

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

« Проект вітрової електростанції потужністю 0.5 МВт»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕС-20м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні станції»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Основенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор каф. ЕСС

Лежнюк П.Д.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент:

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., проф. Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

_____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Основенку Віталю Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект вітрової електростанції потужністю 0.5 МВт
керівник роботи д.т.н., професор. каф. ЕСС Лежнюк П.Д
затверджена наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 року № 277
2. Строк подання студентом роботи 30 листопада 2021 року
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи.
Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення
обчислювальних експериментів.
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1.Потенціал використання ВЕС в Україні.2.
2 Вітроенергетичні установки (веу)Електротехнічна частина.3.
Аеродинамічний розрахунок ротора 4 Аналіз можливостей використання
водню як акумулятора та енергоносія отриманого за рахунок відновлюваних
джерел енергії для заправки електромобілів на паливних елементах 5.
Економічні аспекти вітроенергетики 6. Охорона праці. Висновки. Список
використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Конструкція вітроустановок 2. Оптимальна розстановка
вітроенергетичних установок на ВЕС, (d – діаметр області, що окреслює
лопатами ротора вітрогенератора) 3. Схема генерації водню
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Лежнюк П.Д., д.т.н., проф., професор каф. ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Бондаренко Є. А. д.т.н., проф., професор каф. ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання _____ 24 вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.21	06.09.21	
2	Потенціал використання ВЕС в Україні	07.09.21	12.09.21	
3	Вітроенергетичні установки	13.09.21	05.10.21	
4	Розрахунок ротора вітроустановки, розрахунок ємності акумулятора, ланки постійного струму, інвертора	06.10.21	20.10.21	
5	Аналіз можливостей використання водню як акумулятора та енергоносія отриманого за рахунок відновлюваних джерел енергії для заправки електромобілів на паливних елементах	21.10.21	30.10.21	
6	Техніко-економічна частина	01.11.21	10.11.21	
7	Охорона праці	11.11.21	16.11.20	
8	Оформлення пояснювальної записки	17.11.21	25.11.20	

9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	26.12.21	30.11.21	

Студент

(підпис)

Основенко В.В.

Керівник роботи

(підпис)

Лежнюк П.Д.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	7
ANNOTATION.....	8
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ВЕС В УКРАЇНІ.....	13
1.1 Перспектива побудови відновлюваних джерел енергії на території України	17
Висновки до першого розділу.....	20
2 ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ (ВЕУ).....	22
2.1 Ефективність використання вітроколесом енергії вітру.....	25
2.2 Методи підвищення ефективності вітроенергетичного обладнання.....	31
2.3 Методи вимірювання швидкості вітру.....	33
2.4 Особливості конструкцій та розташування вітрогенераторів в різних регіонах.....	35
2.5 Методи та засоби перетворення вітрової енергії.....	38
2.6 Схеми електричних з'єднань вітроелектростанцій.....	41
2.7 Класифікація обладнання, основні технічні та економічні показники.....	46
2.8 Матеріали для виготовлення лопатей вітродвигуна.....	52
Висновки до другого розділу.....	54
3. АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ.....	55
3.1 Силова частина – розробка схеми керування.....	63
3.2 Розрахунок ємності акумулятора.....	64
3.3 Вибір контролеру заряду/розряду акумуляторної батареї.....	65
3.4 Розрахунок ланки постійного струму.....	65
3.5 Розрахунок автономного інвертора.....	66
3.6 Розрахунок зарядного кола для заряду конденсаторного фільтра.....	68

Висновки до третього розділу.....	68
4. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК АКУМУЛЯТОРА ТА ЕНЕРГОНОСІЯ ОТРИМАНОГО ЗА РАХУНОК ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗАПРАВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ.....	70
4.1. Сценарії розвитку зарядних станцій електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії.....	74
Висновки до четвертого розділу.....	80
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	82
5.1 Розрахунок терміну окупності	82
5.2 Оцінка вартості будівництва ВЕС	83
5.3 Оцінка поточних витрат	83
5.4 Сумарні інвестиційні витрати.....	84
Висновки до п'ятого розділу.....	84
6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	85
6.1 Протипожежний захист вітроелектричних установок.....	85
6.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою вітрогенератора.....	87
6.3 Автоматизована система пожежогасіння.....	90
6.4 Автоматизована система пожежної сигналізації.....	93
6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	97
6.6 Електролізерна установка.....	99
Висновки до шостого розділу.....	99
ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	103
Додаток А Антиплагіат.....	106
Додаток Б Технічне завдання.....	107
Додаток В Ілюстративний матеріал.....	111

АНОТАЦІЯ

Основенко Віталій Володимирович «Проектування вітрової електростанції потужністю 0.5 МВт з акумулюванням водню ». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2021. – с. Бібліогр.28: . Рис. : 11. Табл. : 7.

В магістерській кваліфікаційній роботі було розглянуто перспективи та потенціал використання ВЕС в Україні, доцільні регіони для використання енергії вітру, схеми електричних з'єднань вітроелектростанцій, показано особливості конструкцій та розташування вітрогенераторів. Розглянуто принцип дії вітрових електроустановок та методи підвищення ефективності вітроенергетичного обладнання, вимірювання швидкості вітру і засоби перетворення вітрової енергії. Виконано аеродинамічний розрахунок ротора вітроустановки, розрахунок ємності акумулятора, ланки постійного струму, автономного інвертора та зарядного кола для заряду конденсаторного фільтраю. Проведено аналіз можливостей використання водню як енергоносія для заправки електромобілів. Представленні основні вимоги до системи пожежогасіння та системи пожежної сигналізації, вибір засобів та заходів пожежозахисного захисту для вітрових електростанцій, розглянуто електролізну установку та безпеку в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова. Відновлювані джерела енергії, вітроустановка, вітроелектрична станція, водень.

ANNOTATION

Osnovenko Vitaliy Volodymyrovych "Project of a 0.5 MW wind power plant with hydrogen accumulation". Master's thesis. - Vinnytsia: VNTU. - 2021. - p. Bibliogr.28.: Fig. : 11. Tab. : 7.

In the master's qualification work the prospects and potential of wind farms use in Ukraine, expedient regions for the use of wind energy, schemes of electrical connections of wind power plants, features of construction and location of wind turbines were considered. The principle of operation of wind power plants and methods of increasing the efficiency of wind power equipment, measuring wind speed and means of wind energy conversion are considered. The aerodynamic calculation of the wind turbine rotor, the calculation of the battery capacity, the DC link, the autonomous inverter and the charging circuit for charging the capacitor filter were performed. An analysis of the possibilities of using hydrogen as an energy source for refueling electric vehicles. The main requirements for the fire extinguishing system and fire alarm system, the choice of means and measures of fire protection for wind power plants, electrolysis plant and safety in emergencies are considered.

Keywords. Renewable energy sources, wind turbine, wind farm, hydrogen.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ - відновлювальні джерела енергії

ВЕУ - вітроенергетичні установки

ВЕС - вітрова електростанція

ОЕС - об'єднана енергетична система

АСПВБ – автоматизована система пожежовибухобезпечності

АСПВЗ – автоматизована система пожежовибухозахисту

АСПГ – автоматизована система пожежогасіння

АСПС – автоматизована система пожежної сигналізації

АСУ – автоматизована система управління

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АУП – автоматична установка пожежогасіння

КТЗ – комплекс технічних засобів

ПРЧ – пожежно-рятувальна частина

СПВБ – система пожежовибухобезпечності

СПГ – система пожежогасіння

СПС – система пожежної сигналізації

ВСТУП

Україна має гарний вітровий потенціал і значні території, придатні для розвитку вітрових проектів. Найбільш перспективними для будівництва вітроелектростанцій вважаються південні й південно-східні регіони країни, де середня швидкість вітру на висоті осі ротора сягає 7 м на секунду і вище. За рахунок різниці температур Чорного та Азовського морів, що провокує переміщення повітряних мас, на території від Одеської до Херсонської області утворилася так звана «повітряна труба». Гарний вітроенергетичний потенціал мають і Карпати, Івано-Франківська та Львівська області.

Наразі за кількістю встановлених вітроенергетичних потужностей лідирують Запорізька, Миколаївська та Херсонські області, але перші вітропарки також з'являються в багатьох інших областях.

Сучасні методи акумулювання електроенергії базуються на використанні хімічних акумуляторів енергії, які в свою чергу є не тільки дорогими в плані придбання та обслуговування, а йносять шкоду навколишньому середовищу.

Сучасні проблеми вимагають сучасних рішень. Одним з таких в даному питанні виступає водень. Водень — це енергоносіє (як, наприклад, електрика), а не основне джерело енергії (як, наприклад, вугілля). Водень має високу щільність енергії за вагою. Використання водню як палива позитивно вплине на енергетичну безпеку, екологію та економічне зростання. Водень допоможе поліпшити енергетичну безпеку (тобто незалежність від країнпостачальників), тому що його можна отримувати із багатьох первинних джерел енергії, зокрема і відновлюваних.

Хоча використання відновлюваних ресурсів для одержання водню шляхом електролізу потребуватиме більших витрат енергії, ніж пряме використання цих ресурсів, через додаткову стадію перетворення та втрати при транспортуванні, водень є придатнішим для запасання електрики. Він не потребує цінних матеріалів, як для виготовлення батарей, та може бути

запасений у великій кількості на випадок тимчасової відсутності сонця або вітру.

Мета. Збільшення використання енергії вітру в умовах України за рахунок реалізації систем виробництва зеленого водню на основі відновлюваних джерел енергії при врахуванні кращих техніко-економічних показників. **Задачі дослідження:**

1. Проаналізувати енергетичний потенціал об'єктів відновлюваної енергетики України
2. Ознайомитись з методами підвищення ефективності вітроенергетичного обладнання, класифікацією, основними технічними та економічними показниками
3. Розрахувати технічні параметри вітроустановки
4. Розглянути особливості генерації водню за рахунок відновлюваних джерел енергії;
5. Розрахувати термін окупності;
6. Розглянути заходи з охорони праці та цивільного захисту.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії вітру в енергію водню при електролізі води.

Предмет дослідження. Енергетичні характеристики перетворення енергії вітру в енергію водню.

Методи дослідження. Наукові роботи про перетворення енергії відновлюваних джерел енергії в енергію водню, статистичні аналізи у середовищах Microsoft Office

Наукова новизна. полягає у розробці прогнозу розвитку об'єктів відновлюваної енергетики до 2040 року, враховувалась динаміка нарощування потужності ВДЕ за попередні роки, динаміка зміни вартості традиційних енергоносіїв, стан ліній електропередачі та роботу об'єднаної енергосистеми України при підключенні нестабільних джерел генерації, а також темпи зростання попиту на електроенергію.

Практичне значення полягає у розрахунках ротора вітроустановки, силової частини та аналізу можливості використання водню як енергоносія

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

1 ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ВЕС В УКРАЇНІ

Процес будівництва української вітроенергетики розпочався у 1996 році, коли була зпроектована Новоазовська ВЕС проектною потужністю 50 МВт. 1997 рік — запрацювала Трускавецька ВЕС. В 2000 році в Україні працювало вже 134 турбіни та закладено близько 100 фундаментів під турбіни потужністю 100 кВт. У 1998-1999 роках розпочали роботу ще три нові ВЕС.

Значне зростання будівництва вітроелектростанцій спостерігається з 2009 року, після запровадження Урядом України «Зеленого тарифу».

Інститутом відновлюваної енергетики НАН України складена карта вітроенергетичного потенціалу нашої країни. Найбільш привабливими регіонами для використання енергії вітру є узбережжя Чорного та Азовського морів, гірські райони тимчасово окупованої АР Крим, територія Карпатських гір, Одеса, Херсон та Миколаїв області[1]

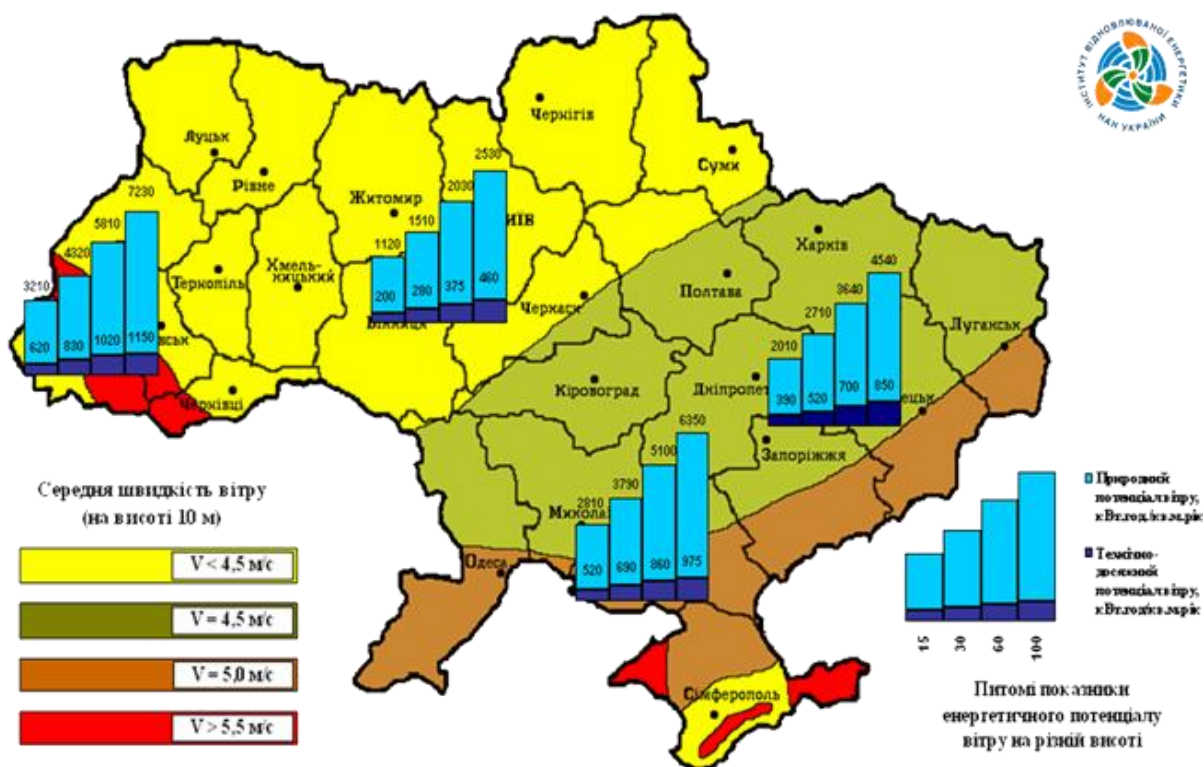


Рисунок 1.1 - Енергетичний потенціал вітру на території України

Сьогодні в Україні створені науково-технічні і правові основи розвитку вітроенергетичного комплексу і розпочато його практичне використання.

Основні складові роботи і одержані результати за станом на початок 2003 року полягають в наступному:

- визначено вітроенергетичний потенціал, можливості та перспективи розвитку вітроенергетики на території країни;
- освоєно технологію та організовано серійне виробництво вітроенергетичних установок на машинобудівних заводах;
- запроектовано, побудовано та введено в експлуатацію перші черги промислових вітрових електростанцій;
- створено нормативно-правову та нормативно-технічну базу з вітроенергетики.

На сучасному етапі розвитку вітроенергетики та в перспективі до 2030 року досяжна загальна потужність вітроелектростанцій України буде становити 12000 – 16000 МВт. Необхідна сумарна площа під перспективну забудову вітроелектростанцій складає 2500 – 3000 км², що є реальним з 201 урахуванням мілководних акваторій Азовського та Чорного морів. Досягне значення річного обсягу виробництва електроенергії ВЕС дорівнює 25 – 30 млрд. кВт·рік, що еквівалентно заміщенню органічного палива в електричній системі на рівні (9 – 10,8) млн. т. у. п. за рік.

Технічні основи створення вітроенергетичного комплексу полягають в освоєнні технології та організації серійного виробництва вітроенергетичних установок на машинобудівних заводах України. На сьогодні реалізовано серійний випуск ліцензійних вітроустановок USW56-100 потужністю 107,5 кВт.

Виробництво комплектуючих вузлів вітроустановок організовано на тендерній основі на 14 підприємствах військово-промислового комплексу. СклаНаціональна енергетична програма (затверджено Постановою Верховної Ради України від 15 березня 1996 року № 191/96-ВР) Закон України “Про електроенергетику” (затверджено Постановою Верховної Ради України від 16

жовтня 1997 року № 575/97-ВР) Закон України “Про енергозбереження” (затверджено Постановою Верховної Ради України від 1 вересня 1994 року № 75/94-ВР) Загальнодержавні документи з управління вітроенергетичним комплексом Указ Президента України від 2.03.1996 р. № 159 Указ Президента України від 2.04.1997 р. № 285 Постанова Кабінету Міністрів України від 15.06.1994 р. № 415 Комплексна програма будівництва ВЕС, схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 3.02.1997 р. № 137 Нормативні документи з капітального будівництва Нормативнометодичні документи, затверджені протоколами міжвідомчої координаційної Ради Державні стандарти України, галузеві керівні документи з вітроенергетики Нормативні документи з машинобудування. Основні нормативні документи з вітроенергетики 202 дальнє виробництво здійснено на Державному підприємстві – виробничому об’єднанні “Південний машинобудівний завод ім. О.Н. Макарова” (м. Дніпропетровськ). Кількість вітчизняних комплектуючих вузлів спочатку складала близько 40%, а на даний час цей показник доведений до 96%. Досягнуто високого рівня якості і надійності вітроустановок, завдяки чому отримано сертифікат якості в системі УкрСЕПРО, що дозволяє поставляти ВЕУ та комплектуючі до них за межі України (Росія, Індія, США, Японія). Державним підприємством виробниче об’єднання “Південний машинобудівний завод ім. О.Н. Макарова” зібрано і поставлено на будівництво вітрових електростанцій більш 550 установок USW56-100. Питома вартість виробництва 1 кВт потужності ВЕУ в 1,8 рази менше аналогічних закордонних показників.

Вітроенергетична установка АВЕ-250С потужністю 250 кВт – перша вітчизняна ВЕУ середньої потужності з синхронним генератором, яка розроблена КБ “Південне” (м. Дніпропетровськ) і призначена для роботи як на автономному режимі, так і на промислову мережу. Цим конструкторським бюро розроблені ВЕУ-220 (250 кВт) та ВЕУ-500 (500 кВт) і виготовлені на виробничому об’єднанні “Заря”. Вітроенергетична установка ВЕУ-500 з асинхронним генератором призначена для експлуатації у складі ВЕС або

самостійно з віддачею електроенергії у промислову мережу. Така ВЕУ побудована на Акташській ВЕС [2].

У 2002 році виробниче об'єднання “Південний машинобудівний завод ім. О.Н. Макарова” розпочало виробництво ВЕУ потужністю 600 кВт за ліцензією бельгійської фірми “Turbowinds”. Конструктивні параметри ВЕУ відповідають раціональним значенням для вітрових умов України. За станом на кінець червня 2003 року споруджені і введені в експлуатацію перші три установки: одна на Тарханкутській ВЕС в Криму, дві інші на Новоазовській ВЕС в Донецькій області.

Як приклад розробки ВЕУ малої потужності можна назвати установку УВЕ-10 (10 кВт) з синхронним генератором (розроблена підприємством “Крименергоремналадка” (підрозділ “Крименерго”)) та є однією із серії ВЕУ потужністю 5, 7,5, 10, 15, 20 і 30 кВт). Ці ВЕУ призначені як автономні безперервні джерела для вироблення електроенергії змінного трифазного струму напругою 380 В та однофазного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц [2].

На Новокаховському електромеханічному заводі “Південелектромаш” розроблена і виготовлена невелика партія синхронних генераторів з постійними магнітами типу ГСМП132 – МВ18 на основі асинхронного двигуна АИР 132. Ці генератори призначені для роботи на безредукторних ВЕУ [2].

Як видно з викладеного вище, номенклатура синхронних і асинхронних генераторів, що виробляються в Україні, останнім часом поширюється, але реалізація високих темпів впровадження науково-технічних результатів в галузі вітроенергетики стримується через наявність економічних проблем на сучасному етапі розвитку країни. Основним стримуючим фактором є недостатній обсяг фінансування планових завдань Комплексної програми будівництва ВЕС. Потрібне залучення додаткових інвестицій приватного капіталу в розвиток даної галузі, що зумовлює прийняття нових законодавчих актів економічної спрямованості.

Створення вітроенергетичного комплексу України та його практичне використання дозволяє:

- забезпечити виробництво додаткових обсягів екологічно чистої електроенергії на основі безпаливної і ресурсозберігаючої технології;
- знизити залежність країни від закордонних постачальників органічного та ядерного палива;
- зменшити техногенний вплив на навколишнє середовище;
- забезпечити створення нових робочих місць для виробництва вітроустановок і будівництва та експлуатації вітрових електростанцій.

1.1 Перспектива побудови відновлюваних джерел енергії на території України .

Рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/МС-ЕпС Про впровадження Директиви 2009/28/ЕС про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 р №902-р затверджено Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (НПД ВЕ) та План заходів з реалізації Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. [3].

Головною метою НПД ВЕ є доведення до 2020 р. частки енергії, отриманої з поновлюваних джерел енергії у кінцевому енергоспоживанні країни до 11%, що дозволить до 2020 р. зменшити використання традиційних первинних енергоресурсів в обсязі 8,6 млн т н.е. або 9,2 млрд м³ природного газу.

На виконання Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року Держенергоефективності разом з Інститутом відновлюваної енергетики НАН України та профільними асоціаціями розроблено проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики

України на період до 2020 року щодо сприяння залученню інвестицій у розвиток сфери відновлюваної енергетики України.

Відповідно до Закону України від 04.06.2015 р. №514-VIII Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії «зелений» тариф розраховується відповідно до курсу євро. Цим Законом скасовано вимоги до «місцевої» складової; введено «зелений» тариф для СЕС і ВЕС приватних домогосподарств потужністю до 30 кВт та введено надбавку до «зеленого» тарифу за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва.

