

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Центр перепідготовки та післядипломної освіти
Кафедра електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «РОЗРОБКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ КАФЕДРИ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТНТУ ім. І. ПУЛЮЯ»

Виконав: студент II курсу, групи ЕЕд-2,
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Маїтальяр Степан Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Тернопіль – 2021 рік

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти

Кафедра Електричної інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр

Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Електричної інженерії

д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

“01” вересня 2021 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Маїталаю Степану Володимровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка вітроенергетичної системи електропостачання навчальної лабораторії кафедри електричної інженерії ТНТУ ім. І. Пулюя»

керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від 28 червня 2021 р. № 4/7-693

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Данні метеоспостережень в Тернопільській області: середня швидкість вітру за рік, повторюваність швидкостей вітру, розподіл швидкості вітру, питома потужність і енергія вітру, енергетичні вітрові ресурси регіону. Дані енергоспоживання електроприймачів приміщень кафедри електричної інженерії

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунково-дослідницький розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставлені задачі та шляхи їх розв'язку

2. Електричне навантаження навчальних приміщень кафедри

3. Структурна схема альтернативного електропостачання на базі ВЕУ

4. Структурні схеми вітроенергетичних установок

5. Модель вітроенергетичної установки у програмному середовищі MatLab

6. Загальні висновки до дипломної роботи

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання - вересень 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналітичний розділ</i>		
2	<i>Проектно-конструкторський розділ</i>		
3	<i>Розрахунково-дослідницький розділ</i>		
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>		
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>		
6	<i>Оформлення графічної частини</i>		

Студент

_____ **Машгаляр С. В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Оробчук Б. Я.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Машталяр С. В. Розробка вітроенергетичної системи електропостачання навчальної лабораторії кафедри електричної інженерії ТНТУ ім. І. Пулюя. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Центр перепідготовки та післядипломної освіти. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕд-2. – Тернопіль: ТНТУ, 2021.

Стор. - 68; рис. - 26; табл. - 3; плакатів - 7; джерел – 35

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки вітроенергетичної системи електропостачання навчальної лабораторії кафедри електричної інженерії ТНТУ ім. І. Пулюя та її практичне впровадження. Базовим джерелом є вітрогенератор, а резервним додатковим джерелом – акумуляторна батарея.

У пояснювальній записці кваліфікаційної роботи розглянуто питання вибору об'єкта альтернативного електропостачання, розрахунок і вибір вітрогенератора та додаткового обладнання вітроенергетичної установки. Також виконано розрахунок технічних характеристик вітроелектричної установки з горизонтальною віссю обертання та її аеродинамічних параметрів. Проведено математичне моделювання вітроенергетичної установки, результати якого підтвердили, що розроблена вітроенергетична установка здатна забезпечити електропостачання освітлювального обладнання 4-го поверху кафедри електричної інженерії.

Ключові слова: вітроенергетична установка; вітрогенератор; система електропостачання; акумуляторна батарея; аеродинамічні параметри; математичне моделювання.

ABSTRACT

S. Mashtaliar. Development of wind power supply system of the training laboratory of the Department of Electrical Engineering Ivan Puluj TNTU. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Center for retraining and postgraduate education. Chair of Electrical Engineering, group ЕЕд-2. – Ternopil: TNTU, 2021.

Page – 68; Illustrations – 26; Tables – 3; Blueprints – 7; Sources – 35

In the qualification work the question of development of wind power system of power supply of educational laboratory of the department of electrical engineering of Ivan Puluj TNTU and its practical implementation. The basic source is a wind generator, and the backup additional source is a rechargeable battery.

In the explanatory note of the qualification work the issues of selection of the object of alternative power supply, calculation and selection of the wind generator and additional equipment of the wind power plant are considered. The calculation of technical characteristics of a wind power plant with a horizontal axis of rotation and its aerodynamic parameters was also performed. Mathematical modeling of the wind power plant was carried out, the results of which confirmed that the developed wind power plant is able to provide power supply of lighting equipment on the 4th floor of the Department of Electrical Engineering.

Key words: wind power plant; wind generator; power supply system; battery; aerodynamic parameters; mathematical modeling.

ВСТУП

Актуальність теми. Вітроенергетика останнім часом достатньо ефективно виокремилася в багатьох країнах в окремі галузі енергетичних господарств, що успішно конкурують із традиційною енергетикою. Особливу увагу надано вітроенергетичним установкам середньої та великої потужності, які входять в мережі розподілу та передачі електроенергії [1]. Відомо, що зараз світовий ринок малих вітроенергетичних установок доволі динамічно розвивається за рахунок масових споживачів, зокрема об'єктів малоповерхового будівництва, сільськогосподарських підприємств, системи віддаленого контролю, освітлювальних систем, телекомунікаційного обладнання та інших автономних споживачів електроенергії. Відповідно, ефективне використання вітрового потенціалу є актуальним науково-технічним завданням, суть якого полягає у покращенні аеродинамічних характеристик вітроенергетичних установок та збільшенні їх продуктивності в цілому [2].

Вітроенергетика вважається перспективним напрямом генерації електричної енергії. Використання відновлюваної екологічно чистої енергії вітру дозволяє компенсувати зростання електроспоживання у зв'язку зі збільшенням населення планети. Основною перешкодою при використанні вітру в якості енергетичного джерела є непостійна його швидкість і, відповідно, й енергія в часі. Вітер володіє не тільки багаторічною і сезонною непостійністю, але може також змінювати свою активність на протязі доби за дуже малі проміжки часу [3].

Конструкції вітроенергетичних установок постійно вдосконалюються, що дозволяє підвищити їхню режимну керованість за допомогою інноваційних рішень, наприклад, застосуванням пристроїв активного управління потоком та зміною геометрії лопатей. В Україні цей напрямок поки що не отримав розвитку, але такі способи підвищення енергоефективності режимів роботи цих установок отримали підтримку у тих країнах, які є лідерами позиції з вироблення енергії, вітроенергетичними установками (Китай, США, Німеччини, Нідерланди та ін.).

Крім того, вітроенергетичні установки дозволяють частково вирішити проблему енергозбереження, яка сьогодні стоїть сьогодні дуже гостро, оскільки є постійний розвиток промисловість та технології, що вимагає суттєвого збільшення витрат електричної енергії, зростання вартості на виготовлення продукції. Відповідно до цих тенденцій підприємства, установи, різні організації змушені шукати шляхи зниження споживання електроенергії та підвищувати рівень своєї енергоефективності.

Законодавча база України також розглядає проблему енергозбереження на державному рівні. У 2013 році була розроблена «Енергетична стратегія України на період до 2030 р.» [4], відповідно до якої всі підприємства, а також малопотужні споживачі, повинні добиватися зниження споживання електричної енергії. ТНТУ ім. І. Пулюя не є винятком. В кваліфікаційній роботі виконано дослідження ефективності впровадження локальної вітроелектростанції з вітроенергетичною установкою низької потужності у структуру електричної мережі на прикладі начального корпусу №7 ТНТУ ім. І. Пулюя. Одним із перспективних рішень щодо ефективного використання енергоресурсів є впровадження для електропостачання окремих корпусів університету вітрогенераторів. Передбачається, що за допомогою впровадження вітроелектростанції у навчальному корпусі можна знизити енергоспоживання з енергосистеми та витрати на електроенергію для окремих лабораторій.

Проведений в кваліфікаційній роботі аналіз показав, що собівартість генерації електричної енергії буде перевищувати діючий «зелений» тариф, тому впровадження подібних вітрових електростанцій варто використовувати в якості інструмента покращення екологічних та соціальних аспектів побуту. Рентабельність розробленої вітрової електростанції може бути отримана у випадку використання недорогого обладнання з одночасним забезпеченням вищих обсяги виробництва електричної енергії, тобто до зниження собівартості її генерації.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та визначення оптимальних технічних характеристик вітрової електростанції, яка буде використовуватися у якості альтернативне джерело живлення для освітлення лабораторій і аудиторій кафедри електричної інженерії навчального корпусу №7.

Для досягнення мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- проведено розрахунок необхідного рівня генерації електроенергії в районі навчального корпусу №7 згідно статистичних даних метеоспостережень;
- виконано оцінку енергетичних потреб окремих навчальних приміщень кафедри електричної інженерії;
- виконано розрахунок та обґрунтовано вибір вітрового генератора;
- розроблено структурну схему альтернативного електропостачання на базі вітроенергетичної установки;
- розроблено структурну схему вітроенергетичної установки;
- розроблено модель вітроенергетичної установки у програмному середовищі Matlab;
- отримано результати моделювання, які підтверджують проведені розрахунки та доцільність використання вітроенергетичної установки.

Об'єктом дослідження є альтернативне електропостачання лабораторій і аудиторій кафедри електричної інженерії навчального корпусу №7.

Предметом дослідження є вітроенергетична установка в якості джерела альтернативного електропостачання для освітлення лабораторій і аудиторій кафедри електричної інженерії.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленій математичній моделі вітроенергетичної установки, яка враховує параметри вибраного вітрогенератора з віртуальним синхронним генератором, моделювання роботи якого та імітацію дію вітру і рух механічної частини вітрогенератора виконано в програмному середовищі Matlab.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Практична значимість результатів, отриманих в кваліфікаційній роботі, полягає у можливості використання запропонованої вітрової енергетичної установки в якості джерела альтернативного електропостачання для окремих лабораторій кафедри електричної інженерії навчального корпусу №7 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 24-25 листопада 2021 р. (м. Тернопіль).

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Система автономного електропостачання на базі відновлювальних джерел енергії». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 лист. 2021) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2021.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (35 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини: 68 сторінок, 3 таблиці, 26 рисунків.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Конструкція вітрогенераторів та їх застосування	10
1.2 Вітрові генератори з горизонтальною віссю обертання	12
1.3 Вітрові генератори з вертикальною віссю обертання	17
1.4 Принцип роботи вітроенергетичної установки	22
1.5 Висновки до розділу 1	26
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	27
2.1 Вибір об'єкта альтернативного електропостачання	27
2.2 Розрахунок освітлювальної потужності	29
2.3 Аналіз вітроенергетичного потенціалу	31
2.4 Розрахунок та вибір вітрогенератора	33
2.5 Висновки до розділу 2	38
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Додаткове обладнання вітроенергетичної установки	39
3.2 Розрахунок технічних характеристик вітроелектричної установки	41
3.3 Розрахунок вітроколеса з горизонтальною віссю обертання	43
3.4 Розрахунок аеродинамічних параметрів вітроелектричної установки	45
3.5 Математичне моделювання вітроенергетичної установки	49
3.6 Висновки до розділу 3	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
4.1 Заходи з охорони праці під час експлуатації вітрових турбін	56
4.2 Техніка безпеки при монтажі і експлуатації системи стабілізації	60
4.3 Пожежна безпека і мікроклімат при експлуатації вітроелектростанцій	61
4.4 Висновки до розділу 4	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Конструкція вітрогенераторів та їх застосування

Загальні відомості

Вітрогенератор представляє собою інженерну конструкцію, яка при перетворенні вітрового потоку генерує електричну або механічну енергію для її подальшого використання споживачами [5]. На сьогодні використовується два основних типи вітрогенераторів, конструктивні відмінності яких полягають у розташування осі обертання елемента, який захоплює енергію вітру. Розрізняють вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання і з вертикальною віссю обертання (рис. 1.1).

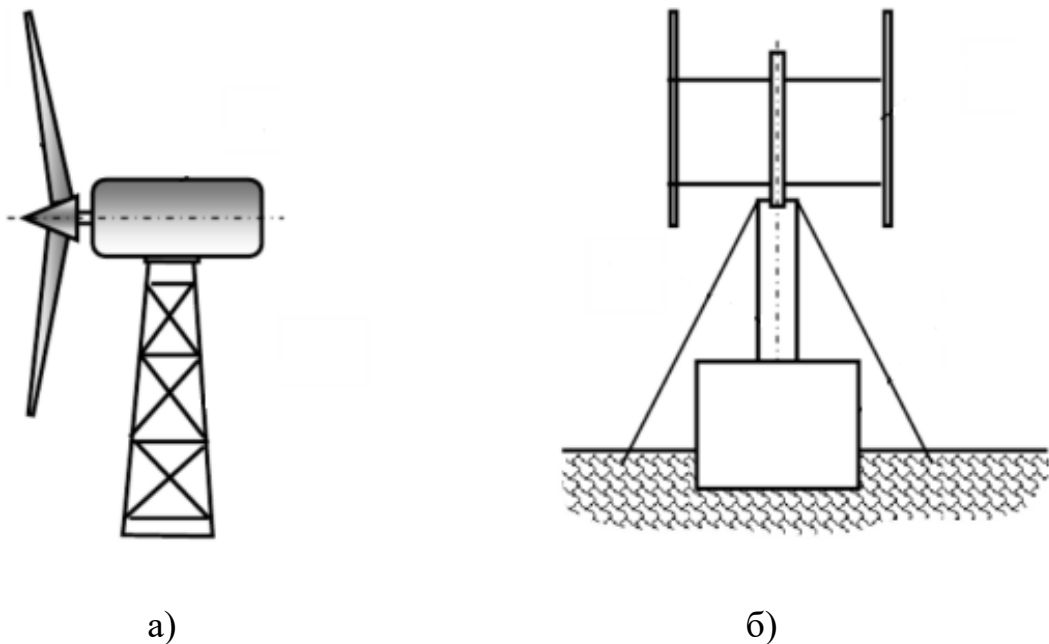


Рисунок 1.1 - Вітроустановка з горизонтальною віссю обертання (а)
і з вертикальною віссю (б)

Принцип роботи вітрогенератора (рис. 1.2) полягає у наступному. Потік вітру створює тиск на лопаті 12 вітрового колеса. Ротор 1 вітрового колеса закріплено на низькошвидкісному валу 2. При тиску вітру вітрове колесо, тобто ротор з лопатями та низькошвидкісний вал, починає обертатися, виконуючи при цьому перетворення вітрової енергії на енергію механічну. Низькошвид-

кісний валу через редуктор 3 механічний рух передається на вал 8 електричного генератора 4. Коли обертається ротор електричного генератора, то механічна енергія перетворюється на електричну.

