

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ
ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕЕМ-61
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

_____ Грицик Н. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Наконечний М. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Вакуленко О. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Габрусєв Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) _____
(прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Грицику Назару Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Побудова імітаційної моделі вітроелектричної установки

Керівник роботи Наконечний Мирослав Степанович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «1» вересня 2020 року № 4/7-619

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Електротехнічні та механічні характеристики компонентів вітроустановки

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Аналітичний розділ

2 Розрахунково-дослідницький розділ

3 Проектно-конструкторський розділ

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Побудова імітаційної моделі вітроелектричної установки

2. Модель вітрового колеса

3. До розрахунку моделі вітроустановки

4. Модель вітроелектричної установки

5. Результати моделювання при змінній швидкості вітру

6. Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В. М. ст. викладач		
Нормоконтроль	Вакуленко. О. О. ст. викладач		

7. Дата видачі завдання 2 вересня 2020 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.08.2020	
2	Аналітичний розділ	5.09.2020	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	30.10.2020	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.11.2020	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.2020	
6	Оформлення пояснювальної записки	1.12.2020	
7	Оформлення графічного матеріалу	8.12.2020	

Студент

(підпис)Грицик Н. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)Наконечний М. С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Грицик Н. В. Побудова імітаційної моделі вітроелектричної установки 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2020

Стор. - 65; рис. - 25; табл. - 2; плакатів - 6; джерел – 30.

У даній кваліфікаційній роботі виконано розробку імітаційної моделі вітроелектричної установки і в середовищі MATLAB\Simulink, для відтворення реальних фізичних процесів з допустимим ступенем достовірності.

Розроблено блок схеми для моделювання основних вузлів ВЕУ; вітрового колеса, редуктора, асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором. Проведено імітаційне моделювання при постійній та змінній швидкості вітру. Визначено основні енергетичні параметри моделі.

Ключові слова: асинхронний генератор, вітроелектрична установка, математична модель, вітрове колесо, коефіцієнт використання енергії вітру, Matlab, Simulink.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Аналіз енергетичного потенціалу вітру в Україні та в Тернопільській області.....	10
1.2 Типи вітрових електростанцій	11
1.3 Класифікація вітроустановок.....	12
1.4 Конструктивні елементи вітроелектричних установок з горизонтальною віссю обертання.....	14
1.5 Особливості експлуатації вітроенергетичних установок.....	17
1.6 Висновки до розділу.	19
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для розробки імітаційної моделі вітроелектричної установки	20
2.2 Математичний опис моделі вітрового колеса	22
2.3 Вибір та розрахунок генератора.	27
2.4 Математична модель асинхронної машини в середовищі Simulink.	31
2.5 Визначення параметрів асинхронного генератора за даними каталогу. ...	34
2.6 Самозбудження асинхронного генератора	37
2.7 Вибір редуктора та розробка його моделі	40
2.8 Висновки до розділу	43
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1 Представлення математичної моделі вітроустановки в середовищі MATLAB\Simulink.	44
3.2 Дослідження роботи вітроустановки при постійних вхідних параметрах.....	47
3.3 Моделювання роботи вітроустановки при змінних вхідних параметрах .	50
3.4 Методи оптимального управління ВЕУ за критерієм енергетичної ефективності.	52
3.5 Висновки до розділу	55

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
4.1 Загальні правила безпеки при монтажі вітроенергетичної установки	56
4.2 Організація цивільного захисту на об'єкті господарської діяльності.	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63

ВСТУП

В даний час найбільш ефективними і, найбільш поширеними в промисловій вітроенергетиці є трилопатеві горизонтально-осьові вітряні турбіни. Ефективність вітроенергетичної установки визначається здатністю отримати максимально можливу частину енергії вітру і залежить як від її конструктивних особливостей, так і від системи керування.

Моделювання роботи вітрової електричної установки (ВЕУ) - важливий науково-практичний крок для аналізу і синтезу ефективності роботи промислових вітрових електричних станцій (ВЕС). Сучасна ВЕУ є складною технічною та фізичною системою, що складається з механічних, електричних і гідравлічних елементів. Джерелом енергії для ВЕУ служить вітер, параметри якого змінюються для кожного моменту часу. Перехід від реальної конструкції ВЕУ до відповідної математичної моделі необхідний для оптимізації її експлуатаційних параметрів

Тому є **актуальною** розробка моделей ВЕУ для відтворення реальних фізичних процесів з допустимою ступеню достовірності, що дозволить глибше зрозуміти суть процесів які відбуваються, отримати об'єктивне уявлення про кількісні та якісні закономірності для подальшого їх прогнозування в умовах зміни різних параметрів роботи. Моделювання роботи вітроустановки дозволяє виконати кількісну оцінку допущень, що суттєво спростить роботу при конструюванні ВЕУ.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка математичної моделі вітроустановки та розрахунок її енергетичних характеристик.

Завдання дослідження:

1. Розробити математичну модель вітроустановки, з асинхронним генератором для визначення її параметрів режиму роботи.

2. За допомогою чисельних експериментів над розробленою моделлю вітроустановки дослідити її роботу при змінній швидкості вітру.
3. Запропонувати рекомендації що до підвищення енергоефективності вітроелектричної установки.

Об'єкт дослідження – процес генерації та перетворення електричної енергії у вітроелектричних установках.

Предмет дослідження – вітроелектрична установка середньої потужності.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено математичну модель вітроустановки середньої потужності, з асинхронним генератором для визначення її параметрів режиму роботи.
2. Набув подальший розвиток науковий підхід визначення режимів роботи вітроелектричної установки за зміни частоти обертання ротора на базі імітаційного моделювання

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблена математична модель дає можливість отримати якісні показники вітроустановки на етапі її проектування.
2. Запропоновано ряд методів для підвищення енергоефективності вітроустановки.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020 (Тернопіль 2020 р.)

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Аналіз стану вітроенергетики в Україні». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листопада. 2020.) // М-во освіти і науки України,

Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – , Т 2, С. 104.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (30 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: 65 сторінки, 3 таблиць, 22 рисунки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз енергетичного потенціалу вітру в Україні та в Тернопільській області

За останні 10 років потужність вітрогенераторів у світі зросла в середньому на 26%, що на порядок перевищує темпи зростання потужності всіх інших типів електростанцій. Але енергія вітру на даний час, забезпечує лише 2,5% від загального споживання електроенергії у світі [1-3]. Експерти стверджують, що кожні п'ять років цей показник буде подвоюватися і до 2022 року вітром вироблятиметься 18-20% енергії у світі. Потужність вітроенергетики зростає внаслідок високих цін на традиційні джерела енергії (вугілля, нафту, газ). Потужність вітру пов'язана з такими важливими соціально-економічними факторами, як екологічна безпека, зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище, розвиток нових технологій, створення робочих місць тощо [3-4].

Згідно результатів дослідження[5] енергетичний потенціал вітру в Україні становить 16-24 ГВт (рис.1.1).

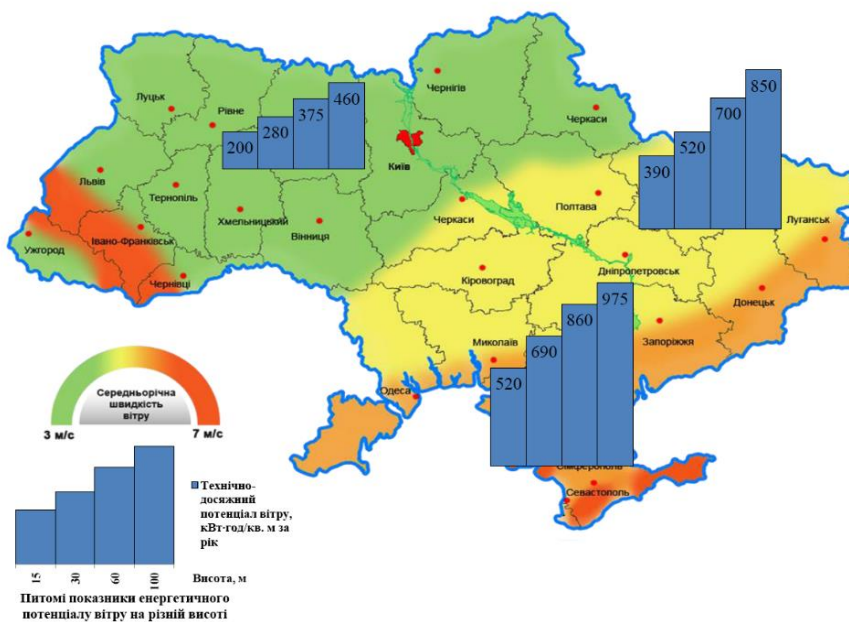


Рисунок 1.1 – Потенціал вітрової енергетики України

Аналіз карти потенціалу енергії вітру показує, що велика частина території України володіє високим вітроенергетичним потенціалом, який розподілений по території нерівномірно. Найбільша швидкість вітру характерна для Криму та Карпат (7 м/с). На більшій частині території, швидкість вітру помірна та лежить в межах 5-4 м/с.

В роботі [6] наведено результати дослідження енергетичного потенціалу вітру в Тернопільській області. Такі результати дають можливість розрахувати час за досліджуваний період, коли спостерігали швидкість вітру з оптимального діапазону для роботи тої чи іншої конструкції ВЕУ для будь-якої вузлової точки області моделювання, або економічну ефективність встановлення конкретної ВЕУ у тій чи іншій точці області. На рис.1.2 наведено результати усередненого значення енергетичного потенціалу Тернопільської області.

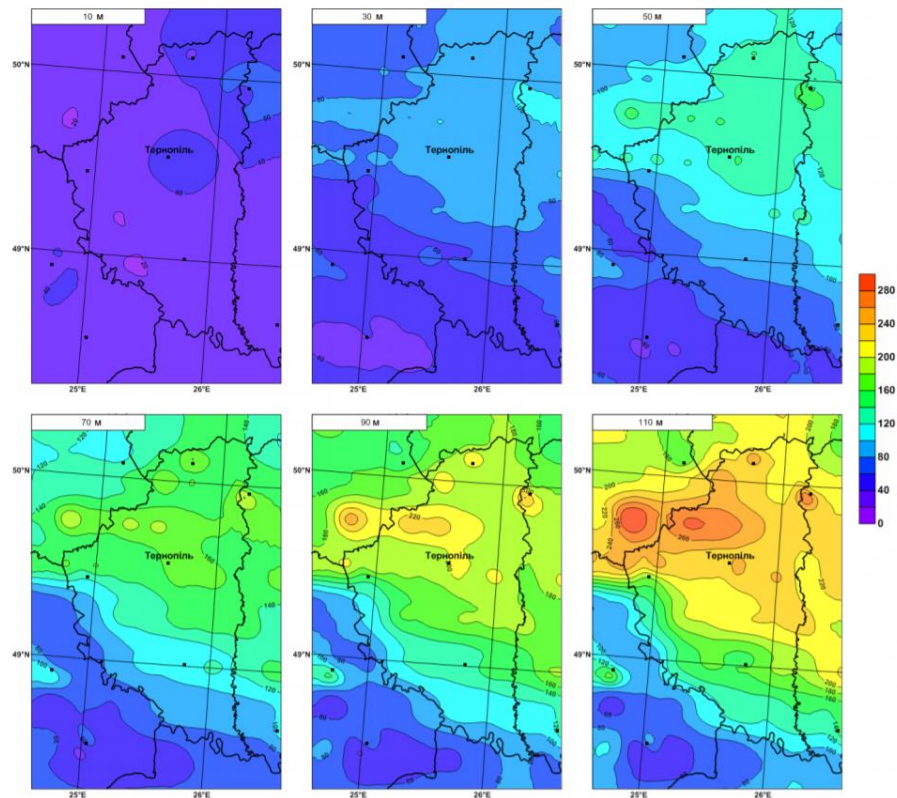


Рисунок 1.2 – Вітроенергетичний потенціал Тернопільської області для різних висот

«На основі розрахунків виділено райони, перспективні для встановлення ВЕУ як у приватних господарствах, так і для промислового виробництва. Найбільші запаси вітрової енергії (особливо на висотах понад 50 м) мають Кременецькі гори та Гологори (північно-західніше м. Тернопіль)»[6].

1.2 Типи вітрових електростанцій

I. Наземні вітроелектростанції. Найпоширеніший в даний час тип вітроелектростанцій (ВЕС). ВЕС об'єднує окремі вітроелектричні установки в єдиний енергетичний комплекс, який здатний забезпечити електроенергією невеликі автономні об'єкти або діє спільно з енергосистемою [7, 8].

II. Морські вітроелектростанції. У більшості європейських країн, що мають вихід до моря, було розроблено законодавство, яке дозволяє будівництво вітрових парків морського базування [9]. До морських ВЕС відносяться: прибережні ВЕС, офшорні ВЕС, плаваючі ВЕС.

Прибережні ВЕС будують на невеликій відстані від берега моря або океану. Виробники вітротурбін використовують конструкції стандартних наземних турбін, модернізують їх вузли і деталі, а також електричні системи управління, при застосуванні методів зниження корозії в морських умовах, і встановлюють їх на бетонні підстави (сталеві монолітні палі) для якірного кріплення до морського дна. Електроенергія від ВЕС передається на землю з підводних кабелів [10].

Офшорні ВЕС будують в морі: 10-12 км від берега. Їх будують на ділянках моря з невеликою глибиною - від 5 до 12 м. Вежі вітрогенераторів встановлюють на фундаменти з паль, забитих на глибину до 30 м. Електроенергія, так само як і в попередньому випадку, передається по підводним кабелям [11-15].

Плаваючі ВЕС встановлюються на глибині до 200 м. Плаваюча конструкція повинна забезпечити достатню за величиною плавучість для підтримки ваги

вітротурбін і обмеження всіх видів хитання, викликаних силою вітру і хвиль. Тому глибоководна технологія вимагає більш широкої програми розробки плавучих платформ [16-19].

1.3 Класифікація вітроустановок

Сьогодні спеціалісти в області вітроенергетики в основному досліджують енергетичні можливості двох типів вітроелектричних установок (ВЕУ): горизонтально-осьових вітроелектричних установок і вертикально-осьових вітроелектричних установок з точки зору їх ефективного застосування в сучасних технологіях рис.1.3.