Розвиток розподіленої генерації в енергосистемах країни в умовах нарощування потужностей ПДЕ сприятиме мінімізації втрат електроенергії в електромережах (мінімізуються втрати при передаванні електроенергії на великі відстані, розвантажуються електромережі, не потрібне додаткове мережеве будівництво) [4].

Закон України від 05.12.2017 р. №2222-19 Про приєднання України до Статуту Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA) сприятиме виконанню міжнародних зобов'язань щодо досягнення у 2020 році 11% енергії з поновлюваних джерел в енергетичному балансі. Зокрема, участь дозволить: подавати заявки до Абудабійського фонду розвитку щодо отримання пільгових кредитів на «зелені» проекти; залучати світові інновації у поновлюваній енергетиці; 94 отримувати рекомендації IRENA щодо покращення законодавства у сфері поновлюваної енергетики тощо

У Звіті ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» сформовано Цільовий сценарій, реалізація якого при помірних темпах зростання потужності генерації електроенергії з використанням ВДЕ може забезпечити балансову надійність генерувальних потужностей при мінімальному зростанні цін на електроенергію в період найближчих 10 років. Також проведено Аналіз впливу введення ВЕС і СЕС на розвиток економіки, формування структури генеруючих потужностей та зміну цін на електроенергію [5].

Недостатня прогнозованість генерації ВЕС та СЕС навіть у короткостроковій перспективі обумовлює значне зростання вимог до маневрених потужностей ОЕС України для компенсації їх нестабільності.

За оцінкою ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» максимальна встановлена потужність СЕС та ВЕС, яку може приєднати ОЕС України без ризику розбалансування енергосистеми, не перевищує 3 ГВт (до грудня 2019 р.). Подальше нарощування потужності ВДЕ відповідно до раніше виданих технічних умов (7,426 ГВт) без зниження базової потужності АЕС та відповідного збільшення генерації вугільних ТЕС для забезпечення необхідних обсягів резервів, стане можливим за умови введення в роботу швидкодіючого мобільного резерву потужністю до 3 ГВт (газопоршневі станції, ГАЕС). Крім зазначеного, режимне балансування роботи енергосистеми в умовах розвитку нестабільної генерації з ПДЕ можливе шляхом впровадження на ринку електроенергії системи регулювання попитом та впровадження ринку допоміжних послуг [3].

Для спрощення та уніфікації процедур з приєднання об'єктів ПДЕ до електромереж ОЕС України ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» розроблено та введено у тестовому режимі «єдине вікно» для потенційного інвестора. Нова інтерактивна мапа мережі Укренерго, на яку нанесено усі підстанції компанії, а також «зелений калькулятор» з визначення вартості підключення допоможуть отримати інформацію щодо наявності технічної можливості та рекомендацій з підключення об'єктів. Подати заяву в режимі он-лайн на виконання комплексу заходів з приєднання та підключення електроустановок можливо шляхом заповнення відповідних електронних форм. Термін видачі технічних умов на приєднання скоротився до 15 днів. Завдяки впроваженню «єдиного вікна» кількість звернень щодо приєднання об'єктів ВДЕ зросла у 1,5 раза [3-4].

Крім того ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» розроблено проекти нормативних документів: «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з ОЕС України» II редакція; «Визначення необхідних умов і

алгоритмів врахування ВЕС та СЕС при налаштуванні протиаварійних автоматичних пристроїв»; «Методичні рекомендації щодо визначення необхідних умов і алгоритмів врахування ВЕС та СЕС при налаштуванні пристроїв автоматичного запобігання порушення стійкості (АЗПС) у перетинах ОЕС України на режим роботи яких вони мають вплив»

ДП «НЕК «Укренерго» презентовано розроблене НПЦР ОЕС України техніко-економічне обґрунтування будівництва інфраструктури збору і видавання потужності СЕС встановленою потужністю до 1200 МВт (еквівалент Придніпровської ТЕС) у Чорнобильській зоні відчуження. Проект передбачає будівництво ПС напругою 330/110 кВ, 11 ПС напругою 110/10 кВ та близько 54 км ліній електропередавання напругою 110 кВ. Це перший проект в Україні, у якому передбачено встановлення систем накопичення енергії, що дозволяє мінімізувати вплив нестабільної генерації об'єктів ПДЕ на режим роботи ОЕС України. Застосування систем акумулювання енергії дозволяє зменшити витрати на підтримання балансу в електромережі в період пікових навантажень; забезпечити безперервність та гнучкість постачання електроенергії; більш раціонально використовувати національні та регіональні електромережі; зменшити ризик перевантаження в електромережах та значно підвищити рівень безпеки системи розподілення як у поточному режимі, так і в аварійних умовах, або надзвичайних ситуаціях.

Висновки з розділу 1

На українському ринку вітроагрегатів окрім установок вітчизняного виробництва, широко представлено устаткування провідних китайських і європейських виробників. Проте, за даними Української вітроенергетичної асоціації, близько 50% усього продажу вітроагрегатів припадає на частку вітчизняного виробника. Фахівці відмічають, що окрім цінової переваги, українське устаткування показало надійну роботу в складних кліматичних умовах.

При проектуванні вітроустановок українські розробники максимально врахували особливості місцевого клімату і вірогідні критичні навантаження: можливість обмерзання, різкі пориви і часту зміну напрямів вітру. Нині, завдяки оптимальному поєднанню ціни і якості, вітроагрегати українського виробництва визнаються багатьма експертами кращими у своєму сегменті ринку і мають великий попит в Німеччині, Угорщині, Португалії, Польщі, Казахстані, Білорусії, Франції, країнах Балтії. Наявність власного виробника конкурентоздатного і надійного устаткування, служить хорошою передумовою для успішного розвитку малої вітроенергетики в Україні.

2 ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ (ВЕУ)

Вітроенергетична установка (ВЕУ, або вітряк) – технічна конструкція, поперетворює енергію рухомих повітряних мас в електричну. Під поняттям «вітрова електростанція» розуміють же систему з таких установок.

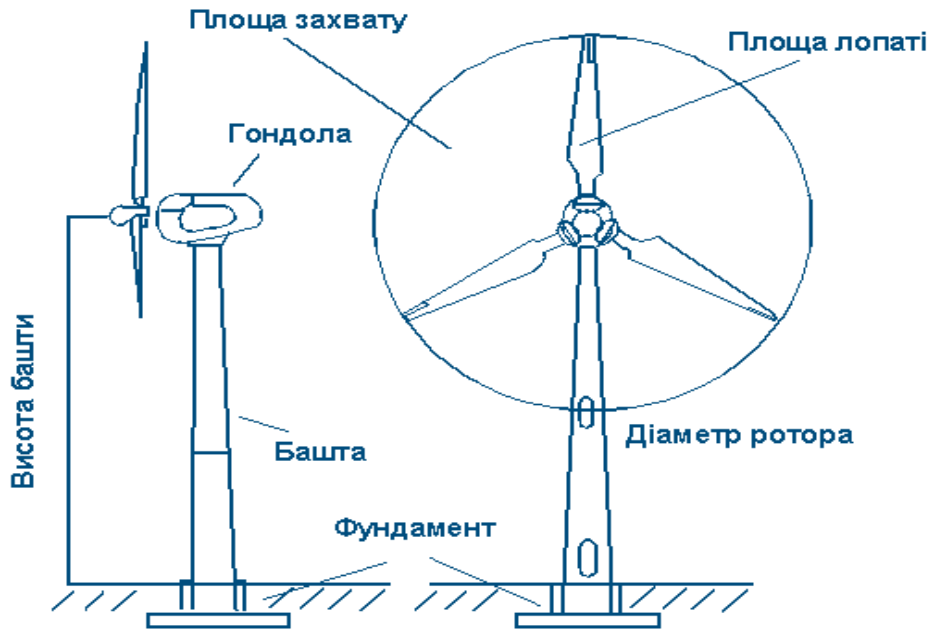


Рисунок 2.1 - конструкція вітроустановок

Є дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Найбільшого поширення в світі набула конструкція вітрогенератора із трьома лопатями і горизонтальною віссю обертання, хоча подекуди ще зустрічаються і дволопастні. Були розроблені і впроваджені в електроенергетику вертикально-осьові (ортогональні) вітряки. Відмітна особливість таких вітроустановок – вертикальні вони здатні вловлювати вітер з будь-якого боку без врахування складності вітрового потоку, яких-небудь пристосувань до напрямку і типу вітру. Це дозволяє не враховувати при експлуатації станції «троянду вітрів» і інші параметри, а тільки енергетичний потенціал вітру. Вважається, що такі вітряки мають перевагу у вигляді дуже

малої швидкості вітру, необхідної для пуску роботи вітрогенератора. Головна проблема таких генераторів - механізм гальмування. Через цю і деяких інших технічних проблем ортогональні вітрові електростанції не набули практичного поширення у вітроенергетиці.

У конструкції сучасних вітрових електростанцій закладені новітні наукові і експериментальні розробки використання кінетичної енергії вітру, що дозволили добитися високої ефективності, надійності експлуатації і низької вартості електроенергії, що виробляється.

Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопати), редуктор передачі крутільного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі крутільного моменту утворює вітродвигун. Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймального пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють крутільний момент.

Оскільки вітер може змінювати свою силу та напрямок, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвертання вісі обертання за вітром, нахилу лопатей відносно землі за критичної швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності й аварійного відключення для установок великої потужності.

Вітродвигун виробляє енергію, коли вітер тисне на його лопаті. Чим довше лопать, тим більше енергії вітру вона може перехопити. Точно також, чим більша швидкість вітру, тим більше його тиск на лопаті і тим більша кількість перехопленої енергії.

Вихід енергії не перебуває в лінійній залежності від довжини лопаті і від швидкості вітру: він росте пропорційно квадрату довжини лопаті і кубу швидкості вітру.

Звернемо увагу на те, що при швидкості вітру 33 кілометри в годину видовження лопаті в 4 рази (з 15 до 60 м) збільшує вироблення енергії в 16 разів. Відмітимо також, що при довжині лопаті 30 м вітер із швидкістю 50

км/год забезпечує вироблення електроенергії в 26 разів більшу, ніж вітер із швидкістю 17 км/год. Саме тому інженери схиляються на користь великих вітродвигунів і прагнуть перехопити вітер на великій висоті.

Більшість великих вітродвигунів, що споруджуються зараз або що вже діють, розраховано на роботу при швидкостях вітру 17 – 58 кілометрів за годину. Вітер із швидкістю меншій 17 кілометрів на годину дає мало корисній енергії, а при швидкостях більше 58 кілометрів на годину можливе пошкодження двигуна.

Вітродвигуни не слід розраховувати на перехоплення штормових вітрів. Навіть якщо такий вітер забезпечує отримання набагато більше енергії, чим слабкі вітри, він чинить настільки сильний тиск на лопаті, що весь вітродвигун може бути зруйнований. Крім того, тривалість часу, коли дмуть штормові вітри, настільки мала, що вклад штормових вітрів в сумарне вироблення енергії нікчемний, і це робить подібний ризик безглуздим. Щоб усунути проблему штормових вітрів, лопаті вітродвигунів згинають так, щоб вони були злегка повернені в один бік для зменшення натиску вітру; завдяки цьому удари сильних поривів не ушкоджують пропелер. Ця стара практика відома як «оперення». Щоб запобігти поломці лопатей, застосовують також нові матеріали, здатні протистояти великим навантаженням.

Інші проблеми в конструкції вітродвигунів обумовлені просто природою системи, необхідної для перехватки енергії вітру. Двигуни зазвичай встановлюють на високих вежах, щоб лопаті були відкриті сильнішим вітрам, що дмуть на великій висоті. Ближче до поверхні будинку, дерева, невеликі горби і тому подібне стримують і ослабляють вітер. Тому потрібні високі щогли. Проте важке устаткування – пропелер, коробка передач і генератор – повинно розміщуватися на верхівці щогли, і це вимагає міцної конструкції.

Ще одну проблему використання енергії від вітродвигуна створює природа самого вітру. Швидкість вітру варіює в широких межах – від легкого подиху до потужних поривів; у зв'язку з цим міняється і число обертів генератора в секунду. Для усунення цього змінний струм, що виробляється

при обертанні осі, випрямляють, тобто перетворюють в постійний, такий, що йде в одному напрямі. При великих розмірах вітродвигуна цей постійний струм поступає в електронний перетворювач, який проводить стабільний змінний струм, придатний для подачі в енергетичну систему. Невеликі вітродвигуни на зразок тих, що використовують на ізольованих фермах або на морських островах, подає випрямлений струм у великі акумуляторні батареї замість перетворювача. Вони абсолютно необхідні для запасання електроенергії на періоди, коли вітер дуже слабкий для вироблення якої-небудь енергії.

Важча проблема регулювання всієї системи електростанцій. Також як на приливних станцій, тут бувають періоди, коли генератори виробляють мало енергії або зовсім її не проводять. У такий час необхідно десь збільшити вироблення струму звичайною електростанцією, щоб покрити потребу в ній. [6].

2.1 Ефективність використання вітроколесом енергії вітру

Вибір характеристик вітроколеса для вітроустановки в конкретних вітрових умовах визначається тими цілями, що перед нею ставляться. Зазвичай керуються однією з двох основних вимог:

- 1) максимізувати виробництво енергії за рік, щоб, наприклад, зменшити споживання палива тепловими електростанціями єдиної енергосистеми, або
- 2) забезпечити виробництво певного мінімуму енергії навіть при слабкому вітрі, щоб, наприклад, зберегти працездатність насосів системи водопостачання. Крім того, при виборі характеристик вітроколеса слід враховувати характеристики агрегатів-генераторів, насосів і т.д., з якими вони безпосередньо стикаються.

Енергією, переданою вітровим потоком вітроустановці, є енергія на валу вітроколеса. Нехай E – енергія потоку, передана вітроколесу за час T , а E_u – частина цієї енергії, передана вітровим потоком зі швидкістю u в одиничному

швидкісному інтервалі. Тоді

$$E = \int_{u=0}^{\infty} E_u du = \int_{u=0}^{\infty} \left[\frac{1}{2} \rho u^3 c_p (\Phi_u T) \right] du.$$

Якщо щільність повітря вважати постійною, то середня потужність на валу вітроколеса

$$P = \frac{E}{T} = \frac{\rho}{2} \int_{u=0}^{\infty} \Phi_u u^3 c_p du.$$

Щоб обчислити значення цього інтеграла, потрібно знати залежність коефіцієнту c_p від швидкості навігаючого потоку. Для цього розіб'ємо увесь швидкісний діапазон на чотири характерні ділянки:

1. Швидкість вітру менше швидкості, при якій вітроустановка включається. У цьому діапазоні

$$E_u = 0$$

2. Швидкість вітру більше номінальної швидкості u_R , тут

$$E_u = \Phi_{u>u_R} P_R T,$$

де P_R – розрахункова (проектна) вихідна потужність.

3. Швидкість вітру більше швидкості, при якій вітроустановка відключається, тоді

$$E_u = 0$$

4. Швидкість вітру – в інтервалі $u_{ci} - u_R$. Вихідна потужність в цьому діапазоні залежить від швидкості вітру і типу вітроколеса. Для більшості вітроустановок ця залежність має вигляд

$$P \approx au_0^3 - bP_R,$$

де a і b – константи, визначувані з умов:

– у момент включення вітроустановки $P = 0$, тому

$$u_{ci}^3 = bP_R / a$$

– при розрахунковій швидкості $P = P_R$ звідки

$$u_R^3 = \frac{(1+b)}{a} P_R$$

звідси слідує

$$\left(\frac{u_{ci}}{u_R} \right)^3 = \frac{b}{1+b}$$

Таким чином, коефіцієнти a і b можна виразити через параметри u_{ci} , u_R і P_R .

У роботі вітроустановки можна виділити два граничні режими:

– режим з постійним коефіцієнтом швидкохідності Z і, отже, з постійним коефіцієнтом використання енергії вітру c_p ;

– режим з постійною частотою обертання вітроколеса i , отже, зі змінним коефіцієнтом c_p .

Регламентовані швидкості вітру.

При виборі і розрахунку вітроагрегату потрібно в якості початкових даних обґрунтування ряду значень швидкості вітру:

- мінімальна швидкість вітру v_{\min} – найменша швидкість, при якій можлива робота агрегату і при якій він запускається в роботу. Для великих агрегатів призначається в межах 4-6 м/с;

- розрахункова швидкість вітру v_p найменша швидкість, при якій вітроагрегат здатний видавати номінальну потужність. Зниження v_p веде до невиправданих втрат вироблення енергії, оскільки при швидкостях $v > v_p$ потужність ВЕУ або залишається рівною номінальною або (при неповоротних лопатях) знижується;

- максимальна швидкість вітру v_{\max} – це швидкість, при перевищенні якої ВЕУ виводиться з роботи. Зазвичай v_{\max} не перевершує 25-30 м/с, оскільки тривалість більш високих швидкостей зазвичай невелика і зупинка ВЕУ не призводить до помітних втрат у виробленні електроенергії;

- гранично допустима швидкість $v_{\text{гран}}$, яку установка в неробочому положенні повинна витримати без ушкоджень. Залежно від регіону розміщення вона повинна прийматися в межах 50-70 м/с.

Завищення v_p призводить до невиправданого дорожчання агрегату, оскільки зі збільшенням v_p зростає розрахункове навантаження на лопаті і збільшується вага всіх конструкцій ВЕУ. Вибір v_p повинен робитися на підставі техніко-економічного розрахунку. Для різних розрахункових швидкостей вітру, на основі інтегральних кривих розподілу вітру для цієї місцевості, визначається втрачене вироблення електроенергії за рахунок обмеження потужності генератора, а також вартість втраченої електроенергії. При збільшенні швидкості вітру вище за значення v_p обмеження потужності горизонтально-осьового ротора здійснюється розворотом лопатей або частковим виведенням осі ротора з-під вітру.

Для перетворення енергії вітрового потоку принципово можлива експлуатація ВЕУ в наступних основних режимах роботи вітродвигуна: фіксованої кутової частоти обертання і змінюваної кутової частоти обертання.

Перший характеризується тим, що вал вітродвигуна повинен обертатися з фіксованою або близькою до неї швидкістю в широкому діапазоні зміни робочих швидкостей вітрового потоку. Швидкісна характеристика такого режиму представлена на рис.2.2, а.

Інтервал швидкостей вітрового є робочим діапазоном ВЕУ. При цьому швидкість $v_{п.ф}$ є тією мінімальною швидкістю потоку, при якій можлива фіксація необхідної розрахункової кутової частоти обертання валу вітродвигуна.

При постійній частоті обертання вітродвигуна коефіцієнт швидкохідності Z змінюється обернено пропорційно до швидкості вітрового потоку. При цьому його коливання призводять до зміни коефіцієнта використання енергії вітру. В результаті його максимум забезпечується тільки в двох точках швидкісної характеристики, причому одна з них лежить поза робочою її частиною. Тому робота ВЕУ в режимі фіксованої частоти обертання вітродвигуна протікає в основному при значеннях коефіцієнта використання енергії вітру, менше максимального. Початок інтервалу робочих швидкостей вітрового потоку в цьому режимі відмічений відносно високими значеннями коефіцієнта швидкохідності і низьким коефіцієнтом використання енергії вітру.[7]

Робота ВЕУ в режимі змінюваної частоти обертання вітродвигуна (рис. 2.2, б) характеризується постійними значеннями коефіцієнта швидкохідності і коефіцієнта використання енергії вітру в робочому діапазоні швидкостей вітрового потоку. Для забезпечення такого режиму роботи необхідно, щоб лінійна частота обертання вітродвигуна змінювалася прямо пропорційно зміні швидкості вітрового потоку. Таким чином, режим змінюваної частоти обертання вітродвигуна при постійному і оптимальному коефіцієнті швидкохідності повинен забезпечувати більш високу ефективність перетворення енергії вітрового потоку в інтервалі робочих швидкостей (змінюваної початкової $v_{з.поч}$ і змінюваної номінальної $v_{з.ном}$). В результаті цього має місце і більш висока механічна потужність, що

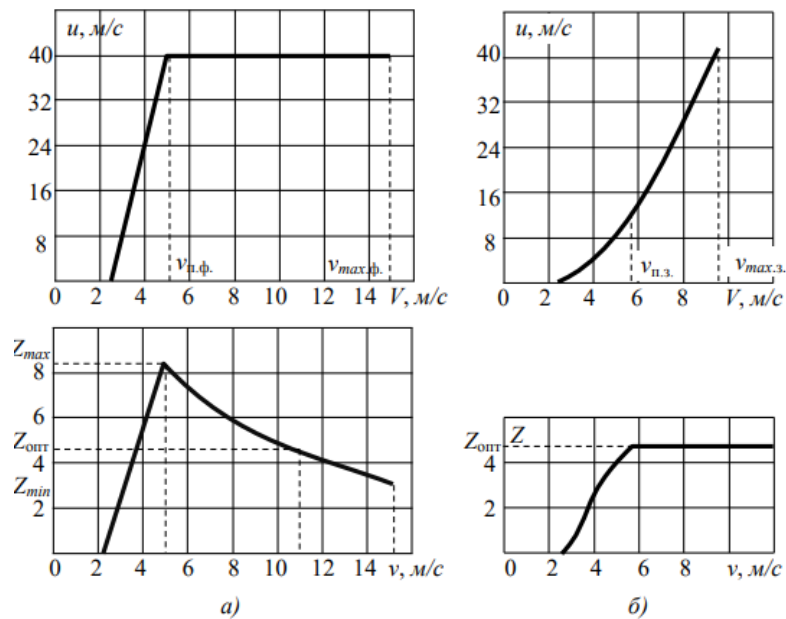


Рисунок 2.2– Швидкісні характеристики режимів:

а – з фіксованої частоти обертання ротора;

б – з частотою обертання ротора, що змінюється

розвивається вітродвигуном, в порівнянні з режимами фіксованої частоти обертання вітродвигуна, як при високих, так і при низьких швидкостях вітрового потоку. Проте зміна частоти обертання вітродвигуна в широких межах обмежується питаннями забезпечення механічної стійкості лопатей. Тому робота ВЕУ в режимі змінюваної частоти обертання можлива тільки при малій її потужності.