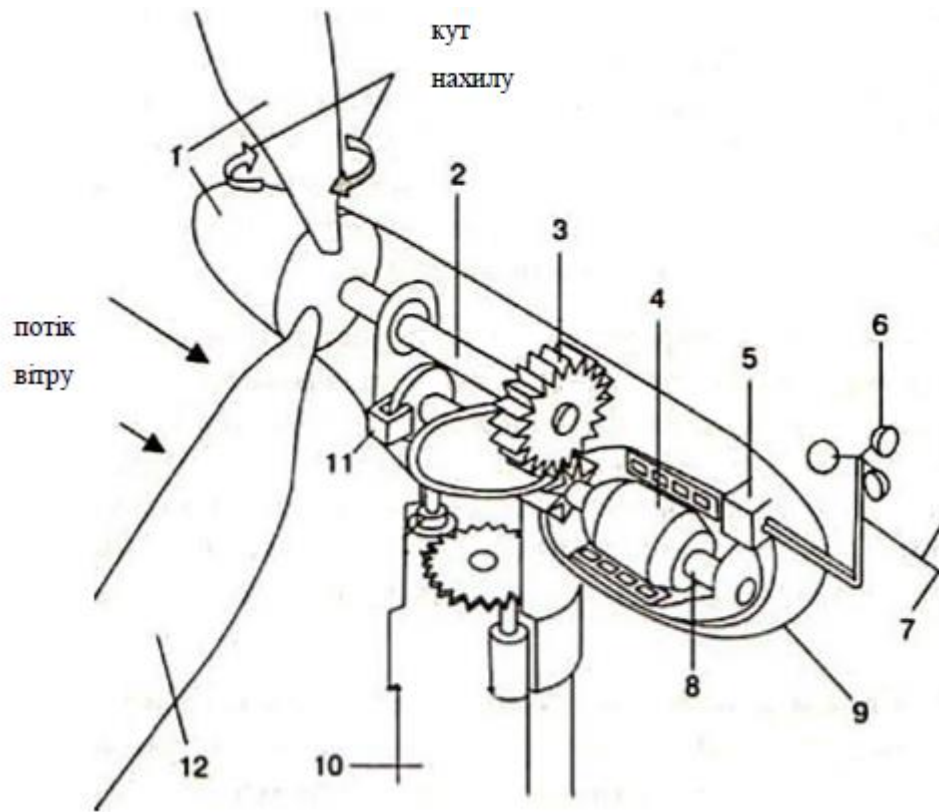


Рисунок 1.2 - Вітроустановка з горизонтальною віссю обертання (а)
і з вертикальною віссю (б)

На рис. 1.2 представлено конструктивну схему електричної установки для наочної ілюстрації про її будову і яка складається з наступних елементів.

1. Ротора вітроколеса, який перетворює тиску вітру на механічну енергію.
2. Низькошвидкісного валу, який передає механічну енергію і приводиться в рух ротором вітроколеса.
3. Редуктора, який служить для підвищення частоти обертання ротора вітроколеса.
4. Генератора, який служить для генерації електроенергії та має високошвидкісний вал.
5. Контролера, який відповідає за управління всією установкою. Він в автоматичному режимі запускає вітрову турбину або виконує її гальмування.

6. Анеометра, який служить для визначення швидкості вітру і передає цей параметр до контролера.

7. Флюгера, який служить для визначення напрямку вітру і повороту вітрового колеса в потрібному напрямку.

8. Високошвидкісного валу, який здійснює обертання ротора електричного генератора.

9. Гондоли, яка несучою верхньою частиною конструкції вітрової турбіни з валом, редуктором, генератором, котролером та гальмовим механізмом.

10. Щогли, яка представляє собою порожнисту конструкцією з металу або бетону, де розміщено всі основні елементи на висоті.

11. Гальмового механізму, який служить для запобігання виходу з ладу установки і використовується для гальмування та зупинки ротора при виникненні критичних ситуацій (наприклад, сильний вітер).

12. Лопатей, які є базовим елементом вітрової установки, і використовуються для захоплення енергії вітру. З їх допомогою здійснюється активна робота цього пристрою. Коли потік вітру потрапляє на лопаті, то він приводить їх у рух, обертає ротора і здійснює генерацію електроенергії генератором.

Хоча з першого погляду спостерігається подібність, але насправді є доволі суттєві відмінності в параметрах вітрових генераторів з горизонтальною та вертикальною віссю обертання. Далше необхідно виконати аналіз технічних можливостей вітрових генераторів цих двох типів конструкції.

1.2 Вітрові генератори з горизонтальною віссю обертання

На даний час вітрові генератори з горизонтальною віссю обертання отримали найбільше розповсюдження [5 - 7]. У цих пристроях вісь обертання вітрокоlesa, лопаті якого обертаються проти вітру, розташована паралельно до землі. Такий тип виконання ще називають «вітряком». Конструкція горизонтальних вітрових генераторів розроблена таким чином, що передня частина вітрового колеса автоматично повертається, коли здійснює пошук вітру. Також може змінюватися кут повороту лопатей, щоб захопити навіть невелику швид-

кість вітру. В більшості випадків цей тип вітрогенераторів використовують для отримання великого об'єму електричної енергії [8, 9]. Горизонтальні вітрові установки мають високий коефіцієнт корисної дії (близько 50%), відповідно, саме цей тип вітрогенераторів як правило використовують при побудові систем вітрових електричних станцій.

Вітрові генераторів з горизонтальною віссю обертання вітроколесо може мати різну кількість лопатей. Відповідно, такі вітрогенератори поділяють на одно-, дво-, три- та багатолопатевої конструкції.

Для забезпечення орієнтації ротора вітроколеса вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання за вітром до його складу обов'язково входять додаткові конструктивні елементи, які, в свою чергу, ускладнює конструкцію та є недоліком даного типу вітроенергетичної установки.

Вагомою перевагою вітрових генераторів з горизонтальною віссю обертання є їхня значна ефективність у порівнянні з іншими типами, у яких вісь обертання розміщена вертикально. Це можна пояснити тим, що кути атаки у робочому режимі в них є меншими. Як наслідок, вітрові генератори з горизонтальною віссю обертання характеризуються меншими масогабаритними даними в порівнянні з вертикальними вітроенергетичними установками, які генерують однакову робочу потужність. Даліше виконаємо аналіз конструктивного виконання горизонтальних вітроенергетичних установок.

Однолопатевої типи вітрових генераторів

До головних переваг однолопатевої вітрових генераторів можна віднести високі обороти цієї установки. У цих вітрогенераторах замість другої лопаті є противага, яка несуттєво впливає на опір руху повітря, а це дає можливість використовувати їх в високооборотних генераторах, включаючи і асинхронні. Варто відмітити, що ці вітрогенератори працюють навіть при дуже невеликій швидкості вітру.

До недоліків однолопатевої вітрогенератора можна віднести наявність великого гіроскопічного ефекту через високу швидкість обертання, а це сповільнює повертання ротора при зміні вітру та зумовлює додаткове

навантаження на лопаті поворотний вузол. Також до недоліків можна віднести необхідність точного балансування лопаті, так як виникає підвищена небезпека при функціонуванні установки, яка пояснюється вищою силою удару швидкохідною лопатою перед тихохідною. На рис. 1.3 показано приклад типового однолопатевого вітрогенератора.



Рисунок 1.3 – Однолопатевиий вітрогенератор

Дволопатеви типи вітрових генераторів

Вітрові генератори дволопатевого типу представляють собою конструкцію, яка подібна до однолопатевого типу, тільки мають різну кількість лопатей. Якщо порівнювати з однолопатевою конструкцією, то вони мають перевагу, скільки тут парна кількість лопатей, то ротор вітроколеса є завжди врівноваженим при будь-якому кутовому положенні його лопатей. Такий тип вітрогенератора не обладнаний додатковими конструктивними елементами для забезпечення врівноваженості конструкції. За рахунок спрощення конструкції можна знизити вартість цієї модифікації у порівнянні з подібною модифікацією однолопатевої вітроенергетичної установки.

Недоліком розглянутої конструкції дволопатевого вітрогенератора є те, що вона створює сильний шум і має схильність до вібрації [10]. На рис. 1.4 приведено приклад самопідйомної дволопатевої вітроустановки GevMP з номінальною потужністю 280 кВт французької фірми *Vergnet*.



Рисунок 1.4 – Дволопатеви́й вітрогенератор

Трилопатеви́ типи вітрових генераторів

Трилопатеви́ типи вітрових генераторів є найпоширенішою модифікацією із горизонтальною віссю обертання валу вітрового колеса. Проведені зарубіжними вченими дослідження ще у минулому столітті показали, що найоптимальніша кількість лопатей горизонтальних вітрових генераторів повинна становити три лопаті [11]. Цей висновок був ефективно використаний потужними виробниками вітрових генераторів і, відповідно саме такі типи вітряків найбільш широко представлені на ринку вітрової енергетики [10].

На даний час трилопатеви́ типи вітрових генераторів мають лінійку потужності від декількох ватт до декількох мегаватт. На рис. 1.5 приведено приклад однієї з найпотужніших на сьогоднішній день трилопатевої вітрової

енергетичної установки німецької фірми Enercon номінальною потужністю 7 мВт.



Рисунок 1.5 – Трилопатевий вітрогенератор

Багатолопатеві типи вітрових генераторів

До багатолопатевих вітрових генераторів відносяться горизонтальні типи вітрогенератори, які мають кількістю лопатей від 4 до 50. Відомо, що ротор вітрового колеса з великою кількістю лопатей може розвинути достатньо сильний крутний момент, який є його перевагою над іншими типами вітрових установок. Але вітрові колеса цього типу характеризуються великим моментом інерції, відповідно, вони є тихохідні.

Розглянуті конструктивні особливості та технічні параметри багатолопатевих вітрових генераторів відповідають технічним вимогам, які вимагають системи енергоживлення водяних насосів. Відповід, їх у більшості випадків використовують у якості альтернативного джерела електричної енергії при побудові водонасосних систем [13]. На рис. 1.6 приведено приклад багатолопатевої вітроенергетичної установки.



Рисунок 1.6 – Багатолопатева вітроенергетична установка

1.3 Вітрові генератори з вертикальною віссю обертання

У порівнянні з горизонтальними вітровими генераторами вертикальні мають меншу ефективність. Їхній коефіцієнт корисної дії в три рази менший за горизонтальні типи вітрогенераторів [14]. Лопаті вертикального вітрового генератора здійснюють обертання перпендикулярно до поверхні землі при будь-якій силі вітру і його напрямку. Тому половина від загальної кількості лопатей такого вітроколеса завжди здійснює обертання проти вітру, відповідно вітрогенератор з вертикальною віссю обертання половину потужності потоку вітру не використовує, що знижує його енергоефективність. Це можна віднести до головного недоліку цього типу вітрогенераторів. Також варто відзначити і наступні недоліки цього типу:

- не володіє здатністю самостійно розкручувати лопаті;
- елементи конструкції отримують досить велике навантаження;
- всі лопаті мають бути ідентичні та відповідати точному профілю;
- присутній високий рівень шуму під час роботи.

Попри зазначені недоліки вітрові генератори з вертикальною віссю обертання мають і деякі певні переваги. Зокрема, ці моделі володіють простотою монтажу та експлуатації, так як у конструкції з вертикальним вітровим колесом редуктор та електричний генератор розміщуються на землі. До конструктивних переваг можна віднести і те, що для їх роботи не потрібний флюгер. Також такі вітрогенератори можуть самостійною орієнтуватися за повітряним потоком. Конструкції вертикальних вітрових генераторів мають досить суттєві відмінності через різну модифікацію вітрових коліс. Далше розглянемо найбільш розповсюджені варіанти.

Ротор Савоніуса. На рис. 1.7 приведено приклад конструкції ротора Савоніуса, в якій лопаті ротора виконані у вигляді циліндричних поверхонь.

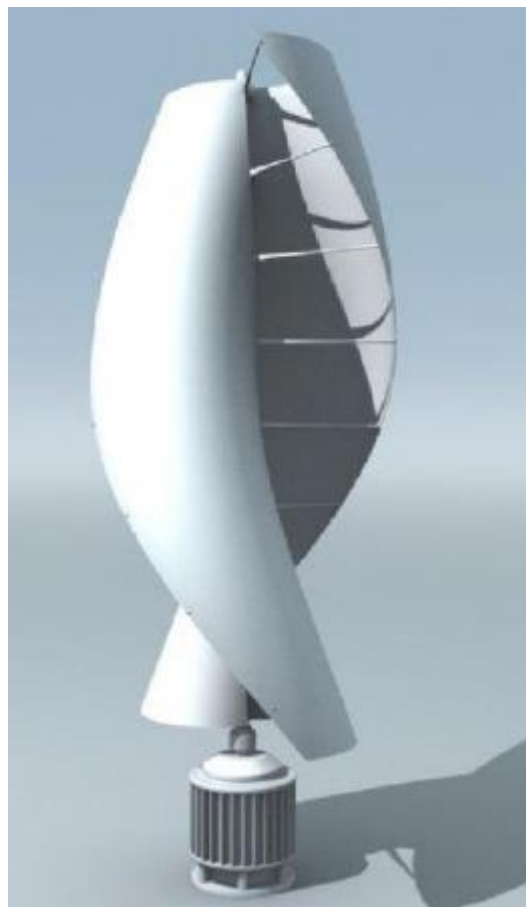


Рисунок 1.7 – *Ротор Савоніуса*

Ротора Савоніуса має наступні переваги:

- може запускатися при малих значеннях вітру, обертання починається зі швидкості від 3 м/сек;

- може швидко набирати високі показники крутного моменту;
- володіє високою надійністю конструкції;
- характеризується доволі невисокою вартістю виготовлення.

Вітрогенератори з ротором Савоніуса володіють такими самими недоліками, як і всі вітрогенератори з вертикальною віссю обертання. Зокрема, можна відзначити неповне використання вітрової енергії, внаслідок чого отримуємо низьку ефективність перетворення повітряного потоку. На даний час промисловість випускає подібні пристрої з потужністю в межах 4 - 6 кВт.

Ротор Дар'є. Вертикальний вітровий генератор із ротором Дар'є було розроблено трохи пізніше від звичайного класичного вітрогенератора. Зазвичай такі вітрові генератори комплектують двома або трьома лопатями, які вигинають у формі овалу (рис. 1.8)



Рисунок 1.8 – Ротор Дар'є

Вітрові генератори з ротором Дар'є є досить простими у виготовленні та легко піддаються монтажу. До переваг цього типу вітрогенераторів можна відзначити їх самостійну орієнтацію за напрямом повітряного потоку. Так як

головний вал приводу розташовується поблизу рівня землі, то його обслуговування є доволі зручним. Також до переваг конструкції вітрогенератора із ротором Дар'ї можна віднести просту кінематичну схему. До головних недоліків такого типу вітрогенератора відносять те, що ротор потрібно запускати вручну. Крім того, він створює високе навантаження на опорні вузли внаслідок динамічного впливу повітряних потоків. Щоб вітрогенератор нормально працював, необхідно жорстко дотримуватись заданого профілю лопаті за всією її довжиною. Вітровий генератор із ротором Дар'є генерує високі шуми під час роботи.

Гелікоїдний ротор. Гелікоїдний ротор можна вважати прототипом вертикально-осьового вітроколеса (рис 1.9).



Рисунок 1.9 – Гелікоїдний ротор

Лопаті цього вітрогенератора виконано у формі гелікоїдної кривої, внаслідок чого конструкція володіє більш рівномірним обертанням і дозволяє знизити навантаження на опорну частину. Швидкий набір швидкості отримується за рахунок вигину лопатей ротора по діагоналі. Ефективність використання вітрового потоку цим пристроєм близька до характеристик горизонтальних пристроїв. У той же час, цей тип вітрогенератора створює підвищений шум при

роботі та генерує звукові хвилі в короткохвильовій частині звукового спектру. Виготовлення гелікоїдного ротора є доволі дорогим задоволенням через складну конфігурацію профілю лопатей.

Багатолопате́вий ротор. Багатолопате́вий ротор представляє собою модифікація вертикально-осьової конструкції вітрового колеса, яка доповнена зовнішнім кільцем нерухомих лопатей (рис 1.10). Така схема дозволяє збільшити корисну площу захоплення потоку вітру, сприяє його стисненню та прискоренню, внаслідок чого отримуємо підвищення ефективності вітрового генератора в цілому. Варто відзначити, що ця конструкція чутлива до малих швидкостей вітру. Але такий вітрогенератор не є дешевим, оскільки багатолопате́вий ротор характеризується підвищеною матеріаломісткістю. Під час експлуатації вітрогенератора з багатолопате́вим ротором конструкцію супроводжує збільшене звуковий фон.