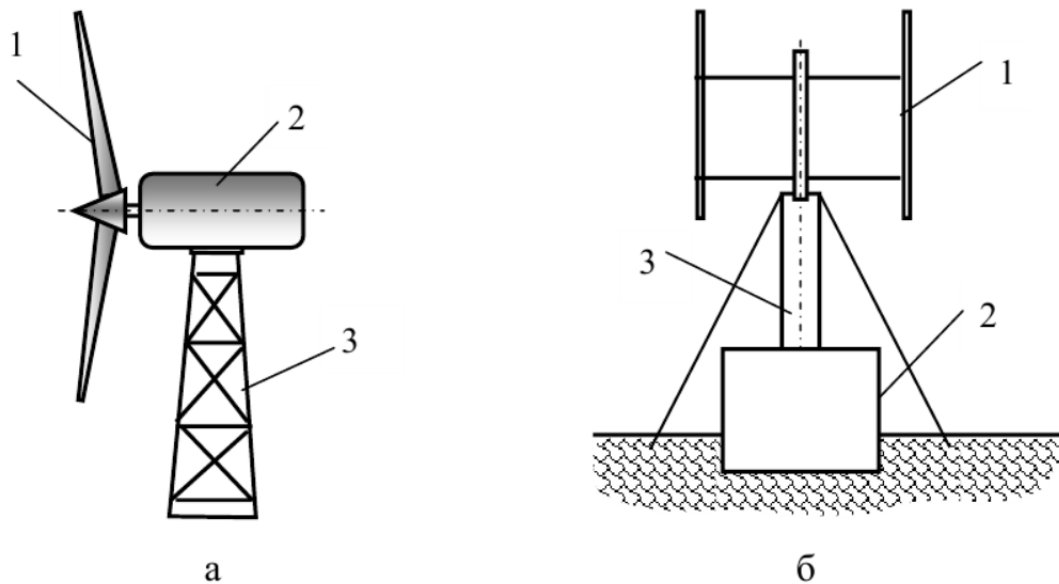


Рисунок 1.3 – Вітроустановки: а – з горизонтально-осьовим ротором, б – з вертикально-осьовим ротором

Найбільшу популярність отримали горизонтальні вітроустановки, вісь обертання турбіни яких розташована паралельно землі. Цей тип ВЕУ отримав

назву «вітряка», лопаті якої обертаються проти вітру. Конструкція горизонтальних ВЕУ передбачає автоматичний поворот головної частини (в пошуках вітру), а також поворот лопатей, для використання вітру невеликої сили.

Вертикальні ВЕУ менш ефективні. Лопаті такої установки обертаються паралельно поверхні землі при будь-якому напрямку і силі вітру. Так як при будь-якому напрямку вітру половина лопатей вітроколеса завжди обертається проти нього, вітрове колесо втрачає половину своєї потужності, що значно знижує енергоефективність установки. Однак ВЕУ такого типу простіші в установці і обслуговуванні, оскільки її редуктор і генератор розміщуються на землі. Недоліками вертикального генератора є: дорогий монтаж, значні експлуатаційні витрати, а також те, що для установки такої ВЕУ потрібно багато місця.

У сучасному світі вітроустановки застосовуються для електропостачання безлічі об'єктів з різними вимогами: від автономних мікровітроустановок потужністю від 0,04 до 0,25 кВт для зарядки мобільних телефонів до великих комерційних мережевих вітроустановок потужністю 7,5 МВт, що входять до складу промислових вітроелектростанцій, які працюють в централізованих енергосистемах. Вибір типу і конфігурації вітроустановки зазвичай залежить не від її окремих техніко-економічних характеристик або конструктивних рішень, що визначається сукупністю її властивостей, які дозволяють забезпечити вимоги об'єкта до його електропостачання в заданих кліматичних умовах експлуатації. При цьому критерії вибору вітроустановки для різних об'єктів можуть бути прямо протилежними.

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) класифікують за такими ознаками:

- за видом виробленої енергії;
- за потужністю;
- за областю застосування;
- за призначенням;

- за способами керування;
- за структурою системи генерування енергії [15].

В залежності від виду виробленої енергії їх можна поділити на: механічні і електричні. Механічні ВЕУ діляться на вітронасосні і вітросилові. Електричні ВЕУ, в свою чергу, підрозділяють на ВЕУ постійного і змінного струму. Електричні ВЕУ постійного струму - це вітрозарядні, установки гарантованого і негарантованого живлення. Електричні ВЕУ змінного струму поділяються на автономні, гібридні і мережеві.

ВЕУ в залежності від потужності поділяють на чотири групи:

- а) великої потужності - понад 1 МВт;
- б) середньої потужності - від 100 кВт до 1 МВт;
- в) малої потужності - від 5 до 99 кВт;
- г) дуже малої потужності - менше 5 кВт.

1.4 Конструкція вітроустановок з горизонтальною віссю обертання

Основною відмінністю вітроустановок з горизонтальною та вертикальною віссю обертання є розташування осі обертання до ротора. Вісь обертання ротора горизонтальних ВЕУ розташована горизонтально і збігається з напрямком вітрового потоку. Горизонтально-осьової ротор перетворює частину енергії поступального руху вітрового потоку в енергію обертання і передає крутний момент на мультиплікатор, що підвищує швидкість обертання валу ротора до швидкості електричного генератора, який і виробляє електроенергію рис.1.4.

Управління ВК передбачає процес орієнтації осі ротора за напрямком вітру. Розрізняють декілька типів системи орієнтації:

1. Флюгер (хвіст) - відрізняється великою точністю, простотою конструкції, але має підвищену швидкість повертання головки, збільшує її вагу, ускладнює урівноваження.

2. Віндрози - невеликі вітроколеса, розташовані перпендикулярно до площини обертання основного вітроколеса. Принцип роботи полягає в тому, що при дії вітру, спрямованого під кутом до осі ВК, віндрози починають обертатися. Внаслідок чого вони повертають ВК перпендикулярно вітру

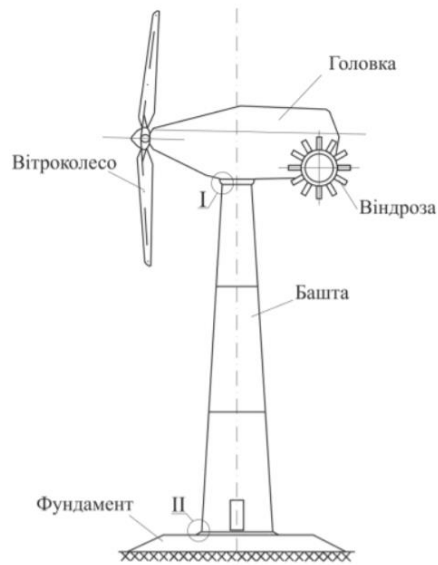


Рисунок 1.4 – Будова вітроустановки з горизонтальною віссю обертання

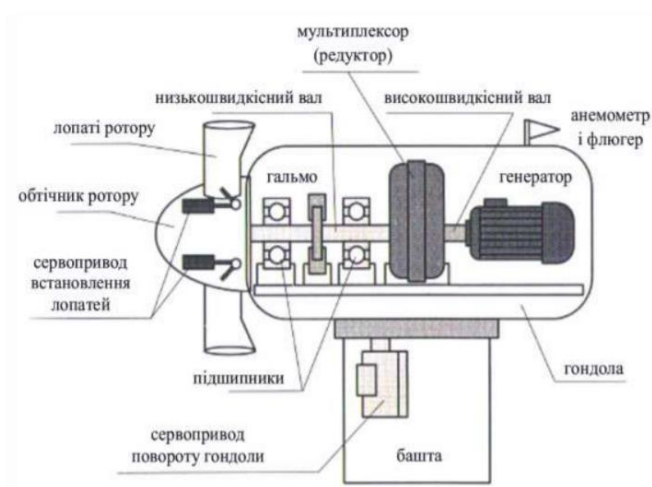


Рисунок 1.5 – Основні елементи ВЕУ

Ротор, мультиплікатор, генератор і частина інших систем горизонтально-осьових вітроустановок складають загальний вузол – гондолу (рис.1.5), яка розташована на вежі вітроустановки. При зміні напрямку вітру гондола повертається, постійно забезпечуючи паралельність осі обертання ротора і швидкості вітрового потоку. Цей тип вітроустановок в даний час переважає на світовому вітроенергетичному ринку.

Для найбільш ефективної роботи ВЕУ її лопаті повинні максимально взаємодіяти з вітровим потоком, що проходить через площу обертання ВК. ВЕУ з великою кількістю лопатей менш ефективні, ніж вітроустановки з двома або трьома лопатями, так як лопаті створюють перешкоди один одному. Найбільшого поширення набула конструкція вітрового колеса із трьома лопатями і горизонтальною віссю обертання.

Лопаті є найбільш навантаженим і небезпечним елементом ВЕУ. Зафіксовані випадки їх відриву і віднесення на відстань кількох сотень метрів. Це обумовлено раптовими поривами вітру і передчасним зносом. Вони відчувають вітрові навантаження, силу тяжіння, інерційні навантаження. Для їх виготовлення застосовуються різні матеріали (склопластик, сталь, алюміній). Вибір залежить від багатьох факторів, таких як вага, жорсткість, ціна. Найчастіше використовують склопластик.

Для виготовлення гондоли використовують різні матеріали. Раніше застосовувалася сталева конструкція. У більш сучасних ВЕУ гондоли виготовляються з скловолокнистого композиційного армованого матеріалу. Такий вибір матеріалу обумовлений хорошою звукоізоляцією і захистом від перепаду температур. Витрати на виготовлення вежі становлять приблизно 20% вартості всієї ВЕУ. При збільшенні довжини лопатей зростає висота вежі і, відповідно, вихідна потужність ВЕУ [20]. Чим вище вежа, тим більшим навантаженням вона

піддається. Міцність вежі залежить від матеріалу виготовлення, для її виробництва застосовують сталь або бетон.

1.5 Особливості експлуатації вітроенергетичних установок

Вітроенергетичні установки оптимізують таким чином, щоб вони виробляли найбільшу кількість енергії при найбільш ймовірних швидкостях вітру. А конструювати ВЕУ для більш високих швидкостей вітру було б економічно неефективно, оскільки великі швидкості вітру трапляються досить рідко. Але, тим не менш, існує необхідність в регулюванні всіх ВЕУ при швидких вітрах. В іншому випадку, може статися руйнування ротора установки або перевантаження силових передач [19]. Все це призведе до практично повного руйнування вітроенергетичної установки, а також виникнення небезпеки для навколишніх об'єктів і можливим людським травм. Такі аварійні фактори можна було б уникнути шляхом підвищення міцності конструкції рухомих елементів вітроенергетичної установки, але тоді збільшаться і масогабаритні характеристики, що в свою чергу призведе до зниження ККД (за рахунок громіздкості конструкції) і збільшення вартості виробу [28].

Крім того, під час роботи ВЕУ в генераторі виникають втрати енергії, в результаті чого відбувається виділення тепла. Хоча ККД сучасних генераторів дуже високий, абсолютні втрати досить великі, що призводить до значного підвищення температури активної сталі, міді та ізоляції [20]. Підвищення температури конструктивних елементів, в свою чергу, веде до їх поступового руйнування і зменшення терміну служби генератора, в крайньому випадку - це може призвести до загоряння деяких елементів генератора [15]. До того ж, магнітні елементи генератора починають втрачати свої магнітні властивості при високій температурі (понад 150 °С). Зазвичай в промисловості і машинобудуванні для

запобігання виникненню даного негативного фактору застосовують різні системи охолодження [20]. Але оскільки установка охолоджуючої системи на ВЕУ економічно і практично недоцільна, то буде більш раціонально, якщо системи регулювання частоти обертання вітроколеса будуть адаптуватися під температуру генератора і запобігати його перегріву.

Практика експлуатації вітроенергетичних установок показала, що при певній частоті обертання можуть виникати резонансні коливання щогли і ротора. При цьому резонансна частота обертання може бути значно менша граничної частоти обертання. Наприклад, для вертикально-осьової установки потужністю 3 кВт «ВЕУ-3» резонансна частота настає при обертанні на 67 об / хв і 120 об / хв [14]. Хоча гранична швидкість обертання становить 180 ... 200 об / хв. Вітровий потік за своєю природою має хвилеподібну характеристику, отже, вітроенергетична установка буде то розганятися, то сповільнюватися (амплітудні стрибки розгону і гальмування будуть більш згладженими, ніж у вітрового потоку, за рахунок інерції конструкції). В результаті постійного розгону і гальмування вітроенергетична установка час від часу проходить через резонансну частоту обертання. Якщо процес розгону або гальмування ротора відбувається відносно швидко, то тривалість перебування в резонансному стані буде нетривалим. Однак якщо з яких-небудь причин зміна частоти обертання ротора відбувається з малою швидкістю, то час перебування установки в стані резонансу збільшується.

Тривалі навантаження резонансних вібрацій призведуть до руйнування конструкції. Як відомо, вібраційний ефект призводить до зниження довговічності агрегату, відбувається руйнування підшипників, розтріскування фундаменту, виникає радіальне биття - ці негативні впливи призводять до руйнування ВЕУ і створюють небезпеку при її експлуатації [16].

Таким чином, для безпечної і стабільної експлуатації вітроенергетичних установок необхідно оснащувати їх системами управління та аварійного

гальмування для запобігання виникненню негативних факторів, перерахованих вище.

1.6 Висновки до розділу

В даному розділі проведено аналіз вітроенергетичного потенціалу України, та Тернопільської області. Показано, що Україна володіє високим вітроенергетичним потенціалом, а використання вітру є перспективним напрямком в електроенергетиці. Виходячи з різноманіття типів вітроустановок, важливим є розробка імітаційної моделі вітроустановки, що дало б змогу дослідити її енергетичні характеристики.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для розробки імітаційної моделі вітроелектричної установки

Моделювання роботи вітрової електричної установки - важливий науково-практичний крок для аналізу і синтезу ефективної роботи промислових вітрових електричних станцій. Сучасна ВЕУ є складною технічною та фізичною системою, що складається з механічних, електричних і гідравлічних елементів. Джерелом енергії для ВЕУ служить вітер, параметри якого змінюються для кожного моменту часу. Перехід від реальної конструкції ВЕУ до відповідної математичної моделі необхідний для оптимізації її експлуатаційних параметрів. Основне завдання моделі - відтворення реальних фізичних процесів ВЕУ з допустимим ступенем достовірності. При цьому вдається глибше зрозуміти суть процесів, що відбуваються, отримати об'єктивне уявлення про кількісні та якісні закономірності для подальшого їх прогнозування в умовах зміни різних параметрів роботи ВЕУ.

Середовище MATLAB\Simulink надає різні можливості, починаючи від структурного (математичного) представлення системи і закінчуючи макетуванням системи в реальному часі.

В результаті застосування елементів Simulink для моделювання пристрою отримуємо імітаційну модель. Під імітаційною моделлю зазвичай розуміють формальний опис логіки функціонування досліджуваної системи і взаємодія її елементів у часі, що враховує найбільш суттєві причинно-наслідкові зв'язки, та властивості системі. Отриманий в результаті «віртуальний пристрій» дозволить проводити всі етапи дослідження, притаманні експериментальному зразку.

В даний час MATLAB є однією з найбільш розвинених систем програмування для науково-технічних розрахунків, доповнена до теперішнього часу кількома десятками більш приватних застосувань, що відносяться до обчислювальної математики, обробки інформації, конструювання електронних приладів, економіки та ряду інших розділів прикладної науки.

Використання методів імітаційного моделювання на етапі проектування складних систем дозволяє не лише істотно скоротити затрати на дослідження, розробку та випробування, але і істотно зменшити час розробки виробів [21].