До технічних показників ефективності використання вітроелектричних установок відносяться:

- об'єм річного вироблення електроенергії;
- число годин роботи за рік;
- об'єм вироблення електроенергії за рік при швидкостях вітру менше номінального значення;
- число годин роботи за рік при швидкостях вітру менше номінального значення;

- об'єм вироблення електроенергії за рік при швидкостях вітру більше номінального значення;
- число годин роботи за рік при швидкостях вітру більше номінального значення;
- число годин простою за рік;
- число годин використання номінальної потужності за рік;
- коефіцієнт використання номінальної потужності за рік.

2.2 Методи підвищення ефективності вітроенергетичного обладнання

Найбільш актуальними проблемами сучасної вітроенергетики є:

- забезпечення довготривалого, протягом 20-25 років, функціонування вітроелектричних агрегатів;
- забезпечення ефективного використання енергії вітру;
- стабілізація частоти електроенергії, що виробляють вітроустановки.

Вирішення цих проблем неможливе без дослідження впливу турбулентності повітряного потоку за площиною обертання вітроколеса на роботу як автономних вітродизельних енергоустановок, так і на роботу вітроелектричних генераторів, що підключені до мережі. Одночасно для автономних вітроелектричних установок, що працюють на ізольовану локальну електричну мережу, котра не має задавачів промислової частоти, питання стабілізації частоти обертання вітроколеса і, відповідно, частоти електричного струму, що виробляється, є найбільш важливим.

Аналіз електричних схем систем керування кутовим положенням лопатей більшості вітроагрегатів свідчить, що всі вони побудовані за принципом порівняння частоти обертання лопатей і вмонтованого в систему керування кварцованого генератора базової частоти з подальшим переданням

команди виконуючим органам (електромеханічним або гідравлічним) на змінення кута атаки лопатей, пропорційно вимірній розбіжності частот. При такій схемі робочим органом, який вимірює швидкість вітру, є ротор вітроагрегата. Розміри та маса лопатей, що становлять ротори вітроагрегатів середньої та великої потужності, такі, що вимірювання швидкості за допомогою ротора є дуже інерційним. Забезпечити більш "тонке" регулювання кутового положення лопатей при всіх змінах швидкості повітря можна при застосуванні критерію оптимальності. Цей критерій мінімальним змінам швидкості повітря ставить у відповідність мінімум функціоналу керування. З цієї точки зору, збільшення швидкості протікання перехідних процесів у системах керування і генерування електроенергії, а також збільшення вироблення електроенергії можливі при введенні в контур системи керування кутовим положенням лопатей вимірювача швидкості повітря і диференціатора. Таким чином, більш сучасними, ніж описані, є схеми, які включають до свого складу вимірювачі швидкості повітря – анемометри. При цьому природне бажання – розташувати анемометр як можна ближче до вітроагрегату на висоті осі обертання ротора, щоб одержати найбільш достовірне вимірювання швидкості повітря. Дуже часто анемометри встановлюють на даху гондоли горизонтально-осьового вітроагрегату. В такому випадку, коли вітроколесо знаходиться з навітреного боку гондоли, анемометр попадає за площиною обертання лопатей в потужний турбулентний потік, що спотворює інформацію.

Основні характеристики складових частин конструкції найбільш часто використовуваних машин – це багатоступінчаста трансмісія, регулювання кроку лопатей (так звана система пітчу) і зміна швидкості обертання ротора. Генератори застосовуються переважно асинхронні, з двома синхронними швидкостями обертання. Впроваджуються генератори зі змінною швидкістю обертання ротора на постійних магнітах сумісно з електричними інверторами.

[3]

2.3 Методи вимірювання швидкості вітру

Вітер - це горизонтальний рух повітря відносно земної поверхні, обумовлений порушенням рівноваги атмосфери. Він є однією з метеорологічних величин, що визначають значний вплив на життя і діяльність людини. Добре відома позитивна роль вітру, що очищає атмосферу міст від пилу, промислових забруднень, пом'якшує літню спеку. Вітер є також одним з джерел енергетичних ресурсів. Але нерідко він завдає значної шкоди різним галузям народного господарства. Сильний вітер (буревій) видуває посіви, руйнує будівлі, пошкоджує лінії зв'язку та електропередач, зриває верхній родючий шар ґрунту і виносить його на великі відстані. Вітер характеризується напрямком і швидкістю, які визначаються особливістю баричного рельєфу і значенням баричного градієнту. На режим вітру впливають також фізико-географічні умови району. Швидкість вітру виражається в метрах за секунду, кілометрах за годину (особливо при обслуговуванні авіації) і у вузлах (морських милях за годину). Щоб перевести швидкість з метрів за секунду у вузли, досить помножити число метрів у секунду на 2 [6].

Вимірювання швидкості вітру корисно з багатьох причин. Від підвищення безпеки на відкритому повітрі до оцінки потенційних майданчиків для вітроенергетичних проєктів. Крім того, моніторинг швидкості вітру є ключовим елементом метеорології.

Швидкість вітру вимірюється анемометром . Традиційна конструкція анемометра використовує круговий масив елементів у формі чашки. Сила вітру сильніше на увігнутій частині чашок, ніж на опуклій стороні. Масив крутиться у відповідь на вітер, повертаючи вал, до якого він прикріплений.

Чашкові анемометри вперше були розроблені в середині 19 століття, і в дизайні було використано масив з чотирьох чашок у круговій компоновці. Чашки були зменшені до трьох у 1920-х роках. Цей дизайн анемометра зараз є галузевим стандартом для оцінки вітрових ділянок. Три чашки забезпечують

більш швидку реакцію та постійний крутний момент. Швидка реакція триміскового анемометра особливо корисна при вимірюванні поривів вітру, які мають невелику тривалість, незважаючи на силу. У багатьох випадках вони можуть вимагати швидкої реакції для запобігання нещасних випадків.

Звичайний анемометр з трьома чашками вимірює лише швидкість вітру, але є також два основних способи вимірювання напрямку вітру:

На одній із чашок може бути прикріплена мітка, щоб змінити силу вітру на ній, зробивши анемометр швидкішим і сповільнюючи один раз за цикл, створюючи циклічну пульсацію. Напрямок вітру можна визначити виходячи з кутового положення анемометра, коли виникає кожен із цих ефектів.

Інший варіант - просто доповнити анемометр вітром для визначення напрямку вітру. Перевагою встановлення обох пристроїв разом є вимірювання швидкості та напрямку вітру в одному місці.

Лопатковий анемометр або пропелерний анемометр - ще один поширений варіант цього пристрою, з появою мініатюрної вітрогенератора. Лопатковий анемометр оснащений вітром, який завжди тримає його в напрямку, з якого дме вітер. Швидкість вітру обчислюється виходячи зі швидкості гвинта, як і з чашковою анемометром. Різниця в тому, що вісь обертання паралельна вітру (вона перпендикулярна в чашечному анемометрі). Лопатковий анемометр також може одночасно надавати дані про швидкість вітру та напрямки. Пропелерний та чашковий анемометр зображено в додатку В.

Чашовий анемометр характеризується простотою: швидкість обертання його вала пропорційна швидкості вітру, а це означає, що середня швидкість також пропорційна кількості витків протягом заданого часового проміжку. Співвідношення швидкості вітру та швидкості валу називається коефіцієнтом анемометра, і воно змінюється залежно від фізичної конструкції агрегату, зазвичай коливається від 2 до 3.

Частота вибірки анемометра описує, як часто прилад вимірює швидкість вітру. Наприклад, анемометр із частотою 0,1 Гц підраховує кількість витків за

10-секундний період, щоб забезпечити значення швидкості. У той час як інший з частотою 1 Гц рахує витки один раз в секунду. Анемометри з більш високою частотою вибірки забезпечують більш детальний профіль вітру. Оскільки вони можуть фіксувати короточасні зміни швидкості вітру, які усереднюються, коли період вибірки довший.

2.4 Особливості конструкцій та розташування вітрогенераторів в різних регіонах.

Дане обладнання має лопаті, які приводяться в рух внаслідок дії сили вітру. Дане обертання запускає турбіну, яка також починає обертатися. У турбіні починає генеруватися енергія, потужність якої визначається силою вітру. З ростом вітрової енергії збільшується і механічна, що виробляється турбіною.

Пристрій вітрогенератора може відрізнитися наявністю або відсутністю мультиплікатора на роторі. Якщо він передбачений, енергія від турбіни передається йому. Призначенням мультиплікатора є прискорення обертання осі. Установки без цього обладнання є більш ефективними, оскільки в них не відбуваються генерації додаткової енергії (для прискорення обертання осі), а значить, і її витрати. Такому обладнанню цілком достатньо вітрової енергії для повноцінного функціонування.

Принцип роботи вітряної електростанції дозволив отримувати електроенергію альтернативним способом і забезпечити автономність кожного об'єкта. Потужність даного обладнання повністю визначається розмірами його лопатей. Чим більше їх площа, тим вищу потужність можна отримати, використовуючи принцип роботи вітроустановки.

Розрахунок потужності вітряного обладнання здійснюється на основі кубічної залежності швидкості вітрового потоку. Кубічна залежність означає, що якщо вітровий потік зі швидкістю, умовно 6 м/с, забезпечує потужність установки 100 Вт, то збільшення потоку до 12 м/сек призведе до зростання

потужності у вісім разів – до 800 Вт.

Якщо турбіна характеризується невеликими розмірами, для отримання високої потужності буде потрібен дуже сильний вітер. Якщо ж турбіна велика, вона здатна і за незначної вітрової швидкості видавати необхідну потужність. Конструкція вітряка повністю визначає його здатності виробляти певну кількість електроенергії за одиницю часу в залежності від швидкості вітрового потоку.

Вітрогенератор з точки зору його конструкції влаштований так :

- установки включають такі функціональні вузли:
- установка, що перетворює вітрову силу в енергію;
- акумуляторна батарея;
- інвертор;
- контролер заряду.

Обладнання, що перетворює вітрову енергію в електричну, включає в себе:

- турбіну, тобто ротор, який здійснює перетворення енергії вітрового потоку прямолінійного руху;
- генератор, що здійснює перетворення механічної енергії в електричну;
- щоглу (даний конструктивний елемент може бути типу «ферма» або трубчастим);
- систему управління турбіною
- мультиплікатор (в залежності від моделі);
- хвіст або систему азимутального привода;
- випрямляч.

Якщо система управління аеромеханічна, на лопатях генераторів є спеціальні рухомі елементи. Саме це конструкційне рішення дозволяє змінювати розташування площини лопатей в залежності від напрямку вітру. Таким чином досягається найбільш ефективне функціонування обладнання.

Вітрові генератори, що характеризуються вертикальним розташуванням осі, являють собою низькоефективні установки, які не рекомендується використовувати внаслідок цього. До такого неефективного обладнання належать:

«Дар'є» («Darrieus») – ротор, який придатний для використання лише як анемоскоп.

«Савоніуса» («Savonius») – ротор, недоліком якого є існуючий коефіцієнт випередження. Це обладнання самостійно запуститися не здатне, його необхідно розкручувати. Якщо цього не зробити, отримувати електроенергію стане можливим тільки після досягнення вітром швидкості 10 м/с.

У густонаселених країнах шум іноді може бути обмежуючим фактором потужності, яку можна встановити на будь-якому конкретному майданчику.

Шум, що виробляється діючими турбінами, значно знизився за останні роки виробниками, але все ще є обмеженням. Це з двох основних причин. По-перше, на відміну від більшості інших генеруючих технологій, вітрогенератори часто розташовані в сільській місцевості, де рівень фонового шуму може бути дуже низьким, особливо за ніч. Насправді критичні часи - це коли швидкість вітру знаходиться в нижньому кінці робочого діапазону турбіни, оскільки тоді фоновий шум, спричинений вітром, є найнижчим. По-друге, основні джерела шуму (наконечники лез, задня кромка зовнішньої частини лопаті, коробка передач та генератор) підвищені, і тому вони не перевіряються топографією чи перешкодами.

Виробники турбін можуть надавати сертифікати характеристик шуму. Міжнародний визнаний стандарт, який зазвичай називають «Системи генерації вітрогенераторів: методи вимірювання акустичного шуму» (ІЕС 61400, частина 11 від 2003 року). Стандартні методи з урахуванням моделей розповсюдження шуму використовуються для обчислення очікуваних рівнів шуму в критичних місцях, як правило, найближчих оселях. Потім результати порівнюються з прийнятними рівнями, які часто визначаються у

національному законодавстві. Стандарт для таких розрахунків: «Акустика - ослаблення звуку під час поширення на вулиці; Частина 2: Загальний метод розрахунку »(ISO 9613-2). Виробники турбін можуть також надати гарантію на шум, що видається турбінами. [2].

2.5 Методи та засоби перетворення вітрової енергії

Вітроенергетична установка – комплекс технічних пристроїв для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в будь-який інший вид енергії. До складових вітроенергетичної установки входить власне вітроагрегат (вітродвигун у комплекті з однією або кількома робочими машинами), акумулюючий або резервуючий пристрій та системи автоматичного управління й регулювання режимами роботи. У деяких випадках застосовується дублюючий невітровий двигун.

Вітродвигун – двигун, що використовує кінетичну енергію вітру для виробництва механічної енергії. У якості робочого органу вітродвигуна, що сприймає енергію вітрового потоку і перетворює її в механічну енергію обертання валу, застосовують ротор, вітроколесо, барабан тощо. Залежно від типу робочого органу та положення його відносно вітрового потоку розрізняють карусельні (або роторні) вітродвигуни, барабанного типу і крильчаті.

У якості акумулюючого пристрою часто застосовують наповнену водою ємність або батареї електрохімічних акумуляторів; для короткочасного запасу енергії та вирівнювання споживаної потужності при незначних змінах швидкості вітру можуть бути використані інерційні акумулятори. Дублюючий невітровий двигун (як правило, двигун внутрішнього згорання) використовують у періоди відсутності потоку вітрової енергії і в тих випадках, коли через зниження швидкості вітру потужність, що розвивається вітродвигуном, стає нижчою від номінальної або недостатня для живлення електроенергією всього приєднаного навантаження.

Системи автоматичного управління та регулювання служать для вмикання й вимикання вітрового двигуна (залежно від режимів вітру та навантаження, ступеня заповнення резервуючої ємності водою, заряду акумулятора і т.д.), для контролю за роботою головних елементів вітрової установки, узгодження режимів спільної або паралельної роботи вітрового та теплового двигунів і т.ін.

Розрізняють вітроустановки спеціального призначення – насосні або водопідйомні, електричні зарядні, млинові, опріснювальні тощо) та комплексного використання (вітросилові та вітроелектричні). У силових вітроустановках від механічної трансмісії вітродвигуна приводяться в дію виконуючі машини; в електричних вітроустановках генерована електроенергія передається на електродвигун виконуючих машин. Залежно від типу і характеристик вітродвигунів та робочих машин вітроустановки можуть бути тихохідними, середньої швидкохідності і швидкохідними. Встановлена (розрахункова) потужність вітроустановки залежить головним чином від діаметра вітроколеса і показника швидкості вітру. Вітроустановки працюють зі змінюваною у широких межах частотою обертів вітроколеса і, відповідно, потужністю.

Перетворення кінетичної енергії повітряного потоку при застосуванні вітроенергетичного обладнання здійснюється шляхом його взаємодії з робочими органами вітроустановками, які можуть бути виконані у наступному вигляді:

- лопатей (плоских, увігнутих або з аеродинамічним профілем);
- циліндрів А.Флетнера;
- осцилюючих предметів, наприклад, тросів;
- системи з електродними сітками електрогідравлічного динамічного генератора.

Найбільш розповсюдженими робочими органами вітроустановок є лопаті з аеродинамічним профілем. Вітроустановки з робочими органами у вигляді осцилюючих предметів і електрогідравлічного динамічного

генератора знаходяться в стадії експериментів. Результати досліджень свідчать, що такого роду вітровим установкам властиві низький коефіцієнт використання енергії вітру і складності агрегування з навантаженням. Тому нижче розглянуто вітрові установки з робочими органами, виконаними у вигляді лопатей.

Принцип дії всіх вітроустановок один: під напором вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутильний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Реальний к.к.д. кращих вітрових колес досягає 45% у разі стійкої роботи при оптимальній швидкості вітру.

Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою. Установки, що використовують силу лобового тиску, як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою від швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопатей, істотно більшу від швидкості вітру.

Сучасна вітроенергетика базується в основному на застосуванні вітродвигунів: горизонтально-осьових пропелерних із горизонтальною віссю обертання й вертикально-осьових (або ортогональних) із вертикальною віссю обертання. Ротори останніх виконуються у вигляді вертикально розташованих лопатей або у спеціальному виконанні – ротори типу Дар'є.

Оскільки вітер може змінювати свою силу і напрям, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю і безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвороту вісі обертання за вітром (віндроза), нахилу лопатей відносно землі при критичній швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності та аварійного відключення для установок великої потужності.

Найчастіше на ВЕС використовується трилопатеве вітроколесо з горизонтальним розташуванням вісі ротора. Удосконалення відбуваються шляхом збільшення розмірів лопатей, покращення техніко-економічних

показників енергетичного обладнання і електронного управління, використання композитних матеріалів і застосування більш високих башт. Деякі ВЕУ функціонують зі змінною швидкістю або взагалі не використовують редуктор і працюють за методом прямого приводу. Так, при потужності ВЕУ 2,5 МВт діаметр лопатей вітроколеса досягає 80 м, а висота башти більше 80 м.

ВЕУ з вертикальною віссю обертання мають переваги перед установками з горизонтальною віссю, які полягають у тому, що немає необхідності у пристроях орієнтації на вітер, спрощується конструкція і знижуються гіроскопічні навантаження, обумовлені додатковим напруженням в лопатях, системі передачі та інших елементах установки, з'являється можливість встановлення редуктора з генератором в основі башти.

На сьогодні розроблена і використовується значна кількість схем перетворення енергії вітру в електричну енергію постійного чи змінного струму або для виконання механічної роботи.

2.6 Схеми електричних з'єднань вітроелектростанцій

Вітрова електрична станція (ВЕС) призначена для вироблення електричної енергії із заданими відповідними стандартами параметрами якості електроенергії за допомогою вітрових електричних установок (ВЕУ) для електромережі загального призначення (енергосистеми). Система перетворення і передачі електроенергії ВЕС повинна забезпечувати перетворення і видачу електроенергії, що виробляється ВЕС, в електромережу загального призначення, а також забезпечувати електроенергією власних споживачів при живленні від електромережі загального призначення.

Структура, характеристики та комплектуючі схеми електричних з'єднань ВЕС визначаються безліччю факторів: одиничною потужністю установок, їх кількістю, розстановкою на місцевості, типом генераторів електроенергії, що застосовуються і наявністю статичних перетворювачів.

Фактично ВЕС являє собою локальну розподільну електричну мережу із зворотно спрямованим потоком енергії. У залежності від перерахованих вище параметрів сполучна мережа ВЕС може бути виконана за магістральним, радіальним або змішаним принципом.

До складу вітроелектростанції в загальному випадку повинні входити: трансформаторна підстанція, розподільний пристрій, засоби управління і контролю, лінії електропередачі, компенсуючі пристрої, і комплект електрообладнання для електропостачання пункту управління. [8].

Особливості ВЕС в порівнянні з традиційними електростанціями (тепловими – ТЕС, атомними – АЕС, потужними гідроелектростанціями – ГЕС) полягають у наступному:

- порівняно мала (у порівнянні з традиційними в десятки разів) встановлена електрична потужність як ВЕС, так і кожної ВЕУ;
- велика кількість ВЕУ, розміщених досить далеко одна від одної (для виключення взаємного аеродинамічного впливу), на великих територіях, під відкритим небом;
- розташування основного електромеханічного устаткування ВЕУ на висоті, на опорі (башті); – розкид деталей на значні відстані при аварійному руйнуванні віротурбіни (лопатеї) ВЕУ;
- випадковий характер первинного потоку енергії (вітру) і складність сталого прогнозування та забезпечення виробництва електроенергії;
- залежність роботи ВЕС від значення і коливань швидкості вітру, що вимагає прийняття спеціальних рішень у питаннях організації експлуатації обладнання;
- різка зміна вироблюваної потужності ВЕУ при різкому коливанні швидкості вітру, що приводить до спрацьовування релейного захисту на ділянках енергосистеми.

При розробці схем електричних з'єднань ВЕС, які називають в зарубіжній літературі «вітропарками» або «вітроферми», насамперед є

питання про доцільність з'єднання ВЕУ в групи. Відомо, що в електроенергетиці широко використовується так званий блочний (модульний) принцип побудови головних схем електростанцій, коли три або декілька генераторів з'єднуються з трансформатором і утворюють енергоблок.

З цієї точки зору можлива потужність майбутніх ВЕС: 10...100...200 МВт, знаходиться в зоні відповідності зазначеного вище принципу і ВЕС може бути представлена одним енергоблоком. Звідси впливає принцип для проектування схеми ВЕС: видача потужності в енергосистему (загальну мережу) може бути здійснена для зазначених вище потужностей ВЕС, через один мережевий трансформатор і через одну лінію зв'язку з системою. Так, якщо напруга розподільної мережі енергосистеми поблизу ВЕС становить 110 кВ, то мережевий трансформатор ВЕС повинен мати напругу 110/10 кВ, або 110/6 кВ, в залежності від напруги підвищувальних трансформаторів, встановлених безпосередньо на ВЕУ.

Сучасні ВЕС комплектуються, як правило, вітроустановками одиничної потужності 750-1000-1500-2000 кВт і більше. З цього впливає, що кожна ВЕС – це десяток, або кілька десятків електрично пов'язаних вітроустановок, віддалених одна від одної на 300...500 метрів. Виходячи з рози вітрів в діапазоні робочих швидкостей вітру (від швидкості вітру включення до швидкості відключення) при визначенні місця розміщення ВЕУ на майданчику ВЕС рекомендується при явно вираженому переважному напрямі вітру розташовувати ВЕУ рядами перпендикулярно переважному напрямку вітру, відстані між ВЕУ в рядах приймати не менше трьох діаметрів ротора ВЕУ, відстані між рядами ВЕУ приймати не менше восьми діаметрів ротора ВЕУ (2). У випадку розташування ВЕС у степовій зоні, де роза вітрів більш рівномірна, може бути застосована радіальна схема з головною підвищувальною підстанцією в геометричному центрі парку (при цьому з'єднання з прилеглою електричною мережею зазвичай виконується комбінованою кабельно-повітряною лінією електропередачі, оскільки на території ВЕС повітряні ЛЕП, як правило, не застосовуються.