Рисунок 1.10 – *Багатолопате́вий ротор*

1.4 Принцип роботи вітроенергетичної установки

Використання енергії вітрового потоку для отримання електричної енергії за допомогою вітроенергетичних установок має свої деякі труднощі. Зокрема, швидкість вітру v є величиною змінною, і зазвичай має випадковий характер внаслідок непостійних погодних умов на місці розташування вітроенергетичної установки.

Внаслідок цього спостерігаємо значні зміни швидкості обертання вітроколеса ω вітроенергетичної установки і, відповідно, отримуємо зміну вихідної напруги на валу генератора U_{Γ} , що викликає непостійність його характеристик за амплітудою, частотою і фазою. Тому, в наступних розділах кваліфікаційної роботи будемо використовувати вітроенергетичну установку з вертикальною віссю обертання, яка менше залежить від напрямку вітру [14]. До дестабілізуючих факторів зміни характеристик генерованої енергії можна віднести скидання або відключення навантаження. Розглянемо найпростішу вітроенергетичну установку з випрямлячем для перетворення змінної напруги U_{Γ} на постійну $U_{\text{В}}$ та інвертором, який перетворює цю напругу на змінну напругу промислової частоти, фази та заданої амплітуди. Тут необхідно відмітити, що спроможність інвертора для підтримки стандартних параметрів вихідної напруги вітроустановки є обмеженими, а коли немає вітру, то ізольований від єдиної енергетичної системи споживач може зовсім залишитися без електроенергії. Для уникнення згаданої ситуації конструкція вітроенергетичної установки має мати у своєму складі пристрій акумулювання енергії. На рис. 1.11 показано найпростіший тип вироблення електричної енергії за допомогою вітроенергетичної установки: К – вітроколесо; Г – електричний генератор; В – випрямляч напруги; І – інвертор; Н – навантаження споживача.

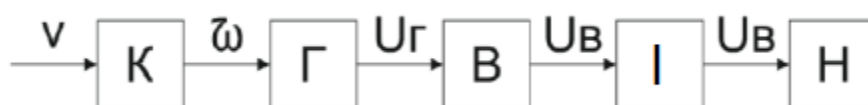


Рисунок 1.11 - Модель отримання електроенергії за допомогою вітроенергетичної установки

В реальних умовах можлива розбіжність, тобто графік генерації електричної енергії вітроенергетичною установкою не завжди збігається з графіком навантаження споживача цієї енергії (рис. 1.12). Отже, з графіка видно, що час від часу виникає можливість для акумулювання запасу енергії, яку в майбутньому можна використовувати у разі її недостатчі.

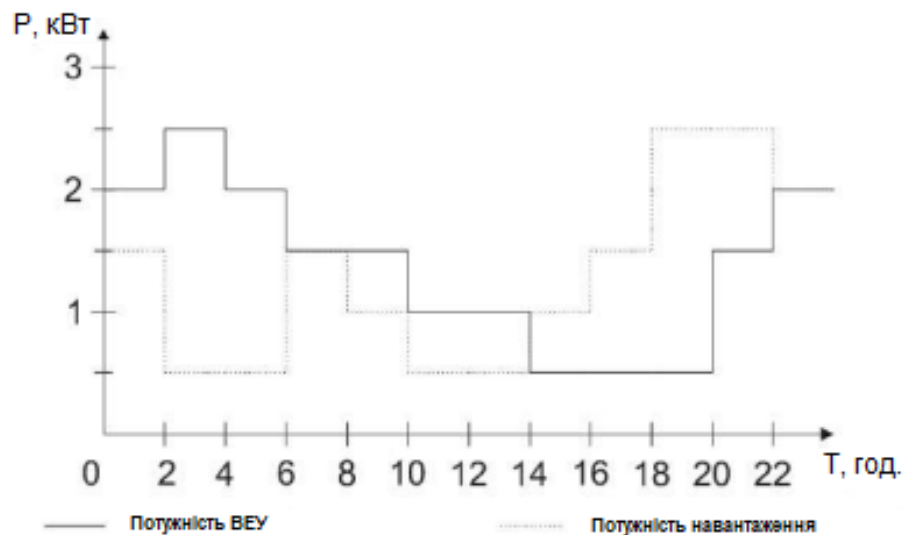


Рисунок 1.12 - Добова залежність потужності вітроенергетичної установки і споживаної потужності

На даний час при побудові вітроенергетичної установки малої потужності складі у її конструкції використовують акумуляторні батареї і тоді принципова схема такої установки буде мати вигляд, показаний на рис. 1.13. акумуляторні батареї на постійну напругу розміщують між випрямлячем і інвертором. Якщо є надлишок генерованої потужності, то акумуляторні батареї заряджаються, а під час недостатчі вони віддає накопичену енергію через інвертор споживачу.

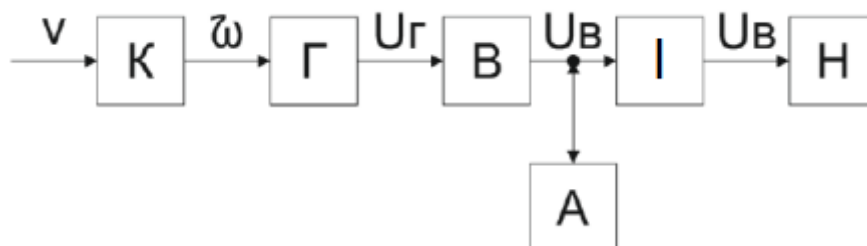


Рисунок 1.13 - Модель генерації електричної енергії за допомогою вітроенергетичної установки із застосуванням акумуляторів

Представлена на рис. 1.13 має певні недоліки, головний із яких полягає в обмеженій ємності акумуляторних батарей. Коли протягом тривалого часу відсутності генерована потужність із-за поганих метеоумов або виходу з ладу деякого генеруючого обладнання, то накопичена енергія витратиться споживачем. Для гарантованого забезпечення енергопостачання споживача в локальних енергетичних системах на основі вітроенергетичної установки варто передбачити додаткові джерела енергії (сонячні панелі, дизель-генератори, біоустановки) з метою зменшення залежності споживача від одного виду джерела енергії та підвищення надійності енергопостачання.

Ще одним недоліком вважаються характеристики акумуляторних батарей, якими комплектують вітроенергетичних установках малої потужності. На даний час для цих цілей використовують свинцево-кислотні акумулятори на базі технології Absorbent Glass Mat (AGM) та гелеві (GEL). Ці батареї мають свої переваги і недоліки та особливості циклів заряду-розряду.

Наприклад, AGM батареї є герметичними, вони не обслуговуються і їм не потрібне для встановлення приміщення, а в режимі підзарядки термін служби становить до 12 років. Але якщо їх постійно заряджати і розряджати до рівня 40% від ємності, тобто використовувати в циклічному режимі, то термін служби таких батарей суттєво скорочується. Варто відмітити, що батареї цього типу мають малий граничний струм заряду і коли їх заряджають струмом, величина якого більша 130% від номінального струму заряду, то вони виходять з ладу. Недотримання технологічного режиму заряду-розряду впливає на скорочення терміну служби батареї будь-якого типу і в більшості випадків викликає їх руйнування. Аналізуючи Енергетичну стратегію України на період до 2030 р. [4] бачимо, що сучасні акумуляторні батареї можуть накопичувати великі об'єми енергії, але при цьому мають обмеження по піковій (імпульсній) потужності. У випадку раптового підвищення потужності навантаження зазвичай виникають провали напруги, які акумулятори через свої технічні характеристики не в змозі компенсувати.

Для того, щоб забезпечити якісне та безперебійне енергопостачання споживача, необхідно створити комбіновану систему зберігання з розробкою спеціального блоку керування всіма можливими джерелами енергії відповідно до найоптимальніших режимів функціонування кожного вузла такої системи. За основу роботи такої системи електропостачання беруть нечітку логіку, приклад застосування якої для узгодження режимів роботи вітроенергетичної установки з графіком електричного навантаження приведено у статті [15]. Принципова схема установки, яку розроблено на базі вітроенергетичної установки з суперконденсатором в системі акумулювання енергії та додатковим джерелом енергії зі сонячною панеллю, показано рис. 1.14 (СП – сонячна панель, А – акумулятор, С – суперконденсатор, У - блок управління).

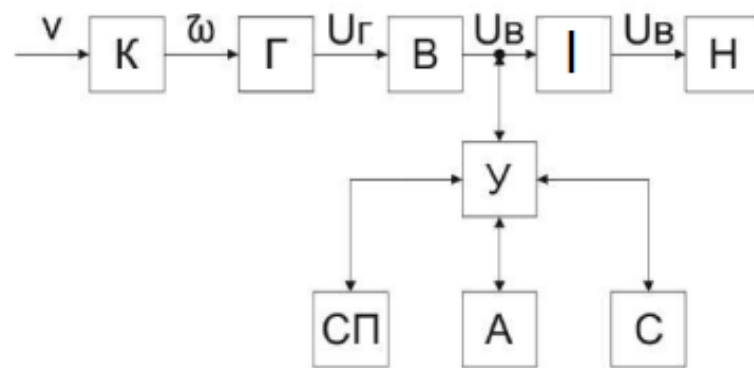


Рисунок 1.14 - Вироблення електроенергії за допомогою вітроенергетичної установки на базі суперконденсатора і додаткових блоків

Отже, проведене в цьому розділі аналітичне дослідження показало, що проблеми отримання електроенергії за допомогою вітрових енергетичних установок пов'язані з непостійністю швидкості вітрового потоку, відповідно, необхідно обов'язково поєднувати різні види джерел вироблення електричної енергії, а також розробляти сучасні системи акумуляції електроенергії, які можуть тривало зберігати великий об'єм електроенергії. В свою чергу створення такої системи передбачає розробку окремого блоку управління та спеціальних алгоритмів для забезпечення її функціонування.

1.5 Висновки до розділу

Провівши аналітичне дослідження конструкційних та технологічних особливостей промислових вітроенергетичних установок, можна зробити наступні висновки.

1. Вертикальний тип вітрогенератора має менший пусковий момент, відповідно він може працювати на мінімальних швидкостях вітру. Горизонтальний тип є потужнішим і може продукувати енергію для електроприймачів набагато більшої потужності.

2. Так як вертикально-осьові типи вітроенергетичних установок розміщують на землі, то це спрощує доступ до генератора і його обслуговування.

3. Вертикальні типи вітрогенераторів можуть працювати з високими швидкостями вітру і бути встановлені біля житлових будинків, включаючи міську інфраструктуру.

4. Аналітичні дослідження показали, що недолік горизонтальних вітрогенераторів полягає у постійному пошуку вітру за допомогою флюгера, додаткового пристрою вітроенергетичної установки, який ускладнює та підвищує вартість конструкції.

5. Враховуючи перераховані вище переваги горизонтально-осьових вітроенергетичних установок та їх широкого промислового виробництва, робимо висновок про доцільність встановлення в якості альтернативного джерела енергії для живлення окремих лабораторій кафедри електричної інженерії ТНТУ ім. І. Пулюя вітрового генератора саме цього конструктивного типу.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір об'єкта альтернативного електропостачання

У плані експерименту в даній кваліфікаційній роботі зробимо вибір вітро-електричної установки для освітлення навчальних лабораторій і аудиторій 4-го поверху кафедри електричної інженерії навчального корпусу №7. Для виключення ризику зриву навчального процесу із-за дефіциту альтернативного електропостачання передбачається використання пристрою автоматичного включення резерву для підключення до промислової мережі живлення.

Передбачається, що в аудиторіях і лабораторіях буде встановлено світлодіодні світильники потужністю 18 Вт, а в коридорі – світлодіодні матриці потужністю 36 Вт. І на підставі цих даних проводимо розрахунок загального електроспоживання. В табл. 2.1 приведено нумерацію та назви начальних приміщень, а на рис. 2.1 – план електричного навантаження.

Таблиця 2.1 – *Лабораторії і аудиторії 4-го поверху кафедри*

K7-401	Лабораторія нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії і термодинаміки
K7-402	Науково-дослідна лабораторія енергоощадності та проблем енергетики
K7-403	Викладацька аудиторія
K7-404	Лекційна аудиторія
K7-405	Робочий кабінет завідувача кафедри
K7-406	Лабораторія споживачів електричної енергії та енергетичного менеджменту
K7-407	Лекційна аудиторія
K7-408	Експертно-аналітична лабораторія
K7-409	Комп'ютерний клас
K7-410	Майстерня
K7-411	Навчально-методичний відділ
K7-413	Лабораторія теоретичних основ електротехніки
K7-413, а	Робочий кабінет професора кафедри
K7-414	Науково-дослідна лабораторія систем управління електропостачанням

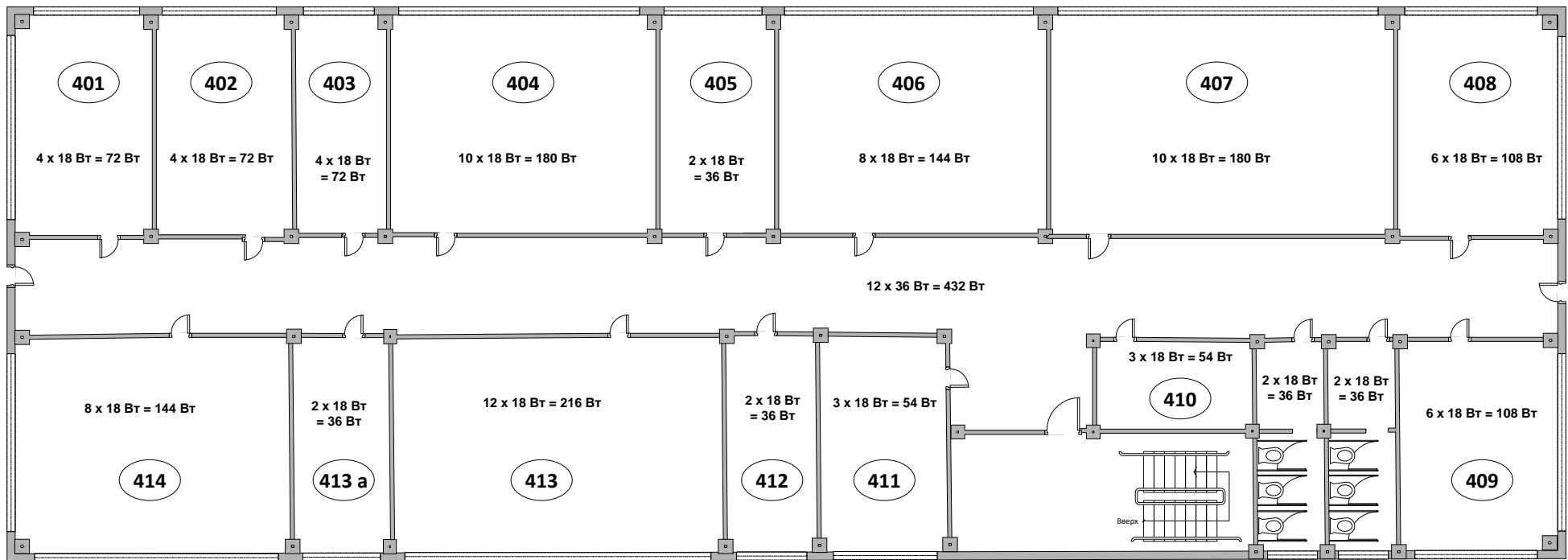


Рисунок 2.1 – Електричне навантаження навчальних приміщень кафедри

2.2 Розрахунок освітлювальної потужності

Для розрахунку загальної освітлювальної потужності всіх навчальних приміщень 4-го поверху кафедри електричної інженерії потрібно знати енергоспоживання електроприймачів кожного приміщення під час проведення навчального процесу. Такий підхід дозволить виконати обчислення максимального споживання електроенергії.