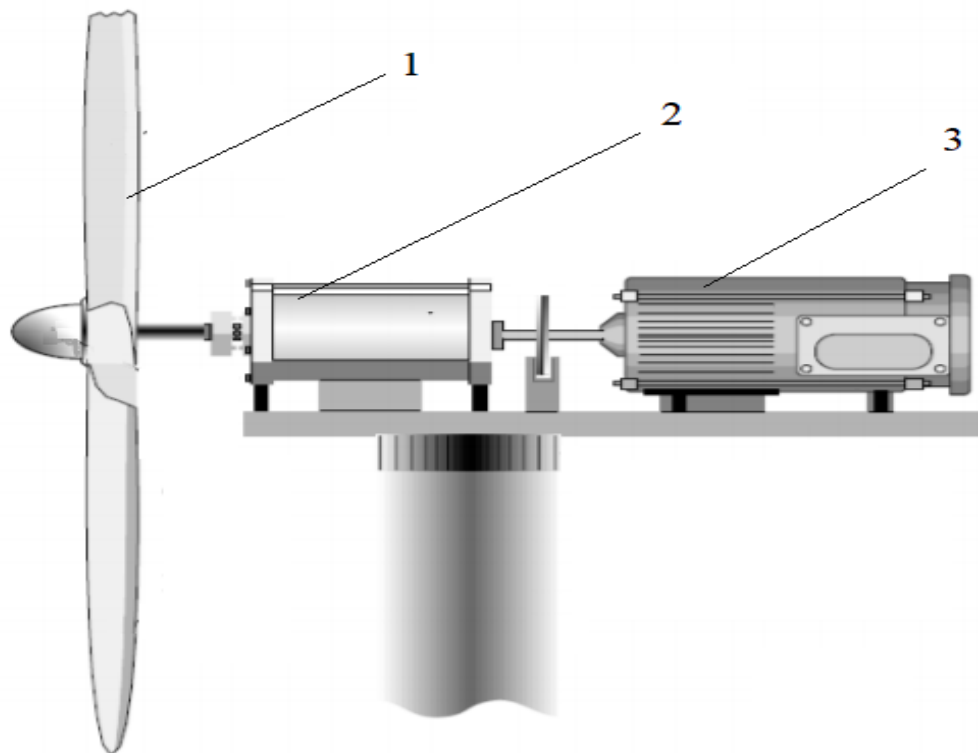


Рисунок 2.1 – Основні елементи моделі вітроустановки

Модель вітроенергетичної установка (рис. 2.1) складається з наступних компонентів: вітрове колесо -1, редуктора – 2, генератора електричної енергії – 3.

Вітрове колесо - перетворювач енергії вітру в механічну енергію обертання. Воно включає в себе елемент конструкції ВЕУ, що складається з лопатей, крил або

інших частин, які сприймають потік повітря і перетворюють енергію цього потоку в обертальний рух, що передається на редуктор для подальшого перетворення механічної енергії.

Редуктор – пристрій для передавання механічного моменту від вітрового колеса до генератора електричної енергії.

Електричний генератор - електрична машина, що перетворює механічну енергію обертання валу в електричну енергію.

2.2 Математичний опис моделі вітрового колеса

Оскільки вітроустановка є перетворювачем механічної енергії вітру в електричну, тому спочатку необхідно визначити саму енергію, вітру. Енергія вітру - це кінетична енергія великої кількості частинок повітря із загальною масою M , що рухаються зі швидкістю v . Припустимо, що вітер рухається з однаковою швидкістю та напрямком до удару по лопатях вітрового колеса (ВК), тоді кінетична енергія вітру, може бути задана виразом [24]:

$$E = \frac{Mv^2}{2} \quad (2.1)$$

де E - кінетична енергія частинок повітря,

M - маса частинок повітря,

v - швидкість вітру.

Маса частинок повітря M за одиниць часу t що попаде на лопаті турбіни визначається виразом:

$$M = \rho Avt = \rho \pi r^2 vt \quad (2.2)$$

де ρ - густина повітря,

r - радіус ротора.

Підставивши вираз (2.2) у (2.1), отримаємо вираз для визначення кінетичної енергії вітру.

$$E = \frac{\rho \pi r^2 v^3 t}{2} \quad (2.3)$$

Тоді потужність вітру в момент часу t визначається як:

$$P_e = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \quad (2.4)$$

де, P_e - потужність вітру.

З наведеного рівняння (2.4) потужність прямо пропорційна кубу швидкості вітру і прямо пропорційна квадрату радіуса ВК.

Потужність у рівнянні (2.4) є сумарною потужністю вітру. Оскільки після удару по лопатях вітрового колеса швидкість вітру зменшується. Це означає, що вітрове колесо може вловити лише частину такої потужності.

Коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ) - це відношення потужності, яку вловляється вітроколом P_k , до максимальної потужності вітру.

$$C_p = \frac{P_k}{P_e} \quad (2.5)$$

Він може бути виражений як;

$$C_p = c_1 \left[\left(\frac{c_2}{a} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{a}} + c_6 \lambda \right], \quad (2.6)$$

де значення коефіцієнтів ($c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$) залежать від форми та типу вітрового колеса, а

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (2.7)$$

Тут β - кут між площиною обертання вітроколеса і хордою крила, λ - коефіцієнт який визначається як відношення між кутовою швидкістю ротора та швидкістю вітру. Та може бути визначений рівнянням [29]:

$$\lambda = \omega_k r / v \quad (2.8)$$

де ω_k - кутова швидкість ротора,

При розробці моделі ВЕУ на перше місце виступають завдання визначення основних параметрів вітроколеса. А саме залежність КВЕВ від кута нахилу лопаті. Для трилопатевого вітрового колеса з горизонтальною віссю обертання значення коефіцієнтів буде наступним;

$$c_1 = 0.5176, c_2 = 116, c_3 = 0.4, c_4 = 5, c_5 = 21, c_6 = 0.0068.$$

Блок схема спільного розв'язку рівнянь (2.6), (2.7) показано на рис. 2.2

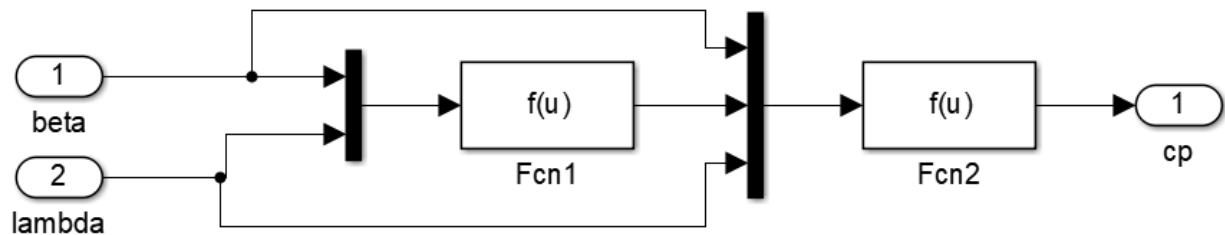


Рисунок 2.2 – Блок схема моделі для визначення коефіцієнта використання енергії вітру

Fcn - блок задання функції. Задає вираз, що використовується блоком для обчислення вихідного сигналу на основі вхідного. За допомогою даного блоку обчислюються коефіцієнт потужність вітрового колеса, а також коефіцієнт $1/a$. Вхідними параметрами для моделі є кут нахилу лопаті та коефіцієнт λ , а вихідним коефіцієнт використання енергії вітру C_p .

Результати моделювання залежності коефіцієнта використання енергії вітру від швидкохідності вітрового колеса показано на рис.2.3.

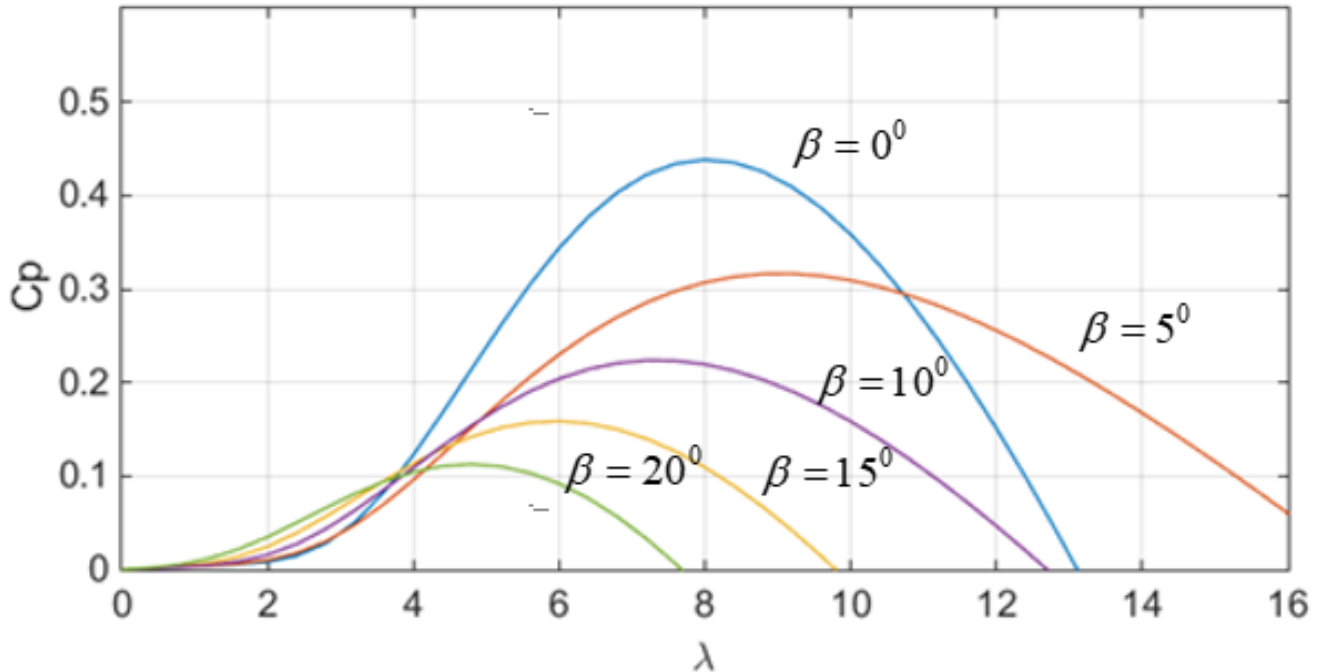


Рисунок 2.3 –Залежність коефіцієнт ефективності вітрової турбіни від швидкості для різних значень кута β

Коефіцієнт використання енергії вітру має максимальне значення для кожного значення кута нахилу. Коли кут нахилу дорівнює нулю, на лопать повністю впливає швидкість вітру, і вітрове колесо вловлює максимальну потужність вітру.

Для даної конструкції вітроколеса КВЕВ не перевищує 0,43.

Вітрове колесо використовується для перетворення кінетичної енергії вітру в механічну. Вітер проходить над лопатями, починає їх обертати. Лопаті вітрового колеса обертають вал, який входить у редуктор. Для розрахунку механічного моменту ВК було розроблено імітаційну модель вітрової турбіни.

На рисунку 2.4 показано блок схему вітрової турбіни, що являє собою спільного розв'язку рівнянь (2.4), (2.8).

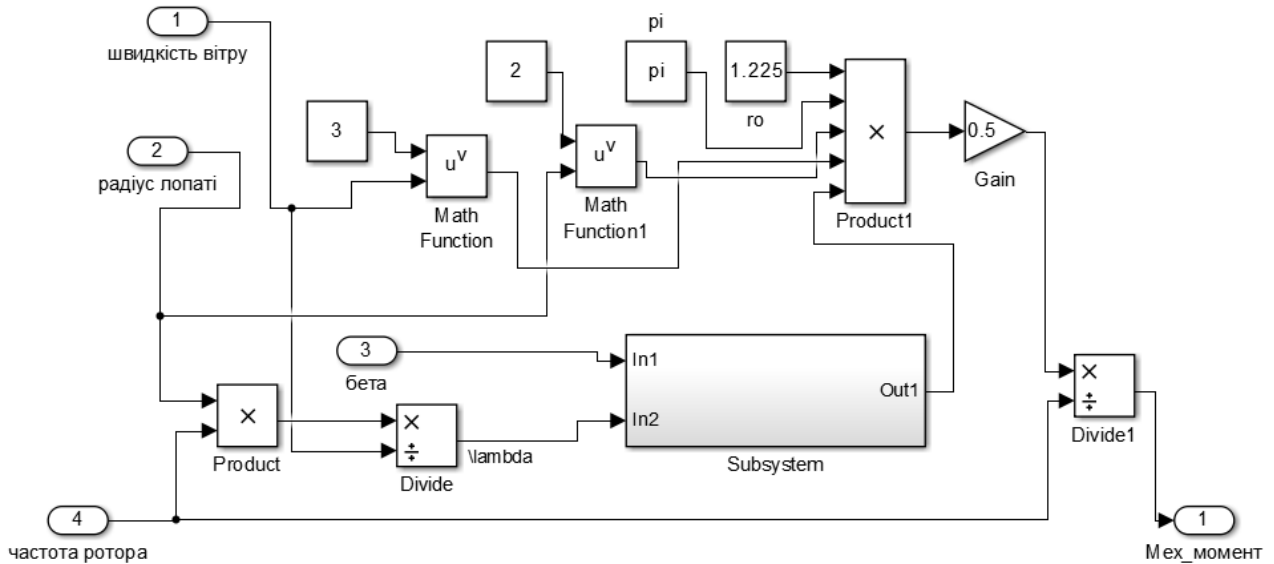


Рисунок 2.4 – Блок схема імітаційної моделі вітрової турбіни

Вхідними параметрами моделі є швидкість вітру, швидкість ротора, а вихідним механічний момент вітрової турбіни.

Блок *Product* виконує множення або ділення вхідних сигналів. Цей блок видає результати, використовуючи або поелементне, або матричне множення, залежно від значення параметра.

Avoid division by zero – блок який забороняє ділення на 0.

Блок *func1* – проводить розрахунок потужності вітрової турбіни.

cp(lambdas, beta) – підсистема, яка реалізує модель коефіцієнта ефективності вітрового колеса рис. (2.2).

Електромагнітна потужність генератора, сполученого з вітровим колесо визначається перш за все потужністю, яка підводиться від нього. При проектуванні ВЕУ потрібно узгодити робочі характеристики вітрового колеса та генератора. Дані характеристики відображають зміну потужності, що розвиває ВК та перетворює генератор в залежності від частоти оборотів. Такі характеристики для моделі ВК радіусом 1,6 м показано на рисунку 2.5.