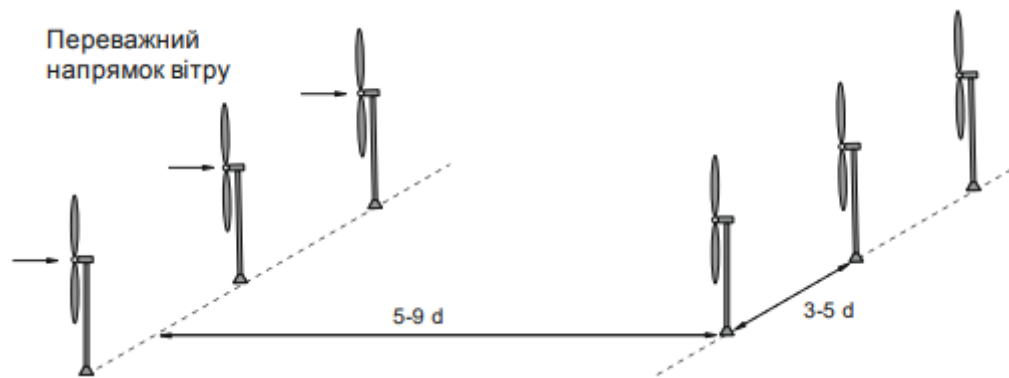


Рисунок 2.3 – Оптимальна розстановка вітроенергетичних установок на ВЕС, (d – діаметр області, що окреслює лопатями ротора вітрогенератора)

При рівномірній розі вітрів дистанції між окремими установками у всіх напрямках повинні бути однаковими. Їх величина повинна складати не менше 6...9, а за деякими джерелами – 20 діаметрів вітрогенераторів (рис. 5.1). Дана вимога викликана тим, що при робочих швидкостях вітру для сучасних ВЕУ (найчастіше від 10 до 25 м/с) турбулентний слід від вітроколеса простягається по напрямку вітру саме на таку відстань а попадання вітроколеса в турбулентний повітряний потік різко знижує аеродинамічний ККД вітроенергетичної установки.

Залежно від одиничної потужності і взаємного територіального розташування ВЕУ з'єднуються в групи, а кількість груп в свою чергу визначається одиничною потужністю ВЕУ і загальною потужністю ВЕС. При цьому істотний вплив на формування груп ВЕУ робить взаємне розташування місця підключення ВЕС до енергосистеми (підстанції 110/ 0 кВ). На рис. 2.1показані варіанти принципів схем електричних з'єднань при різному взаємному розташуванні площі ВЕС та підстанції зв'язку з енергосистемою для випадку потужності ВЕС 10 МВт, укомплектованої ВЕУ єдиної потужності 1 МВт і розташування підстанції по центру або збоку (поза) площадки ВЕС. Зі схеми рис. 5.2, а видно, що у кожного наступного кабелю від ВЕУ № 2 (7) та № 4 (9) перетин подвоюється і від ВЕУ № 3 та № 8 перетин

кабелю до трансформаторної підстанції розраховується на максимальну потужність 5 МВт.

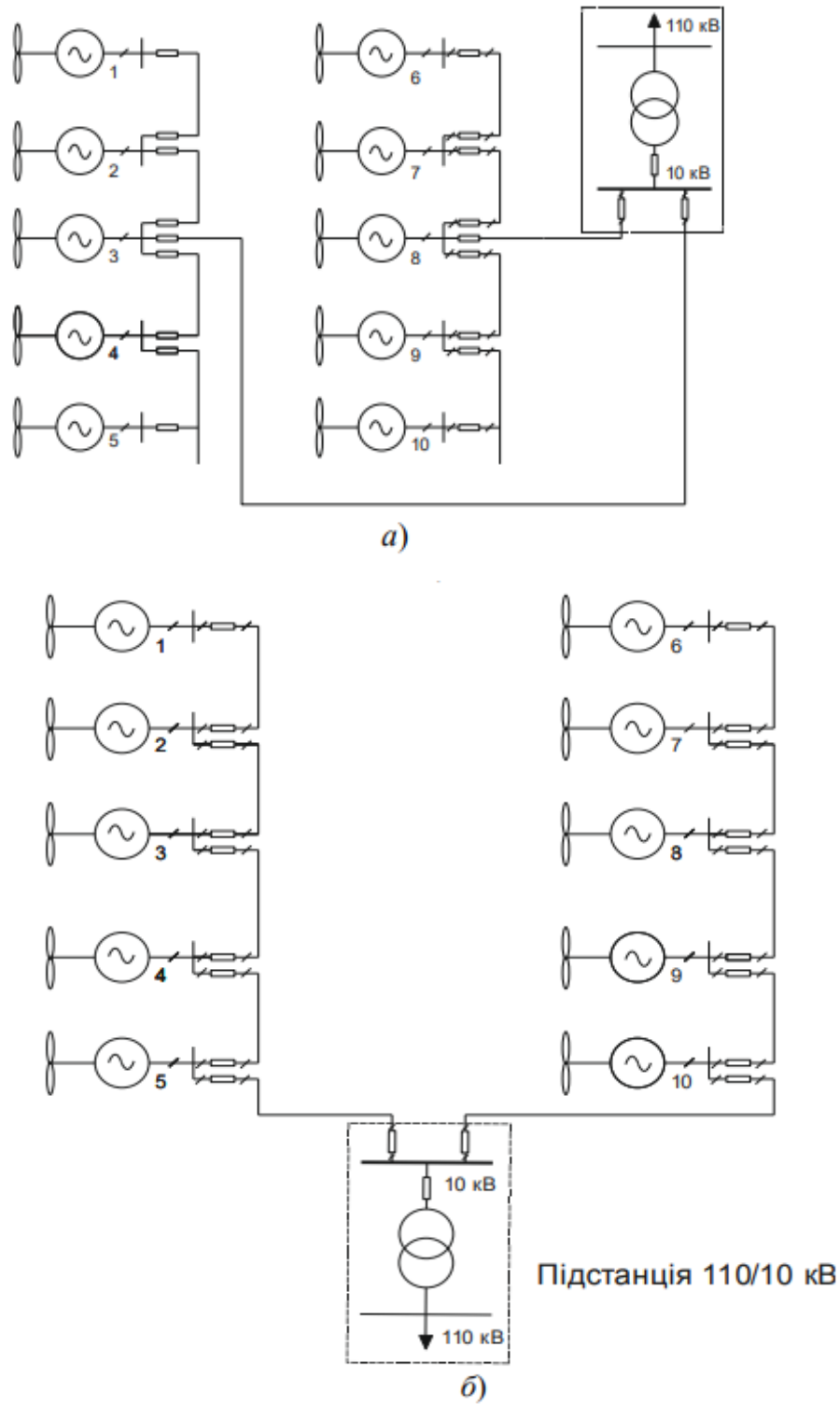


Рисунок 2.4 – Варіанти принципів схем електричних з'єднань ВЕС:

- а – розташування підстанції у центрі майданчику ВЕС;
- б – розташування підстанції поза майданчиком ВЕС.

Якщо ВЕУ, що входять до складу ВЕС мають непостійну частоту обертання вітро двигунів і оснащені асинхронними генераторами з короткозамкненим ротором або синхронними генераторами (з електромагнітним або магнітоелектричним збудженням) непостійної частоти обертання, передача всієї електричної потужності в мережу здійснюється за допомогою статичних перетворювачів частоти (рис. 5.3)

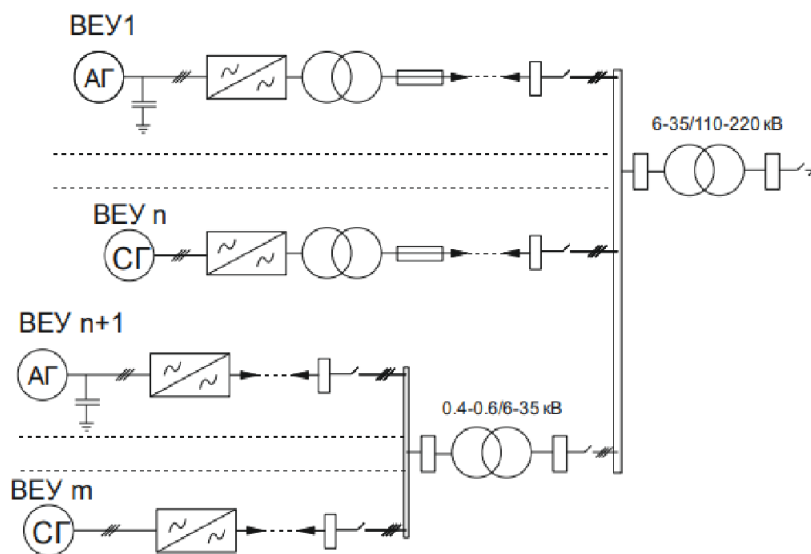


Рисунок 2.5 - Радіальна схема з'єднань ВЕС на базі ВЕУ з асинхронними і синхронними генераторами несталі частоти обертання і повним перетворенням енергії, що виробляється

Однак далеко не завжди вітроустановки працюють у складі потужних вітростанцій. Протягом достатньо тривалого часу вітроустановки у Європі будувались і продовжують будуватися для індивідуального і колективного (муніципального) енергопостачання. [8].

2.7 Класифікація обладнання, основні технічні та економічні показники.

Для використання енергії вітру застосовуються різні типи вітроенергетичного обладнання. Вітроенергетична система спочатку перетворює енергію вітру в механічну енергію, а потім, при необхідності, в електричну. Функціонально вітроустановки можуть бути розподілені таким чином:

- мережеві вітроелектричні установки;
- автономні вітроелектричні установки;
- вітроустановки для виконання механічної роботи.

Режими функціонування вітроелектричного обладнання, що працює в комплексі з промисловою електромережею, суттєво відрізняються від режимів роботи автономних вітроелектричних установок; ці відмінності потребують спеціального технічного і технологічного забезпечення. Тому автономна вітроенергетика часто виділяється як окрема підгалузь вітроенергетики.

Механічні вітроустановки частіше всього використовуються в сільському господарстві, вітроелектричні агрегати мають більш широке коло споживачів – різні приватні та державні господарства, установи, будинки та об'єкти. Для забезпечення потреб теплопостачання вітрову енергію перетворюють у тепло за допомогою механічних або електричних пристроїв.

Для виробництва електроенергії застосовують вітроелектричні агрегати двох основних типів: з вертикальною та з горизонтальною віссю обертання. Найбільш поширеними є вітроагрегати з горизонтальною віссю обертання, на їх частку приходиться біля 95% вітроустановок. Потенційний попит на вітроенергетичне обладнання, а також на пристрої енергопостачання на їх основі, може бути визначений залежно від напрямків їх використання. При цьому варто мати на увазі, що області використання визначають вимоги до конструкції як власне вітроустановок, так і до складу устаткування системи захисту, автоматики та алгоритму керування. Це в остаточному підсумку визначає вартість системи та платоспроможний попит. Відповідно із

сформованою практикою, за напрямками використання вітроустановки класифікуються наступним чином:

- вітроустановки та вітростанції, що працюють у мережі (енергосистемі) загального користування (мережні ВЕУ і ВЕС);
- вітроустановки, що працюють у локальній (автономній) системі паралельно з іншими енергоустановками (дизель-генератор, мала ГЕС, сонячна батарея тощо);
- вітроустановки індивідуального або групового електропостачання;
- вітроустановки для виробництва теплової енергії;
- вітроустановки для виробництва механічної енергії.

У вітроенергетичних установках енергія вітру перетворюється в механічну енергію їх робочих органів. Первинним і основним робочим органом вітроустановки, що безпосередньо приймає на себе енергію вітру і, як правило, перетворює її в кінетичну енергію свого обертання, є вітроколесо. Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлюється тим, що в принципі на будь-яке тіло, що обтікає потік газу, діє сила E , яку можна розкласти на дві складові:

- 1) сила лобового опору, що діє уздовж швидкості набігаючого потоку;
- 2) підйомна сила, що діє у напрямку, перпендикулярному швидкості набігаючого потоку.

Показник номінальної потужності ВЕУ в межах 2,0 – 3,0 МВт є найпоширенішим у світі за останні роки.

Основні характеристики складових частин конструкції найбільше часто використовуваних машин – це багатоступінчаста трансмісія, регулювання кроку лопатей (так звана система пітчу) і зміна швидкості обертання ротора. Генератори застосовуються в більшій частині асинхронні, із двома синхронними швидкостями обертання. Впроваджуються генератори зі

змінною швидкості обертання ротору на постійних магнітах сумісно з електричними інверторами.

Істотною особливістю сучасних моделей ВЕУ є низька швидкість обертання ротора маточини. За рахунок інновацій у конструкції силових передач швидкість обертання ротора знижена до 9-19 об/хв. Завдяки цьому суттєво знижений рівень шуму від ВЕУ. Крім того, значно зменшений ризик зіткнення птахів з лопатями, що рухаються.

Помітним явищем стала поява ВЕУ із ротором збільшеного діаметра в порівнянні з потужністю генератора. Цей конструктивне рішення сприяє більш продуктивній роботі ВЕУ при низьких швидкостях вітру. Конструктивним рішенням, яке також сприяє збільшенню продуктивності ВЕУ, є збільшення висоти вежі до 100-120м. В таблиці 2.1 наведена розмірна класифікація вітроустановок

Із позицій конструктивних і технологічних особливостей, а також тенденцій розвитку, умовно розділяють ВЕУ на дві групи.

- 1) ВЕУ малої потужності (до 100 кВт);
- 2) ВЕУ середньої і великої потужності (100 кВт і більше).

Особливості першої групи обумовлені специфікою ринку даної категорії ВЕУ, розрахованої на індивідуальних споживачів приватного сектора і малий бізнес. Низька платоспроможність індивідуальних споживачів і неможливість (або обмежені можливості) професійного технічного обслуговування призвели до необхідності максимального спрощення і здешевлення конструкції агрегатів. При цьому показники надійності та автономності роботи повинні залишатися на найвищому рівні. Характерними властивостями новітніх ВЕУ до 100 кВт є:

- використання трилопатевої вітротурбіни з фіксованим кутом установки лопатей, перетин профілю лопаті постійний;
- виготовлення лопатей із армованого скляним або вуглецевим волокном пластику;

- орієнтація ВЕУ за допомогою найпростішого механізму – флюгерної лопаті, яка завдяки спеціальній конструкції та шарніру одночасно регулює швидкість обертання вітротурбіни шляхом повороту всієї площини обертання вітротурбіни відносно вітрового потоку;
- використання тихохідних трифазних синхронних генераторів на базі рідкоземельних магнітів з високою коерцитивною силою;
- виконання генераторної системи за схемою "синхронний генератор – випрямляч – інвертор", що дозволяє працювати при змінній частоті обертання ротора;
- можливість як мережної, так і автономної роботи;
- забезпечення повністю автономної роботи, контрольованої комп'ютером, а також роботи в різних комбінаціях системи (наприклад, координація роботи разом із дизельною електростанцією або акумулятором).

Перепонами до широкомасштабного впровадження мережних та автономних вітроустановок малої потужності є:

- висока питома вартість агрегатів малої потужності;
- обмеженість у фінансах у масового приватного покупця;
- обмежене число площадок із прийнятними вітровими умовами;
- низькі показники надійності і ККД;
- слабка розвиненість маркетингової та сервісної системи.

Розвиток вітроенергетики на основі вітроустановок потужністю до 100 кВт повинен бути орієнтованим на відносно низьку одиничну вартість агрегатів та їх механічну простоту, повну автономність і універсальність у роботі, застосування генераторів, що працюють зі змінною швидкістю обертання, для підвищення загального коефіцієнта використання вітроелектричної установки. Вітроустановки другої групи (середньої та великої потужності) характеризуються спільними технологічними рішеннями, які обумовлюються вимогами до роботи в електромережі та великими

габаритами ВЕУ. При цьому висока одинична вартість агрегатів такого класу компенсується зниженням питомої вартості 1 кВт встановленої потужності. До основних тенденцій розвитку вітроенергетики на основі середніх і великих ВЕУ відноситься:

- пошук нових матеріалів та удосконалених композитів для виготовлення лопатей;
- пошук більш досконалих профілів для лопатей ;
- використання генераторів зі змінною швидкістю обертання ротора; – збільшення встановленої потужності вітроустановок;
- використання високих веж для підвищення ефективності роботи за рахунок більш сильних і стабільних вітрів.

Застосування великих вітроустановок із діаметром вітротурбіни більше 45 м і встановленою потужністю 1 МВт і більше надає наступні переваги: – зниження питомих витрат на 1 кВт встановленої потужності;

- можливість використання більше вітрової енергії на одиницю площі у випадку наявності у межах ландшафту високих перепон, а також у випадку, коли дмуть стабільні вітри одного напрямку;
- забезпечення кращої аеродинаміки внаслідок більш високих чисел Рейнольдса, що спостерігаються у лопатей із більшою хордою;
- обмеження чутливості великих лопатей до забруднень;
- більш висока економія на деяких системах, наприклад, на системі керування.

Разом із тим, виробництво та будівництво потужних вітроустановок супроводжується певними проблемами:

- виготовлення, зберігання та транспортування великогабаритних компонентів ВЕУ;
- необхідність відповідних підйомних пристроїв по висоті та вантажопідйомності;

- залежність від аеродинамічного керування потужністю та швидкістю обертання;
- забезпечення безпечного доступу обслуговуючого персоналу;
- необхідність певного розташування групи ВЕУ для запобігання електромагнітної інтерференції;
- граничні вимоги до якості виготовлення різних вузлів ВЕУ.

Характерними рисами новітніх ВЕУ середньої та великої потужності є:

- використання трилопатевої вітротурбіни, виготовленої зі склопластику, армованого скляним або вуглецевим волокном, із регулюванням кута установки периферійної частини лопаті;
- застосування асинхронних двошвидкісних генераторів, що приводяться в рух через трансмісію;
- застосування активної системи орієнтації на вітер;
- використання трубчастої сталевий вежі без розтяжок; у самих останніх розробках плануються більш дешеві та більш високі башти на розтяжках;
- повністю автоматизована система керування; – можливість тільки мережної роботи.

2.8 Матеріали для виготовлення лопатей вітродвигуна

Тертя об поверхню лопаті повітряного потоку призводить до значних втрат, які пропорційні квадрату лінійної швидкості руху точок поверхні лопаті. Чим більше поточний радіус лопаті, тим більше ця швидкість. На значних радіусах лопаті швидкості її дуже великі, тому шорсткість поверхонь лопатей дуже впливає на потужність ВЕУ в широкому діапазоні швидкостей. З цієї причини якість обробки поверхні лопатей роторів має бути якомога вище.

Матеріал лопатей повинен бути міцним, легким, зносостійким в несприятливих кліматичних умовах і добре піддаватися обробці для того, щоб створювати деталі лопатей необхідної форми і шорсткості.

Світовий досвід створення ВЕУ показав, що для виготовлення лопатей можуть застосовуватися нержавіюча сталь, алюміній і його сплави, дерево, пластмаса, армована високоміцним хімічним волокном.

Незважаючи на те, що для забезпечення міцності і жорсткості алюмінієві і сталеві лопаті найбільш прийнятні, вони мають ряд істотних недоліків:

- при виготовленні виходять погані, з погляду аеродинаміки, поверхні, і для їх поліпшення потрібні додаткові витрати на обробку;
- необхідність забезпечення корозійної стійкості;
- при невеликій кількості виробів невиправдано трудомістке і дороге виготовлення прес-форм і матриць;
- при роботі вони створюють значні перешкоди радіотелевізійним сигналам;
- значна маса лопатей.

Дерево можна використовувати для виготовлення цільних лопатей для ВЕУ малої потужності і у вигляді фанерного покриття для лопатей горизонтально-осьових ВЕУ середньої та великої потужності. Однак, незважаючи на те, що дерево дозволяє отримати гладко оброблену поверхню, воно погано переносить згинального навантаження і флаттер, а також вразливе до атмосферних впливів.

Недоліки, властиві наведеним вище матеріалам, з успіхом усуваються при використанні пластмас, армованих хімічним волокном.

Проблеми корозії та ерозії вирішуються практично за рахунок застосування будь-яких пластмас, армованих скловолокном. Вимоги ж до міцності і жорсткості вирішуються використанням пластмас і епоксидних смол, армованих вугільним волокном. Такі лопаті не набагато перевершують алюмінієві по міцності і ваговим характеристикам, але й не впливають на радіотелевізійні сигнали.

Крім того, лопаті з скломатеріалів відрізняються високою точністю виготовлення і дуже гладкою поверхнею. При цьому досягається постійна якість обробки матеріалу по всій довжині лопаті, що має вирішальне значення для експлуатаційних параметрів ВЕУ.

Лопаті для ВЕУ середньої та великої потужності, виконані з пластмаси, армованої хімічним волокном, повинні бути обладнані відповідним грозозахистом, яка представляє собою покладену по всій поверхні алюмінієву сітку, доповнену провідниками на передній і задній кромках лопаті.

Висновки з розділу 2

1. В даному розділі зроблено порівняння різних типів та конструкції портативних вітрогенераторів для аналізу переваг та недоліків кожного типу.

2. Розглянуті основні конструкційні особливості вітрогенераторів. Визначені всі можливі типи турбін, які можуть бути використані при проектуванні портативного генератора. Їх конструкції та особливості. Описано всі можливі варіанти конфігурації систем вітрогенератора з різними джерелами. В якості турбіни обрали з горизонтальною віссю обертання, так як в неї вища продуктивність та швидша окупність.

3. ВЕУ повинна бути автономною, тобто функціонувати самостійно. Для забезпечення економічності установки та її окупності.

4. Актуальність теми полягає у тому, що вітрова енергетика є найбільш з вимогливіших джерел альтернативної енергії. Створення подібного роду пристроїв повинно бути рентабельним на ринку

3 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК РОТОРА ВІТРОУСТАНОВКИ.