Розрахунок кількості необхідної для споживання електроенергії потрібно виконати для певного періоду доби як загальну суму потужності всіх задіяних електроприймачів відповідно до графіку навчального процесу. Відомості про роботу цих електроприймачів та величину споживаної ними потужності заносимо в табл. 2.2 і проводимо аналіз даних цієї таблиці.

Необхідно врахувати, що середньоденна кількість енергії, яка споживається освітлювальним електрообладнанням 4-го поверху кафедри електричної інженерії за добу, припадає на період від 8-ї ранку до 18-ї вечора відповідно графіку навчального процесу і становить 19080 Вт·год. Розрахунок добового енергоспоживання 4-го поверху кафедри проводимо з урахуванням часу роботи кожного з електроприймачів окремо. Отримані дані заносимо в табл. 2.2.

Кількість енергії, що споживається 4-м поверхом кафедри за добу згідно отриманих даних рівна $E_{доб.} = 19080$ Вт·год, а кількість енергії, що споживається освітлювальними приладами протягом однієї години, буде становити:

$$E_{год.} = \frac{E_{доб.}}{24} = \frac{19080}{24} = 795 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (2.1)$$

Тепер можна визначити номінальну потужність вітрової енергетичної установки, яка може забезпечувати електроенергією освітлювальне обладнання 4-го поверху кафедри електричної інженерії. Отже, необхідну потужність вітроенергетичної установка можна визначити, якщо розділити загальну кількість споживаної електроенергії на час споживання протягом однієї години [16]:

$$P_{BEV} = \frac{E_{год.}}{1} = \frac{795}{1} = 795 \text{ кВт.} \quad (2.2)$$

Потужність інвертора в складі вітроенергетичної установки має бути не менше загального значення встановленої потужності $P_I > 1764$ Вт, тобто вибираємо інвертор потужністю 2 кВт.

Таблиця 2.2 – Розрахунок загального навантаження та споживання

<i>№ приміщення</i>	<i>Назва приміщення</i>	<i>Встановлена потужність, Вт</i>	<i>Споживання електричної енергії, Вт·год</i>
K7-401	Лабораторія нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії і термодинаміки	72	720
K7-402	Науково-дослідна лабораторія енергоощадності та проблем енергетики	72	720
K7-403	Викладацька аудиторія	72	720
K7-404	Лекційна аудиторія	180	1800
K7-405	Робочий кабінет завідувача кафедри	36	360
K7-406	Лабораторія споживачів електричної енергії та енергетичного менеджменту	144	1440
K7-407	Лекційна аудиторія	180	1800
K7-408	Експертно-аналітична лабораторія	108	1080
K7-409	Комп'ютерний клас	108	1080
K7-410	Майстерня	54	540
K7-411	Навчально-методичний кабінет	54	540
K7-412	Електрощитова	36	360
K7-413	Лабораторія теоретичних основ електротехніки	216	2160
K7-413, а	Робочий кабінет професора кафедри	36	360
K7-414	Науково-дослідна лабораторія систем управління електропостачанням	144	1440
	Коридор	432	4320
	Туалети	72	720
РАЗОМ:		1764	19080

2.3 Аналіз вітроенергетичного потенціалу

В електроенергетичній галузі вітропотенціал досліджуваного регіону є надзвичайно важливим показником. За даними метеоспостереження, силою та напрямком вітрів формується вітроенергетичний кадастр регіону, основними показниками якого є [17]:

- середня швидкість вітру за рік;
- повторюваність швидкостей вітру та його параметри;
- розподіл швидкості вітру;
- питома потужність і енергія вітру;
- енергетичні вітрові ресурси регіону.

Для достовірності відомостей про середньорічні швидкості вітру у певному регіоні спостереження необхідно проводити систематично протягом тривалого періоду. Рекомендується використовувати період до десяти років [18].

Результуючу для розрахунків швидкість вітру отримуємо шляхом опосередкування зареєстрованих результатів спостережень через певні проміжки часу: один день, один місяць, один рік і т.д.:

$$V_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i, \quad (2.3)$$

де V_i – інтервальна швидкість вітру;

n – число інтервалів.

Результати постійних спостережень заносяться в електронну базу Українського гідрометеорологічного центру, де збираються щоденні виміри конкретних метеостанцій. Згідно цих даних середня річна швидкість вітру по Тернопільській області становить приблизно 3 – 4,5 м/с [19].

Для визначення розкиду швидкостей вітру, який відрізняється від середнього значення, використовують коефіцієнт варіації середніх швидкостей:

$$C_V = \frac{S_V}{V_{CP}}, \quad (2.4)$$

де S_V – середньоквадратичне відхилення швидкості вітру;

V_{CP} – середня швидкість вітру за певний період часу.

Середня швидкість вітру виступає приблизним показником, який вказує на доцільність використання вітрової електростанції у вибраній місцевості. Визначальним критерієм, при яких вітроенергетичні установки починають обертатися і виходити на номінальну потужність, є значення швидкості вітру.

Для визначення оцінки основного напрямку вітрів будують розу вітрів, яка представляє собою векторну діаграму з довжиною променів, що розходяться від її центру в різних напрямках і є пропорційною повторюваності вітрів цих напрямків (рис. 2.1).

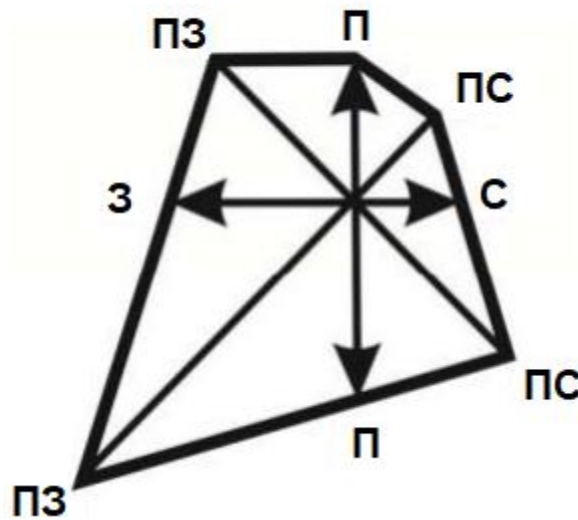


Рисунок 2.2 – Роза вітрів

При виборі місця розміщення вітрової електростанції за результатами дослідження вітроенергетичного потенціалу враховують наступні характеристики:

- середні денну, місячну та річну швидкості вітру за даними метеоспостережень за певний період;
- перерахунок щомісячної середньої швидкості вітру на заплановану висоту вежі вітрового генератора;
- за щомісячними градаціями розподіл швидкості вітру на висоті осі вітрового генератора;
- розу вітрів для вибраної території.

В результаті отримуємо вітроенергетичні характеристики, які сприяють оптимізації вибору вітроенергетичного устаткування та його інтеграцію в систему електропостачання конкретного споживача [17].

2.4 Розрахунок та вибір вітрогенератора

В загальному вітрогенератор можна віднести до побутових пристроїв, оскільки на його встановлення та експлуатацію не потрібно оформляти дозвіл, і це є однією із переваг вітрових джерел енергії. Так як вітрові генератори можна використовувати без спеціальних дозволів, то вони можуть генерувати електроенергію майже безкоштовно, оскільки для такого пристрою не потрібно палива, він є екологічно чистим і під час роботи є не надто шумним.

Вітроенергетична установка зазвичай виступає основним або резервним джерелом живлення для споживачів, які віддалені від ліній електропередачі, та засобом економії коштів на тлі постійно зростаючих тарифів на електроенергію. Така установка є поєднанням пристроїв виробництва та накопичення електроенергії і пристроїв для отримання стандартної напруги з відповідним показниками якості електричної енергії.

Якщо розглянути класичний приклад вітроенергетичної установки, то вона складається акумуляторної батареї постійного струму, електрогенератора для вироблення енергії змінного струму, випрямляча, який перетворює напругу змінного струму в напругу постійного струму. Також до складу вітроенергетичної установки входить інвертор, який перетворює напругу постійного струму акумуляторної батареї в напругу змінного струму 220/380В з частотою 50 Гц. Якщо електричні приймачі, які отримують енергію від вітрового генератора, є чутливими до якості напруги, то в цьому випадку потрібно обов'язково використовувати інвертори.

Коли мова йде про живлення потужних електроспоживачів, то вітроенергетична установка може комплектуватися дизельним або бензиновим генератором, сонячними батареями та мати вихід на централізовану мережею електропостачання. В цьому випадку в такій системі дизельний або бензиновий гене-

ратор і сонячні батареї використовуються в якості резервних джерел для зарядки акумуляторних батарей та для забезпечення необхідної електричної потужності, якщо вітер відсутній тривалий час. В результаті ми формуємо доволі економічну та надійну систему гарантованого електропостачання, яка може працювати в автономному режимі.

Вітровий потенціал, де планується встановити вітроенергетичну установку, характеризується значенням середньорічної швидкості вітру, а її параметри залежать на пряму залежать від цього потенціалу та обсягу електроенергії, який планується вироблятися з її допомогою.

Об'єм електричної енергії, який може отриманий від вітроенергетичної установки, залежить від площі поверхні лопатей вітрогенератора, яка визначається діаметром вітрового колеса [20]. Залежність швидкості вітру від електричної потужності вітрогенератора можна визначити за формулою:

$$P_E = \xi \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho \cdot V_{CP}^3 \cdot \eta, \quad (2.5)$$

де ξ - значення коефіцієнта використання енергії вітру;

R - радіус вітрового колеса, м;

ρ - густина повітря ($\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$);

V_{CP} - середня швидкість вітру в рік, м/с;

η - коефіцієнт корисної дії електромеханічного перетворювача енергії

($\eta = 0,7 \div 0,9$).

Необхідно визначити критерії проведення вибору потрібної моделі вітрогенератора:

- середньорічна швидкість вітру на вибраній території;
- величина отриманої електричної потужності;
- стартова швидкість вітру (для різних моделей може змінюватися у межах від 2 до 4 м/с);
- номінальна швидкість вітру (як правило 8 – 15 м/с).

Середньорічну швидкість вітру на місці передбачуваного встановлення вітрогенератора можна визначити, використовуючи попередні дані метеоспостережень за вітром протягом року та шкали Бофорта (рис. 2.3).

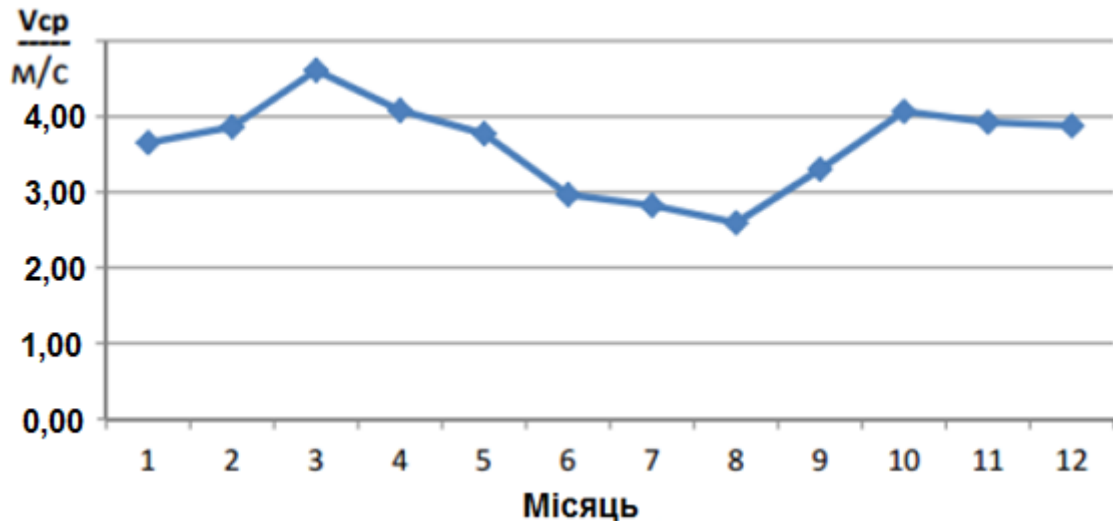


Рисунок 2.3 – Місячна середня швидкість вітру

За шкалою Бофорта та даними метеоспостережень для нашого випадку середня річна швидкість вітру становить 4,5 м/с.

Зазвичай при виборі вітрогенератора користуються характеристикою потужності для практичного відображення можливостей вітроенергетичної установки, яка є залежністю генерованої потужності від швидкості вітру. На практиці цю характеристику отримують експериментально і приводять у технічному описі установки.

На основі аналітичного огляду, виконаного у першому розділі кваліфікаційної роботи, попередньо вибираємо у якості альтернативного джерела живлення для освітлення лабораторій і аудиторій кафедри електричної інженерії вітрову установку типу Royal Jet-1000 (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Вітрогенератор Royal Jet-1000

На рис. 2.5 представлено характеристику потужності цієї вітроенергетичної установки, а в табл. 2.3 – її технічні характеристики [21].