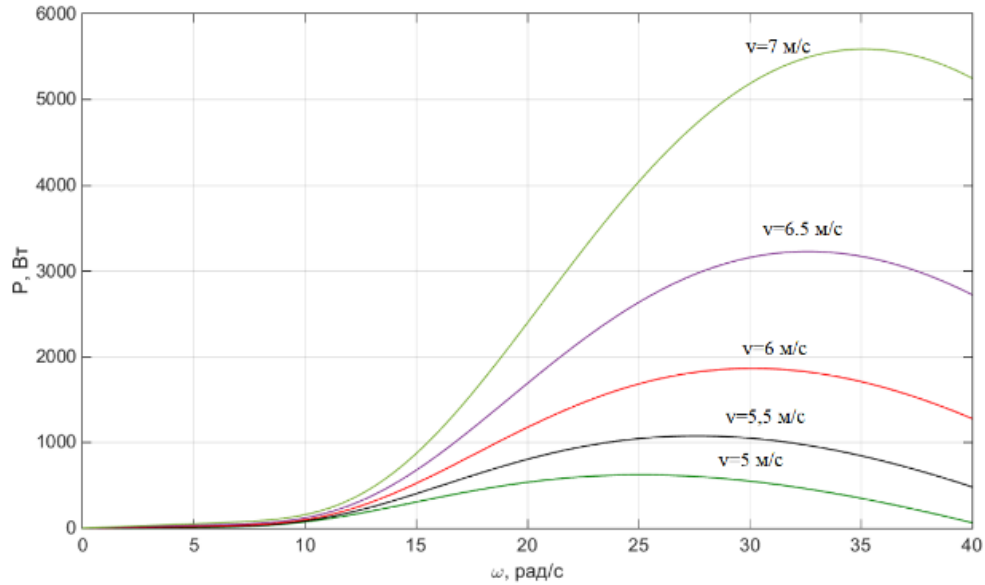


Рисунок 2.5 – Характеристики потужності вітрового колеса від частоти обертання для різних значень швидкості вітру, при $\beta = 0^0$

На рисунку показано залежності потужності вітрового колеса для різних швидкостей вітру. Максимальна потужність ВК при незмінній швидкості вітру досягається при певній частоті обертів. Ця потужність буде повністю сприйнята генератором якщо його навантаження відповідає цій потужності та досягається саме при даних оборотах ВК. Це можливо, якщо передавальне відношення i привідного елемента механічної передачі забезпечує таке число оборотів генератора, при якому крива залежності потужності проходить через вершину кривих потужності ВК. При завищених значеннях i ВЕУ буде нестабільна. При малому значення i ВЕУ буде працювати в недовантаженому режимі.

2.3 Вибір та розрахунок генератора

Аналіз різних типів електричних машин, придатних для застосування в вітроенергетичних установках показує, що питання вибору типу і конструкції генератора не однозначний [14; 15; 22]. Існують три основні типи генераторів, що

застосовуваних у ВЕУ. Це генератори постійного струму, синхронні генератори, асинхронні генератори.

Кожен з вищенаведених типів генераторів може працювати як при фіксованій швидкості вітру так і при змінній. Порівняємо специфіку застосування зазначених видів генераторів при їх використанні в вітроенергетичних установках.

Генератор постійного струму.

У машинах постійного струму магнітне поле виникає в статорі. Ротор є якорем. На статорі розташовуються явно виражені полюси, які порушуються або постійними магнітами, або за допомогою електромагніту, що має обмотку постійного струму. Досить часто ця обмотка підключається паралельно до якоря – тоді це генератор постійного струму з паралельним збудженням.

У генераторі постійного струму з паралельним збудженням намагнічує струм, отже, величина магнітного потоку, залежить від швидкості обертання вітрового колеса. При цьому фактична частота обертання ротора машини постійного струму визначається балансом між крутним моментом, створеним вітром, і гальмівним моментом навантаження. З ростом навантаження величина магнітного потоку буде знижуватися, що призведе до зменшення величини виробленої ЕРС.

Іншим суттєвим недоліком генератора постійного струму є наявність колекторно-щіткового апарату. В ході експлуатації генераторам постійного струму потрібно регулярне обслуговування і заміна щіток. Тому експлуатація генераторів постійного струму сама по собі через наявність комутаторів і щіток є відносно дорогавартісною.

Загалом, застосування генераторів постійного струму в складі вітрогенераторів є недоцільним. Виняток можуть становити приймачі з низьким споживанням електроенергії. Наприклад, це - пристрої зарядки акумуляторів або джерела живлення автономної системи опалення окремої будівлі.

Синхронний генератор.

Даний тип електричних машин найбільш часто використовується в якості генераторів на електростанціях взагалі і в складі вітряків зокрема. Головна їхня перевага - можливість генерування не тільки активної, але і реактивної потужності. Конструкції синхронних генераторів бувають різні: явнополюсні і неявнополюсні. Вони розрізняються також системою збудження. Для ВЕУ є не перспективним використання збудження від джерела постійного струму. Оскільки в цьому випадку ми будемо мати всі недоліки системи з контактними кільцями і щітками. Кращим буде використання схеми генераторів на постійних магнітах або схеми з безконтактним електромагнітним збудженням.

Останнім часом, синхронні генератори на постійних магнітах (СГПМ) все частіше використовуються в ВЕУ. Неодимові постійні магніти на сьогоднішній час є найсильнішими постійними магнітами на ринку. Крім того, в ВЕУ з СГПМ важливим є те, що не потрібно застосовувати системи самозбудження.

Оскільки він забезпечує більш високу продуктивність за рахунок більш високої ефективності, є можливість отримати велику потужність, конструкція міцна і стійка, так як у нього на роторі знаходяться магніти і немає щіток. Будова СГПМ відносно проста. «Міцні постійні магніти встановлені на роторі для створення постійного магнітного поля, і вироблена електроенергія знімається з якоря (статора) через використання колекторних, контактних кілець. Постійні магніти можуть бути встановлені в циліндричному роторі з литого алюмінію, щоб знизити витрати. Принцип роботи генераторів на постійних магнітах аналогічний синхронному генератору за винятком того, що генератори на постійних магнітах можуть працювати асинхронно» [35, 42] Перевагою СГПМ є те, що у них відсутній колектор, контактні кільця і щітки, тому машини міцні, надійні і прості.

Доцільно використовувати ці машини з постійними магнітами для безпосереднього застосування в вітровій установці. СГПМ має мінімальні втрати

на тертя, тривалий термін експлуатації, відсутність шуму і вібрації при роботі. Очевидно, що в цьому випадку синхронний генератор на постійних магнітах вигідно використовувати для ВЕУ.

Асинхронний генератор.

«Асинхронний генератор, має просту конструкцію, надійність в обслуговуванні, невисоку вартість порівняно з СГПМ. Застосування асинхронного генератора (АГ) в ВЕУ раніше було менш поширене через відсутність малогабаритних конденсаторів, що забезпечують збудження генератора і компенсацію реактивної потужності навантаження, а також через складність стабілізації вихідної напруги. З появою більш компактних конденсаторів і нових систем стабілізації напруги ці проблеми були вирішені»[26].

Даний вид генераторів можна використовувати тільки з приладами, які не мають високих стартових струмів і є стійкими до незначних перепадів напруги. Такі генератори коштують дешевше, ніж синхронні і мають більш високий клас захисту від впливу зовнішніх умов.

В залежності від типу обмотки розрізняють короткозамкнені і фазні ротори. Магнітне поле, створене допоміжною обмоткою статора, індукуює на роторі магнітне поле, яке обертаючись разом з ротором, наводить ЕРС в робочій обмотці статора. Обертове магнітне поле залишається завжди незмінним і не піддається регулюванню, тому частота і напруга на виході генератора залежать від частоти обертання ротора, який в свою чергу, залежать від стабільності роботи ВК вітроелектростанції.

Вибір генератора залежить від типу підключення вітроустановки до мережі. У разі автономних ВЕУ де енергія, що виробляється генератором використовується для зарядки акумуляторної батареї, найбільш оптимальним є використання генераторів на постійних магнітах так як вони не вимагають застосування додаткових дорогих випрямлячів і стабілізаторів напруги. У разі

прямого підключення вітроустановки в мережу, застосування генераторів на постійних магнітах вводить необхідність установки потужних інверторів що в свою чергу призводить до значного подорожчання конструкції в цілому і є недоцільним. При такому типі підключення ВЕУ як правило застосовують дешевші асинхронні генератори.

За підсумками дослідження можна сказати, асинхронні генератори все більше набирають популярність при конструюванні вітроенергетичних установок.

Для подальшого моделювання ВЕУ було вибрано асинхронну машину з коротко замкнутим ротором марки АИР 132М8, технічні характеристики якого приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Технічні параметри АГ АИР 132М8

Номинальний струм при 380 В	Потужність	Частота обертання	КК Д	$\cos \varphi$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	Динамічний момент інерції
13,6 А	5,5 кВт	720 об/хв	83	0,74	1,9	2,0	6	0,0935

2.4 Математична модель асинхронної машини в середовищі Simulink

У моделі вітроустановки використана віртуальну модель асинхронної машини з короткозамкнутим ротором Asynchronous Machine SI Units з бібліотеки SimPowerSystem пакету MATLAB/Simulink.

Електрична частина моделі в координатах (d-q) описується рівняннями:

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} + \omega \varphi_{ds}, \quad (2.9)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} + \omega \varphi_{qs}, \quad (2.10)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{ds} + \frac{d\phi'_{ds}}{dt} + (\omega - \omega_r) \phi'_{dr}, \quad (2.11)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d\phi'_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r) \phi'_{qr}, \quad (2.12)$$

де R_s, R_r – активний опір статора та ротора;
 V_{qs}, i_{qs} – проекція напруги та струму статора на вісь q;
 V_{ds}, i_{ds} – проекція напруги та струму статора на вісь d;
 V_{qr}, i_{qr} – проекція напруги та струму ротора на вісь q;
 V_{dr}, i_{dr} – проекція напруги та струму ротора на вісь d;
 ϕ_{qs}, ϕ_{ds} – проекція потокощеплення статора на осі d та q;
 ϕ_{qr}, ϕ_{dr} – проекція потокощеплення ротора на осі d та q;
 ω_r – електрична кутова частота обертання ротора.

Для потокощеплення використовуються рівняння:

$$\phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr}, \quad (2.13)$$

$$\phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr}, \quad (2.14)$$

$$\phi'_{qr} = L'_r i_{qr} + L_m i_{qs}, \quad (2.15)$$

$$\phi'_{qs} = L'_r i_{ds} + L_m i_{qs}, \quad (2.16)$$

де $L_s = L_{ls} + L_m$, – загальна індуктивність статора;
 $L'_s = L'_{lr} + L_m$, – загальна індуктивність ротора;
 L_m – індуктивність ланки намагнічування;
 L_{ls} та L'_{lr} – індуктивність розсіювання кожної фази.

Електромагнітний момент визначається виразом:

$$T_a = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{p}{2}\right) L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}), \quad (2.17)$$

де T_e – електромагнітний момент.

$$T_d = T_e + J \left(\frac{2}{p} \right) \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.18)$$

де T_d – вхідний момент на валу АГ;

J – момент інерції;

p – кількість полюсів.

Графічне зображення блоку АГ показано на рис. 2.6.

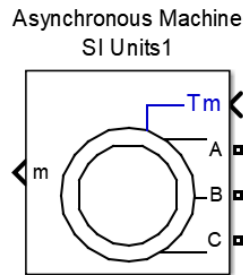


Рисунок 2. 6 – Графічне зображення блоку Asynchronous Machine SI Units

Вхідний сигнал T_m призначений для передачі крутного моменту від редуктора, який в свою чергу пов'язаний з механічним моментом вітрового колеса. Якщо вхідний сигнал додатній асинхронна машина працює в якості двигуна. Якщо від'ємний – в якості генератора електричної енергії. Клеми А, В, С служать для підключення до трифазної напруги. Порт m є вимірювальний на якому формується вектор сигналів, що складається з 10 елементів:

- 1-3 – струми обмотки статора;
- 4-5 – проекції струму статора на осі q та d ;
- 6-7 – проекції напруги статора на осі q та d ;
- 8 – швидкість ротора;
- 9 – кут повороту ротора;
- 10 – електромагнітний момент.

2.5 Визначення параметрів асинхронного генератора за даними каталогу

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s}, \quad (2.19)$$

де n_s - синхронна швидкість ;

n_n - номінальна швидкість двигуна.

Критичне ковзання:

$$s_k = (m_{\max} + \sqrt{m_{\max}^2 - 1})s_n, \quad (2.20)$$

де $m_{\max} = M_{\max} / M_n$ - відношення максимального моменту (критичного) до номінального моменту.

Конструктивний коефіцієнт:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m}. \quad (2.21)$$

Попередньо конструктивний коефіцієнт задається в діапазоні $c_1 = 1.02 \dots 1.05$ для розрахунку параметрів схеми заміщення. Уточнення розрахунку відбувається після отримання числових даних індуктивностей. Процес підбору конструктивного коефіцієнта триває три чотири ітерації.

Коефіцієнт в'язкого тертя:

$$B_m = \frac{\Delta P_{\text{мех}}}{(2\pi n_n / 60)^2}. \quad (2.22)$$

Механічні втрати. Якщо припустити, що повні втрати складаються з постійних і змінних втрат, а постійні приблизно рівні 1/3 від повних втрат, а механічні втрати складають половину від постійних втрат, то тоді механічні втрати $\Delta P_{\text{мех}}$ визначаються з виразу:

$$\Delta P_{\text{мех}} = P_n \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) \frac{1}{6}. \quad (2.23)$$

Сума $P + \Delta P_{\text{мех}}$ може бути визначена як

$$P_n + \Delta P_{\text{мех}} = P_n \left[1 + \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) \frac{1}{6} \right]. \quad (2.24)$$

Опір статора:

$$R_s = \frac{1}{2} \frac{U_n^2 (1 - s_n)}{c_1 (1 + c_1 / s_k) m_k (P_n + \Delta P_{\text{мех}})}, \quad (2.25)$$

де $m_k = M_k / M_n$ - кратність пускового моменту (каталожний параметр).

Опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_n + \Delta P_{\text{мех}}) m_k}{(1 - s_n) i_k^2 I_n^2}, \quad (2.26)$$

де $i_k = I_k / I_n$ - відношення струму короткого замикання (пускового) до номінального струму.

Індуктивність статора і ротора:

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2\pi f_n I_n} \frac{U_n / \sqrt{3}}{\left(\sqrt{1 - (\cos \varphi_n)^2} - \cos \varphi_n s_n / s_k \right)}. \quad (2.27)$$

Індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L_{\text{лс}} \cong L_{\text{лр}} = \frac{1}{4p f_n} \sqrt{\left((U_n / \sqrt{3}) / (i_k I_n) \right)^2 - (R_s + R_r)^2}. \quad (2.28)$$

Взаємоіндукція:

$$L_m = L_s - L_{\text{лс}}. \quad (2.29)$$

Для розрахунку параметрів заміщенні АГ згідно виразів (2.19)-(2.29) було розроблено програму в Matlab. Вхідними даними є параметри асинхронної машини згідно даних виробника, а вихідними; опір та індуктивність статора, опір та індуктивність ротора, взаємоіндукція.

```

PH=5500; UH=380; f=50; n=720; eff=0.83; cosfi=0.74;
IH=13.6; ik=6; mk=1.9; mmax=2.0; J=0.0935; p=4;
Uf=UH/1.73; n1=60*f/p; sn=(n1-n)/n1;
sk=(mmax+sqrt(mmax^2-1))*sn;
w1=2*pi*f; w=pi*n/30; MH=PH/w;
for c=1:0.01:1.08;
Rr=(1.015*PH)/(3*IH^2*((1-sn)/sn));
Rs=((Uf*cosfi*(1-eff))/IH)-(Rr*c^2)-(0.015*PH/(3*IH^2));
LI=Uf/(2*w1*(1+c^2)*ik*IH);
Ls=Uf/(w1*IH*sqrt(1-cosfi^2)-(2*w1
*mmax*MH*sn/p)/(3*Uf*sk));
Lm=Ls-LI;
c1=1+LI/Lm;
[Rs Rr LI Lm c c1]
end

```

Вікно параметрів асинхронного генератора з коротко замкнутим ротором марки АИР 132М8 в середовищі Simulink, показано на рис. 2.7.