Передумовою проведення розрахунку є визначення вихідних даних, що містять наступні основні показники:

- потужність, що передбачається бути отриманою від вітроагрегата (отримується за навантажувальними графіками споживача);
- швидкість вітру, при якій розвивається задана потужність;
- швидкохідність (число модулів) ротора при максимальному коефіцієнті потужності даного типу ротора;
- коефіцієнт потужності вітроустановки.

Розрахунок починається з визначення геометричних параметрів ротора із рівняння потужності вітроустановки:

$$N = 0.5 \cdot k \cdot \rho \cdot F \cdot \xi \cdot v_i^3,$$

$$N = 0.5 \cdot 0.0098 \cdot 0.125 \cdot 2640.74 \cdot 0.85 \cdot 1685.15 = 2316.8 \quad (3.1)$$

де ρ – масова густина повітря, що залежить від температури та тиску атмосфери (при $t=150\text{C}$ та $p = 760$ мм рт.ст. $\rho = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$);

F – площа обмаху ротора;

v_n – номінальна швидкість вітру;

ξ – коефіцієнт потужності вітроустановки;

k – коефіцієнт узгодження системних одиниць вимірювання ($k=1/102$ при розрахунку в системі СІ).

Для крильчастих роторів поверхня обмаху складає

$$F = 0.25\pi D^2 = 0.785D^2 = 0.785 \cdot 58^2 = 2640.74 \quad (3.2)$$

а потужність вітроустановки складе (в кВт):

$$N = 0.000481D^2 \cdot v_i^3 \cdot \xi = 0.000481 \cdot 3364 \cdot 1685.15 \cdot 0.85 = 2317.7 \quad (3.3)$$

Діаметр ротора буде становити

$$D = 45.6 \sqrt{\frac{N}{v_i^3 \cdot \xi}} = 45.6 \sqrt{\frac{2317.7}{1432.3}} = 58.0 \quad (3.4)$$

Для інших значень температур та тиску вводять поправку в рівняння потужності:

$$N_x = N \frac{B(273+15)}{B_o(273+t)} = \frac{0.38NB}{273+t} = \frac{0.38 \cdot 2317.7 \cdot 101.3}{273+15} = 309.7 \quad (3.5)$$

де B_o – 760 мм рт.ст.;

B – поточне значення тиску.

Тоді діаметр ротора буде дорівнювати:

$$D = 74 \sqrt{\frac{N_x(273+t)}{Bv_i^3 \xi}} = 74 \sqrt{\frac{309.7(273+15)}{101.3 \cdot 1685.15 \cdot 0.85}} = 0.783 \quad (3.6)$$

Швидкість вітру, при якій ротор повинен розвивати задану для розрахунку потужність, приймається за метеоданими місцевості та умов.[9]

Послідовність визначення параметрів лопаті наступна:

1.Визначення “робочого” діаметру D' вітроустановки:

$$F' = \frac{2P}{\eta_F \xi \rho v^3} = \frac{2 \cdot 1000}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 0.125 \cdot 1685.15} = 12.411 \quad (3.7)$$

де P – потужність вітроустановки;

η_F – ККД лопатей (приблизно 0,9).

$$D' = 3\sqrt{\frac{F'}{2\pi}} = 1.2\sqrt{F'} = 1.2\sqrt{12.41} = 4.22 \quad (3.8)$$

2. Визначення швидкості на кінцях лопатей:

- приймається (задається) швидкість вітру (v);
- визначається швидкість вітру, що протікає через ротор:

$$v' = \frac{2v}{3} = \frac{2 \cdot 11.9}{3} = 7.93 \quad (3.9)$$

- приймається (задається) число модулів ротора:

$$\begin{aligned} u/v &= z \\ 6/11.9 &= 0.504 \end{aligned} \quad (3.10)$$

- визначається кругова швидкість:

$$u = v \cdot z = 11.9 \cdot 0.504 = 6 \quad (3.11)$$

- визначається кут β (між вектором результуючої швидкості s та напрямленням осі):

$$\beta = \arctg(1.5 \frac{u}{v}) = 37.08^\circ \quad (3.12)$$

- визначення результуючої швидкості

$$c = v \sqrt{\left(\frac{v'}{v}\right)^2 + \left(\frac{u}{v}\right)^2} = 0.83 \quad (3.13)$$

(для швидкохідних вітроустановок $c \approx u$).

3.Визначення дійсного діаметру D :

– відстань між лопатями:

$$a = \frac{D' \cdot \pi}{m} = \frac{4.22 \cdot 3.14}{3} = 4.41 \quad (3.14)$$

де m – кількість лопатей;

– ширина повітряної полоси між лопатями:

$$b = a \cdot \cos \beta = 4.41 \cdot 0.79 = 3.51 \quad (3.15)$$

– діаметр:

$$D = D' + 0.44 \cdot b = 4.22 + 0.44 \cdot 3.51 = 5.76 \quad (3.16)$$

– довжина кола πD ;

– кутова швидкість:

$$\omega = \frac{2u}{D} = \frac{2 \cdot 6}{0.783} = 15.32 \quad (3.17)$$

– число обертів:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = 146.42 \quad (3.18)$$

– доцільна ширина лопаті

$$t = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{m} \cdot \frac{8}{9 \cdot c_a} \cdot \frac{v}{u} \cdot \frac{v}{c} \quad (3.19)$$

4. Визначення ширини та кута установки лопаті на $2/3$ радіуса ротора:

– визначається довжина кола на $2/3$ радіуса;

– визначається число модулів на $2/3$ радіуса;

– для вибраного профілю за атласом (за полярами Лілієнталя) приймається доцільний кут атаки та визначається коефіцієнт підйомної сили (c_a);

– доцільна ширина лопаті на $2/3$ радіуса становить:

$$t = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{m} \cdot \frac{8}{9 \cdot c_a} \cdot \frac{v}{u} \cdot \frac{v}{c} \quad (3.20)$$

– визначається кут β :

$$\beta = \arctg \frac{3u}{2v} \quad (3.21)$$

– кут установки лопаті складає $\beta + \alpha$.

5. Визначення ширини та кута установки лопаті на зовнішнім кінці:

– визначається довжина кола, що описує зовнішній кінець;

– визначається число модулів;

– приймається кут атаки та визначається коефіцієнт підйомної сили;

– визначається доцільна ширина лопаті:

$$t = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{m} \cdot \frac{8}{9 \cdot c_a} \cdot \frac{v}{u} \cdot \frac{v}{c} \quad (3.22)$$

– визначається кут β :

$$\beta = \arctg \frac{3u}{2v} \quad (3.23)$$

– кут установки лопаті складає $\beta + \alpha$..

6. Визначення ширини та кута установки лопаті на внутрішньому кінці лопаті (1/3 радіуса):

– визначається довжина кола на 1/3 радіуса;

– визначається число модулів;

– приймається кут атаки та визначається кут підйомної сили;

– визначається кут β та кут установки лопаті $\beta + \alpha$..

7. Визначення коефіцієнта якості лопаті:

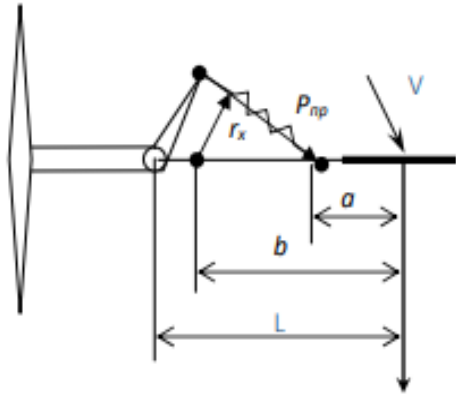
– для прийнятого профілю та кута атаки за полярами визначаються коефіцієнти підйомної сили c_a та опору c_w ;

– визначається коефіцієнт (зворотній) якості:

$$\varepsilon = \frac{c_w}{c_a} \quad (3.24)$$

2.4 Визначення навантажень на елементи систем регулювання вітроустановок.

а) регулювання хвостом, що складається.



Розрахунок проводиться з умов пружини.

Рівняння балансу моментів складає:

$$P_{np} r_x = P_{xв} b$$

де r_x - перпендикуляр із точки

повороту хвоста на направлення сили P_{np}

$$P_{xв} = \frac{P_{np} r_x}{b} = \frac{M_{np}}{b} \quad (3.25)$$

$$P_{xв.max} = \frac{M_{np.max}}{b} \quad (3.26)$$

Максимальне напруження в хвостовому стержні від сили $P_{xв}$:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{xв.max} \cdot a}{W_{зг}}, \quad (3.27)$$

де $W_{зг}$ – момент опору згинанню.

б) регулювання боковою лопатою.

Площа бокової лопати регулювання береться в межах (0,01...0,03) F, де F – поверхня обмаху ротора.

в) регулювання хвостом, що не складається.

Ферма цього хвоста розраховується на згинання від бокової сили $P_{xв}$, що визначається рівнянням:

$$P_{x\theta} = c_y \cdot f \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (3.28)$$

де $C_y = 1,0 \dots 1,2$ – коефіцієнт підйомної сили;

f – площа хвоста (з виробничого досвіду приймається 3...6% від площі поверхні обмаху ротора).

Напруження від аеродинамічної сили $P_{x\theta}$:

$$\sigma_{32} = \frac{M_{x\theta}}{W_{32}} \quad (3.29)$$

Напруження від конструкційних мас хвоста G :

$$\sigma_{32} = \frac{GL}{W_{32}} \quad (3.30)$$

г) регулювання при встановленні ротора на вітер віндрозами. [9]

Гондола вітродвигуна повертається з кутовою швидкістю:

$$\omega = \frac{z_0 \cdot v}{i \cdot R_0}, \quad (3.31)$$

де $z_0 = \frac{\omega_0 \cdot R_0}{v}$ синхронне число модулів віндроз, що знаходиться за довідковими характеристиками; i

– передаточне число трансмісії від віндроз до шестерень на опорі (башті); R_0

– радіус віндроз; ω_0

– кутова швидкість віндроз; v

– швидкість вітру.

Напруження маху лопаті віндрози:

$$\sigma = \frac{42 \cdot I \cdot v \cdot z_0 \cdot n}{WD_i}, \quad (3.32)$$

де I – момент інерції маху; W

– момент опору маху згинанню в перерізі біля маточини; D

– діаметр віндроз; n

– кількість обертів ротора віндроз.

3.1 Силова частина – розробка схеми керування

Системи автономного живлення від вітряного генератора складається з:

1. Генератор.
2. Перетворювач.
3. Контролер заряду і акумуляторні батареї.
4. Інвертор.

Таблиця 5.1 – Вихідні данні розрахунку

Параметр	Значення
Напруга акумуляторної батареї $U_{\text{АКБ}}$, В	12
Номінальна потужність P_{2n} , кВт	1
ККД інвертора $\eta_{\text{ін}}$, %	0.805
Номінальне значення струму статора $I_{\text{н}}$, Н · м	2.3
Можливий час роботи від АКБ H , годин	12
Напруга ланки постійного струму U_{dc} , В	540

3.2 Розрахунок ємності акумулятора

Розрахуємо час автономної роботи 12 годин.

Визначимо струм розрядки акумулятора:

$$I_{роз.АКБ} = \frac{P_{пик}}{U_{АКБ} \cdot \eta_{ин}} = \frac{1000}{12 \cdot 0.805} = 103.5(A) \quad (3.33)$$

де $I_{роз АКБ}$ – струм розрядки акумуляторної батареї;

$P_{пик}$. – пікова потужність, Вт;

$U_{АКБ}$ – напруга АКБ, В;

$\eta_{ин}$. – ККД інвертора, %.

Ємність акумуляторної батареї дорівнює:

$$C_{АКБ} = I_{ном} \cdot H = 2.3 \cdot 12 = 27.3(A \cdot год) \quad (3.34)$$

Розрахуємо кількість послідовних акумуляторів, які потрібно буде розмістити в одній паралельній ланці:

$$N_{1гилки} = \frac{U_{dc}}{U_{АКБ 1}} = \frac{540}{12} = 45. \quad (3.35)$$

За отриманими даними підберемо 45 акумуляторних батарей MERLION GP12330M6 з ємністю 33 (А/год).

Таблиця 3.1 – Акумуляторна батарея MERLION GP12330M6 [10]

Параметр	Значення
Тип акумулятора	AGM
Ємність акумулятора	33 (А / год)
Напруга	12.0 (В)

3.3 Вибір контролера заряду/розряду акумуляторної батареї

Для проектуванні АКБ використовують плату BMS (Battery management system). Основні задачі застосування BMS в якості регулятора роботи акумуляторної батареї:

- електричні батареї захищені від пошкоджень;
- значне збільшення терміну використання батареї;
- збереження акумулятора в такому стані, щоб виконувались всіх покладені на нього завдання.

BMS запобігає небезпечні для АКБ процеси шляхом впливу на неї або ж подачі відповідного сигналу. При виході хоча б одного з робочих параметрів за межі допустимого діапазону, система інтелектуального моніторингу (BMS) відключає АКБ від навантаження або зарядного пристрою

Для нашої системи було обрано контролер BMS LiPo LifePO4 40s-234s 100A-1000A 140v-750v [11].

- Струм розрядки: 100-1000А
- Напруга зарядки: 12-750 В

3.4 Розрахунок ланки постійного струму

Розрахунок номінального значення струму ланки постійного струму:

$$I_{dc} = \frac{\lambda \cdot P_n}{U_{DC} \cdot \eta_{inv}} = \frac{2.4 \cdot 1 \cdot 10^3}{540 \cdot 0.805} = 5.52(A). \quad (3.36)$$

де $\lambda = \frac{M_{max}}{M_n} = \frac{21}{8.6} = 2.4$ -перевантажувальна здатність ЕМ.

Напруга на виході АКБ складає $U_{DCmax} = 540$ (В).

Максимальна зворотна напруга ключів має мінімум бути в 1.5 рази вищою, ніж максимальна напруга в ланці постійного струму.

$$U_{cc} > 1.5U_{dc.max}$$

$$U_{cc} > 1.5U_{dc.max} = 1.5 \cdot 540 = 810(В). \quad (3.37)$$

3.5 Розрахунок автономного інвертора

Вибір інвертор робимо знаючи значення пікової потужності енергоспоживання. В системі присутні АКБ для заряджання виробленої електроенергія для подальшого використання споживачем. Саме тому використовуємо автономний інвертор. Його підключають до АКБ, і коли відбувається відключення основного джерела енергії – вмикається живлення від батарей.

Максимальний струм на виході перетворювача рівний максимальному струму двигуна $I_{max} = I_{reak} = 21$ А.

Можна встановити інвертор EP30-1KW PRO з піковою напругою (20 мс) – 0.5 кВА. Він зможе забезпечити постійне навантаження до 1 кВт. Пристрій призначений для харчування апаратури напругою 220 В з частотою 50 Гц.

Основні технічні характеристики інвертора EP30-1KW PRO представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики автоматичного інвертора напруги EP30-1KW PRO потужністю 1 кВт[12]

Параметр	Значення
Номінальна потужність	1 кВт

Пікова напруга (20мс)	3 кВА
Форма хвилі	синусоїда
Номінальна вихідна напруга	220В ± 10%
Частота на виході (Гц)	50 ± 0.3
Піковий ККД інвертора	> 88%
Граничний ККД інвертора	> 95%
Стандартний час перемикаччя (мс)	10
Напруга (В)	230
Діапазон напруги (В)	155 ~ 280
Частота (Гц)	40 ~ 80
Вихідна напруга	від типу АКБ
Сила змінного струму спрацьовування АЗ	10А
Захист від перезаряду (В)	31.4
Максимальний зарядний струм (А)	35
Форма вхідного змінного струму.	синусоїда
Номінальна частота (Гц)	50
Захист від перевантаження	вимикач
Захист від КЗ на виході	вимикач
Макс. струм байпаса	30Аmp
Вага нетто (кг)	16.5
Діапазон робочих температур (° С)	0-40
Шум (max)	60dB
Дисплей	LED + LCD

3.6 Розрахунок зарядного кола для заряду конденсаторного фільтра

Розрахуємо опір для заряду конденсаторного фільтра:

$$R_3 = \frac{U_{dcn}}{I_{dc}} = \frac{540}{5.52} = 98(\text{Ом}). \quad (3.38)$$

Ємність визначається за формулою:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot k_n \cdot p_n \cdot f \cdot R_3} \quad (3.39)$$

де k_n – коефіцієнт пульсацій рівний (0.02 0.05 ÷).

Тоді ємність фільтра випрямляча визначається:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 0.05 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 98} = 216(\text{мкФ}). \quad (3.40)$$

Потрібно буде по три конденсатори ємністю 860 мкФ кожен.

Висновок з розділу 3

1. В цьому розділі описані основні рівняння для визначення потужності генератора ВЕУ. Виявлено, що при зміні швидкості вітру в широкому діапазоні відбуваються великі втрати енергії в генераторах внаслідок їх низьких ККД на малих навантаженнях.

2. Здійснено аеродинамічний розрахунок ротора вітроустановки. В результаті якого визначено, що обертальний момент залежить від значення швидкості вітру.

3. Розраховано та описано блок BMS. Автономність електропостачання системи забезпечують 45 батарей MERLION GP12330M6 з ємністю 33 (А год).

4. Була розроблена та розрахована силова частина перетворювача та обрано інвертор EP30-1KW PRO.

4. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК АКУМУЛЯТОРА ТА ЕНЕРГОНОСІЯ ОТРИМАНОГО ЗА РАХУНОК ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗАПРАВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Одним з напрямків розширення використання ВДЕ без впливу на роботу централізованих енергосистеми є перетворення отриманої чистої електроенергії в енергію універсального енергоносія, яким може бути водень (H_2). Водень, як енергоносіє, може використовуватись в багатьох сферах людської життєдіяльності, зокрема в хімічній, металургійній, медичній, та транспортній сферах.

З енергетичної точки зору водень - єдина альтернатива нафті і природному газу [27]. Це пояснюється такими факторами:

- ◆ запаси водню в вигляді води на нашій планеті практично невичерпні;
- ◆ водень має високу теплоту згорання, в кілька разів вищу, ніж у природних газів;
- ◆ водень, як паливо, може бути використаний для одержання теплової і електричної енергії, а також в будь-якому типі двигунів;
- ◆ водень - екологічно чисте паливо, основним продуктом його згорання є водяна пара, яка зволожує атмосферу.

Все ширше розглядається можливість використання водню як енергоносія майбутнього для вирішення важливих енергетичних і екологічних проблем і зменшення ризику, пов'язаного із збагаченням атмосфери CO_2 . Методи одержання, зберігання, транспортування, розподілу та використання водню достатньо широко вивчені і використовуються в промисловості, основною задачею в даний час є підвищення їх економічності, тобто зниження вартості при використанні різних видів водневих систем в промисловому масштабі.

Сучасні дослідження показують [27], що водень може покрити до 85% всіх енергетичних потреб в секторі індустрії і 92% потреб побутового сектору і сектору індивідуальних споживачів. Він може замінити природний газ для побутових потреб, бензин - в двигунах внутрішнього згорання, спеціальні види пального - в ракетній техніці, ацетилен - в процесах зварювання металів, кокс - в металургійних процесах, метан - в паливних елементах. В даний час за кордоном створено ряд повномасштабних демонстраційних і дослідно-промислових установок, що діють на основі нових технологій отримання водню, його очистки, акумулювання, транспортування і використання в окремих галузях: енергетиці, металургії, нафтопереробці, хімічній промисловості, автотранспорті та інших.

З точки зору збільшення використання ВДЕ для зарядження електромобілів актуальними є технології електролізного виробництва водню та його використання паливними елементами, які встановлюються на електромобілях (FCEVs) для живлення електродвигунів. На відміну від звичайних електромобілів (BEV), в яких електроживлення забезпечується електрохімічними акумуляторними батареями, електромобілі на паливних елементах (Fuel Cells) використовують водень та повітряний кисень для реалізації електрохімічного процесу «холодного горіння водню», в результаті чого утворюється електричний струм для живлення електродвигунів. При цьому роботи з розширення використання паливних елементів фокусуються на широкий спектр транспортних засобів, тобто на легкові електромобілі, електробуси, далекобійні електротягачі, електропоїзди, електрокатери та навіть підводні електросубмарини [13].

Заправні станції електромобілів на паливних елементах за принципом побудови та реалізації процесів дозаправки аналогічні звичайним заправним станціям транспортних засобів на викопних невідновлюваних видах палива. В цьому є певні переваги заправних станцій електромобілів на паливних елементах (FCEVs) над заправними станціями електромобілів з акумуляторними батареями (BEV). Зокрема, тривалість повної дозаправки

FCEVs складає до 10 хвилин (в залежності від об'єму баку на транспортному засобі), в той час, як EV навіть при застосуванні технології Super Charge дозволяє реалізовувати неповний заряд до 80% від номінальної ємності за період до 30 хв.

В паливних елементах в результаті перетворення водню в електричну енергію побічними продуктами процесу є утворення води та теплової енергії, тобто електромобілі на паливних елементах (FCEVs) не створюють забруднення навколишнього середовища вихлопними газами:



де $W_{ПЕ}$ – електроенергія, яку виробляють паливні елементи при взаємодії водню з повітряним киснем, кВт·год.

Виробництво водню можливе багатьма промисловими методами. З точки зору перетворення та використання енергії відновлюваних джерел енергії, перспективною є технологія електролізу води з використання електроенергії виробленої установками на основі ВДЕ: Процес виробництва водню електролізом води відрізняється від інших методів одностадійністю і відносно простим апаратурним та технологічним оформленням. Крім того, основною сировиною в даному випадку є вода - найбільш доступне і практично невичерпне джерело. Процес електрохімічного розкладу води з використанням лужного розчину описується представленим нижче рівняннями.



де $W_{ВДЕ}$ – електроенергія, яка виробляється установками на основі відновлюваних джерел енергії, кВт·год.