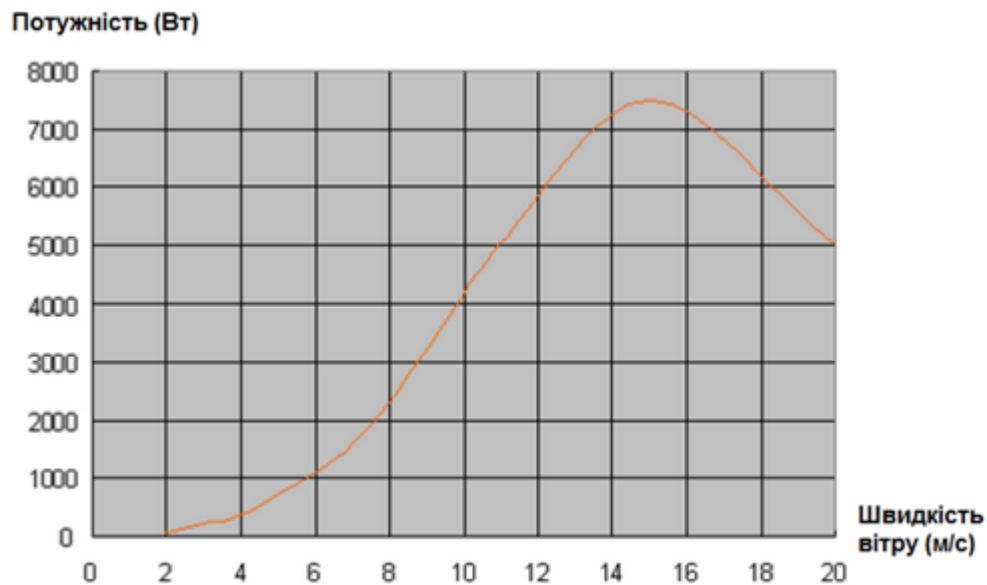


Рисунок 2.5 – Характеристика потужності Royal Jet-1000

Вітрогенератор Royal Jet-1000 характеризується номінальною потужністю 1000 Вт і може працювати при початковій швидкості вітру від 2,5 м/с. На середньорічній швидкості вітру 4,5 м/с можна досягти потужності біля 800 Вт. Отже, для вироблення потужності в 795 Вт достатньо встановити один вітрогенератора вибраного типу.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики вітрогенератора Royal Jet-1000 [21]

Номінальна потужність (кВт)	1,0
Максимальна потужність (кВт)	1,4
Номінальна швидкість вітру (м/с)	10 м/с (27 MPH)
Максимальна швидкість вітру (м/с)	25 м/с (56 MPH)
Стартова швидкість вітру (м/с)	1,8 м/с (4 MPH)
Гранична швидкість вітру (м/с)	45 м/с (134 MPH)
Початкова робоча швидкість вітру (м/с)	3 м/с (7 MPH)
Номінальна швидкість обертання	500 об/хв
Максимальна швидкість обертання	560 об/хв
Число лопатей, шт.	3
Діаметер ротора, м	1,9
Довжина лопаті генератора, м	0,85
Матеріал лопатей	Склопластик
Генератор	1-фазний РМ генератор
Система гальмування	Електромагнітна автоматична
Контролер	24 VDC
Загальна вага, кг	18

Вітрогенератори типу Royal Jet завдяки використанню спеціальних сплавів міді, авіаційного алюмінію, нержавіючої сталі та запатентованого магніту є передовою технологією у галузі вітрових генераторів. Унікальна конструкція лопатей і турбіни працює в напрямку вітрового потоку, тоді як традиційні працюють при зустрічному вітрі. До головних переваг цього вітрогенератора

ватро віднести відсутність хвостового флюгера, малу масу та габарити конструкції, унікальні аеродинамічні лопаті, які дозволяють досягнути високого коефіцієнта корисної дії та максимального використання сили вітру.

2.5 Висновки до розділу

1. За результатами виконаних розрахунків визначено параметри об'єкта електропостачання, згідно яких можна вибирати вітроенергетичну установку:

- встановлена потужність освітлювального обладнання -1764 Вт;
- кількість енергії, що споживається 4-м поверхом кафедри за добу відповідно до навчального графіку: 19080 Вт·год;
- номінальна потужність вітроенергетичної установки: 1000 Вт .

2. Потужність інвертора повинна бути не меншою 2 кВт.

3. Отримані значення є вхідним даними для вибору додаткового комплектуючого обладнання вітроенергетичної установки та визначення ємності акумуляторних батарей.

4. Номінальна потужність вітроенергетичної установки для автономного енергопостачання освітлювального обладнання 4-го поверху кафедри з урахуванням середньої швидкості вітру у вибраному місці становить 1 кВт.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Додаткове обладнання вітроенергетичної установки

Приймаючи до уваги ту обставину, що для різних вітрових режимів та електричних навантажень на один і той самий тип вітроенергетичної установки можна встановлювати різні за потужністю інвертори та різну кількість акумуляторів, то додаткове обладнання для базового комплекту не передбачене. Вибір такого обладнання необхідно виконувати для кожного об'єкта окремо.

До складу додаткового обладнання входить акумуляторна батарея, стабілізатор напруги, керуючий пристрій, автоматичне включення резерву, випрямляч і інвертор. Розглянемо характеристики цих компонентів детально.

Акумуляторні батареї служать для накопичення електричної енергії і використовуються під безвітряної погоди. За допомогою акумуляторних батарей можна вирівнювати та стабілізувати вихідну напругу генератора, а також утримувати безперебійну стабільну напругу навіть при сильному вітрі [23]. У випадку відсутності вітру живлення електроприймачів зазвичай виконують від акумуляторних батарей.

На електроенергетичному ринку присутні різні типи акумуляторних батарей, які можуть гарантувати стабільну та надійну роботу вітрових генераторів. Серед них можна відзначити наступні.

Автомобільні стартерні акумуляторні батареї є найпростішими типами акумуляторних батарей і поділяються на герметизовані та обслуговувані. Перший тип батарей може витримувати до 200 циклів розрядів і після закінчення ресурсу роботи їх утилізують. Другий тип акумуляторних батарей розрахований приблизно на 100 циклів розрядів, вимагає регулярної перевірки рівня електроліту та щорічного наповнення дистильованою водою відповідно до вимог державних стандартів.

Гелеві акумуляторні батареї є представниками необслуговуваного виду хімічних джерел електроенергії. Вони характеризуються наявністю спеціального згущувача у вигляді селікогеля, який входить до складу кислотного електроліту, та володіють підвищеною чутливістю до перезарядів. Виготовлення

пластини здійснюється звичайним штампуванням або з використанням технології нашарування. В порівнянні з іншими видами акумуляторних батарей гелеві акумуляторні батареї мають низьке значення кінцевої напруги, що забезпечує їм невелику кількість циклів розрядів (в межах до 350 раз).

Стабілізатор напруги використовується для гарантованого отримання на виході з генератора напруга рівня 220 В або 380 В і може використовуватися в складі різних систем.

Керуючі пристрої, використовуються для одночасного поєднання потужної системи збудження асинхронного генератора та потужного зарядного пристрою з широтно-імпульсним регулюванням. До головних переваг цих пристроїв відносять збудження асинхронного генератора, починаючи тільки з 3-х обертів вітрового колеса. При таких малих обертах може генеруватися струм, якого достатньо для стабільної зарядки акумуляторної батареї.

Автоматичне включення резерву служить для автоматичного підключення резервного джерела живлення. Принцип роботи цього пристрою полягає у виконанні автоматичного перемикачів між двома або більше джерелами електричного живлення на протязі долі секунди у випадку зникнення основної напруги. Автоматичне включення резерву може автоматично з'єднати вітрогенератор, електричну мережу, дизельний генератор та інші джерела живлення в загальну автоматизовану систему. Автоматичне включення резерву не надає електромережі дозволу на роботу одного об'єкта від двох різних джерел живлення одночасно [23].

Випрямляч використовується для випрямлення вихідної напруги електричного генератора змінного струму з наступною її передачею в акумуляторні батареї або на інвертор, тобто для підвищення якості напруги, яку генерує вітрогенератор.

Інвертор служить для перетворення напруги постійного струму, яка поступає з акумуляторної батареї або випрямляча, в напругу змінного струму. Електричне освітлення лабораторій і аудиторій кафедри електричної інженерії

поверху працює на змінному струмі, відповідно інвертор є необхідним пристроєм в складі вітроенергетичної установки.

На даний час в електроенергетиці використовуються інвертори різних типів. Оскільки навантаження кафедри електричної інженерії є однофазним, то будемо вибирати інвертор з вихідною однофазною системою напруги.

Варто відзначити, що зараз найбільше розповсюдження отримали автономні інвертори напруги на біполярних транзисторах з ізольованим затвором в якості комутуючих ключів, які ще називають IGBT-транзисторами. Принцип роботи цих інверторів є наступним: кожен з електронних ключів через систему управління час від часу підключається до постійної напруги на виході некерованого випрямляча, тобто за допомогою широтно-імпульсного модулювання утворюється 3-фазна напруга змінного струму з 1-ю гармонікою амплітуди та частоти, яка аналогічна мережевій напрузі.

Ми вважаємо, що у складі вибраної вітроенергетичної установки має бути інвертор подібного типу.

3.2 Розрахунок технічних характеристик вітроелектричної установки

Спочатку необхідно визначити площу території, яку буде займати вітрогенератор на даху навчального корпусу №7 ТНТУ ім. І. Пулюя. Ця площа є сумою площ перерізу нижньої основи щогли $S_{щ}$ та площі, яку займають розтяжки S_p . Використовуючи дані [21] технічних показників вибраного вітрогенератора Royal Jet-1000, скористаємося необхідними параметрами для виконання розрахунку:

- діаметр труби щогли, $d = 180$ мм;
- висота щогли, $h = 8$ м;
- кут розтяжки, $\Omega = 300$.

Визначаємо площу перерізу щогли:

$$S_{щ} = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{3,14 \times 1,8^2}{4} = 2,5 \text{ м}^2, \quad (3.1)$$

де d – діаметр труби щогли.

Дальше знаходимо площу під розтяжку. Попередньо визначаємо діаметр під розтяжку:

$$D_p = 2 \cdot h \cdot \sin \Omega = 2 \cdot 8 \cdot 0,5 = 8 \text{ м}, \quad (3.2)$$

де h – висота щогли;

Ω – кут розтяжки.

Визначимо площу для встановлення розтяжок, яка рівна площі вписаного в коло квадрата з довжиною сторін $L_{кв}$ (рис. 3.1):

$$S_p = S_{кв} = L_{кв}^2 = \frac{S_{коло}}{\pi \cdot 0,5} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{\pi \cdot 4 \cdot 0,5} = \frac{D_p^2}{2} = \frac{8^2}{2} = 32 \text{ м}^2, \quad (3.3)$$

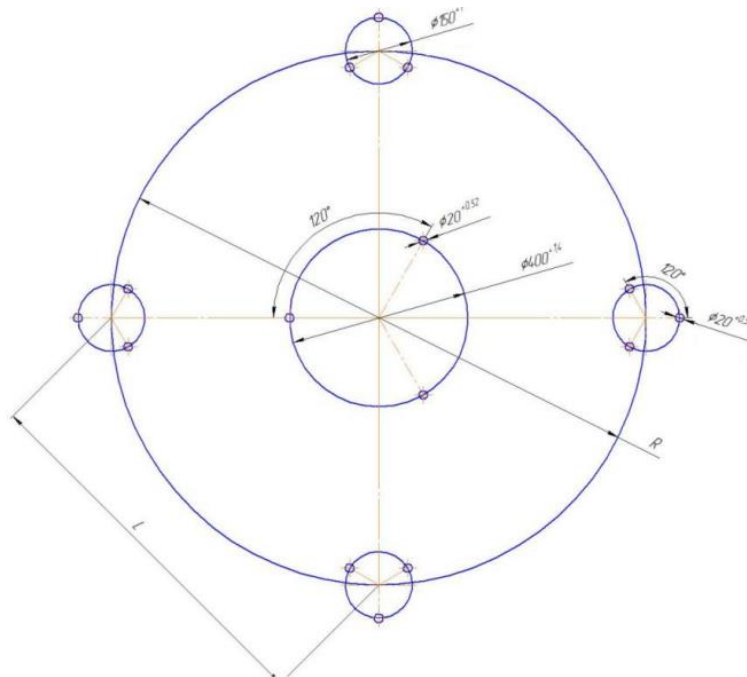


Рисунок 3.1 – Розташування фундаментів під щоглу та розтяжки

Отже, площа території, яку буде займати вітроенергетична установка, згідно отриманих результатів розрахунку складається з площі перерізу щогли $S_{щ}$ (3.1) і площі під розтяжки S_p (3.3). Кінцева сума отриманих значень дорівнює $34,5 \text{ м}^2$, тобто маємо площу, яка необхідна для встановлення нашої вітроенергетичної установки.

Щоб забезпечити економічний ефект від встановлення вітроенергетичної установки, місце її розміщення потрібно вибирати у сприятливих природних умовах, зокрема з високим вітровим потенціалом. В даному випадку найсприятливішими умовами є природні або штучні підвищення та рівнинні ділянки.

В цій кваліфікаційній роботі ми пропонуємо встановити альтернативне джерело електропостачання на даху навчального корпусу №7 ТНТУ ім. І. Пулюя, що дозволить створити сприятливі умови для генерації електричної енергії для освітлення навчальних приміщень 4-го поверху лабораторії електричної інженерії. Запропоноване місце є недоступним для сторонніх осіб, достатньо віддалене від житлового сектору, тобто дозволяє забезпечити зниження рівня шумового навантаження вітроустановки до 45 дБ. На даху навчального корпусу відсутні повітряні електричні лінії, магістральні газопроводи, кабельні і водопровідні траси. Зазначені умови є практично ідеальними для встановлення на цьому місці вітрової електростанції та генерації електричної енергії.

3.3 Розрахунок вітроколеса з горизонтальною віссю обертання

Розрахунок вітроколеса згідно відомих стандартних методів можна виконувати за двома рівняннями. Відповідно до першого осьова величина сили реакції потоку на лопаті вітроколеса в зоні кільцевого струменя повітря рівна силі, яку отримує під впливом різниці тисків перед і за вітроколесом на площу перерізу кільцевого струменя повітря площиною обертання вітроколеса (рис 3.2). Це твердження можна представити наступним виразом:

$$i_n \cdot b \cdot C_{y_a} = \frac{8 \cdot \pi \cdot r \cdot e}{(1+e) \cdot (1-e)^2 \cdot (z_u + \mu_a) \cdot (1+z_u^2)} . \quad (3.3)$$

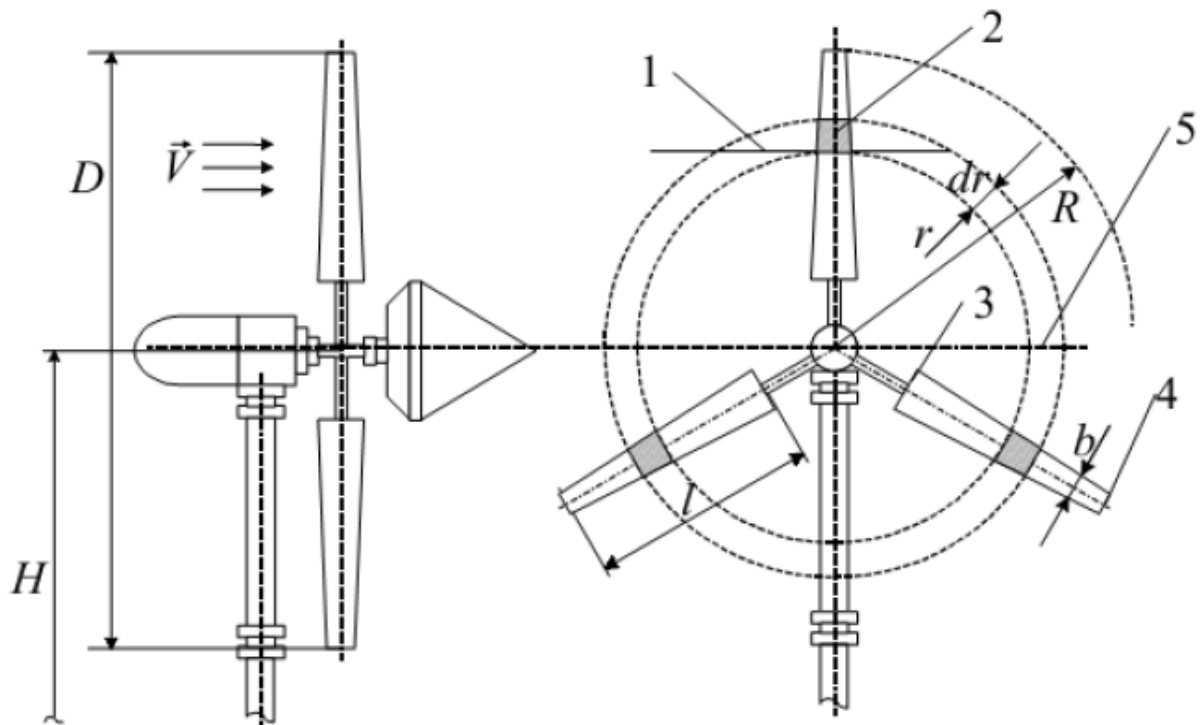


Рисунок 3.2 – Конструкція вітроколеса горизонтального типу:
 1 – перетин проміжний; 2 – лопать; 3 – перетин конусний; 4 – перетин периферійний; 5 – струмінь повітря кільцевий

Друге рівняння є відображенням відомої теореми про зміну моменту кількості руху [24]. Згадану теорему можна застосувати до вітрового колеса з наступним формулюванням: момент відносно осі вітряка діючих на лопаті аеродинамічних сил рівний за величиною та протилежний за знаком моменту кількості руху, що отримується кільцевим струменем захоплення вітрового колеса (рис. 3.2). Це твердження можна представити наступним виразом:

$$Z = Z_u \cdot (1 - e) - \frac{1}{1 + e} \cdot \frac{1 - (\mu_a \cdot z_u)}{z_u + \mu_a} . \quad (3.4)$$

Розглянуті вище рівняння (3.3) і (3.4) в подальшому будемо використовувати за основу для виконання аеродинамічного розрахунку вітроколеса.