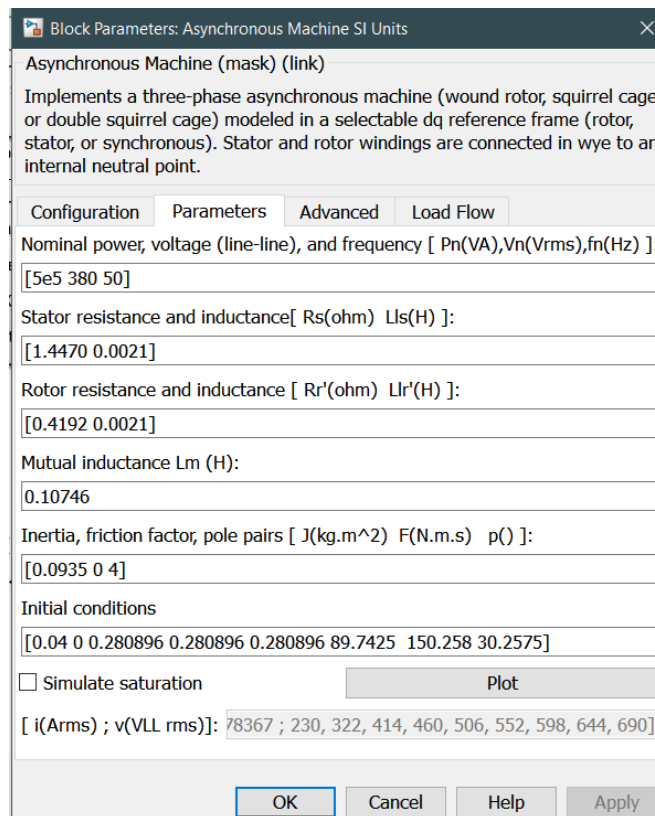


Рисунок. 2.7 – Вікно параметрів асинхронного генератора

2.6 Самозбудження асинхронного генератора

Для збудження працюючого асинхронного генератора необхідно наявність джерела реактивної потужності - батареї конденсаторів підключених до обмотки статора. Сучасні способи по самозбудженню АГ за допомогою статичних конденсаторів побудовані на трьох підходах. Один з них базується на принципі залишкової намагніченості магнітної вітки машини, початкова ЕРС від якої потім підсилюється ємнісним струмом в статорі.

Автономна робота АГ в режимі самозбудження від потоку залишкового намагнічування можлива, якщо до виводів обмотки статора підключити конденсатори, як джерело реактивної потужності Q_r для збудження магнітного поля АГ, а при його роботі на активно-індуктивне навантаження ці конденсатори повинні служити джерелом реактивної потужності Q_H і для навантаження рис 2.10.

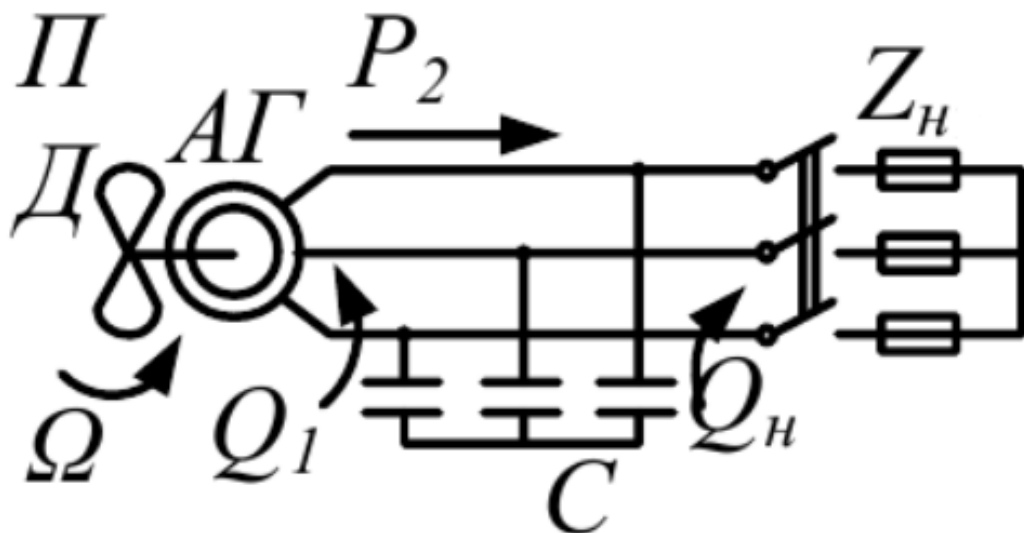


Рисунок 2.10 – Схема конденсаторного збудження асинхронного генератора

Процес самозбудження АГ відбувається так само, як у генератора постійного струму, за умови наявності магнітного потоку залишкового намагнічування Φ_3 . При обертанні ротора від приводного двигуна цей потік індукує в обмотці статора ЕРС $E_3 \approx (0,02-0,03) U_H$, яка викликає в конденсаторах C струм.

Цей струм, будучи ємнісним, протікаючи по обмотці статора, підмагнічує АГ, підсилює Φ_3 , що призводить до зростання ЕРС E_3 , подальшому зростанню струму і потоку (Рис. 2.11,а).

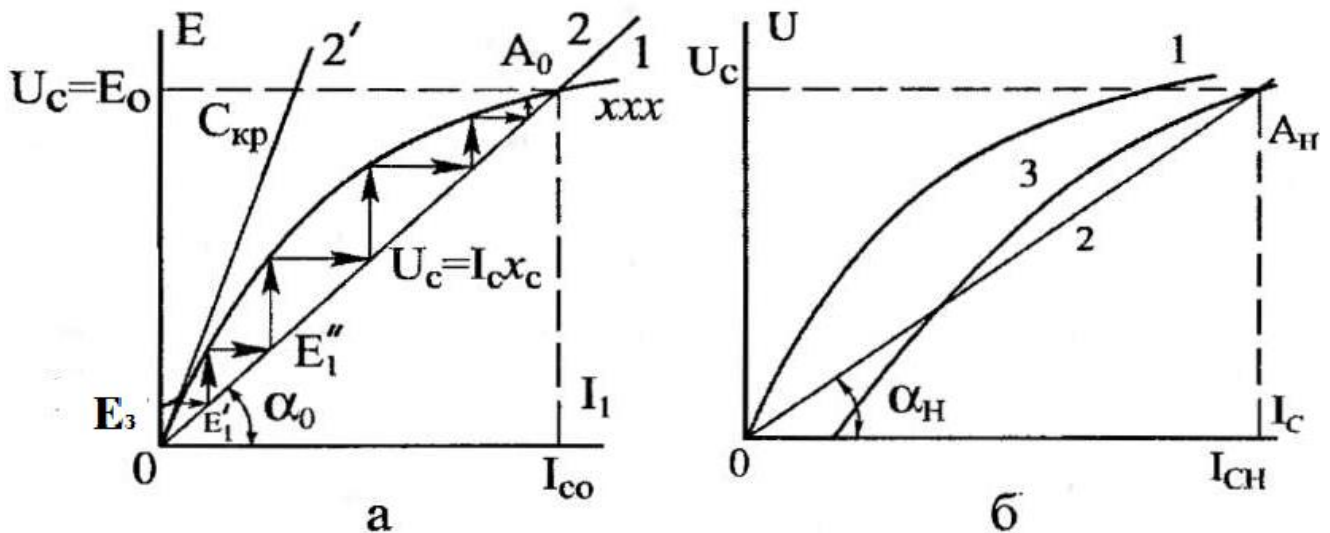


Рисунок 2.11 – Процес самозбудження асинхронного генератора від конденсаторної батареї

Завершення процесу самозбудження відповідає точці A_0 яка являє собою перетин характеристики холостого ходу АГ та вольт-амперної характеристики конденсаторної батареї ($I_C X_C$). У цьому випадку електрорушійна сила рівна E_0 а струмі статора I_{C0} .

Напруга на генераторі залежить від ємності конденсаторів: чим менша ємність C , тим більший кут α_0 . При малих значеннях ємності $C_{кр}$ характеристика

$I_c X_c$ не перетинається з характеристикою холостого ходу і генератор не збуджується.

У деяких випадках початок процесу самозбудження АГ може бути забезпечено шляхом розряду на обмотку попередньо зарядженої конденсаторної батареї.

Кут α_0 визначається зі співвідношення

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{U_0}{I_{c0}} = \frac{x_{c0} I_{c0}}{I_{c0}} = x_{c0} = \frac{1}{\omega_1 C_0} \quad (2.30)$$

Самозбудження АГ під навантаженням вимагає збільшення ємності C , що показано на рис. 2.11, б, де крива 3 - це здатність навантажувальна характеристика АГ. Точка A_n - точка закінчення самозбудження. При цьому,

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{U_c}{I_{cn}} = \frac{1}{\omega_1 C_n} \quad (2.31)$$

Оскільки $\operatorname{tg} \alpha_0 > \operatorname{tg} \alpha_n$ то $C_n > C_0$.

Реактивна потужність конденсаторів визначається сумою реактивних потужностей генератора Q_r і навантаження Q_n . В такому випадку реактивна потужність конденсаторної батареї визначається з виразу,

$$Q_c = P_n (\operatorname{tg} \varphi_r + \operatorname{tg} \varphi_n). \quad (2.32)$$

Якщо ємність конденсаторів визначається прямим методом, то тоді використовують паспортні дані АГ. Такий метод не вимагає складних обчислень, тому є практичним, у випадку якщо відомі номінальні значення напруги, струму, коефіцієнта потужності та частоти.

$$C = \frac{I_n \sin \varphi}{2\pi U_n f_n}, \quad (2.33)$$

2.7 Вибір редуктора та розробка його моделі

«Вітер, як альтернативне джерело енергії, останнім часом набуває все більшої популярності. Одними з найважливіших характеристик, які визначають цінність цього природного явища, являють собою його напрямок і швидкість. Але при непостійності природних умов доводиться вдаватися до різного роду технічних прийомів для усунення наявних проблем. Однією з таких проблем у вітроенергетиці є невелика швидкість обертання вітрового колеса, причому, чим більші його габарити, тим сильніше виявляється цей недолік. Рішенням, може служити редуктор або, мультиплікатори»[5-10].

Розділяють ВЕУ на два типи: редукторні (з'єднання ротора з генератором через редуктор) і безредукторні (з прямим з'єднанням генератора і ВК).

Розглянемо переваги редукторних ВЕУ:

- Дозволяють отримувати великі моменти на одиницю маси;
- Невелика вартість.

Недоліки:

- Низький ККД;
- Нетривалий термін експлуатації;
- Створюють високий рівень шуму;

Переваги безредукторних ВЕУ:

- Низький рівень шуму;
- Можуть працювати при малих швидкостях вітрового потоку;
- Довговічні у використанні;
- Конструкція дозволяє уникнути втрат, характерних для редукторних вітроенергетичних установок;

Недолік:

- Висока ціна;

Незважаючи на простий принцип роботи, редуктори представляють собою складний механічний пристрій, для передачі та перетворення механічної потужності.

Редуктори бувають з різного типу передачею:

Циліндричні - найбільш розповсюджений тип редукторів. Характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії (95-98 %) та тривалим ресурсом експлуатації. ККД такого редуктора залежить від передавального числа. Такі редуктори доцільно використовувати в вітроустановках малої потужності, які мають малу довжину вітрового колеса.

Черв'ячні - редуктор називається черв'ячним по виду черв'ячної передачі, що знаходиться всередині редуктора, яка передає і перетворює крутний момент. У таких редукторів високе передавальне число, велике тепловиділення і відносно низький ККД. При великих навантаженнях такий тип редукторів не використовується.

Планетарні – характеризуються великою знатністю витримувати навантаження, мають невелику вагу, і порівняно малі габарити, а також дозволяють отримати велике передавальне число.

Конічні - цей тип редукторів застосовують в тому випадку, якщо є необхідність в зміні напрямку кінетичної передачі. Конічний редуктор має наступні параметри: невисока окружна швидкість, середній рівень надійності, точності і металоємності, порівняно низьку собівартість і трудомісткість. Можуть безперервно працювати при високих оборотах.

Комбіновані - є поєднанням зубчастих і черв'ячних передач. Вони мають вигідне співвідношення технічних характеристик, габаритів і вартості.

В безредукторних ВЕУ передбачається встановлення електромагнітного підвісу ротора. Це дає змогу забезпечити: підвищення зносостійкості робочих поверхонь, зменшити вібрації, шум, втрати енергії на тертя.

Згідно попередніх розрахунків максимальна потужність ВК становить 5500 Вт, при швидкості вітру 7 м/с. В цьому випадку його частота обертання рівна $\omega_k = 35$ рад/с. Згідно паспортних даних АГ швидкість ротора $n = 720$ об/хв. тоді його частота становитиме $\omega_g = \frac{2\pi \cdot n}{60} = 75.397$ рад/с. Тому для збільшення кутової швидкості генератора виберемо циліндричний редуктор. Передавальне число i буде визначатися:

$$i = \frac{\omega_k}{\omega_g} \text{ або } \omega_k = i \cdot \omega_g \quad (2.34)$$

Для спрощення подальших розрахунків будемо вважати, що втрати в редукторі рівні нулю. Тоді,

$$P_k = P_H \quad (2.35)$$

або,

$$\omega_k T_k = \omega_g T_g \quad (2.36)$$

де, T_k , та T_g -- механічний момент вітроколеса та генератора відповідно.

Враховуючи вираз (2.36) та (2.34), отримаємо:

$$T_g = i \cdot T_k \quad (2.37)$$

Блок схема імітаційної моделі редуктора показано на рис. 2.12.

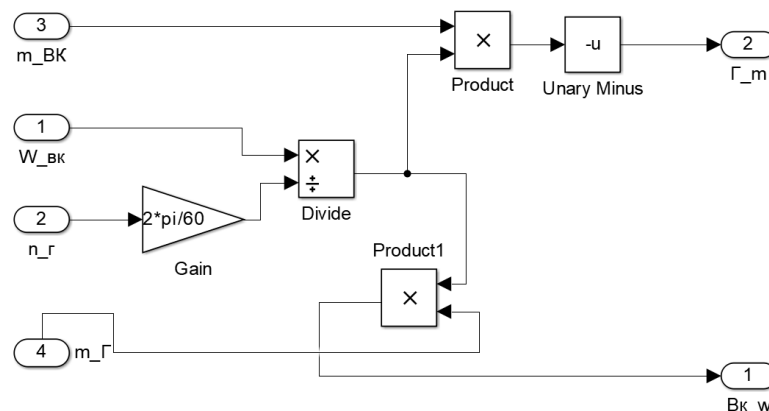


Рисунок 2.12 – Блок схема імітаційної моделі редуктора.

