

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

"До захисту допущено"

чл.-кор. НАНУ, проф.

_____ Кудря С.О

(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: Вітроелектрична установка для забезпечення часткових електричних потреб складського приміщення підприємства.

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕД-61 Астащенко І.П.

(підпис)

Керівник: д-р техн. наук, проф. Головки В. М.

(підпис)

Рецензент: канд. техн. наук Коханевич В.П.

(підпис)

Засвідчую, що у цьому
дипломному
проекті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

(підпис)

КИЇВ 2020

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри чл.-кор. НАНУ, проф.

_____ Кудря С.О

(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Асташенку Іллі Павловичу

1. Тема роботи: Вітроелектрична установка для забезпечення часткових електричних потреб складського приміщення підприємства, керівник роботи д-р техн. наук, проф. Головка В. М., затверджені наказом по університету від
2. Строк подання студентом роботи
3. Вихідні дані до роботи: складське приміщення, розташований в смт. Рокитне.
4. Перелік завдань, які потрібно виконати:
 - а) аналіз даних щодо світового розвитку вітроенергетики, вітроенегретики в Україні та в Київській області.
 - б) розрахунок структурних параметрів вітроенергетичної установки
 - в) розрахунок потужностей та ємностей акумуляторів
 - г) техніко-економічний аналіз та визначення економічного ефекту від вибору схеми підключення вітроенергетичної установки.
5. Перелік графічного матеріалу:
 - 1) Титульний аркуш;
 - 2) Графік електричного навантаження споживача;

- 3) Графіки аеродинамічних розрахунків ротора вітроустановки;
- 4) Графіки аеродинамічних показників профілів лопатей;
- 5) Орієнтовні схеми підключення елементів енергосистем на основі вітроустановки.
6. Дата видачі завдання: 25.04.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Робота з інформаційними джерелами	25.04.2020	Виконано
2	Аналіз даних розташування вітроелектростанції	8.05.2020	Виконано
3	Розрахунок структурних параметрів вітроустановки	15.05.2020	Виконано
4	Вибір схеми підключення та обладнання	25.05.2020	Виконано
5	Техніко-економічний аналіз	29.05.2020	Виконано
6	Охорона праці	04.06.2020	Виконано
7	Оформлення дипломної роботи та підготовка до здачі	11.06.2020	Виконано

Студент

_____ Асташенко І.П.
(підпис)

Керівник роботи

_____ Головка В.М.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Метою дипломної роботи є визначення раціональних структурних параметрів вітрової електростанції в смт. Рокитне та вибір схеми підключення для цієї станції.

У вступі висвітлюються переваги вітроелектростанцій перед традиційними джерелами енергії, можливі недоліки деяких вітроустановок, актуальність встановлення їх в світі та Україні.

Перший розділ присвячений проведенню аналізу вітроенергетики в різних частинах світу, причин значного її розвитку в останні роки, аналіз вітроенергетичних потужностей в Україні.

У другому розділі розглядаються схеми підключення вітроенергетичних установок та описуються основні моменти для їх вибору.

У третьому розділі проведені розрахунки вітроустановки при профілі лопаті BS-16%, а також наведені розрахунки опори станції.

Четвертий розділ приділяє увагу техніко-економічному аналізу раніше розглянутих енергосистем та визначенню економічного ефекту від їх застосування.

П'ятий розділ приділяє увагу захисту персоналу вітроелектростанції.

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to determine the optimal structural parameters of the wind farm in the village Rokytne and the choice of connection scheme for this station.

The introduction highlights the advantages of wind farms over traditional energy sources, the possible disadvantages of some wind turbines, the relevance of their installation in the world and in Ukraine.

The first section is devoted to the analysis of wind energy in different parts of the world, the reasons for its significant development in recent years, the analysis of wind energy capacity in Ukraine.

The second section discusses the connection diagrams of wind turbines and describes the main points for their selection.

In the third section, calculations of the wind turbine at the blade profile B-12% are performed, as well as calculations of the station support.

The fourth section pays attention to the technical and economic analysis of the previously considered power systems and the determination of the economic effect of their application.

The fifth section focuses on the protection of wind farm personnel.