Ця методика є досить зручним і інформативним матеріалом, з допомогою дозволить якого можна виконати розрахунок аеродинамічних параметрів вітроколеса з горизонтальною віссю обертання. Використовуючи цю методику для виконання поставленого завдання кваліфікаційної роботи, постараємося уникнути виконання лишніх непотрібних розрахунків. Зокрема, в роботі передбача-

ється використати стандартну промислову вітроенергетичну установку, яка має в своїй комплектації вітроколесо, розраховане за розглянутою вище методикою.

3.4 Розрахунок аеродинамічних параметрів вітроелектричної установки

Технічні параметри вітрогенератора зазвичай є залежними від його аеродинамічних характеристик, а значення електричної потужності вітроенергетичної установки має зв'язок з аеродинамічною потужністю через коефіцієнт використання енергії вітру ξ за наступною формулою:

$$P_E = \xi \cdot P_A. \quad (3.5)$$

На практиці коефіцієнт використання енергії вітру ξ горизонтальних осьових установок залишається в межах 0,25...0,4, а найбільше можливе значення цього коефіцієнта за розрахунковими даними по методу Жуковського-Бетца становить $\xi_{Ж} = 0,59$. Оскільки при роботі виникають втрати, то реально це значення отримати не можливо.

Аеродинамічна потужність представляє собою енергією діючого вітрового потоку, яка передається вітровому колесу за 1 с:

$$P_A = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot v \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2} \quad (Вт), \quad (3.6)$$

де P_A – значення аеродинамічної потужності, Вт;

ρ – густина повітря, що проходить через ротор ($\rho = 1,2$ кг/м³ при $t = 20^{\circ}\text{C}$ і атмосферному тиску 101,3 кПа);

v – швидкість потоку вітру перед ротором, м/с;

m – маса повітря через ротор за 1 с, кг;

V – об'єм повітря через ротор за 1 с, м³;

S – площа вітроколеса, яку охоплює вітер, м².

Площа вітроколеса, яку охоплює вітер, для горизонтально-осьових вітрових установок визначається за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ (м}^2\text{)}, \quad (3.7)$$

де D – діаметр вітроколеса, м.

Для проведення розрахунків скористаємося технічними характеристиками вітрогенератора Royal Jet-1000, які приведені у табл. 2.3:

- номінальна потужність ВЕУ – 1000 Вт;
- номінальна швидкість вітру – 10 м/с.

За формулою (3.5) визначаємо ідеальну аеродинамічну потужність при ідеальному коефіцієнті використання вітру, використовуючи метод Жуковського-Бетца:

$$P_A = \frac{P_E}{\xi_{\text{Ж}}} = \frac{1000}{0,593} = 1686 \text{ Вт.}$$

За формулою (3.6) визначаємо площу ротора, який охоплюється вітром:

$$S = \frac{P_A}{\rho \cdot v^3} = \frac{1686}{1,2041 \cdot 10^3} = 1,4 \text{ м}^2.$$

В реальних умовах площа охоплення вітроколеса має бути десь на 35% більше у порівнянні з ідеальною, оскільки дійсний коефіцієнт використання вітру не перевищує 65% від ідеального значення.

Отже,

$$S_{\text{реал}} = S \cdot 1,33 = 3,14 \cdot 1,33 = 4,4 \text{ м}^2. \quad (3.8)$$

За формулою (3.6) визначаємо діаметр ротора:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 0,5 \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр вітрового колеса визначаємо за формулою:

$$D_{роз} = \sqrt{\frac{8 \cdot N}{C_p \cdot \rho \cdot V^3 \pi \cdot \eta_{ел} \cdot \eta_{мех}}} = 1,9 \text{ м},$$

де C_p - коефіцієнт робочої точки, $C_p = 0,4$.

Округлюємо отримане значення $D_{роз} = 2$ м, відповідно радіус вітроколеса буде рівний $R = 1$ м.

Отже, запропонована до впровадження вітроенергетична установка має такі розраховані аеродинамічні характеристики:

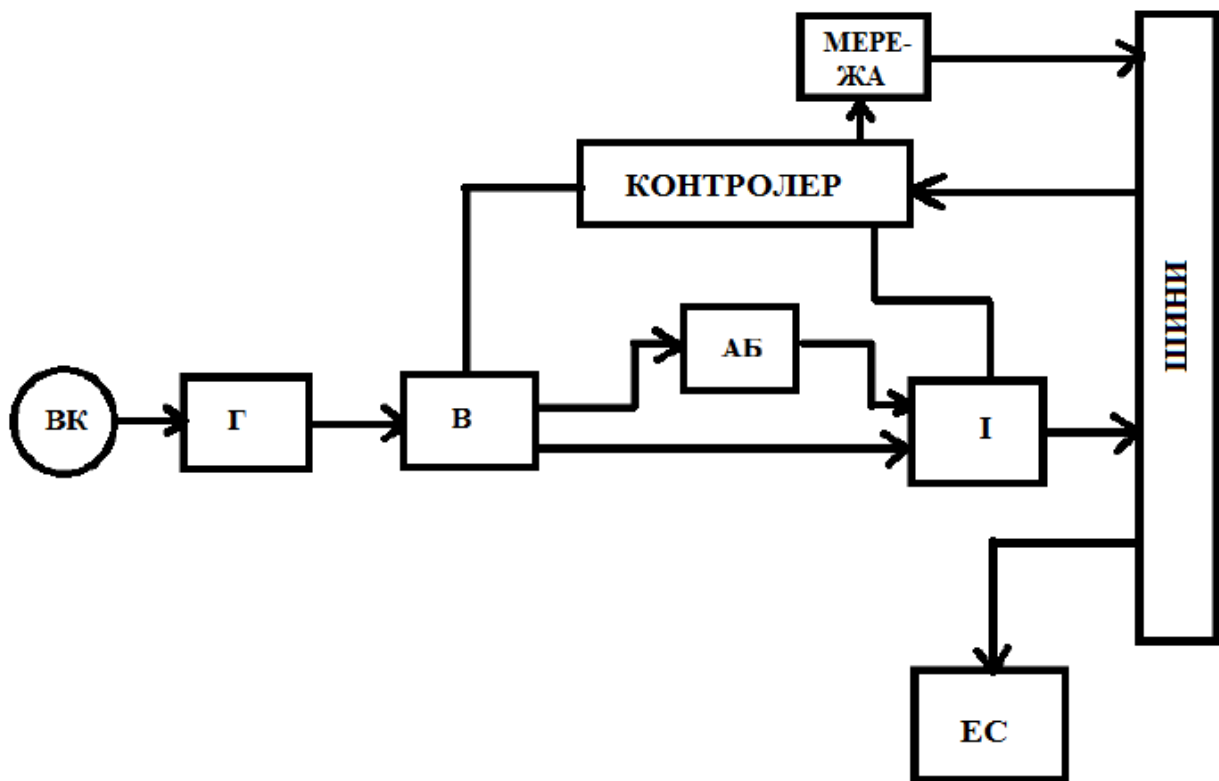
- аеродинамічна потужність становить $P_A = 1686$ Вт;
- площа вітроколеса, яку охоплює вітер, рівна $S_{реал} = 4,4$ м²;
- значення діаметра ротора $D = 0,5$ м;
- зовнішній діаметр вітроколеса рівний $D_{роз} = 2$ м.

Відповідно до отриманих розрахункових параметрів було вибрано компактний вітрогенератор типу Royal Jet-1000 з відповідними характеристиками, який може виробляти 1000 Вт потужності при середньорічній швидкості вітру, яка спостерігається на території нашої області.

Для навантаження освітлювального обладнання 4-го поверху кафедри електричної інженерії потужністю 1764 Вт достатньо встановити один вітрогенератор. В загальну конструкцію вітроенергетичної установки потрібно буде інтегрувати додаткові елементи, які представлені на структурній схемі системи альтернативного електропостачання кафедри електричної інженерії (рис. 3.3).

Для забезпечення процесу перетворення енергії вітру в електричну енергію використовуються основні структурні елементи - синхронний генератор на постійних магнітах та вітрове колесо. З метою отримання напруги, що відповідає державним нормативам, на шинах електроспоживача необхідно встановити інвертор на повністю керованих елементах, в якості яких можна застосувати IGBT-транзистори. Також у конструкції вітроенергетичної установки реалізована ланку постійного струму між інвертором та синхронним генератором передбачаємо на базі використання некерованого випрямляча. До цього випрямляча підключено акумуляторну батарею, керування якої здійснюється

мікропроцесорним контролером і яка здатна забезпечити гарантоване електропостачання навантаження у випадку відсутності вітрового потоку.



**ВК - вітроколесо; Г - генератор; В - випрямляч;
АБ - акумуляторні батареї; І - інвертор; ЕС - електричний споживач**

Рисунок 3.3 – Структурна схема альтернативного електропостачання на базі вітроенергетичної установки

Окрім вище перерахованого устаткування до складу вітроенергетичної установки, що забезпечує живлення освітлювального обладнання 4-го поверху кафедри електричної інженерії, доцільно було б включити високошвидкісний редуктор. Оскільки даний елемент є складовою частиною вітроенергетичної установки Royal Jet-1000, то на структурній схемі (рис.3.3) ми його не відображали.

3.5 Математичне моделювання вітроенергетичної установки

Використаємо в цьому розділі кваліфікаційної роботи математичне моделювання в якості найбільш актуального та універсального методу дослідження оцінку працездатності вітроенергетичної установки [26]. З метою реалізації обраного виду дослідження спочатку необхідно виконати розробку моделі вітроенергетичної установки, в якій потрібно взяти за основу довідникові технічні параметри дані вибраного в 2-у розділі цієї роботи горизонтального вітрогенератора Royal Jet-1000 [21].

Диференціальне рівняння рух вітрогенератора має вигляд:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_z - k_{mp} \cdot \omega, \quad (3.9)$$

де J – сумарний момент інерції на валу електрогенератора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

M_e – значення механічного моменту вітроколеса, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

M_z – значення електромагнітного моменту електрогенератора, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

ω – величина частоти обертання валу електрогенератора, .

Виконаємо підстановку величини $s = \frac{d}{dt}$ та представимо рівняння (3.9) в операторній формі:

$$Js\omega = M_e - M_z - k_{mp} \cdot \omega. \quad (3.10)$$

На рис. 3.4 представлено структурну схему, з допомогою якої можна охарактеризувати робочий процес вітроенергетичної установки.

Розрахуємо механічну передатну функцію для вітрогенератора:

$$\frac{\omega(s)}{M_{pez} \cdot s} = \frac{1 \cdot J \cdot s}{1 + k_{mp} \cdot 1 \cdot J \cdot s}, \quad (3.11)$$

де $M_{pez} \cdot s = M_e - M_z$ – вираз результуючого моменту на валу електрогенератора внаслідок дії обертання вітроколеса та електромагнітного моменту синхронного генератора.

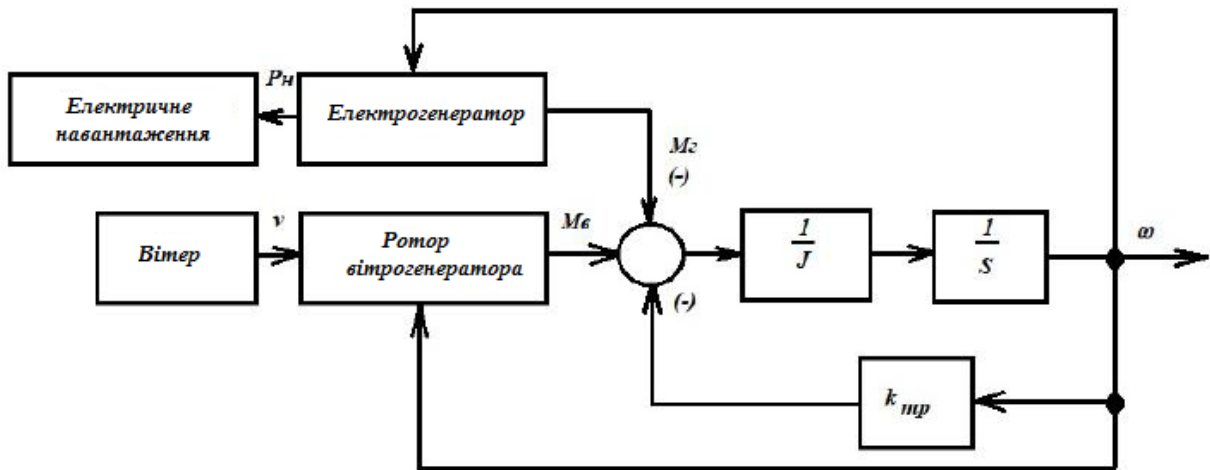


Рисунок 3.4 – Структурна схема вітроенергетичної установки

Для отримання наступного виразу необхідно помножимо чисельник і знаменник формули (3.11) на $J \cdot s$:

$$\frac{\omega(s)}{M_{рез} \cdot s} = \frac{1 \cdot J \cdot s}{1 + k_{mp} \cdot 1 \cdot J \cdot s} = \frac{1}{J \cdot s + k_{mp}}. \quad (3.12)$$

Якщо коефіцієнт k_{mp} у знаменнику винести за дужку, то можна отримати формулу передавальної функції $\frac{\omega(s)}{M_{рез} \cdot s}$:

$$\frac{\omega(s)}{M_{рез} \cdot s} = \frac{1 \cdot k_{mp}}{T_{мех} + 1}, \quad (3.13)$$

де $\frac{1}{k_{mp}}$ – величина постійної часу механічної складової вітрогенератора.

На структурній схемі, яка приведена на рис. 3.5, показано виконані вище спрощення.

Під час роботи вітроколесо створює позитивний механічний момент, залежний від його радіусу R , густини повітря ρ та швидкості вітру v :

$$M_{\epsilon} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^3 \cdot v^2 \cdot C_p. \quad (3.14)$$

Вище приведена формула включає в себе коефіцієнт потужності вітроколеса C_p , який нелінійно пов'язаний з коефіцієнтом швидкохідності λ та кутом атаки лопатей β [25].