З однієї сторони, реалізація таких систем виробництва водню не вимагає погодження роботи з централізованими електроенергосистемами, тобто вони працюють автономно. З іншої сторони, виробництво універсального енергоносія (H_2) можливе як в безпосередній близькості від заправної станції електромобілів на паливних елементах (PCEVs), так і на віддалених територіях в місцях зі значним енергетичним потенціалом відновлюваних джерел енергії з подальшим транспортуванням водню до заправних станцій в спеціальних цистернах або за допомогою трубопроводу. Крім того, водневе акумулювання енергії відновлюваних джерел дає можливість створювати довготривалі міжсезонні запаси енергії, що особливо актуально при вирішенні питання стабільного енергозабезпечення.

Оскільки ринок електромобілів на паливних елементах (PCEVs) знаходиться на початковому етапі розвитку [13], про що свідчить незначна кількість моделей, які серійно випускаються для реалізації, важливим фактором, що визначатиме динаміку зростання даного ринку є розвиток інфраструктури водневих заправних станцій і відповідно розвиток технологій виробництва водню в тому числі і з використанням електроенергії, отриманої від відновлюваних джерел.

В Україні даний напрям розширення використання енергії відновлюваних джерел є актуальним через достатньо високий загальний технічно-досяжний енергетичний потенціал ВДЕ, який складає 68 млн. т. н. е. [14]. Крім того, електролізне виробництво водню від ВДЕ не впливатиме на роботу центральної енергосистеми, яка на сьогоднішній день потребує додаткових регулюючих потужностей.

Для успішного розвитку в Україні технологій виробництва водню з відновлюваних джерел необхідне вирішення ряду задач, що дозволять визначити конкретні відновлювані джерела енергії, придатні для даного застосування, визначити основні принципи побудови систем перетворення енергії відновлюваних джерел в енергію водню, провести оцінку ефективності перетворення енергії наявних відновлюваних джерел в енергію

універсального енергоносія, порівняти схем застосування різних видів відновлюваних джерел для зарядження електромобілів всіх типів.

Нові розробки по підвищенню ефективності та здешевленню проведення процесів в галузі одержання та зберігання водню, а також в галузі використання відновлюваних джерел як первинних джерел енергії, стимулюватимуть створення різних проектів з використанням водню, як енергоносія. Великий інтерес можуть представляти проекти по великомасштабному виробництву водню для віддалених районів з високим енергетичним потенціалом відновлювальних джерел. В даному випадку можна говорити про конкурентну здатність таких енергосистем в порівнянні з традиційними; це обумовлено тим, що транспорт водню на далекі відстані дешевше, ніж транспорт електроенергії. Крім того, виключаються витрати, пов'язані з “піковою електроенергією” - водень витрачається по мірі необхідності. Ефективним також є проекти невеликих потужностей для автономних об'єктів і будівель, які включають в себе енергопостачання для побутових потреб та заправку автотранспорту.

4.1. Сценарії розвитку зарядних станцій електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії

Співробітниками Інституту відновлюваної енергетики НАН України розроблено прогноз розвитку об'єктів відновлюваної енергетики до 2040 року [15], згідно з яким вітроенергетика збільшиться за встановленою потужністю до 18 ГВт (рис. 4.1), що дозволить отримувати 55 тис. ГВт·год екологічно чистої електричної енергії (рис. 4.2). Поруч з цим прогноз розвитку фотоенергетики оцінюється у зростання до 6 ГВт (рис. 4.1), що дозволить отримувати 7,5 тис. ГВт·год електричної енергії (рис. 4.2).

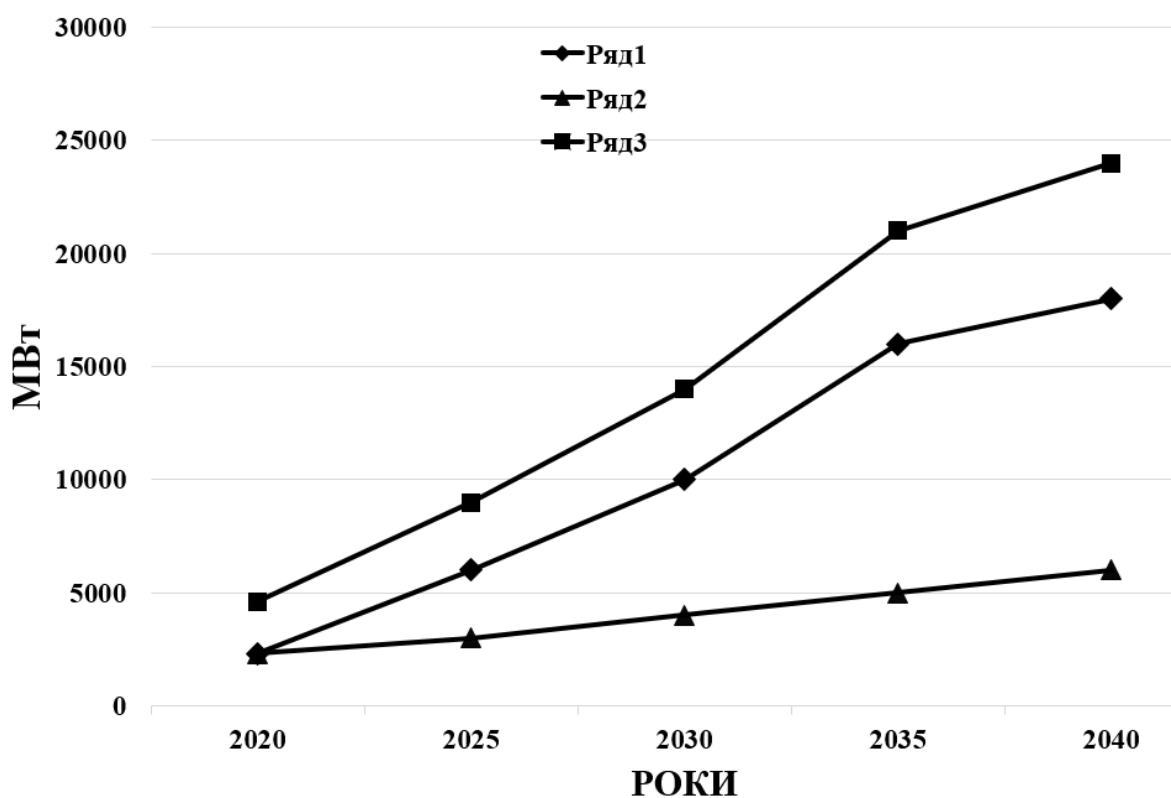


Рисунок 4.1. Прогноз розвитку вітро- та фотоенергетики в Україні згідно даних ІВЕ НАН України до 2040 року, МВт встановленої потужності: ряд 1 – вітроелектричних станцій (ВЕС); ряд 2 – фотоелектричних станцій (ФЕС); ряд 3 – сумарний показник вітро- та фотоелектричних станцій (ВЕС+ФЕС).

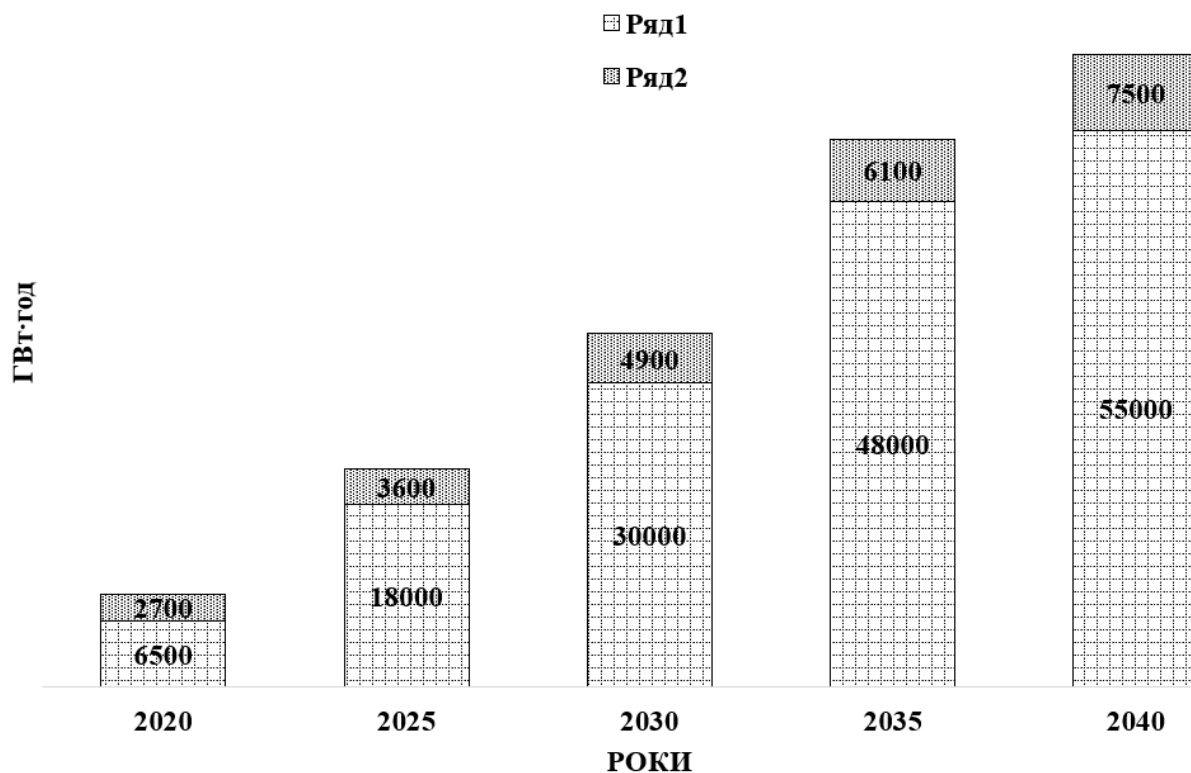


Рисунок 4.2. Прогноз виробітку електроенергії вітро-фотоелектростанціями в Україні згідно прогнозу ІВЕ НАН України до 2040 року, ГВт·год: ряд 1 – вітроелектричних станцій (ВЕС); ряд 2 – фотоелектричних станцій (ФЕС).

При розробці даного прогнозу розвитку об'єктів відновлюваної енергетики до 2040 року враховувалась динаміка нарощування потужності ВДЕ за попередні роки, динаміка зміни вартості традиційних енергоносіїв, стан ліній електропередачі та роботу об'єднаної енергосистеми України при підключенні нестабільних джерел генерації, а також темпи зростання попиту на електроенергію.

Прийняті прогнози постійного зростання встановленої потужності ВЕС та ФЕС з однієї сторони говорять про зростання частки генерації за рахунок ВДЕ, а з іншої – про зростання потреби в маневрових потужностях з метою забезпечення якісної роботи об'єднаної енергосистеми.

Розширити можливості використання енергії вітру та Сонця, без негативного впливу на ОЕС України можливо за рахунок реалізації мереж зарядних станцій електромобілів.

За інформацією Міністерства інфраструктури України на даний час автомобільна транспортна система України налічує більше 9,2 млн. транспортних засобів, у тому числі: 6,9 млн. легкових автомобілів, біля 250 тис. автобусів, близько 1,3 млн. вантажних автомобілів та понад 840 тис. од. мототранспорту [16].

При цьому, абсолютно увесь класичний автотранспорт слід вважати потенційним на заміну відповідними електричними транспортними засобами, що можна пояснити загальносвітовою динамікою стабільного зростання електромобілів, яка спостерігається протягом останніх 5 років в тому числі і в Україні.

Згідно аналізу прогнозу розвитку ринку електромобілів в світі (рис. 4.3), з урахуванням динаміки за останні 5 років розроблено прогноз розвитку легкових електричних засобів в Україні (рис. 4.4).

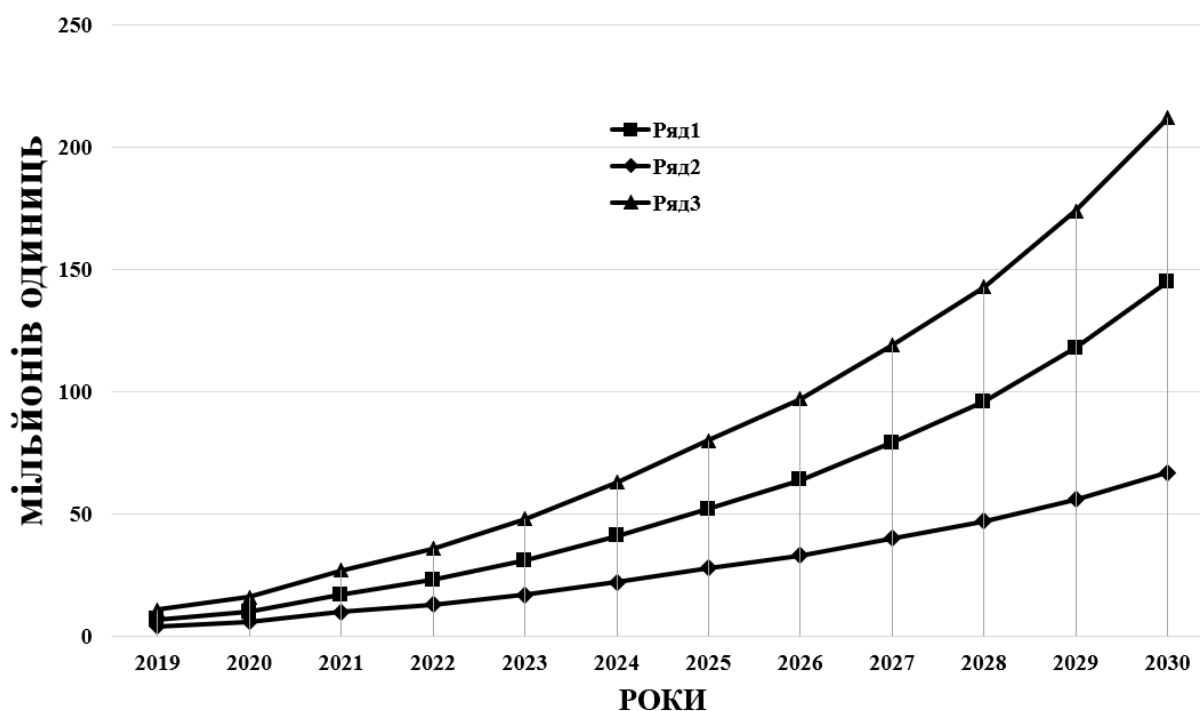


Рисунок. 4.3. Прогноз розвитку легкових електромобілів в світі з 2019 до 2030 року: ряд 1 - чисто електричних (EV); ряд 2 - підзаряджуваних

гібридів (PHEV); ряд 3 – сумарний показник чисто електричних (EV) та підзаряджуваних гібридів (PHEV).

При розробці даного прогнозу розвитку ринку електромобілів в Україні враховувалась також загальносвітова прогнозована динаміка. Зважаючи на приведені прогнози до 2030 року ринок електромобілів збільшиться до більше 0,5 млн одиниць, що паралельно з цим вимагатиме розвитку інфраструктури станцій швидкого заряду, розміщених як поруч з дорогами державного значення (міжміських ділянках), так і безпосередньо в містах та на їх околицях.

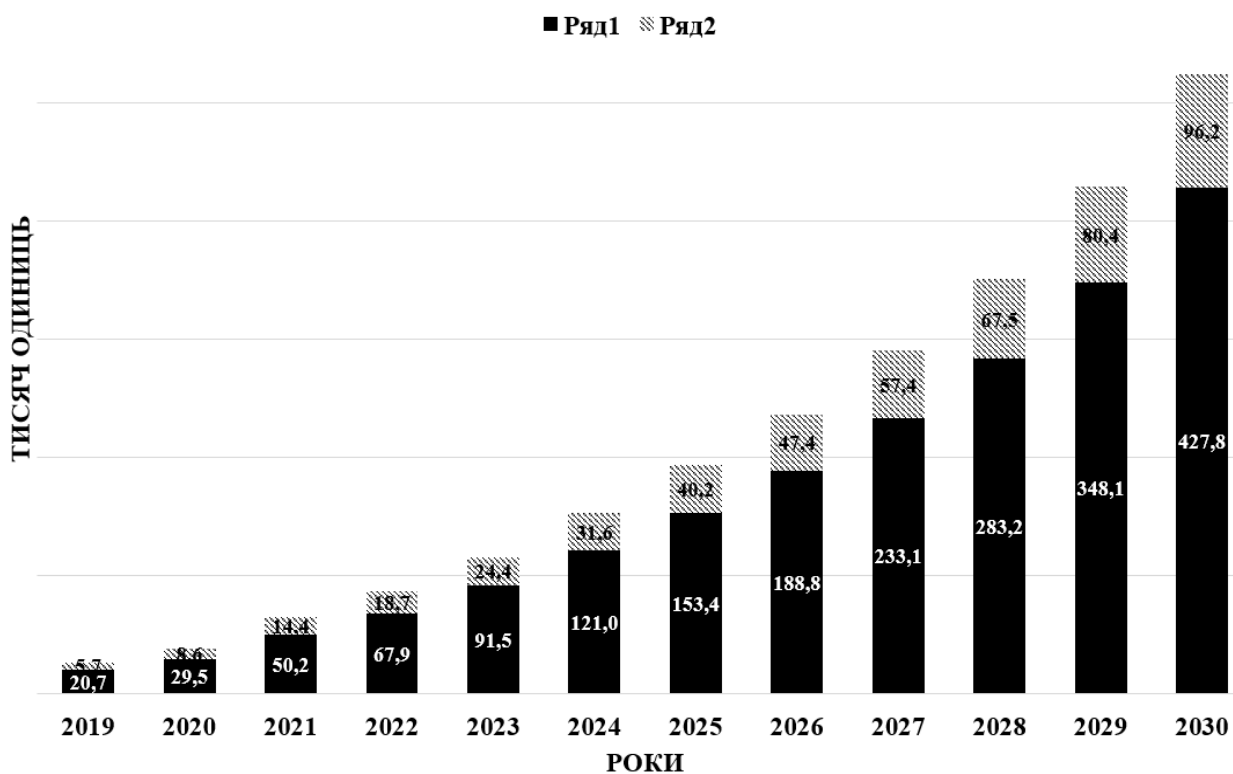


Рисунок. 4.4. Прогноз розвитку легкових електромобілів в Україні до 2030 року: ряд 1 - чисто електричних (EV); ряд 2 - підзаряджуваних гібридів (PHEV); ряд 3 – сумарний показник чисто електричних та підзаряджуваних гібридів (EV + PHEV).

Згідно [17] глобальний автомобільний ринок до 2030 року, за прогнозами світових аналітиків, може досягти 125-130 млн. одиниць (на 40-45% більше порівняно з 2015 роком), з яких 75% – це легкові автомобілі та 25% – комерційні.

В багаторічній перспективі до 2050 року прогноз розвитку ринку електромобілів в Україні має логістичний характер і представлений на рис. 6.15.

При прийнятому прирості кількості легкових автомобілів в Україні в 3,6% на рік від загальної кількості, до 2050 року можливо замінити увесь класичний автопарк легкових транспортних засобів в кількості 8 млн одиниць відповідними електричними або гібридні.

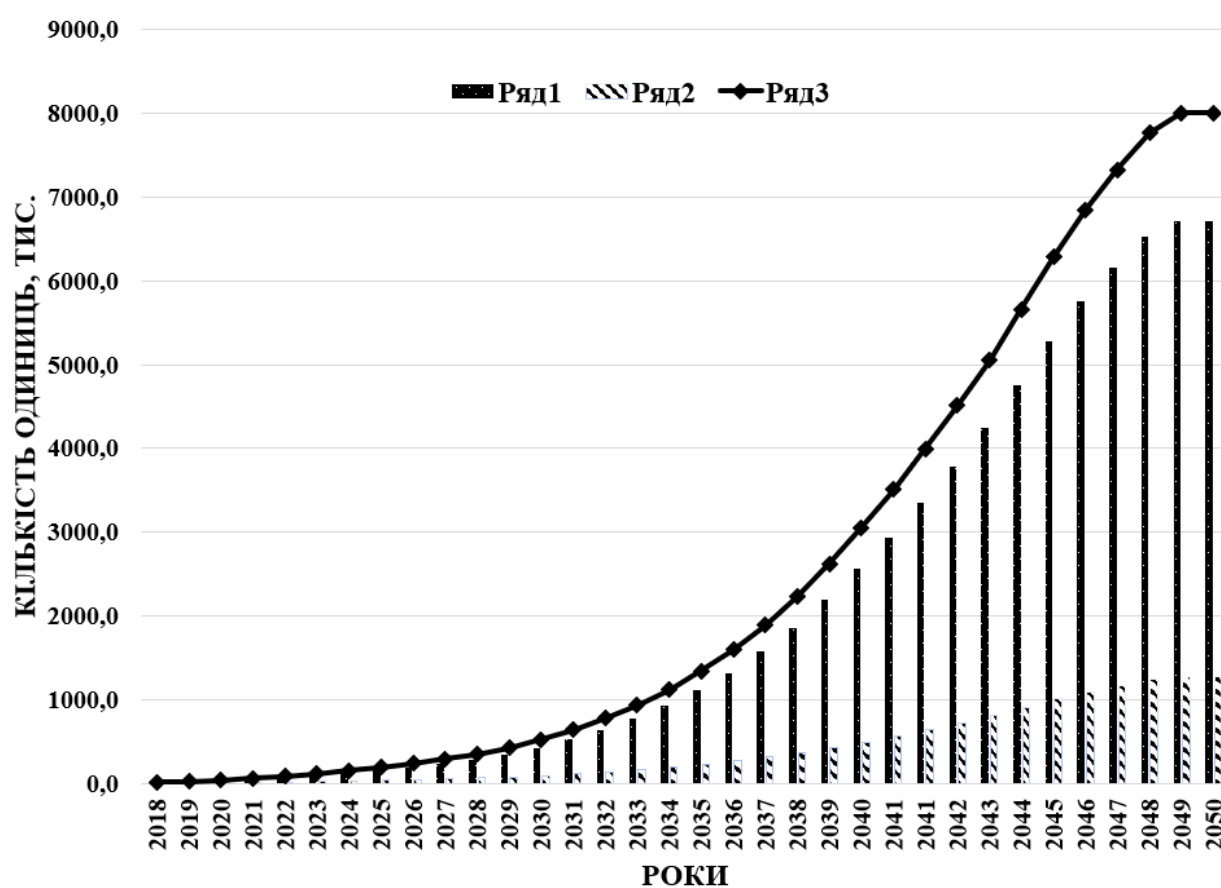


Рисунок. 4.5. Довгостроковий прогноз розвитку та повного переходу до використання легкових електромобілів до 2050 року: ряд 1 - чисто електричних (EV); ряд 2 - підзаряджуваних гібридів (PHEV); ряд 3 –

сумарний показник чисто електричних та підзаряджуваних гібридів (EV + PHEV).