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В СВІТІ.....	10
1.1 Аналіз Європейських тенденцій розвитку вітрової енергетики.....	11
1.2 Аналіз розвитку вітроенергетичних потужностей в Північній Америці.....	12
1.3 Аналіз розвитку вітроенергетичних потужностей в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.....	15
1.4 Причини бурхливого росту вітроенергетики в світі.....	16
1.5 Аналіз вітроенергетичних потужностей України.....	18
1.6 Аналіз вітроенергетичних потужностей Київської області.....	20
1.7 Місце розташування вітроелектричної установки.....	21
РОЗДІЛ 2 СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	23
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВІТРИНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	26
3.1 Визначення потужності генератора вітроенергетичної установки.....	27
3.2 Аеродинамічний розрахунок ротору вітроустановки з профілем лопаті BS-16%.....	29
3.3 Визначення кута встановлення (заклинення) за довжиною лопаті.....	32
3.4 Розрахунок опори вітроустановки.....	43

		3.5		Вибір обладнання	для
	ВЕС				ЕД 6101.141. ДП
Зм.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	45
Розроб.	Доп.	Доп.	Доп.	Доп.	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ
Керівник	Головко В.М.				6
Реценз.					54
Н. Контр.	Головко В.М.				
Затв.	Кудря С.О.				ФЕА, ЕД-61

ЗМІСТ

АНАЛІЗ.....47

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА

ПРАЦІ.....50

ВИСНОВКИ.....52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....53

ДОДАТКИ.....54

					ЕД 6101.141. ДП						
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП			Літ.	Арк.	Аркушів	
Разраб	Астащенко І.П.									7	54
Керівник	Головко В.М.										
Реценз.											
Н. Контр.	Головко В.М.										
Затв.	Кудря С.О.							ФЕА, ЕД-61			

Вступ

За рік на нашу планету надходить величезний обсяг енергії, який в 15 тисяч разів більший за теперішнє споживання енергії всіма країнами Землі. Близько 3% з цієї енергії перетвориться в енергію вітру, тобто, ресурси вітроної енергії майже в 50 разів більші, за сумарні потреби в енергії людства.

Енергію вітру люди почали використовувати ще в прадавні часи. Від парусних кораблів та перших вітрових млинів ми поступово перейшло до створення перших вітрогенераторів, які перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну.

Але часто нашому суспільству нав'язувалась думка про те, що вітроенергетика не конкурентоспроможна, має вкрай обмежений мізерно малий потенціал, нищить птахів, негативно впливає на здоров'я людей та тварин, генеруючи інфразвук.

Сучасні дослідження засвідчують, що ВЕУ не нищать птахів, бо птахи добре бачать вітроколесо, яке повільно обертається. Навіть по статистиці експлуатації в Україні, при слідкуванні за приблизно 700 ВЕУ по 107,5 кВт зі швидкістю обертання 72 об./хв. не було виявлено жодного випадку загибелі птахів.

Інфразвук, як одна з вище згаданих проблем, виникає тільки при незбалансованому вітроколесі, або ж при великій швидкості

Серед нетрадиційних джерел енергії кращі економічні результати відносно вітроенергетики здатні забезпечувати лише ГЕС великої та середньої потужності.

У світі над вітроенергетичним сектором працюють більше 70 країн. Серед них найбільші потужності мають – Німеччина, США, Іспанія, Індія, Китай, Данія. В теперішній час вітроенергетика зайняла друге місце серед найбільш встановлюваних джерел відновлюваної енергії в 2018-2019 роках

					ЕД 6101.141. ДП		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Разраб		Астащенко І.П.			ВСТУП		
Керівник		Головко В.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Головко В.М.					
Затв.		Кудря С.О.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						8	54
					ФЕА, ЕД-61		

в Україні. До того ж Україна має величезний потенціал вітряної енергетики 180 ГВт.

На територіях України придатними для побудови ВЕС вважають до 7 тис. км² площі. Ці території потенційно можуть забезпечити до 50% всього енергоспоживання країни.

