0 P' C, "
    android:textAlignment="center"
    android:textColor="@color/white" />
</LinearLayout>

<LinearLayout
    android:id="@+id/linearLayout5"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="16dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:orientation="horizontal"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout4">

<TextView
    android:id="@+id/textView11"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_weight="1"
    android:text="PµPσCÍC,,C-C†C-C" PσC, PIPëPePsCßPëCÍC, P°PσPσC¶ PµPσPµCßPiC-C-
PIC-CßC, Cí : "
    android:textColor="@color/white" />

<TextView
    android:id="@+id/textView12"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="center_vertical"
    android:layout_weight="1"
    android:text=" 0 "
    android:textAlignment="center"
    android:textColor="@color/white" />
</LinearLayout>

```

```
</androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout>
```

#### Лістинг файлу розмітки fragment\_graf.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<FrameLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
    tools:context=".GrafFragment">

    <com.jjoe64.graphview.GraphView
        android:id="@+id/graph"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="match_parent"
        app:seriesColor="#FFFFFF"
        app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
        app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
        app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/linearLayout2" />
</FrameLayout>
```

#### Лістинг файлу розмітки fragment\_rotor.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout android:id="@+id/rotor"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="0dp"
    android:layout_marginStart="24dp"
    android:layout_marginTop="300dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:layout_marginBottom="24dp"
    app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
    xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto">

    <ImageView
        android:id="@+id/imageView"
        android:layout_width="300dp"
        android:layout_height="300dp"
        app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
        app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
        app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
        app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
        app:srcCompat="@drawable/rotor" />

    <ImageView
        android:id="@+id/imageView1"
        android:layout_width="130dp"
        android:layout_height="130dp"
        android:layout_marginEnd="16dp"
        android:layout_marginBottom="200dp"
        android:rotation="-180"
        app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
```

```
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
    app:srcCompat="@drawable/lopast" />

<ImageView
    android:id="@+id/imageView2"
    android:layout_width="130dp"
    android:layout_height="130dp"
    android:layout_marginTop="90dp"
    android:layout_marginEnd="160dp"
    android:rotation="60"
    app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
    app:srcCompat="@drawable/lopast" />

<ImageView
    android:id="@+id/imageView3"
    android:layout_width="130dp"
    android:layout_height="130dp"
    android:layout_marginStart="160dp"
    android:layout_marginTop="90dp"
    android:rotation="-60"
    app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
    app:srcCompat="@drawable/lopast" />

</androidx.constraintlayout.widget.ConstraintLayout>
```