Вхідними параметрами блок схеми є; механічний момент вітрового колеса, частота генератора, номінальна частота вітроколеса, номінальна швидкість ротора. Вихідними механічний момент генератора та частота вітрового колеса.

Блок *Gain* виконує переведення одиниць вимірювання (об/хв в рад/с).

Unary Minus – перемножує вхідний сигнал на -1, тим самим подаючи від’ємне значення механічного моменту на генератор.

2.8 Висновки до розділу

В результаті роботи з розробки комп’ютерних моделей для імітаційного моделювання в середовищі MATLAB / Simulink була створена універсальні моделі елементів вітроенергетичної установки.

1. Розроблено модуль трилопатевого вітроколеса вітроенергетичної установки, який перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання валу вітроколеса. Показано, що максимальне значення коефіцієнта використання енергії вітру ВК такої конструкції не перевищує 0,43.

2. Проведено розрахунок параметрів для моделі асинхронного генератора з короткозамкненим ротором на основі асинхронної машини марки АИР 132М8.

3. Розроблено модель механічної передачі, яка передає механічну енергію від вітроколеса до генератора електричної енергії. Що є проміжною ланкою між вітроколесом і електрогенератором, яка підвищує частоту обертання валу генератора і забезпечує узгодження з оборотами вітрового колеса.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Представлення математичної моделі вітроустановки в середовищі MATLAB\Simulink.

Імітаційна візуалізована математична модель модуля ВЕУ з асинхронним генератором представлена на рис. 3.1.

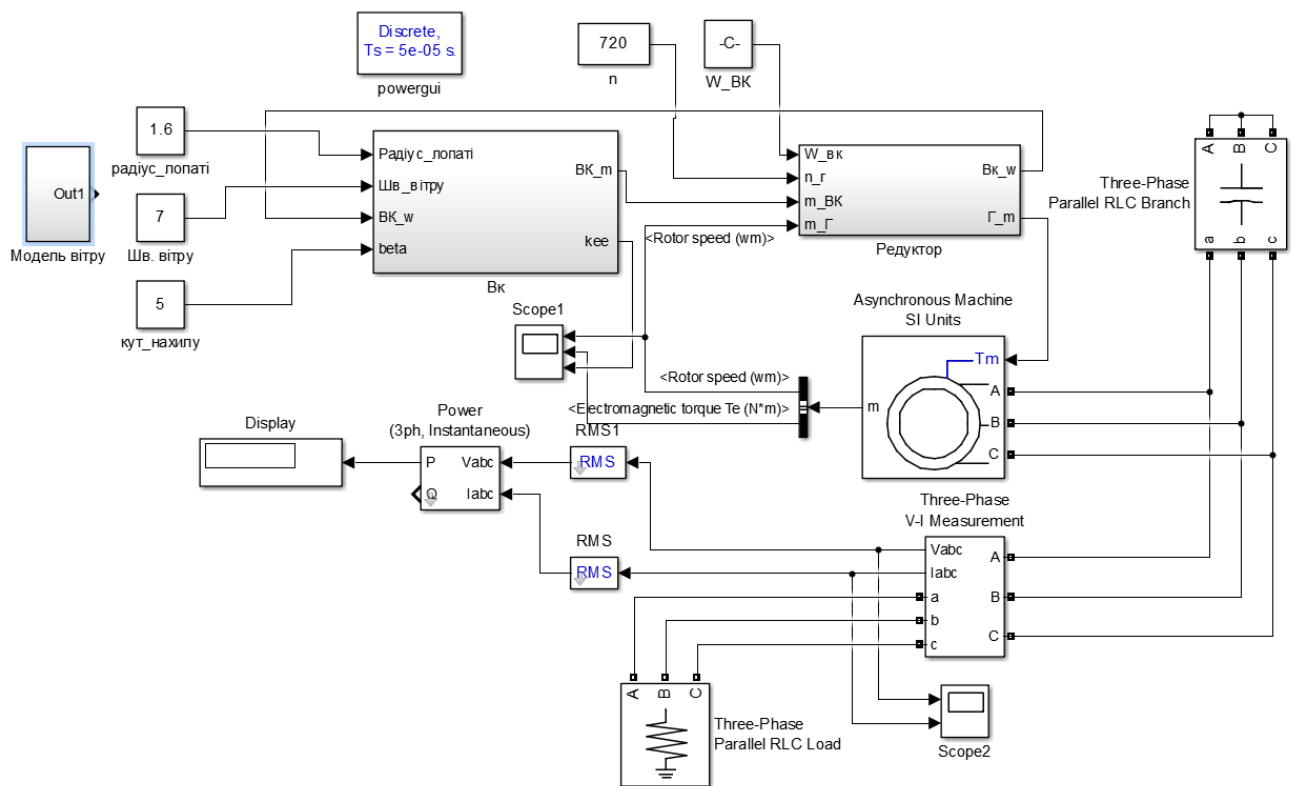


Рисунок 3.1 – Модель вітроелектричної установки

Модель ВЕУ складається з наступних блоків:

Asynchronous Machine SI Units – модель асинхронної машини з бібліотеки SimPowerSystems, Детальний опис якої, та її параметри зроблено в розділі 2.

Three-Phase Parallel RLC Branch – Моделює трифазне коло яке складається з трьох RLC ланок. Конфігурація ланки може мати такі параметри: RLC, R, L, C,

RL, RC, LC. В даному випадку блок конфігуровано як конденсатор, збудження асинхронного генератора. Всі конденсатори мають однаковий номінал, ємністю 119 мкФ.

Machines Measurement Demux призначений для вилучення змінних машини з вихідного вектора вимірюваних параметрів. В даному блоці вибирається тип машини і в залежності від типу у вікні параметрів відзначаються необхідні параметри.

Three-Phase Series RLC Load - трифазне послідовне RLC навантаження. Блок моделює трифазне коло, що складається з трьох послідовних RLC - навантажень. Схема з'єднання ланок може бути різною. Параметри ланок задаються через потужності фаз при номінальній напрузі і частоті. В даній моделі вибрано лише активне навантаження потужністю 5 кВт

RMS – величина обчислює за виразом (3.1) діюче значення струму або напруги, яке поступає на його вхід.

$$RMS(f(s)) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^t f(t)^2 dt} \quad (3.1)$$

де, $f(t)$ - вхідний сигнал;

T - період основної гармоніки сигналу.

В вікні налаштувань вноситься лише значення основної частоти сигналу.

Three- Phase V-I Measurement - трифазний вимірювач. Виконує вимірювання струмів та напруг в трифазних колах в одиницях системи СІ.

3-phase Instantaneous Active & Reactive Power - блок обчислення миттєвих значень активної і реактивної потужності в трифазних колах за величиною струмів і напруг, що подаються на його вхід. При цьому на входи блоку подаються вектори лінійної напруги і струмів. На виході блоку формується вектор, перша складова якого - активна потужність, спожита навантаженням, а друга - реактивна. Вікно налаштувань блоку не має параметрів.

Обчислення реактивної потужності можливе лише у випадку симетричного навантаження і відсутності гармонік в кривих струму і напруги. Розрахунок здійснюється згідно формул;

$$P = \sqrt{3} \frac{1}{T} \int_{t-T}^t V(\varphi t) \cdot I(\varphi t) dt; \quad (3.2)$$

$$Q = \sqrt{3} \frac{1}{T} \int_{t-T}^t V(\varphi t) \cdot I(\varphi t - \frac{\pi}{2}) dt, \quad (3.3)$$

де, P - активно потужність в Вт;
 Q - реактивна потужність в Вар;
 T - період в 1/с;
 V - діюче значення напруги. В;
 I - діюче значення сили струму, А;
 φ - кут зсуву фаз, град.;
 t - час розрахунку, с.

Scope - осцилограф. Призначений для побудови графіків досліджуваних сигналів в часі. Дозволяє спостерігати за зміною сигналів в процесі моделювання.

Display - цифровий дисплей. Відображає значення сигналу у вигляді числа.

Powergui - графічний інтерфейс користувача пакету моделювання енергетичних систем. Він входить до складу пакету SimPowerSystems. Цей блок є інструментом графічного інтерфейсу користувача для вирішення багатьох завдань. Зокрема:

- розрахунок схем комплексним методом;
- розрахунок усталеного режиму;
- дискретизація моделі;
- задання початкових умов;
- ініціалізація трифазних схем, що містять електричні машини, таким чином, щоб розрахунок почався з усталеного режиму;

- аналіз схеми за допомогою інструменту Simulink LTI-Viewer;
- визначення повного опору (імпедансу) схеми;
- створення файлу характеристик намагнічування для моделі нелінійного трансформатора;
- обчислення параметрів ліній електропередачі по їх геометричним характеристикам.

Обов'язковим параметром при розрахунку енергетичних систем є вид розрахунку:

- Розрахунок схеми векторним методом (Phasor Simulation)
- Дискретизація електричної моделі (Discretize electrical model)
- Режим розрахунку при неперервному часі (Continuous)

Представлена імітаційна математична модель дозволяє досліджувати роботу ВЕУ при різній швидкості вітру, куту нахилу та довжині лопаті.

3.2 Дослідження роботи вітроустановки при постійних вхідних параметрах

Вхідні параметри моделі приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Вхідні параметри моделі роботи вітроустановки.

Швидкість вітру. м/с	7
Радіус лопаті ВК, м	1,6
Кут нахилу лопаті,	0 ⁰
Потужність навантаження, кВт	5

Часові залежності фазної напруги та струму на генераторі. показано на рис.

3.2.

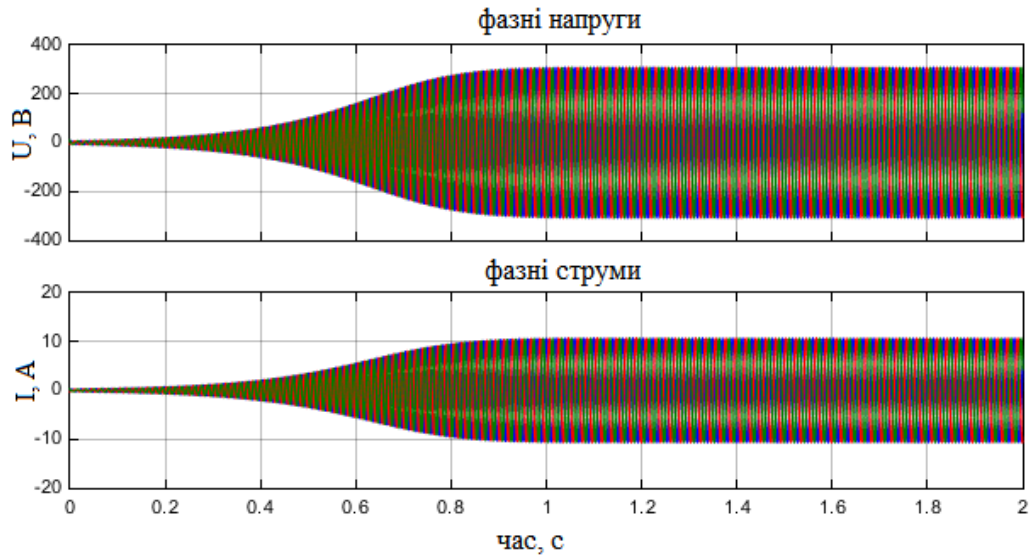


Рисунок 3.2 – Часові залежності фазних напруг та струмів на генераторі

З рисунка видно поступове зростання величина напруги та струму на інтервалі часу від 0 до 0,9 с. Після часу 1 с струм та напруга стабілізуються та досягають номінальних значень, $U_{\phi} = 310$ В. при струмі навантаження $I_{\phi} = 10.7$ А. В усталеному режимі роботи частота напруги становить 50 Гц, що можна бачити на рис. 3.3, де показано часові залежності фазних напруг та струмів в меншому інтервалі часу.

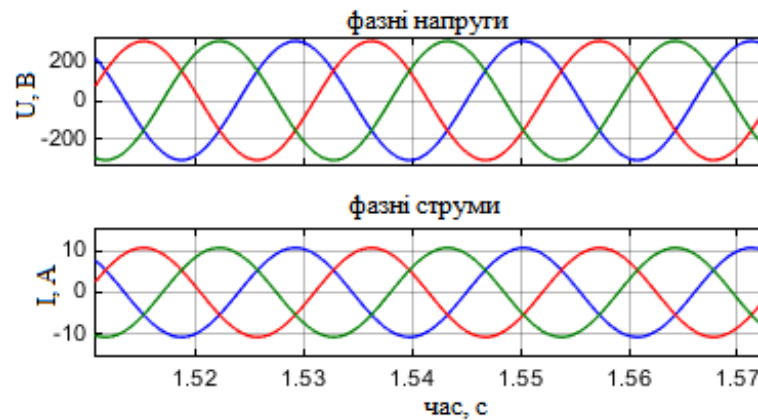


Рисунок 3. 3 – Графіки фазних струмів та напруг при навантаженні 5 кВт

На рис. 3.4 показано часові залежності частоти ротора та електромагнітний момент генератора, а також коефіцієнт використання енергії вітру.

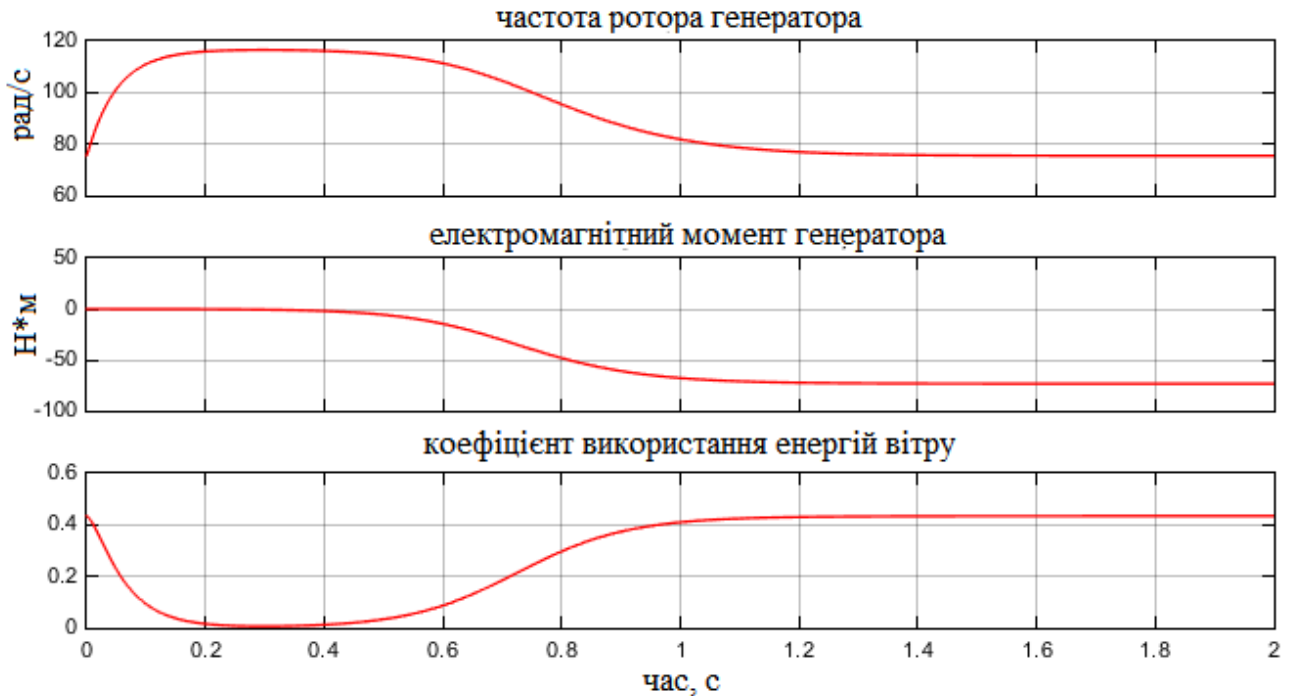


Рисунок 3.4 – Часові залежності частоти ротора та електромагнітний момент генератора, КВЕВ

З рис.3.4 слідує, що частота ротора досягає усталеного значення 74,5 рад/с на $t=1.4$ с, при навантаженні $R=5$ кВт та при ємності компенсаційних конденсаторів $C=119$ мкФ на фазу.