Після прийняття Комплексної програми по будівництву ВЕС в 1997 році, вітроенергетика в Україні отримала державну підтримку у вигляді надбавки до тарифу за електроенергію та прямого фінансування. З 2008 року Верховна Рада ухвалила низку рішень по підтримці виробництва відновлюваних джерел енергії, та був схвалений «зелений» тариф на електроенергію. Цим документом, ДП «Енергоринок» зобов'язувалось купувати «зелену» енергію дорожче в 2 рази. У такий спосіб уряд заохочував іноземних інвесторів стимулювати виробництво електроенергії вітроенергетичними установками, поступово замінюючи ними викопні палива.

Сьогодні Україна нарощує використання вітряків малої потужності, які встановлюються домашніми господарствами для особистих потреб. Невеликі вітроустановки (до 20 кВт) привабливі тим, що їх можна швидко встановити в віддалених від джерел енергії місцях, або при дорогому підключенні електричної мережі. Також такі вітроустановки не потребують дозвільних ліцензій на застосування.

					ЕД 6101.141. ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В СВІТІ

					ЕД 6101.141. ДП						
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1 Аналіз вітроенергетики в Україні	Літ.		Арк.	Аркушів		
Разраб		Астащенко І.П..							10	54	
Керівник		Головко В.М.				ФЕА, ЕД-61					
Реценз.											
Н. Контр.		Головко В.М.									
Затв.		Кудря С.О.									

1.1 Аналіз Європейських тенденцій розвитку вітрової енергетики.

За останні роки частка вітроенергетики, серед загального видобутку електроенергії в різних країнах постійно збільшується.

Лідером, серед європейських країн, по використанню вітрових установок, є Німеччина, за нею йде Іспанія та Велика Британія.

В Німеччині електростанції видобувають більше 8% від всієї видобутої електроенергії. Тренд по росту встановлених потужностей стабільно високий, адже в 2008 році було встановлено 22 МВт вітрових генераторів, а вже в 2019 перевищує 60 МВт.

В Іспанії вітроенергетика широко розповсюджена як в частному секторі, так і в промисловому виробництві електроенергії. Частка виробленої електроенергії вітровими генераторами складає більше 20% від загальної кількості виробленої електричної енергії.

Загалом ринок вітроенергетики в Європі з кожним роком невпинно зростає.

1.2 Аналіз розвитку вітроенергетичних потужностей в Північній Америці

В вітроенергетиці в США енергея вітру є однією з найдешевших видів електроенергії, а довгострокова ціна електроенергії вітру доступна завдяки угодам про придбання електроенергії.

Крім того, жорстка конкуренція як природного газу, так і сонячної енергії, підштовхують вітрову промисловість досягти ще нижчих цін і більш високих показників за рахунок розробки більших турбін, пристосованих для максимізації їх випуску навіть у регіонах з меншими за оптимальні швидкості вітру.

Енергія вітру - одна з найдешевших джерел електроенергії у Сполучених Штатах. Та хоча загальна ціна на енергію вітру безпосередньо залежить від швидкості вітру на певній ділянці, вивчення загальних тенденцій встановленої вартості енергії вітру остаточно показує, що енергія вітру стала надзвичайно недорогим джерелом електроенергії.

Середній споживач в США платить за електроенергію близько 12 центів за кіловат-годину. Ця ціна включає вартість генерації електроенергії, мережу, яка постачає її від генераторів до будинків. Фактична вартість вироблення електроенергії - це приблизно 2-4 цента за кіловат-годину - це ціна, з якою енергія вітру повинна конкурувати.

На основі даних, зібраних у звіті про вітрові технології США, вітроенергетика послідовно надходить за або нижчою ринковою ставкою на електроенергію. Енергія вітру часто купується великими блоками через довгостроковий контракт, який називається договором про купівлю електроенергії.

В останні роки в США було придбано величезну кількість енергії вітру за ціною нижче 20 доларів за мегават-годину - або лише 2 цента за кіловат-годину. Така ціна є конкурентоспроможною з типовими оптовими ринковими цінами на електроенергію.