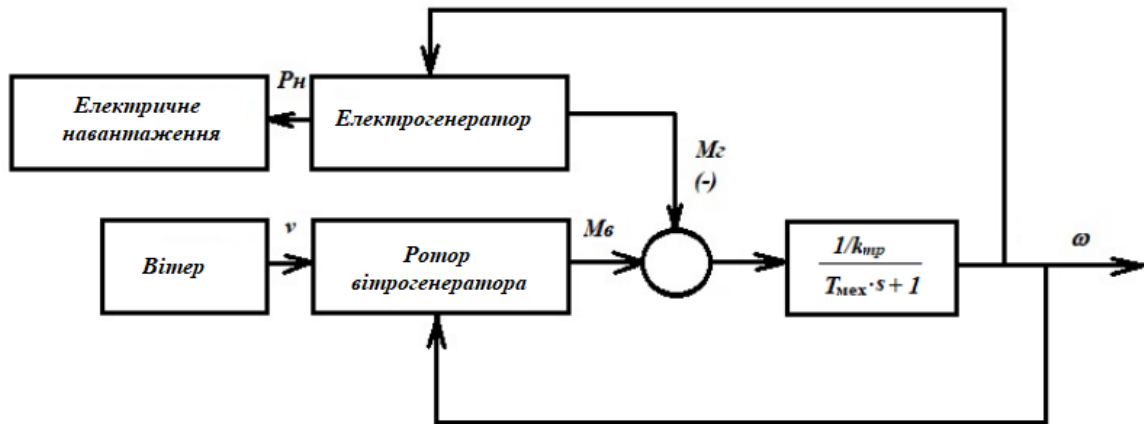


Рисунок 3.5 – Структурна схема вітроенергетичної установки зі спрощеною механічною частиною

Згідно паспортних характеристик вітрогенератора Royal Jet-1000 нам відомі наступні дані [21]:

- значення коефіцієнта використання потужності: $C_p = 0,4$;
- радіус вітроколеса: $R = 0,95$ м;
- номінальна швидкість обертання: $w = 500$ об/хв;
- максимальна швидкість вітру: $v = 25$ м/с;
- густина повітря: $\rho = 1,25$ кг/м³.

Дальше потрібно підставити приведені паспортні параметри у формулу (3.14). В результаті виконаного розрахунку будемо мати значення рухового моменту на валу електричного генератора:

$$M_g = 18,6 \cdot v^2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент інерції на валу генератора та момент вітрового колеса складають сумарний момент інерції. Оскільки діаметр ротора електрогенератора є набагато меншим за діаметр вітрового колеса, то при проведенні моделюванні необхідно використовувати тільки величину моменту інерції вітроколеса:

$$J = \frac{G \cdot D^2}{12} = \frac{2 \cdot 1,9^2}{12} = 0,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Значення коефіцієнта тертя, як правило, складає від 2 до 5% від номінальної потужності вітроенергетичної установки, тобто це буде приблизно рівним

$$k_{тр} \approx 0,02 \cdot P_{ном} = 0,038 \cdot 1 = 0,038.$$

Моделювання роботи вітроенергетичної установки будемо проводити у пакеті Simulink програмного середовища MatLab [27].

На першому етапі виконаємо моделювання вітру, для чого скористаємося віртуальним генератором нормально розподілених випадкових величин. Середнє значення випадкової послідовності згідно даних метеоцентру по Тернопільській області відповідає середній річній швидкості вітру біля навчального корпусу №7 ТНТУ ім. І. Пулюя, тобто становить приблизно 4,5 м/с [19].

На другому етапі виконаємо імітацію роботи генератора та навантаження, для чого потрібно задіяти віртуальні блоки цих елементів із бібліотеки SimPawerSystem програмного пакета MatLab [28].

На рис. 3.6 приведено віртуальну схему розробленої моделі вітроенергетичної установки. на якій виділено наступні структурні блоки:

- а) електричний генератор та навантаження споживача;
- б) вітер;
- в) вітрове колесо;
- г) механічна частина.

На рис. 3.7 відображено результати моделювання віртуальної вітроенергетичної установки. Аналіз графіків показує, що швидкість обертання електричного генератора змінюється відповідно до зміни швидкості вітру. тобто відповідає результату в реальних умовах. Отже, розроблену модель можна використовувати в якості бази для вирішення набагато складніших задач. Наприклад, такі задачі виникають при проектуванні контуру частотної стабілізації обертання електричного генератора.

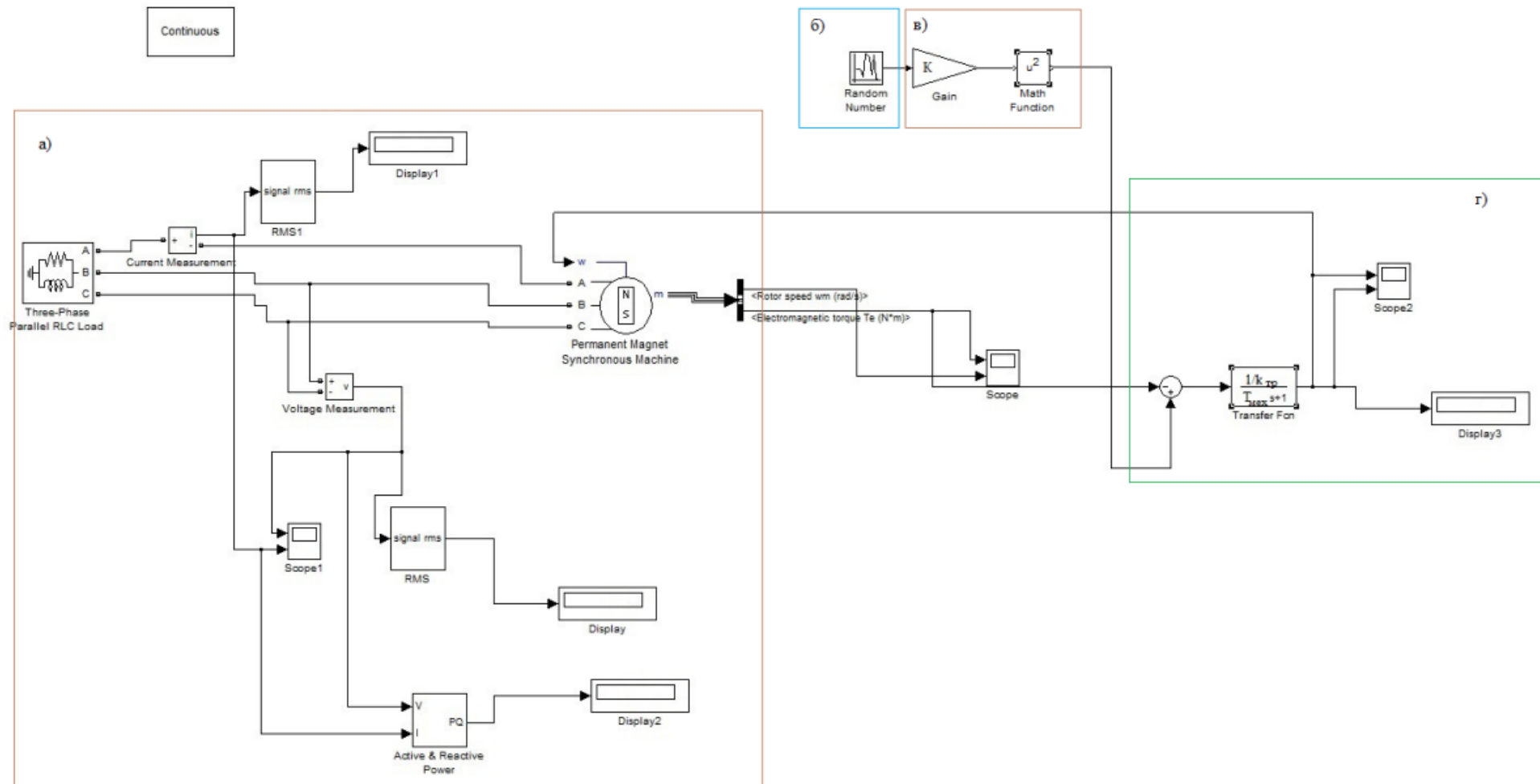


Рисунок 3.6 – Модель вітроенергетичної установки у програмному середовищі MatLab

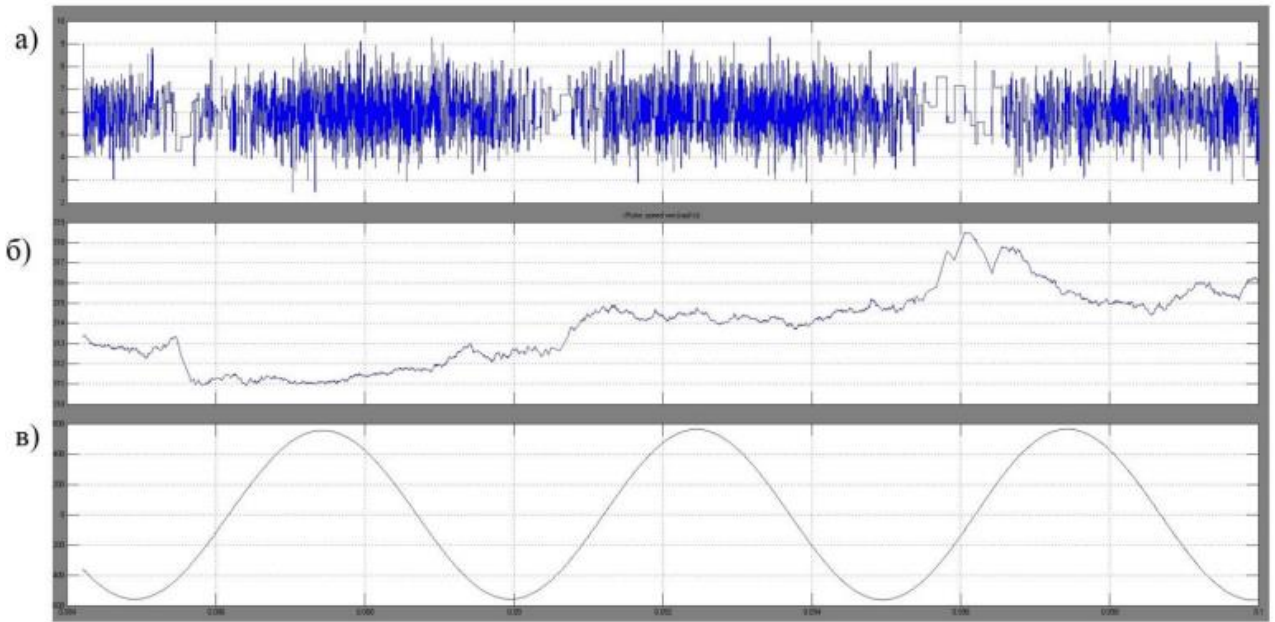


Рисунок 3.7 – Результати моделювання:

- а) графік швидкості вітру; б) графік швидкості обертання валу синхронного генератора; в) графік згенерованої напруги

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи з охорони праці під час експлуатації вітрових турбін

Технічне обслуговування вітроенергетичних установок необхідно здійснюватися відповідно до ГКД 41.003.003.007 бригадою, яка складається не менше, ніж з двох осіб [28]. Така бригада створюється в залежності від кількості і потужності вітрогенераторів, має бути забезпечена спеціальним транспортом, набором спеціальних інструментів і пристосувань, а також комплектом запасних частин до приладів серійного виробництва. Робота бригад техобслуговування вітрових турбін виконується протягом дня. Організація роботи вітротурбін повинна забезпечувати їх безперервну роботу в допустимих режимах, надійне функціонування пристроїв управління, захисту та автоматики, в синхронних генераторах - системах збудження. У цьому випадку повинні бути виконані вимоги інструкції з експлуатації виробника. Інструкція з експлуатації вітрових турбін повинна відповідати вимогам пункту 5.8.11 цих Правил і ГКД 341.003.003.007. При експлуатації вітрових турбін необхідно дотримуватися таких умов:

- застосування заходів безпеки при роботі з даним типом вітрових турбін;
- технічне обслуговування вітрових турбін має здійснюватися тільки персоналом, який пройшов спеціальну підготовку;
- для кожної вітрової турбіни повинні бути складені форми або протоколи результатів профілактичного огляду і технічного обслуговування;
- допускається зняття ущільнень з обладнання, опломбованого виробником тільки з його згоди і в присутності його представника;
- протягом гарантійного терміну експлуатації в разі виходу з ладу елементів компоненти повинні бути відправлені виробникові.

Під час роботи вітрової турбіна потрібно строго дотримуватися всіх її режимів і параметрів, встановлених виробником, умови його прямого підключення до промислової мережі повинні бути виконані через трансформатор в

складі вітроелектростанції. Такі установки, потужністю менше 20 кВт, підключаються до електричних мереж споживача та експлуатуються відповідно до інструкції заводу-виробника. При наявності потенціалу вітру, достатнього для підвищення параметрів встановленого режиму роботи вітрових турбін, допустимість якого підтверджена виробником, може короткочасно перевищувати свою номінальну потужність не більше, ніж на ніж 5% [29]. Автоматична система управління вітровою турбіною повинна забезпечувати роботу в режимі управління власною автоматизацією, а також в режимі роботи в складі системи автоматизованого управління вітроелектростанцією. Після ремонту або модернізації системи управління віротурбін перед їх підключенням до мережі потрібно виконати перевірку всіх систем управління вітровими турбінами. В процесі експлуатації система автоматичного управління і контролю віротурбін повинна забезпечити виконання таких функцій:

- запуск вітрових турбін і включення їх в мережу;
- управління та діагностику приладів і обладнання;
- стабільна підтримка номінального навантаження при швидкості вітру у випадку перевищення номінальної;
- програмна і аварійна зупинка вітрових турбін;
- обмеження частоти обертання ротора в межах допустимих меж для перезапуску навантаження, пов'язані з відключенням вітрових турбін від мережі;
- орієнтація ротора в напрямку вітру;
- подача інформації на верхній рівень управління.

Огляд систем управління вітровими турбінами на предмет миттєвого скидання навантаження потрібно виконувати шляхом відключення від мережі в наступних випадках:

- при введенні в експлуатацію вітрових турбін після установки або капітального ремонту;
- після ремонту або модернізації системи управління вітровими турбінами.

Запуск вітрових турбін заборонено у наступних випадках:

- в разі несправності системи діагностики, технологічного та електричного захисту;
- в разі сейсмічних та інших природних впливів (обмерзання, град, снігопад), які перевищують допустимі значення, зазначені в заводській документації.

Вітрова турбіна повинна бути негайно вимкнена і зупинена для захисту штатного персоналу у випадку:

- перевищення допустимого рівня вібрації окремих вузлів;
- перевищення допустимої температури контрольованих вузлів;
- витік масла;
- збільшення частоти обертання ротора вітряної турбіни вище допустимого значення;
- перевищення швидкості вітру над встановленим значенням швидкості відключення;
- виникнення короткого замикання в системі генерації;
- перевантаження генератора по потужності вище допустимих значень;
- пожежа;
- виникнення ситуації, небезпечної для обслуговуючого персоналу;
- виникнення зовнішніх умов, зазначених в пункті 11.3.9 цих Правил.