В усталеному режимі роботи електромагнітний момент генератора рівний механічному моменту вітрового колеса. Вітроустановка працює з максимальною потужністю.

З третього графіка видно, що коефіцієнт використання енергії вітру з часом зростає і в усталеному режимі близький до максимального 0,43. Високе значення КВЕВ при $t=0$ с, зумовлене початковими налаштування моделі асинхронного генератора.

3.3 Моделювання роботи вітроустановки при змінних вхідних параметрах

Результати моделювання при змінній швидкості вітру показано на рис.3.5. Вхідні параметри, окрім швидкості вітру такі ж самі що і при попередньому моделюванні

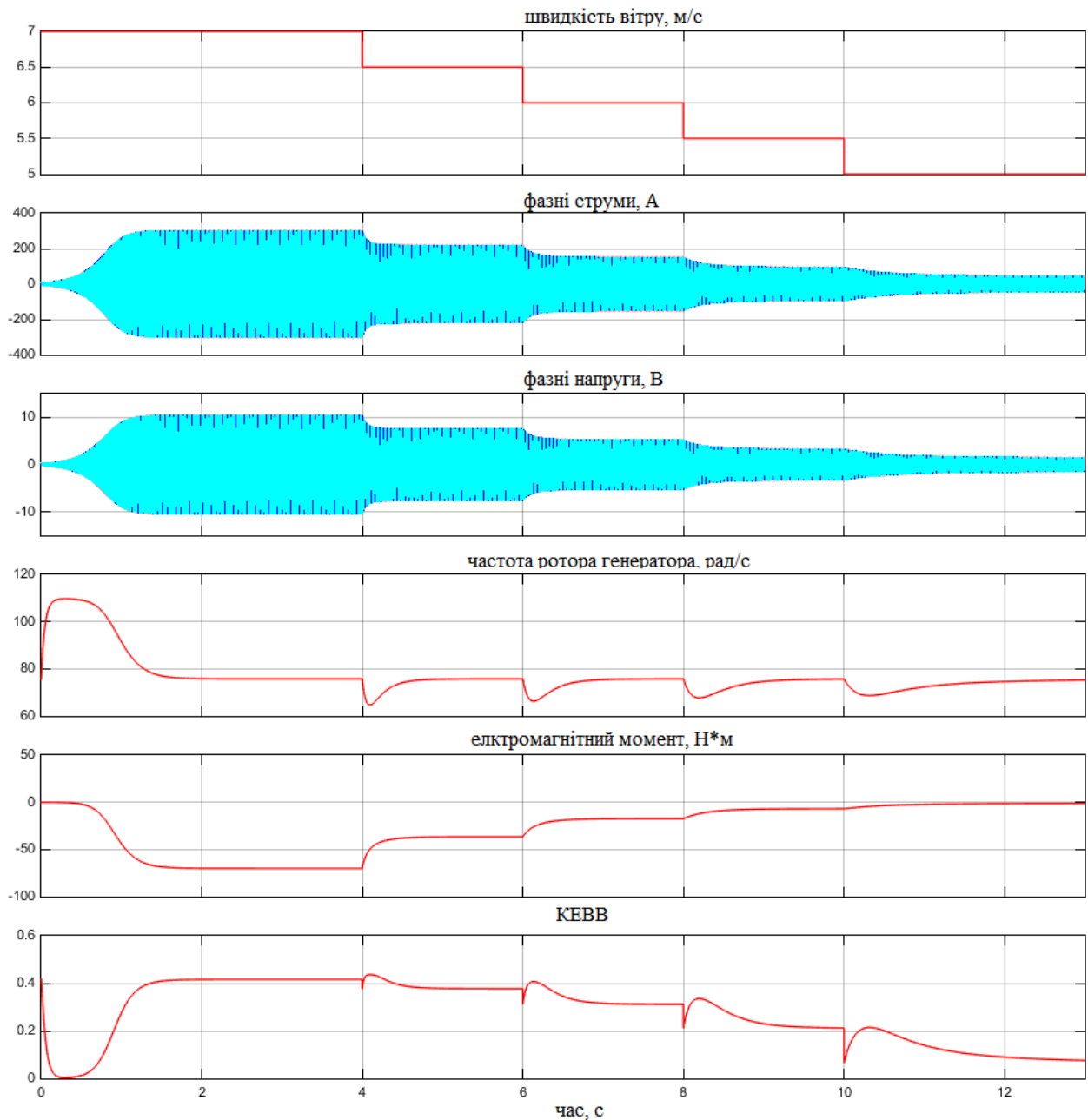


Рисунок 3.5 – Результати моделювання при змінній швидкості вітру

Верхній графік відображає швидкість вітру, яка має ступінчасту форму, з зміною швидкості 0,5 м/с, та інтервалом часу 2 с.

Два наступні графіки показують зміну фазний та лінійних напруг. Видно, що зі зменшенням швидкості вітру амплітудні значення струмів та напруг зменшуються та при швидкості вітру 5 м/с становлять 50 В та 1,5 А відповідно.

Стабілізувати вихідну напругу АГ можливо зміною магнітного потоку, що може бути досягнуто:

- зміною ємності конденсаторів, підключених до обмоток статора або фазного ротора;
- застосуванням керованих реакторів або нелінійних конденсаторів;
- підмагнічуванням осердя статора.

З четвертого графіка видно, що частота ротора на усталених відрізках часу незмінна, стрибкоподібні зміни частоти спостерігаються лише при зміні швидкості вітру. Враховуючи, що в реальних умовах експлуатації вітроустановки, швидкість вітру міняється часто, то варто чекати не лише зміни напруги та струму, але і його частоти.

Нижній графік відображає значення коефіцієнта використання енергії вітру. З графіків видно, що при зміні швидкості вітру, генерована потужність спадає зі зменшенням швидкістю вітру, досягає свого максимуму при максимальній швидкості вітру. Максимальна ефективність роботи вітроенергетичної установки спостерігається в достатньо вузькому діапазоні швидкості вітру. При швидкості меншій 5 м/с. вона не перевищує 0,1.

Аналогічні дослідження при змінній швидкості вітру були проведення при різних значеннях кута β - кут між площиною обертання вітроколеса і хордою лопаті.

Результати моделювання показано на рис. 3.6.

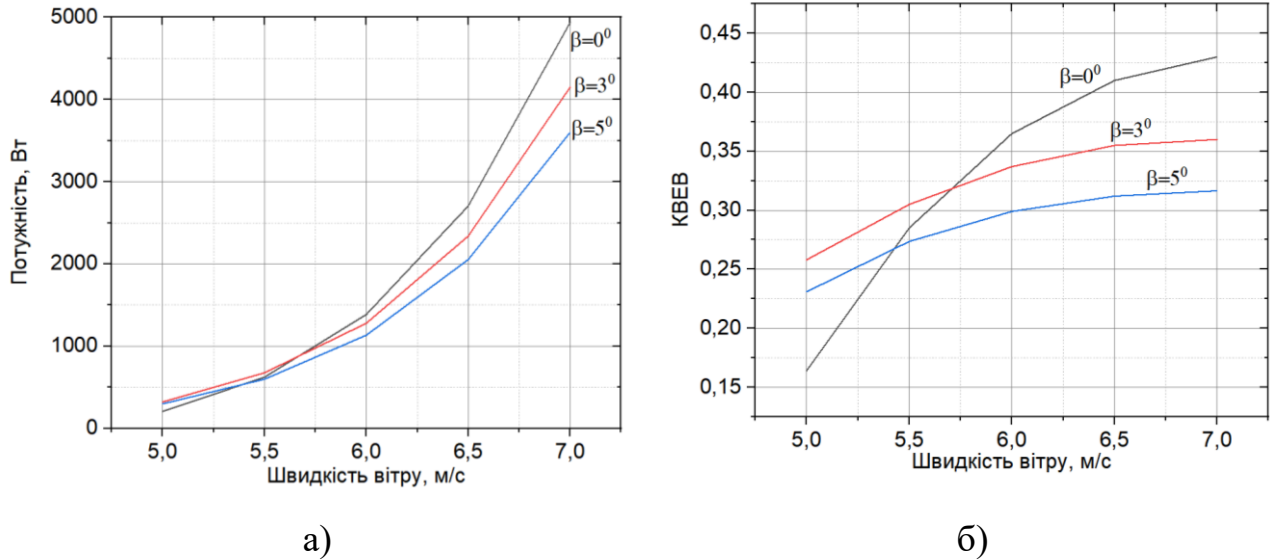


Рисунок 3.6 – Залежність потужності (а), та КВЕВ (б) від швидкості вітру при різних значеннях кута β

Видно (рис. 3.6а), що зміна кута на 5° для швидкості вітру до 6 м/с практично не впливає на вихідну потужність ВЕУ. При швидкості вітру 7 м/с, різниця потужності при $\beta = 0^\circ$, та $\beta = 5^\circ$ становить близько 1000 Вт. Зміною даного кута відбувається регулювання аеродинамічних характеристик вітроколеса. З іншої сторони це призводить до зменшення коефіцієнта використання енергії вітру (рис.3.6б). Зі збільшенням β залежність КВЕВ від швидкості вітру зменшується.

3.4 Методи оптимального управління ВЕУ за критерієм енергетичної ефективності.

Динамічні режими роботи вітроустановки визначаються зміною кінетичної енергії обертових частин вітроколеса і зміною електромагнітної енергії в системі електропостачання, тому для дослідження динамічної стійкості доцільно розділення електромагнітних і механічних процесів за швидкістю їх протікання.

Очевидно, що механічні перехідні процеси, зумовлені переважно інерційністю обертових мас, є більш тривалими у часі і в визначають динаміку ВЕУ.

Зміни швидкості вітру відбуваються поступово і впродовж тривалого часу в порівнянні із ступінчастою зміною потужності навантаження, тому при збільшенні або зменшенні швидкості вітру більш суттєві електромеханічні перехідні процеси, а при зміні потужності навантаження - електромагнітні перехідні процеси.

Для керування режимами ВЕУ існують два основних методи регулювання: регулювання аеродинамічних характеристик вітроколеса, регулювання електричного навантаження генератора ВЕУ.

Регулювання аеродинамічних характеристик ВК полягає в зміні кута атаки всієї лопаті і/або її окремими частинами, в деяких випадках зміною довжини лопаті. Однак аеродинамічний регулювання має недоліки: ускладнення і збільшення маси всієї системи, зниження надійності роботи ВЕУ, великі похибки регулювання, складність механічних регуляторів.

Найбільш перспективним на сьогоднішній день методом формування енергоефективних режимів ВЕС є регулювання навантаження генератора, чому сприяє ряд причин:

- сприятливі тепловентиляційні умови роботи генератора ВЕУ:
- неповне використання по потужності ресурсу генератора, так як номінальна швидкість вітру ВЕУ практично завжди більша фактичних швидкостей вітру в робочому діапазоні:
- можливість використання простих, надійних і відносно дешевих ВК;
- швидке протікання електромагнітних процесів і високу швидкодію електричних та електронних пристроїв управління і комутації.

Таким чином, для забезпечення стійких і енергоефективних режимів роботи ВЕУ доцільно використовувати методи регулювання її навантаження з урахуванням особливостей характеристик ВЕУ, погодних умов і особливостей електроспоживання.

З метою визначення оптимальних значенні потужності для робочих швидкостей вітру аналітичним шляхом визначаються значення кутової швидкості (частоти обертання), потужності і моменту вітрового колеса при максимальному значенні коефіцієнта використання вітру в результаті чого отримують аналітичний вираз залежності $P_{opt} = f(\omega_k)$.

Значення оптимальної потужності визначаються з виразу:

$$P_{opt} = \frac{\rho \pi C_{p \max} r^5}{2 \lambda_{opt}^3} \omega_k^3 = k_{opt} \cdot \omega_k^3. \quad (3.4)$$

де, λ_{opt} - оптимальне значення швидкохідності, що відповідає максимальному значенню КВЕВ.

k_{opt} - оптимальний коефіцієнт вітрового колеса.

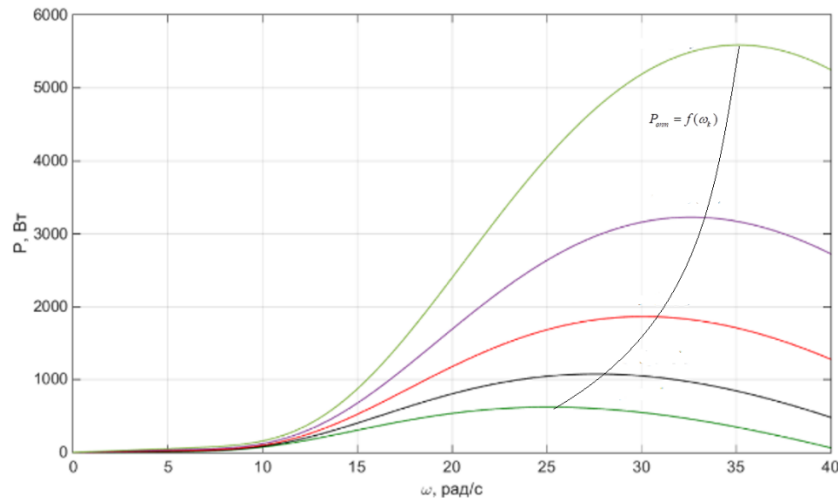


Рисунок 3.7 – Крива залежності оптимальної потужності вітроелектричної установки від частоти обертання вітрового колеса

Оптимальне значення кутової швидкості визначається з виразу:

$$\omega_{k_opt} = \frac{\lambda_{opt}}{r} v, \quad (3.5)$$

Алгоритм оптимального режиму полягає в наступному. У певний момент часу порівнюються поточні значення потужності ВЕУ з оптимальним значенням потужності, що відповідає поточному значенню кутової швидкості. Якщо поточна потужність ВЕУ менше за значенням оптимальної потужності, то вітрове колесо працює в режимі недовантаження, при цьому є можливість збільшити навантаження ВЕУ. В іншому випадку, необхідно розвантажувати ВЕУ, так як робоча точка може переміститися на нестійку ділянку характеристики.