Приведені на рис. 4.5 темпи розвитку електротранспорту вимагатимуть суттєвого збільшення станцій швидкого заряду. При розвитку інфраструктури ЗСЕМ з використанням ВЕУ та ФЕУ як первинних генераторів електроенергії можливо розшири можливості використання енергетичного потенціалу вітру та Сонця на території України.

Прийmemo реалізацію ЗСЕМ з комплексним використанням ВЕУ та ФЕУ як необхідну складову для розвитку інфраструктури електромобілів. В найближчій перспективі, до 2030 року, при збільшенні автопарку ЕМ до 0,5 млн одиниць потреба в СЗЕМ складе близько 14 тисяч. За умови повного переходу на легкові електромобілі потреба в СЗЕМ становитиме біля 220 тисяч.

Враховуючи постійне зростання вимог до дальності пробігу електромобілів і як наслідок збільшення енергоємності бортової тягової акумуляторної батареї прийmemo для базового розрахунку необхідної кількості електроенергії, ЕМ фірми Tesla Model X з бортовою АБ енергоємністю 100 кВт·год та дальністю пробігу до 500 км. При цьому припускаємо, що транспортний засіб мінімум один раз на тиждень приїжджатиме для заправки з потребою у 80 кВт·год. В такому разі річна потреба в первинній електроенергії до 2030 року складе 3,75 ТВт·год, а до 2050 року – становитиме 57,3 ТВт·год, що можна вважати потенційним показником розширення використання енергетичного потенціалу вітру та Сонця на території України.

Висновки до розділу 4

Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики постійно зростає незважаючи на свій стохастичний характер генерації електроенергії.

Здебільшого за рахунок сонячних та вітрових електростанцій. На сьогоднішній день вона складає понад 8% загального балансу системи. Враховуючи великий енергетичний потенціал ВДЕ в Україні головним завданням є збереження, а по можливості і збільшення темпів приросту об'єктів відновлюваної енергетики за умови мінімального впливу на об'єднану енергосистему, що можливо досягнути впровадженням нових технічних рішень водневим акумулюванням енергії.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок терміну окупності

Термін служби сучасного вітрогенератора середньої потужності – 0,5 МВт становить 25 років. Як правило, протягом всього терміну служби вітрогенератор як мінімум 2- 3 рази потребуватиме капітального ремонту, вартість якого може досягати собівартості всієї установки.

Таблиця 5.1 - Вартість зеленого тарифу в Україні

Період	Тариф без ПДВ
з 01 липня 2015 по 31 грудня 2019 року	327,02 коп / кВт × год
з 01 січня 2020 по 31 грудня 2024 року	293,71 коп / кВт × год
з 01 січня 2025 по 31 грудня 2029 року	261,92 коп / кВт × год

Підраховавши скільки прибутку може принести електрогенератор за 10 років служби, якщо врахувати, що в експлуатацію вітрогенератор введено в період з 01 січня 2020 року і він виробляє 80 кВт в день(при мінімальній швидкості вітру 2-3 м/с), маємо:

$$2,93\text{грн} \cdot 80 \text{ (кВт)} \cdot 24 \text{ (години)} \cdot 365 \text{ (дів)} \cdot 10 \text{ (років)} = 21,960 \text{ тис.грн} \quad (5.1)$$

Якщо від цієї суми відняти вартість вітрогенератора, додаткового обладнання та його обслуговування, отримано:

$$21960000\text{грн} - 21771000\text{грн} - 108855 \text{ грн} = 80145, \text{грн.} \quad (5.2)$$

5.2 Оцінка вартості будівництва ВЕС

Загальні інвестиційні витрати складають – 21,771 млн. грн. До них входять 15,24 млн. грн (70%) капітальні витрат, а також 6,531 млн. грн (30%) поточних витрат.[19]

Основна частина вартості ВЕС складається з обладнання ВЕУ, підготовчих робіт, будівельних заходів, витрат на планування та транспортування. На сьогоднішній день (27.11.21) вартість ВЕС мегаватного класу складає 1 мільйон доларів за 1 МВт встановленої потужності. Курс долара на сьогодні складає 27,3 грн. Потужність у 0,5 МВт обійдеться у 15,24 млн. грн. . Значення капітальних витрат наведені у табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Структура капітальних витрат

Стаття капітальних витрат	Частка від суми капітальних витрат, %	Сума витрат, млн. грн.
1. Підготовчі роботи	9	1,224
2. Вартість ВЕУ	75	11,84
3. Фундамент	5	0,68
4. Електромонтажні роботи	7	0,952
5. Будування доріг	1,5	0,204
6. Консультаційні послуги	2,5	0,340
Загалом:	100	15,24

5.3 Оцінка поточних витрат

Значення поточних витрат при експлуатації і обслуговуванні ВЕС за перший рік наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Структура поточних витрат

Стаття поточних витрат	Частка від суми поточних витрат, %	Сума витрат, млн. грн
1. Експлуатація	67,3	4,395
1.1. Ремонт	80	5,224
1.1.1. Поточний	94	6,139
1.1.2. Капітальний	6	0,391
1.2. Обслуговування	20	1,306
2. Інші витрати	32,7	2,135
Загалом:	100	6,531

5.4 Сумарні інвестиційні витрати

Сумарні інвестиційні витрати складаються із вартості поточних витрат за перший рік та капітальних витрат на будівництво ВЕС. Їх значення приведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Інвестиційні затрати

Стаття інвестиційних витрат	Частка від суми поточних витрат, %	Сума витрат, млн. грн.
1. Капітальні витрати	70	15,24
2. Поточні витрати	30	6,531
Загалом:	100	21,771

Сумарні інвестиційні кошти для побудови та введення в експлуатацію ВЕС 0,5 МВт складають – 21,771 млн. грн

Висновки до розділу 5

При питомих капітальних вкладеннях приблизно 1000 дол. США за кВт і число годин використання встановленої потужності на ВЕС проектний термін окупності не перевищує 10 років, тобто знаходиться в діапазоні прийнятому для об'єктів енергетики.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Протипожежний захист вітроелектричних установок

1. Чотири приклади збитків, представлені та, демонструють можливі і типові причини збитків від пожежі на ВЕУ виходячи з практичного досвіду. Причинами можуть бути, наприклад, удар блискавки, несправність установки через погані матеріали або їх зношування, або через помилки при проектуванні і установці, при електромонтажних роботах та установці інших технічних систем.

Особливі небезпеки виникнення пожежі, які існують при монтажі ВЕУ і також при експлуатуванні будівельного майданчика для ВЕУ, не охоплені даними настановами. Цей аспект висвітлено у нормах GDV «Будівництво; настанови для розробки комплексної концепції безпеки», які були розширені на базі існуючого стандарту «Пожежна безпека у будівництві» (VdS 2021) у співробітництві з будівельними фірмами і професійними спілками. [24]

Через визначення важливих цілей для захисту згідно з вимогами законодавства, наприклад, нормами з захисту праці, будівельним нормам з безпеки, а також через визначення інтересів користувача або інвестора, з узгодженням зі страховою фірмою, наприклад, зацікавленість інвестора у скороченні часу простоювання ВЕУ у випадку пожежі, можна закласти основу концепції пожежного захисту.

Зразок концепції пожежного захисту у настановах робить основний наголос на попереджувальні заходи. При цьому до уваги береться те, що у випадку з ВЕУ, місцевий пожежний підрозділ, як ключовий елемент активного протипожежного захисту інженерних конструкцій до сьогоднішнього дня, буде діяти на межі своїх можливостей. Така ситуація виникає зокрема через те, що пожежний підрозділ з доступним йому обладнанням не зможе дістатися до джерела займання на такій великій висоті.

Беручи до уваги те, що інвестиції і вартість ВЕУ зростає разом зі зростаючою ефективністю, через що системи повинні відповідати вищим вимогам інвесторів і користувачів до надійності систем, залишається відкритою можливість класифікувати обсяг специфічного пожежного захисту в залежності від наявних ризиків і основних цілей захисту, що представлено і роз'яснено у настановах у формі так званих класів захисту.

Відповідно до типових ризиків, а також основних цілей захисту, у настановах наведені заходи пожежної безпеки у рамках загальної концепції протипожежного захисту, які добре зарекомендували себе для захисту будівель та інших інженерних конструкцій. Для захисту ВЕУ потрібно пристосувати окремі протипожежні заходи до особливих умов застосування у ВЕУ і також потрібно окремо перевірити та засвідчити їхню придатність і ефективність.

Захист від блискавки

Удари блискавки є загальновизнаними типовими причинами пожежі ВЕУ. Відповідно заходи захисту від блискавки вже давно втілені у технології виробництва лопатів для вітряка. По цій причині тема захисту від блискавки у настановах обмежеться існуючими нормами технології виробництва і уточнюючими визначеннями мінімального класу захисту систем захисту від блискавок для ВЕУ, з точки зору страхової фірми (Клас захисту II). [18].

Інші запобіжні заходи

Окрім протипожежних заходів інженерно-технічного характеру, у даних настановах наведено також інші заходи протипожежного захисту, як необхідні складові єдиної концепції протипожежного захисту; дані заходи повинні братися до уваги вже на етапі проектування ВЕУ. Серед них в першу чергу треба назвати такі:

- Інженерні і організаційні заходи для мінімізації вмісту горючих матеріалів, а також технічні і організаційні заходи для нагляду за несправностями;

Організаційні заходи:

- для обмеження використання відкритого вогню, наприклад, для вогнебезпечних робіт;
- для нормативного обслуговування і виведення з експлуатації систем безпеки;
- для обмеження можливих збитків.

6.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою вітрогенератора

Правильне заземлення турбіни має важливе значення для захисту електронних пристроїв, турбіни генератора та персоналу при довгостроковій експлуатації вітряка. Важливо заземлити ті металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою від грозових розрядів, коротких замикань і від статичної електрики. Належне заземлення підвищує також рівень безпеки турбінної системи вітряка, зменшує ризик виникнення пожежі та ризик ураження персоналу електричною енергією.

Для обґрунтування параметрів заземлювального пристрою, який використовується в схемі заземлення вітряка, проведемо розрахунок за загальноприйнятою методикою [20].

При розрахунку заземлювального пристрою вітрогенератора використано програмне забезпечення Mathcad (додаток А) (відповідно до прикладу розрахунку 3.5).

1. Захисту підлягає вітрогенератор.
2. Виконання мережі – з ізольованою нейтраллю. Напруга мережі – 380/220 В.
3. Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами: $l_B = 3$ м; $d_B = 0,035$ м; товщина стінки $\delta = 3,5$ мм; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 3$ м, тобто $a/l_B = 1$. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,7$ м, $V_c = 40$ мм.
4. Ґрунт – глина; склад – однорідний; вологість – мала. Кліматична зона – III

Розв'язання

1. Визначаємо R_D – допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої.

Згідно з ПУЕ, $R_D \leq 4 \text{ Ом}$.

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір глини для III кліматичної зони:

$$\rho_{\text{РОЗР}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} \cdot K_c;$$

$$\rho_{\text{ТАБЛ}} = 60 \text{ Ом} \cdot \text{М};$$

$$K_c = 1,5;$$

$$\rho_{\text{РОЗР}} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом} \cdot \text{М}.$$

3. Визначаємо H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача.

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2} = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ м}. \quad (6.1)$$

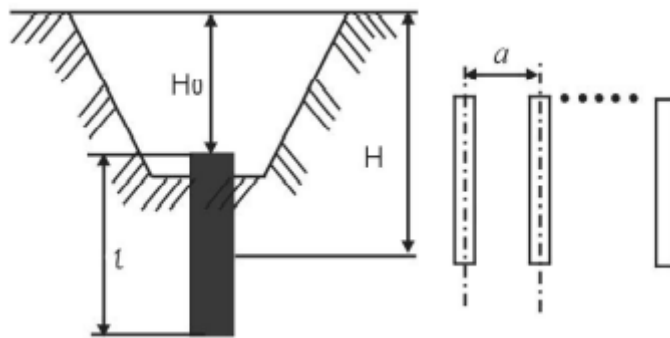


Рис. 7.4 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0,366 \frac{\rho}{l_B} \left(\ln \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l_B}{4H - l_B} \right); \quad (6.2)$$

$$R_B = 126.6 \text{ Ом}$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $\eta_B = 1$

$$n_{OP} = \frac{R_B}{R_{\phi} \cdot \eta_B} = \frac{26.4}{4 \cdot 1} = 6.6; \quad (6.3)$$

приймаємо $n_{OP} = 7$ шт.

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B з табл. 3.12, заземлювачі розташовані в ряд, $a/l_B = 1$, $n=7$. Приймаємо $\eta_B = 0.7$.

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n_B = n_{OP} / \eta_B = 7 / 0.7 = 9.9 \quad (6.4)$$

Приймаємо $n = 10$ шт.

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n_B = 10$, без врахування з'єднувальної стрічки

$$R_{POЗP.B.} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B} = \frac{26.4}{10 \cdot 0.7} = 3.8 \text{ Ом} \quad (6.5)$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c = 1.05 \cdot a(n-1) = 1.05 \cdot 3 \cdot 10 = 31.5 \text{ м} \quad (6.6)$$

10. Визначаємо опір розтікання струму для горизонтальних елект- 88
родів, розташованих в ґрунті:

$$R_z = 0.366 \frac{\rho_{POЗP}}{L_c} \ln \frac{2L_c^2}{H_0 \cdot B_c},$$

$$R_z = 0.366 \frac{90}{31.5} \ln \frac{2 \cdot (31.5)^2}{0.7 \cdot 0.04} = 5.48 \text{ Ом} \quad (6.7)$$

11. Визначаємо за табл. 3. 13 коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при $a/l=1$, $n=10$. Приймаємо $\eta_\Gamma=0,56$.

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з урахуванням η_Γ

$$R_{POЗP.\Gamma} = \frac{R_\Gamma}{\eta_\Gamma} = \frac{5.48}{0.56} = 9.8 \text{ Ом} \quad (6.8)$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{POЗP} = \frac{R_{POЗP.B} \cdot R_{POЗP.\Gamma}}{R_{POЗP.B} + R_{POЗP.\Gamma}} = \frac{3.8 \cdot 9.8}{3.8 + 9.8} = 2.7 \text{ Ом} \quad (6.9)$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

14. Вибираємо матеріал та поперечний переріз з'єднувальних проводів і магістральної шини за табл. 1.7.5, 1.7.6 [21]. Приймаємо сталеву шину товщиною $\delta = 4$ мм і перерізом 100 мм^2 . Відповідно до проведених розрахунків для системи заземлення вітряка доцільно використати 10 вертикальних сталевих труб довжиною 3 м та діаметром 35 мм, розташованих в ряд і заглиблених у землю на 0,7 м. Сталеві труби з'єднуються між собою зварюванням сталевую шиною товщиною 4 мм і перерізом 100 мм^2

6.3 Автоматизована система пожежогасіння

Якщо на об'єкті виникає пожежа, то його гасіння стає головним завданням пожежної охорони, оскільки полум'я, безпосередньо знищуючи все живе і пальне, породжує й інші небезпечні фактори пожежі.

АСПГ є інформаційно-управлінською частиною системи пожежогасіння і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з управління стаціонарними і рухливими установками пожежогасіння, вибору методу гасіння (одночасне гасіння по всій поверхні або по всьому об'єму приміщення, локальне поверхневе чи об'ємне, комбіноване), вибору вогнегасної речовини (вода, аерозоль, піна, газ, порошок, пара та ін.).

АСПГ входить до складу АСПВБ об'єкта як автономна система, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах.

АСПГ є інформаційно-управлінською частиною системи пожежогасіння СПВБ об'єкта. СПГ має ієрархічну структуру з територіальним розосередженням технічних засобів і складається з наступних функціональних блоків:

- установки автоматичного пожежогасіння;
- установки автоматизованого пожежогасіння;
- роботизований пристрій пожежогасіння;
- ручні пристрої пожежогасіння;
- стаціонарні лафетні стволи;
- локальні пристрої пожежогасіння;
- ланцюги і шафи управління і контролю;
- ланцюги електроживлення установок пожежогасіння;
- система трубопроводів з випускними насадками (зрошувачами)

для транспортування вогнегасної речовини і випуску його в об'єм, що захищається;

- системи збереження і подачі вогнегасної речовини;
- системи програмно-логічного управління установками

пожежогасіння.

Автоматизована система пожежогасіння виконує інформаційні, управлінські та допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСПГ належать наступні:

- збір і обробка інформації про функціонування вузлів і блоків системи пожежогасіння (СПГ);
- відображення, реєстрація і документування інформації про функціонування виконавчих механізмів СПГ;
- надання інформації персоналу об'єкта і диспетчеру ПРЧ про функціонування СПГ при гасінні пожежі;
- надання інформації персоналу об'єкта в режимі нормальної експлуатації і при виникненні позаштатних ситуацій у СПГ;
- реєстрація і документування інформації про наявність первинних засобів і спеціалізованих мобільних засобів пожежогасіння (роботизованих комплексів);
- видача необхідної інформації про стан СПГ за запитами для прогнозу й ухвалення рішення;
- інформаційне забезпечення персоналу за допомогою "програми-порадника";
- обмін інформацією з іншими автоматизованими системами, що входять до складу АСПВБ об'єкта;
- передача інформації в АСУТП, міські й інші об'єктові системи і служби безпеки (АСУ пожежною охороною міста; міський штаб ГОЧС; міська міліція; системи охорони об'єкта, обмеження доступу на об'єкт та ін.);
- надання необхідної інформації на запити керівника гасіння пожежі.

До управлінських функцій АСПГ належать наступні:

- формування команд управління виконавчими механізмами системи пожежогасіння;
- запуск окремих виконавчих механізмів і локальних пристроїв пожежогасіння у повітроводах;

- формування команд управління спеціальними пересувними установками пожежогасіння;
- формування команд управління роботизованими і локальними установками пожежогасіння.

До допоміжних функцій АСПГ належать наступні:

- діагностика КТЗ автоматичних установок пожежогасіння;
- діагностика КТЗ локальних пристроїв пожежогасіння;
- діагностика КТЗ роботизованих пристроїв пожежогасіння;
- діагностика КТЗ стаціонарно встановлюваних лафетних стволів;
- зміна програми управління виконавчими механізмами пожежогасіння.

6.4 Автоматизована система пожежної сигналізації

Раннє виявлення пожеж відіграє дуже важливу роль у системі пожежовибухобезпечності об'єктів, оскільки воно забезпечує своєчасне вживання заходів з їх ліквідації і дозволяє зменшити людські і матеріальні втрати від пожеж. Інформація систем пожежної сигналізації (СПС) використовується для управління засобами оповіщення, що дозволяє скоротити час евакуації з зони пожежі людей, не задіяних у гасінні пожежі, а також прискорити виклик підрозділів пожежної охорони. За інформацією СПС може бути зупинений технологічний виробничий процес, відключається вентиляція в аварійних приміщеннях, проводиться пуск автоматичних установок пожежогасіння, здійснюється функціонування системи протидимного захисту.

АСПС є інформаційно-управлінською частиною системи пожежної сигналізації і призначена для автоматизованого й автоматичного виконання функцій з виявлення пожеж на ранній стадії їхнього розвитку, контролю процесів гасіння пожеж і передачі необхідної інформації підрозділам пожежної охорони, персоналу об'єкта АСУТП та іншим системам АСПВБ.

АС пожежної сигналізації входить до складу АСПВБ як автономна система, реалізована на єдиних з нею програмно-технічних засобах. АСПС виконує інформаційні, керуючі та допоміжні функції.

До інформаційних функцій АСПС належать наступні:

- збір і обробка інформації від первинних засобів пожежної сигналізації;
- реєстрація і документування інформації про час і місце загорання, команди управління, результати контролю і профілактичних робіт; позаштатні ситуації, що виникають у системі пожежної сигналізації;
- надання інформації про виявлення пожежі і динаміку її розвитку персоналу об'єкта, диспетчеру ПРЧ та інформування їх про хід ліквідації пожежі;
- надання інформації персоналу об'єкта у випадку виникнення позаштатних ситуацій у системі сигналізації (відмовлення датчиків, відсутність напруги живлення, обриви ліній зв'язку, несанкціоноване втручання в роботу системи тощо);
- надання узагальненої інформації персоналу об'єкта про працездатність системи сигналізації;
- обмін інформацією з АСУТП та іншими автоматизованими системами, що входять до складу АСПВЗ.

До керуючих функцій АСПС належать наступні:

- встановлення і коректування порогів спрацьовування пожежної сигналізації;
- передача команд на відключення окремих сповіщувачів і переключення напрямків сигналізації на резервні.

До допоміжних функцій АСПС належать наступні:

- діагностика КТЗ пожежної сигналізації;
- автоматична реконфігурація структури системи пожежної сигналізації при виникненні несправностей.

Засоби пожежної сигналізації повинні бути автономні і відділені від виробничого технологічного устаткування.

АСПС забезпечує персонал об'єкта і диспетчера ПРЧ необхідною інформацією для прийняття рішень з ліквідації пожежі і порятунку людей. Спосіб надання інформації вибирається на етапі технічного проектування системи пожежної сигналізації.

Зниження числа помилкових спрацьовувань досягається за рахунок перебудови діапазону чутливості інтелектуальних сповіщувачів пожежної сигналізації (ПС).

Підвищення вірогідності переданої інформації досягається оперативним контролем, виконуваним автоматично або за вимогою оператора.

Підвищення надійності пожежних сповіщувачів досягається їх комплексуванням, логічною обробкою інформації, що знімається з них, і контролем.

Датчики ПС функціонують на стандартній двопровідній або спеціалізованій лінії зв'язку.

СПС оснащується засобами діагностики і самоконтролю, включаючи чутливі елементи пожежних сповіщувачів.