Вітрова турбіна повинна бути відключена від мережі і зупинена за рішенням технічного керівника вітрового парку в таких випадках:

- виявлення несправності в його механізмах і системах;
- відмова окремих каналів захисту й діагностики;
- отримання повідомлення про прогнозовані сейсмічні дії;
- виникнення зовнішніх умов, небезпечних для експлуатації вітроустановки.

Необхідно регулярно перевіряти опорні конструкції, лопаті і електричні системи. Лопаті ротора дуже міцні, проте, якщо вони увійдуть в контакт з твердим предметом, то можуть зламатися. Щоб забезпечити безпечну роботу,

при виборі місця для турбіни необхідно виключити подібні контакти. При виконанні періодичних перевірок або в будь-який час, коли доведеться опинитися на шляху руху лопатей, проводи електроживлення від акумуляторів потрібно від'єднати і з'єднати один з одним вихідні проводи вітротурбіни з метою зупинки (гальмування) обертання лопатей. Для нових турбін потрібний короткочасний період обкатки. Підшипникам, які встановлені як в осі поворотного пристрою турбіни, так і в роторі турбіни, потрібно 60-100 годин експлуатації при нормальній швидкості вітру (приблизно 8-9 м/с), і лише після цього вони досягнуть повної ефективності. Під час експлуатації необхідно вживати заходів для захисту вітрогенератора від природних явищ, зокрема правильної установки фундаменту. Якщо фундамент вежі неправильно розрахований або неправильно влаштований дренаж фундаменту, щогла від сильного пориву вітру може впасти. При низьких температурах необхідно вжити заходів проти обмерзання, яке може збільшити масу лопатей і знизити ефективність роботи вітрогенератора. Для експлуатації при низьких температурах частини вітрогенератора повинні бути виготовлені зі спеціальних морозостійких матеріалів. Рідини, що використовуються в генераторі, не повинні замерзати, оскільки може замерзнути обладнання, яким заміряють швидкість вітру. В цьому випадку ефективність вітрогенератора може серйозно знизитися. Через обледеніння прилади можуть показувати низьку швидкість вітру, і ротор залишиться нерухомим. Від ударів блискавок в вітрогенераторі має бути передбачено грозозахист - на гондолі вітрогенератора встановлюють спеціальний загострений штир-блискавковідвід, а також влаштовують згідно стандартів і нормативів заземлення. Необхідно стежити за станом заземлення. При порушеному заземленні удари блискавок можуть призвести до пожежі, яка виникає у випадку удару блискавки, тертя обертових частин всередині гондоли, витоку масла з гідравлічних систем, обриву кабелів і ін. Пожежі вітрогенераторів виникають рідко, але їх важко гасити через віддаленості вітрових електростанцій і великої висоти, на якій виникає пожежа. На сучасних вітрогенераторах встановлюються системи пожежогасіння.

4.2 Техніка безпеки при монтажі і експлуатації системи стабілізації

В вітроенергетичних установках необхідно передбачити [30]:

- ізоляцію струмопровідних частин;
- ізоляцію елементів для здійснення захисного заземлення металевих неструмоведучих частин установки, які можуть опинитися під напругою (при порушенні ізоляції, режиму роботи устаткування і т.п.);
- ізоляцію елементів, що відключають установку від мережі, коли доступні для дотику частини установки виявляються під напругою, в тому числі і грозових розрядів, оболонки для запобігання можливості випадкового дотику до струмоведучих, рухомих, нагрітих частин установки.

При необхідності установки повинні бути обладнані оглядовими вікнами, люками і засобами місцевого освітлення. До додаткових електрозахисних засобів в електроустановках до 1000 В відносяться [31]:

- діелектричні калоші;
- діелектричні килими;
- ізолюючі підставки і накладки;
- ізолюючі ковпаки.

Працівники, які виконують роботи в електроустановках, повинні мати професійну підготовку, що відповідає характеру роботи. Перевірка стану здоров'я працівника проводиться до прийому його на роботу, а також періодично, в порядку, передбаченому законодавством [32]. Електротехнічний персонал до допуску до самостійної роботи повинен бути навчений прийомам звільнення потерпілого від дії електричного струму, надання першої допомоги при нещасних випадках. Якщо потерпілий попав під дію струмопровідних частин, необхідно, перш за все, звільнити його від дії електричного струму. При цьому слід мати на увазі, що торкатися до людини, що знаходиться під струмом, без застосування належних запобіжних заходів небезпечно для життя особи, яка надає допомогу. Тому першою дією при наданні допомоги має бути швидке відключення тієї частини електроустановки, до якої торкається потерпілий.

4.3 Пожежна безпека і мікроклімат при експлуатації вітроелектро-станцій

Пожежа завдає величезної матеріальної шкоди. Всі працівники повинні проходити спеціальну протипожежну підготовку [33]:

- протипожежний інструктаж (первинний і вторинний);
- заняття з пожежно-технічного мінімуму за спеціальною програмою.

Причинами пожежі в вітроелектричних установках є:

- іскріння в електричному роторі і комутаційних з'єднаннях;
- струми короткого замикання і перевантаження, що приводять до займання ізоляції;
- іскріння від електростатичних розрядів і ударів блискавки;
- погані контакти в з'єднаннях проводів;
- електродуги між контактами комутаційних апаратів;
- електродуги під час зварювальних робіт;
- перевантаження або замикання в обмотках трансформатора при несправності релейного захисту;

Причинами пожеж неелектричних характеру можуть бути:

- необережне поводження з вогнем при газозварювальних роботах або роботах з паяльною лампою;
- несправності печей і опалювальних приладів;
- несправності виробничого обладнання (нагрів підшипників, механічне іскріння);
- самозаймання деяких матеріалів.

Якщо палаюча електроустановка не відключена і знаходиться під напругою, то гасіння її становить небезпеку ураження електричним струмом. Як правило, гасити ручними засобами пожежу електроустановки слід при знятій з нього напрузі [33]. Якщо зняти напругу неможливо, то допускається гасіння установки, що знаходиться під напругою, але з дотримання особливих заходів. Порошковий вогнегасник типу ОПС-10 наповнюється в якості

вогнегасного засобу сухим порошком (кальцинована або двовуглекисла сода, поташ та ін.). Вогнегасник складається з балона місткістю 10 л, заповненого вогнегасним порошком. До корпусу прикріплений балон з інертним газом (азот), що знаходяться під тиском близько 15 МПа. При відкриванні вентиля порошок з балона напором газу виштовхується в шланг, а потім через розтруб подається до вогнища загоряння.

На підприємствах для працюючих навколишнім середовищем є повітря робочих зон і прилеглих до них територій. Дуже важливу роль відіграє мікроклімат виробничих приміщень, який характеризується впливом на організм людини одночасно температури, вологості, швидкості руху повітря, а також тепловим і електромагнітними випромінюванням, вмістом в повітрі шкідливих речовин і наявністю певного рівня шуму і вібрацій. Найважливішою складовою частиною повітря є кисень, необхідний для існування всієї живої природи. Основний виробник кисню рослинність. Тому для підтримки необхідної кількості кисню в атмосфері слід вживати заходів до збереження і розширення рослинного світу, в першу чергу лісів, необхідно збільшувати площі зелених насаджень в населених пунктах, а також на території захисних зон навколо виробничих будівель і промислових підприємств в цілому.

З метою запобігання та обмеження негативного впливу вітроенергетичних установок необхідно проводити наступні заходи:

- враховувати характер ландшафту при розміщенні вітрогенераторів;
- при виборі місця розміщення вітрогенератора враховувати його вплив сприйняття під усіма відповідними кутами спостереження;
- підтримувати однаковий розмір і конструкцію вітрогенератора (наприклад, напрямок обертання, висоту);
- рівень шуму можна обмежити за рахунок використання турбін зі змінною швидкістю або лопатей із змінним кутом нахилу, що дозволяє знизити швидкість обертання.

4.3 Висновки до розділу

В даному розділі наведенні правила поведження з вітроенергетичними установками, правилами їх експлуатації та техніка безпеки на при монтажі і технічному обслуговуванні. Щоб умови праці співробітників були безпечними, необхідно дотримуватись наведених норм та правил поведінки на даному підприємстві. Процеси отримання електроенергії при допомозі вітроенергетичних установок пов'язані з небезпекою ураження електричним струмом та травмування від руху механічної частини. Тому необхідно строго дотримуватись технологічного режиму та правил експлуатації зазначених установок відповідно затверджених нормативів та Правил улаштування електроустановок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі приведені результати теоретичних досліджень та вирішена науково-технічна задача, що полягає в розробці вітроенергетичної системи електропостачання навчальних лабораторій кафедри електричної інженерії ТНТУ ім. І. Пулюя. На базі отриманих результатів та розробок зроблено наступні висновки:

1. У рамках програми енергозбереження ТНТУ ім. І. Пулюя та зниження електроспоживання із загальної енергосистеми запропоновано використовувати альтернативне електропостачання освітлювального обладнання кафедри електричної інженерії.

2. Розраховано потреби кафедри в потребах освітлювальної електроенергії, зокрема визначено добову потужність та кількість щогодинного споживання енергії.

3. На основі проведеного аналізу для альтернативного електропостачання освітлювального обладнання кафедри обрано установку з вітрогенератором горизонтально-осьового типу, що володіє великим коефіцієнтом корисної дії у порівнянні з вертикально-осьовим варіантом.

4. Обґрунтовано, що для забезпечення потреб освітлювального обладнання кафедри підходить вітрогенератор моделі Royal Jet-1000, характеристики якого відповідають вимогам проведених розрахунків.

5. Було розроблено математичну модель та проведено моделювання в програмі Simulink програмного пакету Matlab вітроенергетичної установки, що враховує параметри вибраного вітрогенератора і складається з віртуального синхронного генератора, а також блоків цієї, що імітують дію вітру та рух механічної частини вітрогенератора, для перевірки працездатності розробленої вітроенергетичної установки.

6. Пункти 1 та 3 висновків визначають практичну значущість кваліфікаційної роботи, а пункт 5 відображає новизну роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вітроенергетика та енергетична стратегія / О. Ф. Онішко, Б. П. Коробко, В. М. Мханюк. – К. : УАН, Фенікс, 2008. – 168 с.
2. Вітроенергетика // Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy>
3. Точений В.А. Моделі і методи розрахунку техніко-економічних характеристик вітрових електростанцій: дис. канд. техн. наук: 05.14.08: захищена 06.02.15; затв. 22.06.15 / Точений Вадим Анатолійович. – К., 2015. – 154 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Розпорядження Кабінету Міністрів України 24 липня 2013 року N 1071. – ЗВ. – Прогноз розвитку вітрогенерації.
5. Безруких П.П. Вітроенергетика. Видумки і факти. Відповіді на 100 запитань. М.: Інститут стійкого розвитку. - 2014. - 74 с.
6. Головка В.М., Коханевич В.П., Шихайлов М.О. Дослідження процесів перетворення вітру в локальних енергосистемах. Альтернативна енергетика і екологія. - Київ, 2011. № 8. - С. 44-49.
7. Кудря С.А., Пермінов Ю.М., Буденний І.В. Особливості проектування вітрогенераторів. Відновлювальна енергетика. - Київ, 2014. № 3. - С. 54-57.
8. Белей В.Ф. Розрахунок вироблення електроенергії вітроенергетичними установками за даними вітрового потенціалу. - Калінінград: КГТУ, 2004. - 184 с.
9. Бриль А.О., Васько В.П., Васько П.Ф. Особливості функціонування промислових вітроелектричних станцій у складі регіональної електросистеми // Труды III международной конференции «Нетрадиционная энергетика в XXI веке», Крым, Судак, 9-15 сентября 2002 г. - Киев: ИТТФ НАНУ. - 2002. - С. 112-113.
10. Кузьо І.В. Корендій В.М. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності // Національний університет "Львівська політехніка", 2010. – С. 61 – 68.

11. Шевченко В.В. Исходные положения для построения модели ветроэнергетической установки при решении проблем промышленной энергетики / Шевченко В.В., Омельченко Л.Н., Лизан И.Я. // Наукові праці ДонНТУ, серія «Обчислювальна техніка та автоматизація», вип. 19. – Донецьк, 2010. – С. 65 – 69
12. Держенергоефективності України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/hydroenergy/>
13. Лукутін Б.В. Відновлювальні джерела енергії. Електронний навчальний посібник. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: <https://solar.kiev.ua/gotovie-sistemy>.
14. Мокін Б.І. Математична модель пристрою керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання / Мокін Б.І., Мокін О.Б., Жуков О.А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3. – С. 48-54.
15. Е.В. Соломин. Сравнительные характеристики вертикально–осевых ветроэнергетических установок/ Международный научный журнал альтернативная энергетика и экология. – М.: НИИЭС, 2010. – №1. – С.48–53.
16. Б. Оробчук, Ф. Аріаіфо. Математична модель акумуляторної батареї сонячної водопідйомної установки // Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.
17. Єлістратов В.В. Вітроенергоустановки. Автономні вітроустановки і комплекси: навч. посіб. СПб.: Санкт-Петербурзький політехнічний університет П. Великого, 2018. - 101 с.
18. Про вплив зміни методик спостережень на визначення швидкості вітру на метеорологічній мережі України. Труды УкрНИГМИ, 2004, вып. 253, с. 164-172.
19. Кліматичний Кадастр України (електронна версія) Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ. Центральна Геофізична Обсерваторія. – К., 2006.

20. Б. Оробчук, В. Герасимів, Б. Ліньов. Аналіз ефективності електропостачання при використанні автономних вітродизельних установок // VI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “ -Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя 2017 р.

21. Екоцентр. Впровадження систем на альтернативних джерелах енергії. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/vitrogenerator-royaljet-5kvt>

22. Обухов С.Г. Вітроенергетичні установки малої потужності. Технічні характеристики, моделювання, раціональний вибір // Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. №3. 88 с.

23. Головка, В. М. Вітроенергетика: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка» / В.М. Головка; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с.

24. Б. Оробчук, А. Веремейчик. Сучасні варіанти реконструкції електричних розподільних мереж // VII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» – Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2018 р.

25. Иванов В. М. Электроснабжение и энергосбережение с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 2 (19). С. 88–93.

26. Богатирев Н.І., Креймер А.С. Імітаційне моделювання вітроенергетичної установки. Київ: Основа, 2000. 416 с.

27. Черних І.В. Моделювання електротехнічних пристроїв в MATLAB, SimPowerSystems і Simulink . 1-е видання, 2007 рік, 288 с.

28. Гультяев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс. СПб: Питер, 2000. 432 с.

28. Кучерявий В. Охорона праці: Навчальний посібник. Львів: Оріяна-Нова, 2007. 368 с.

29. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
30. Правила улаштування електроустановок. – Харків: «Форт», 2009. 770 с.
31. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів // За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка - К.: Каравела, 2003. - 408 с.
32. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». К.:НАУ,2000.-136с.
33. Лапін В.М., Безпека життєдіяльності людини, - Львів: ЛБК НБУ; Київ: Знання, 2000.-188 с.
34. Закон України “Про захист людини від надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження”, ВРУ, № 1809 – 111. – К., 2000.
35. Євтух П.С., Буняк О.А., Оробчук Б.Я. Решетник В.Я. Зміст та тематика дипломних проектів (робіт) за спеціальністю 7.05070103 (8.05070103) електротехнічні системи електроспоживання // Методичні вказівки. - Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012.