Недоліком описуваного способу є необхідність наявності датчика швидкості вітру (анемометра) для визначення оптимальної потужності, що створює певні складнощі при конструюванні ВЕУ, а також призводить до підвищення вартості всієї системи.

3.5 Висновки до розділу.

1. Запропонована імітаційна модель вітроустановки з асинхронним генератором дозволила визначати її електричні характеристики як при постійній, так і при змінній швидкості вітру.

2. Показано, що використання асинхронного генератора забезпечує стабільність частоти вихідної напруги в діапазоні швидкості вітру 5-7 м/с. Коефіцієнт ефективності ВЕУ тим більше залежить від швидкості вітру чим більший кут між площиною обертання вітроколеса і хордою лопаті.

3. Базуючись на залежності аеродинамічній потужності вітроколеса від швидкості вітру і частоти обертання показано, що для будь-якої заданої швидкості вітру існує частота обертання ротора, при якій потужність вітроенергетичної установки буде максимальною.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні правила безпеки при монтажі вітроенергетичної установки

«Процес експлуатації вітроенергетичної установки вимагає уважного і відповідального ставлення. Пристрої, що входять до її складу можуть представляти при неправильній експлуатації або у важких погодних умовах джерело підвищеної небезпеки»[43].

Регулярно проводите технічне обслуговування обладнання.

Не намагайтеся виконувати ремонт або обслуговування вітроенергетичної установки самостійно. Дані роботи повинен виконувати професійний персонал.

Перевірте стан основних вузлів устаткування при його отриманні.

Не допускайте до експлуатації вітроенергетичної установки осіб, які не одержали необхідні інструкції.

Не допускайте дітей до компонентів вітроенергетичної установки, незалежно від стану системи.

Перед початком експлуатації необхідно ретельно оглянути вітрогенератор, переконатися в надійності кріплення лопатей, щогли, і всіх фланцевих з'єднань.

Перевірити, чи немає пошкоджень ізоляція проводів;

Під час роботи вітрогенератора не допускається торкатися до проводів, і робочої турбіни.

Запуск вітрогенератора повинен проводитися без підключеного навантаження.

Потужність передбачуваного навантаження не повинна перевищувати потужність підключеного до системи інвертора.

2) Електрична безпека

«Вітрогенератор обладнаний складними електронними пристроями, при розробці яких забезпечувався захист від електричних джерел небезпеки, пов'язаних з високими струмами. При підключенні цих та будь-яких інших електротехнічних пристроїв потрібно пам'ятати, що існують ризики, що створюються для людей протіканням електричного струму. Виділення тепла в електротехнічних системах часто є результатом протіканням надмірного струму по проводах з недостатнім перетином або через погані контакти. Акумулятори можуть викидати струми небезпечної величини. У разі короткого замикання в проводах, що йдуть від акумулятора, може виникнути пожежа. Щоб усунути цей ризик, необхідно встановити в ланцюгах, що підключаються до акумулятора, плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу» [39, 40].

Не доторкатися до оголених електричних проводів і під'єднаних роз'ємів.

Не торкатися компонентів ВЕУ, вологими руками.

Не допускати попадання на компоненти ВЕУ (за винятком вітрогенератора і щогли) рідини і не ставити їх на вологу поверхню.

Стежити за тим, щоб електричні проводи і роз'єми були в справному стані.

Не використовуйте обладнання що перебуває в несправному стані: це може привести до аварії і ураження електричним струмом.

Не використовуйте ВЕУ до інших джерелом електричного живлення, наприклад, до місцевої електромережі. У тих випадках, коли передбачено резервне підключення іншого джерела, воно повинно виконуватися кваліфікованим персоналом з урахуванням особливостей роботи обладнання.

Підключення до розподільних мереж об'єкта має проводитися при монтажі вітроенергетичної установки кваліфікованим персоналом в суворій відповідності з нормами і правилами улаштування електроустановок.

Тримати будь легкозаймисті та вибухонебезпечне речовина (бензин, масло, ганчір'я тощо) далеко від компонентів ВЕУ.

Забороняється експлуатувати компоненти ВЕУ у вибухонебезпечному середовищі, так як в її електричних частинах можливе іскріння.

Механічна безпека

«Обертаються лопаті є, велику небезпеку. Лопаті ротора вітрогенератора виготовлені з дуже міцного матеріалу.

Швидкість руху лопатей по зовнішньому діаметру обертання може перевершувати. При такій швидкості лопаті можуть нанести серйозну травму. Ні в якому разі не слід встановлювати турбіну в таких місцях, де можливий контакт людини з рухомими лопатями ротора »

Не можна встановлювати турбіну таким чином, що б хто-небудь міг опинитися на шляху руху лопатей.

Забороняється зупиняти вітроколесо при роботі вітротурбіни, це дуже небезпечно.

Необхідно проводити всі роботи по обслуговуванню вітрогенератора тільки при повній зупинці вітроколеса і в безвітряну погоду.

4.2 Організація цивільного захисту на об'єкті господарської діяльності

Об'єкт господарської діяльності (підприємство, установа, організація) – основна ланка в системі ЦЗ держави. На об'єкті, де зосереджено людські і матеріальні ресурси, здійснюють економічні і захисні заходи.

Відповідно до законодавства, керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, місцем у захисних спорудах, організовує евакозаходи, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність, виконує інші заходи з ЦЗ і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати. Власники потенційно небезпечних об'єктів

відповідають також за оповіщення і захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах.

Начальником ЦЗ об'єкта є керівник об'єкта. він відповідає за організацію і стан ЦЗ об'єкта, керує діями органів і сил цз під час проведення рятувальних робіт на ньому. Заступники начальника ЦЗ об'єкта допомагають йому з питань евакуації, матеріально-технічного постачання, інженерно-технічного забезпечення тощо (рис. 7.1).



Рисунок 4.1 – Структура ЦЗ об'єкта господарської діяльності

Органом повсякденного управління ЦЗ є відділ (сектор) з питань НС та ЦЗ, який організовує і забезпечує повсякденне керівництво виконанням завдань ЦЗ на об'єкті.

Для підготовки та втілення в життя заходів з окремих напрямів створюють служби зв'язку та оповіщення, сховищ і укриттів, протипожежної охорони,

охорони громадського порядку, медичної допомоги, протирадіаційного і протихімічного захисту, аварійно-технічного та матеріально-технічного забезпечення тощо. Начальниками служб призначають начальників установ, відділів, лабораторій, на базі яких вони утворюються.

Службу зв'язку та оповіщення створюють на базі вузла зв'язку об'єкта. Головне завдання служби – забезпечити своєчасне оповіщення керівного складу та службовців про загрозу аварії, катастрофи, стихійного лиха, нападу противника; організувати зв'язок і підтримувати його в стані постійної готовності.

Протипожежну службу створюють на базі підрозділів відомчої пожежної охорони. Служба розробляє протипожежні профілактичні заходи і контролює їх виконання; організовує локалізацію і гасіння пожежі.

Медичну службу формують на базі медичного пункту, поліклініки об'єкта. На неї покладають організацію проведення санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, надання медичної допомоги потерпілим та евакуацію їх у лікувальні установи, медичне обслуговування робітників, службовців і членів їхніх сімей у місцях розосередження.

Службу охорони громадського порядку створюють на базі підрозділів відомчої охорони. Її завдання – організувати і забезпечити надійну охорону об'єкта, громадського порядку в умовах НС, під час ліквідації наслідків аварії, стихійного лиха, а також у воєнний час.

Службу протирадіаційного і протихімічного захисту організовують на базі хімічної лабораторії чи цеху. На неї покладають розробку та здійснення заходів щодо захисту робітників і службовців, джерел водозабезпечення, радіаційного і хімічного спостереження, проведення заходів з ліквідації радіаційного і хімічного зараження та здійснення дозиметричного контролю.

Службу сховищ та укриттів організовують на базі відділу капітального будівництва, житлово-комунального відділу. Вона розробляє план захисту

робітників, службовців та їх сімей з використанням сховищ та укриттів, забезпечує їх готовність та правильну експлуатацію.

Аварійно-технічну службу створюють на базі виробничо-технічного відділу або відділу головного механіка. Служба розробляє та здійснює попереджувальні заходи, що підвищують стійкість основних споруд, інженерних мереж та комунікацій у нс, організовує проведення робіт з ліквідації і локалізації аварії на комунально-енергетичних мережах.

Службу матеріально-технічного забезпечення створюють на базі відділу матеріально-технічного постачання об'єкта. Вона організовує своєчасне забезпечення формувань усіма засобами оснащення, постачання продуктів харчування і предметів першої необхідності робітників та службовців на об'єкті та у місцях розосередження, ремонт техніки і майна.

Транспортну службу організовують на базі транспортного відділу, гаражу об'єкта. вона розробляє і здійснює заходи із забезпечення перевезень, пов'язаних із розосередженням працівників та доправлення їх до місця роботи, проведення рятувальних робіт.

Кожна служба створює, забезпечує, готує формування служби (команди, групи, ланки) і керує ними під час виконання робіт. Формування загального призначення – рятувальні загони (команди, групи, ланки), зведені рятувальні загони (команди), підпорядковані безпосередньо начальнику цз об'єкта. кожне з них має свою структуру і можливості. Наприклад, зведена рятувальна команда (ЗРК) у своєму складі має підрозділи різного призначення, такі як ланка зв'язку і розвідки, дві рятувальні групи, група механізації, санітарна дружина тощо. ЗРК може самостійно виконувати основні рятувальні та інші невідкладні роботи (РНР) в осередку ураження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі приведені результати теоретичних досліджень та вирішена науково-технічна задача, що полягає в розробці імітаційної моделі вітроелектричної установки. На базі отриманих результатів зроблено наступні висновки:

1. Розроблено модель трилопатевого вітроколеса вітроенергетичної установки, яка перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання валу вітроколеса. Показано, що максимальне значення коефіцієнта використання енергії вітру не перевищує 0,43.

2. Проведено розрахунок параметрів для моделі асинхронного генератора з короткозамкненим ротором на основі асинхронної машини марки АИР 132М8.

3. Розроблена імітаційна модель вітроелектричної установки з асинхронним генератором дозволила визначати режими роботи при активному навантаженні як при постійній, так і при змінній швидкості вітру.

4. Базуючись на залежності аеродинамічній потужності вітроколеса від швидкості вітру і частоти обертання показано, що для будь-якої заданої швидкості вітру існує частота обертання ротора, при якій потужність вітроенергетичної установки буде максимальною.

5. Розроблено і запропоновано заходи щодо охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при монтажі вітроелектричної установки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – К.: ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справ. и метод. пособ.: / П.П. Безруких. – М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. – 320 с.
3. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология / П.П. Безруких. – М.: Колос, 2008. – 196 с.
4. Брускин Д. Э. Электрические машины: уч. для электротехн. спец. вузов/ Д. И. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. – М.: Высш. шк., 1987 – Ч.1. – 319 с.
5. Бут Д. А. Безконтактные электрические машины /Д. А. Бут. – М.: Высш. шк.,1990. – 416 с.
6. Васько В.П. Управление параметрами электроэнергии автономных ветроэлектрических установок / В.П. Васько // Технічна електродинаміка. –2002. – Вип.1. – С.53 – 56.
7. Ветроэлектрические станции / В.Н. Андрианов, Д.Н. Быстрицкий, К.П. Вашкевич, В.Р.Секторов; под общ. ред. Андрианова В.Н.; – М.–Л.: Гос. энерг. изд-во, 1960. – 320 с.
8. Ветроэнергетика / [под ред. Д. де Рензо]; [Пер. с англ. Зубарева В.В. и Дранкфурта М.О.]; [под. ред. Шефтера Я.И.] – М.: Энергоатомиздат, 1982. –272 с.
9. Ветроэнергетика Украины. [Электронный ресурс] – режим доступа до даних: http://www.uwea.com.ua/ukraine_wind.php
10. Д. де Рензо. Ветроэнергетика / [Под. ред. Я.И. Шефтера] – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 228 с.
11. Дзензерский В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – К.: Наук. думка, 2011. – 592. С

12. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии / В.В. Елистратов. Учеб. пособ. – СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 250 с.
 13. Елистратов В.В. Расчет фундаментов ветроэнергетических установок: учеб. пособ. / В.В. Елистратов, И.А. Константинов, А.Н. Панфилов; Ч. 1. –К: Изд-во СПб ГТУ, 2001.
 14. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарний, А. В. Щурчков// – К.: ІТТФ, 2002. – С. 151 -159.
 15. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учеб. для вузов. / А.В. Иванов-Смоленский; – М.: Энергия, 1980.– 928 с.
 16. Кашафутдинов С.Т. Атлас аэродинамических характеристик крыловых профилей. С.Т. Кашафутдинов / В.Н. Лушин, 1994. – 46 с.
 17. Кривцов В.С. Ветроэлектрогенераторы / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Неисчерпаемая энергия: уч.: кн. Харьк. нац. аэрокосм. ун-т. – Х: – С: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.
 18. Птицын О.В., Григораш О.В. Генераторы переменного тока. Состояние и перспектива // Электротехника, 1994. — № 9. — С. 2-6.
- Лищенко А.И. Асинхронные машины с массивным ферромагнитным ротором / А.И. Лищенко, В.А. Лесник. – К.: Наукова думка, 1984. – 168 с.
- Siegfried H. Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems / H.
19. Siegfried. – Kassel: John Wiley & Sons Ltd, 1998. – P. 511.
 20. Godoy Simoes M. Modeling and Analysis with Induction Generators / M.
 21. Simoes Godoy, Felix A. Farret. – NY.: CRC Press, 2015. – P. 435.
 22. Араџо R.E. Induction motors-Modelling and Control / R.E. Араџо. – Rijeka:
 23. InTech, 2012. – P. 558.
 24. Mohan N. Advanced Electric Drives: Analysis, Control, and Modelling
 25. Using MATLAB-Simulink / N. Mohan. – H.: John Wiley & Sons Inc, 2014. – P. 199.

26. Boldea I. Electric Machines Steady State Transients and Design with Matlab / I. Boldea, L. Tutelea. – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2010. – P. 800.
27. Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives / B.K. Bose. – NJ.: Prentice hall, 2002. – P. 711.
29. Зубова Н. В. Методы оптимального управления ветроэнергетической установкой по критерию энергетической эффективности / Н. В. Зубова, С. Н. Удалов, В. З. Манусов // Материалы 5 Всероссийской научно-технической конференции «Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования». – Томск: Изд-во ТПУ, 17–18 мая 2012 г., с.16–19.
30. 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).