АСПС забезпечує необхідною інформацією персонал об'єкта і диспетчера ПРЧ для прийняття рішень з ліквідації пожежі. Спосіб надання інформації обирається на етапі технічного проектування СПС (включаючи звукову, світлову сигналізацію, текстову і графічну інформацію з точною вказівкою розташування осередку пожежі, вивід необхідної інформації на друкувальні пристрої).

Електроживлення в СПС організується таким чином, щоб система зберігала часткову працездатність при повному знеструмленні об'єкта для передачі персоналу об'єкта, диспетчеру ПРЧ та АС пожежогасіння інформацію про місце виникнення пожежі.

Пожежні сповіщувачі.

Основна функція пожежного сповіщувача - формування сигналу про виявлення пожежі. Тип автоматичного пожежного сповіщувача, що відповідає якій-небудь ознаці пожежі (випромінювання, дим, температура та ін.), для конкретного приміщення обирається з урахуванням технологічних і об'ємно-планувальних рішень приміщення, що захищається, мікроклімату (робоча температура, вологість повітря, запиленість, освітленість та ін.) і наявності постійних індустриальних перешкод (електромагнітні наведення, радіація, вібрація тощо). Пожежні сповіщувачі забезпечують:

- передачу сигналу про пожежу й адресу приміщення (або частини приміщення), в якому виникла пожежа;
- зміну порогу спрацьовування датчика за командою з автоматизованого робочого місця, програмувального контролера або центрального обчислювального комплексу АСПВБ;
- можливість зборки датчиків у промені з розгалуженням і адресацією кожного датчика;
- працездатність із заданою чутливістю в приміщеннях з повітряними потоками, що мають швидкість руху повітря від 0 до 10 м/сек;
- чутливість датчиків, достатню для виявлення пожежі на ранній стадії, на якій можливо його придушення автоматичними засобами пожежогасіння.

Пожежні сповіщувачі не повинні спрацьовувати в умовах нормального протікання технологічних процесів на об'єкті за нормальної освітленості і проведення ремонтних зварювальних робіт.

До спеціалізованих засобів пожежної сигналізації належать наступні:

- пристрої, які мають підвищену стійкість до випромінювання, засобів дезактивації, перепадів температури, вологості і тиску, що мають високу чутливість до специфічних контрольованих параметрів (концентрація, спектральні характеристики полум'я, інфрачервоні промені, дугові розряди, звукові поля, іонізація, радіошуми тощо);

- пристрої, які формують і передають сигнали про контрольовані параметри з використанням ефекту пасивної ретрансляції акустичних хвиль;
- пристрої, які виявляють локальне нагрівання технологічного устаткування і підвищення температури середовища в протяжних спорудах з перемінним перетином (трубопроводах, кабельних каналах, шахтах тощо).

Неспеціалізовані пожежні сповіщувачі виконують наступні функції:

- виявлення загоряння за однією заданою ознакою (випромінювання, дим, температура та ін.) або за сукупністю ознак, формування і передача сигналу на пристрої аналізу й обробки інформації;
- формування і передача інформації про стан параметрів середовища за запитом;
- функціонування у двох режимах: черговому і контролю;
- передача інформації про перевищення граничних значень контрольованих параметрів;
- передача власної адреси;
- відновлення інформації з циклічністю подачі її на екрани операторів або з циклічністю, необхідною для прогнозування.

6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Пожежа завдає величезної матеріальної шкоди. Всі працюючі повинні проходити спеціальну протипожежну підготовку:

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

Причинами пожежі в електроустановках є:

- іскріння в електричних машинах і апаратах;
- 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;

- аварії з багатооб'ємними масляними вимикачами, що супроводжуються викидом продуктів розкладання масла і сумішей їх з повітрям.

Причинами пожеж неелектричного 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 89 знятій з нього напрузі. Якщо зняти напругу неможливо, то допускається гасіння установки, що знаходиться під напругою, але з дотримання особливих заходів.

Порошковий вогнегасник типу ОПС-10 наповнений 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.

Усі працюючі проходять спеціальну протипожежну підготовку:

- протипожежний інструктаж (первинний і вторинний);

- заняття з пожежно-технічного мінімуму за спеціальною програмою.

На підприємствах для працюючих навколишнім середовищем є повітря робочих зон і прилеглих до них територій. Дуже важливу роль відіграє мікроклімат виробничих приміщень, який характеризується діючим на організм людини поєднанням 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; 90
- підтримувати однаковий розмір і конструкцію вітрогенератора (наприклад, напрямок обертання, висоту);
- рівень шуму можна обмежити за рахунок використання турбін зі змінною швидкістю або лопастей із змінним кутом нахилу, що дозволяє знизити швидкість обертання

6.6 Електролізерна установка

Будова та експлуатація електролізерів повинні відповідати вимогам Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

1 електролізери повинні бути обладнані електричним захистом від:

а) однополюсний коротких замикань на землю, крім електролізерів, у яких крайній електрод або корпус крайньої осередки по конструкції заземлений, наприклад, через газоотделителя;

б) міжполюсних коротких замикань;

в) зворотних струмів при застосуванні двигун-генераторів.

2 Рами, патрубки і кільця колекторів електролізерів, виготовлені з металу, повинні бути захищені від корозії футеровкою їх щелочестойкими і струмонепровідними матеріалами або іншим надійним способом.

3 З усіх боків електролізерів, включених в роботу, повинні бути вивішені попереджувальні плакати «Під напругою».

4 Для безперервного контролю за вмістом домішки водню в кисні і кисню у водні електролізери повинні бути обладнані автоматичними газоаналізаторами з сигналізацією максимально допустимих концентрацій. Крім того, не менше одного разу на зміну повинен проводитися контрольний аналіз газів переносними хімічними газоаналізаторами.

5 Чистота водню, що виробляється електролізними установками, повинна бути не нижче 98,5%, а кисню - не нижче 98% (об'ємні.).

6 Величина максимально допустимого перепаду тиску між системами водню і кисню електролізера повинна відповідати паспортним даним заводу виробника, але не повинна перевищувати 300 мм. вод. ст.

7 Робота електролізерів при відсутності видимих рівнів електроліту в оглядових вікнах забороняється.

Висновки до розділу 6

В даному розділі наведені правила поведінки з установками по виробітку водню, користування електролізерними установками, техніка безпеки на ВЕС. Щоб умови праці співробітників були безпечними, необхідно дотримуватись наведених норм та правил поведінки на даному підприємстві. Процеси отримання водню методом електролізу води є пожежно-вибухово

небезпечними. При порушенні технологічного режиму і аваріях виникає небезпека виділення газів, вибуху, пожежі, опіку лугами та ураження електричним струмом.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши вихідні дані Україна володіє достатньо високим потенціалом сонячної енергії, що дозволяє впроваджувати вітроенергетичне обладнання практично по всій території України. Проте, вироблення таким способом електроенергії не є стабільним, адже залежить від погодних умов.

2. Ми розглянули основні конструкційні особливості вітрогенераторів. Визначені всі можливі типи турбін, які можуть бути використані при проектуванні портативного генератора. Їх конструкції та особливості. Описано всі можливі варіанти конфігурації систем вітрогенератора з різними джерелами. В якості турбіни обрали з горизонтальною віссю обертання, так як в неї вища продуктивність та швидша окупність.

3. В роботі було зроблено аеродинамічний розрахунок вітроустановки та розрахована силова частина, така як розрахунок ємності акумулятора, вибір контролеру заряду/розряду, ланки постійного струму, обрано автономний інвертор

4. З точки зору перетворення та використання енергії відновлюваних джерел енергії, перспективною є технологія електролізу води з використання електроенергії виробленої установками на основі ВДЕ: Процес виробництва водню електролізом води відрізняється від інших методів одностадійністю і відносно простим апаратурним та технологічним оформленням. Крім того, основною сировиною в даному випадку є вода - найбільш доступне і практично невичерпне джерело.

5. Проведений розрахунок капітальних вкладень, собівартості виробництва електроенергії та терміну окупності ВЕС

6. В роботі також розглянуті заходи з забезпечення безпечної експлуатації ВЕУ, а також виконано розрахунок параметрів заземлювального пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy>
2. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підручник./С.О. Кудря.-К. :НТУУ <<КП>>, 2012.- 66-69 с.-492 с.
3. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы. Учебник. – Х.: НАКУ “ХАИ”, Севастополь: Севаст. НТУ, 2003. – 400 с.
4. Замулко А.І., Веремійчук Ю.А. Організація обмеження споживачів на роздрібному ринку електричної енергії: правові питання. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 1. С. 23-33
5. Кравченко О. Нормативно-правове регулювання сонячної енергетики в Україні [Електронний ресурс] / О. Кравченко // Юрист і закон.–№16 від 24.04.2014. – Режим доступу: <http://gs.ua/uk/businessnews/normativno-pravove-regulyuvannya-sonyachno%D1%97-energetikivukra%D1%97ni>.
6. Курс лекції/ С.О. Кудря, В.І. Будько. – К.: НТУУ «КП», 2013. – 387 с.
7. Електронний ресурс. Режим доступу: XEnergotrade: Автономні інвертори. URL: <https://energotrade.su/inventory/invertor-1kw.htm>
8. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.wind-energy-the-facts.org/impacts-of-wind-power-on-power-systems.html>
9. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/0938F1ED-3F69-4E84-92F8-5E97A1871E7A.pdf>
10. Електронний ресурс. Режим доступу: MERLION. Акумуляторна батарея. URL: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-merlion-gp12330m6-12-v-33ah-6015/>

11. Електронний ресурс. Режим доступу: Xebike: Контролер BMS. URL: <https://xebike.com/product/kontroller-zashhityakkumulyatora-bms-pcm-litij-li-ion-lipo-lifepo4-3-204s-100-1000a-12v-750v/>

12. XEnergotrade: Автономні інвертори. URL: <https://energotrade.su/inventory/invertor-1kw.htm>

13. Renewable Hydrogen Roadmap. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://static1.squarespace.com/static/58e8f58d20099ea6eb9ab918/t/5afd25a9f950b7543abe21ba/1526539702668/EIN_RH2_Paper_Lowres.pdf

14. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – К. : ВІОЛ-Принт, 2012. – 55 с.

15. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 7 жовтня 2015 р.) / С. О. Кудря // Вісник Національної академії наук України. - 2015. - № 12. - С. 19-26. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_12_6

16. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html?PrintVersion>

17. Ковалевський Л.Г., Коровайченко Н.Ю. Світовий автомобільний ринок: сучасний стан, особливості та перспективи розвитку. Науковий журнал. Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. Серія: Економічні науки. ISSN 1028-7507 №5-6 (82-83) 2015. С. 60-67. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <file:///C:/Users/VDE/Desktop/ринок%20автотранспорту.pdf>

18. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Циценков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн.ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

19. Цінова політика. [Електронний ресурс] <http://energystock.ru/vetrogenerator/vetrovye-elektrostantsii/vetryanaya-elektrostantsiya-sena>

20. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / Долин П. А. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
21. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
- 22.ГКД 341.003.001.002-2000 Правила проектування вітрових електричних станцій
23. ГКД 341.003.003.001-2000 Вітроенергетика. Вітрові електричні станції. Вимоги до обсягів приймальних випробувань, комплектації документацією і технічними засобам
24. ГКД 341.003.003.004-2006 Вітроенергетика. Вітрові електричні станції. Примірні посадові інструкції персоналу
25. ГКД 341.003.003.006-2000 Площадки для вітрових електростанцій. Метеорологічні дослідження характеристик вітру.
26. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник, / Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін, П. Д. Лежнюк. Вінниця, ВНТУ, 2018. – 46 с.
27. Будько В.І. Дослідження режимів паралельної роботи тягових джерел живлення екомобілю / В.І. Будько // Відновлювана енергетика. – 2014. – №4. – С.31–34.
28. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.cfin.ru/press/management/2001-6/13.pshtml.www.raoes.ru/ru/reforming/foreign/mo-/England.pdf.
29. Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Проект вітрової електричної станції потужністю 0,5 МВтТип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Unicheck	
Оригінальність	82,2
Схожість	17,8

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

 Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

 Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

 Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор


(підпис)

Основенко В.В.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Магістерську кваліфікаційну роботу допустити до захисту

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Гриник В.А.

(прізвище, ініціали)

Керіник роботи


(підпис)

Лежнюк П.Д.

(прізвище, ініціали)

Експерт
(за потреби)

(підпис)

Комар В.О., зав. каф. ЕСС

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

(підпис)

" _____ " _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
ПРОЕКТ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 0.5 МВТ
08-13.МКР.008.00.006 ТЗ

Науковий керівник: д.т.н.

_____ Лежнюк П.Д.

(підпис)

Магістр групи ЕС-20м

_____ Основенко В.В.

(підпис)

Вінниця 2021 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) Енергія вітру останніми роками стає одним з найбільш популярним джерелам альтернативних джерел енергії. Бо багато людей замислилися над тим, що можна використовувати потужну силу вітру для своїх потреб. В цей час потенціал вітрової енергетики є досить великим і розвиток його йде досить швидко. Вітрова енергетика має попит та застосовується в різних галузях людського життя, вітрові установки можна побачити як в приватних будинках, так і великих промислових виробництвах. Вітрова енергетика – є екологічно чистий способом отримання енергії, що є дуже актуальним на даний час і тому приділяється велика увага.

б) наказ ректора ВНТУ № 277 від 24 вересня 2021 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР вступ

а) мета – проектування ВЕС потужністю 0.5 МВт з акумулюванням водню, обрати допоміжне обладнання, оцінити потенціал вітроенергетичних установок в Україні ;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. План розвитку системи передачі на 2020-2029 роки. Постанова НКРЕКП № 764 від 03.04.2020. 377 с.

2. Лежнюк П. Д., Лагутін В. М., Тептя В. В. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.

3. Гук Ю. Б., Кантан В. В., Петрова С. С. Проектирование электрической части станций и подстанций. Л.: Энергоатомиздат, 1985. 312 с.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

- технічне завдання: проектування вітрової електростанції потужністю 0.5 МВт з акумулюванням водню
- елементна база: вітрогенератор, контроллер, інвертор, акб, лопасті, мачта, електричний генератор, лопасті хвоста,
- показники технологічності: проектування ВЕС, монтаж та експлуатація електрообладнання мають виконуватися відповідно до вимог ПУЕ та ПТЕ.
- технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати оперативний та ремонтний персонал станції.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники роботи електростанції і на основі їх аналізу зробити висновок про доцільність спорудження такої станції.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.21	06.09.21	формування технічного завдання
2	Потенціал використання ВЕС в Україні	07.09.21	12.09.21	аналітичний огляд літературних джерел, розділ 1 ПЗ
3	Вітроенергетичні установки	13.09.21	05.10.21	розділ 2
4	Розрахунок ротора вітроустановки, розрахунок ємності акумулятора, ланки постійного струму, інвертора	06.10.21	20.10.21	розділ 3
5	Аналіз можливостей використання водню як	21.10.21	30.10.21	розділ 4

	акумулятора та енергоносія отриманого за рахунок відновлюваних джерел енергії для заправки електромобілів на паливних елементах			
6	Техніко-економічна частина	01.11.21	10.11.21	розділ 5
7	Охорона праці	11.11.21	16.11.20	розділ 6
8	Оформлення пояснювальної записки	17.11.21	25.11.20	пояснювальна записка
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	26.12.21	30.11.21	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

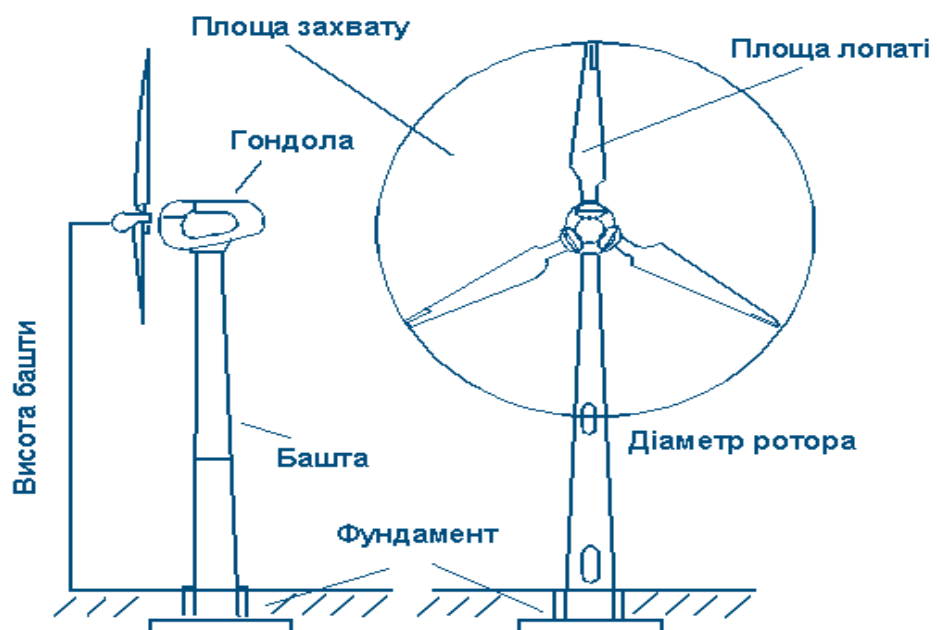
10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

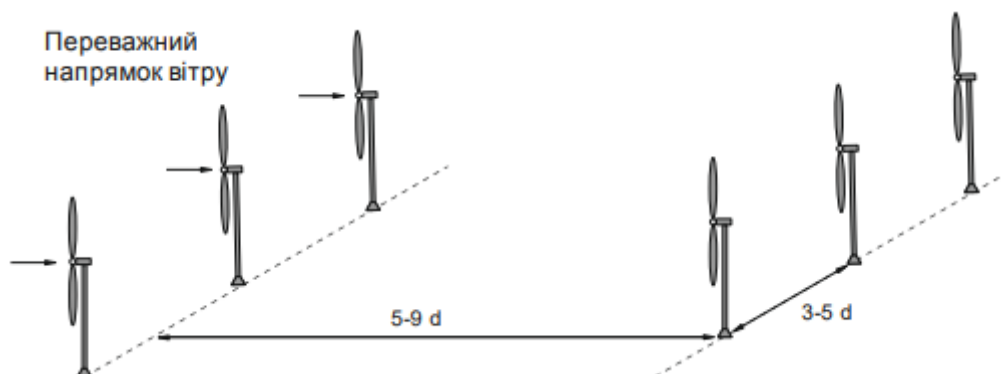
ДОДАТОК В

Ілюстративний матеріал

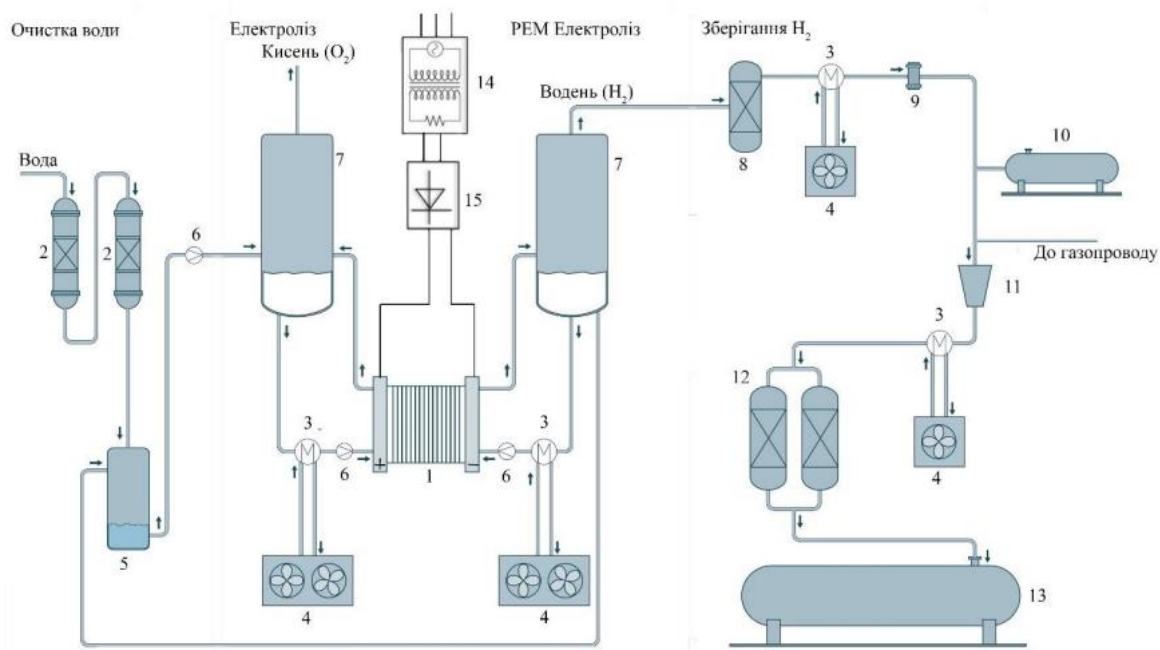
1. Конструкція вітроустановок



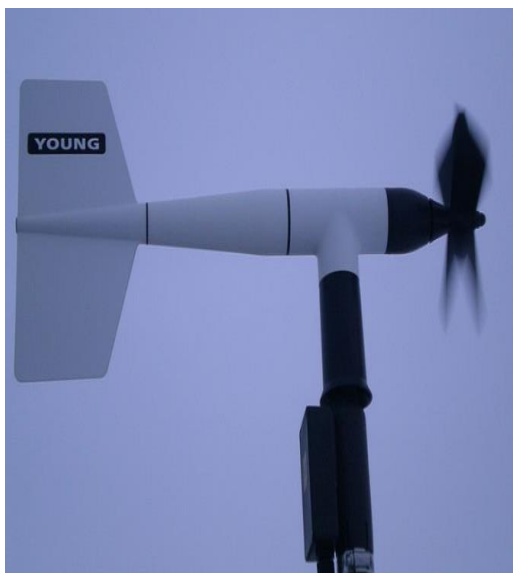
2. Оптимальна розстановка вітроенергетичних установок на ВЕС



3. Схема генерації водню



4.Види анеомера: а) пропеллерний ; б) чашковий



а)



б)