Рисунок 1.1 – Зниження ціни за мегават на вітрову енергію в США

Але важливо зауважити, що ціна на енергію вітру, пропоновану в договорах, - це ціна, яка включає ефект таких субсидій, як федеральний податковий кредит на виробництво вітру, який передбачає податкова субсидія від 18 до 23 доларів за мегават-годину виробленої енергії. Якщо ви виключаєте виробничий податковий кредит та дивитесь на завищену вартість енергії від внутрішнього вітру, він все одно надходить за надзвичайно конкурентоспроможною вартістю менше 50 доларів за мегават-годину. Для порівняння, Управління енергетичної інформації підрахувало, що найкращу в своєму класі електростанцію з природним газом та комбінованим циклом має LCOE близько 54 доларів за мегават-годину. Тож навіть якщо враховувати вплив федерального податкового кредиту на виробництво вітру, енергія вітру залишається надзвичайно конкурентоспроможним генеруючим ресурсом.

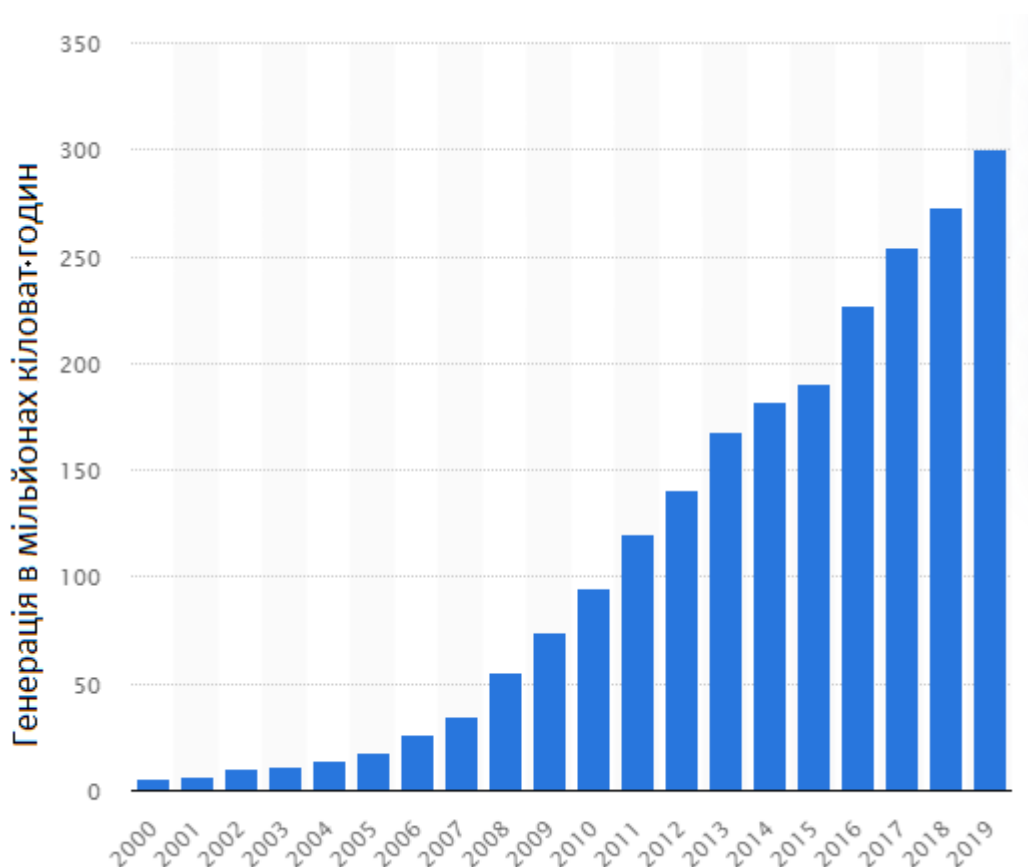


Рисунок 1.2 – Графік росту генерації вітроенергетики в США

США є лідером по встановленим потужностям в Північній Америці.

Встановлена потужність вітрових генераторів становить понад 300 ГВт.

Найбільше встановлено електростанцій в таких штатах як Техас, Каліфорнія, Айова, Оклахома, Іллінойс, Орегон, Вашингтон, Мінесота, Канзас та колорадо.

Також в Північній Америці величезний потенціал по розвитку вітроенергетики має Канада. Вітрові генератори там розташовані по всіх областях країни.

Вплив вітрової енергії на енергетичний ринок Канади також зростає. В 2018 році вітроенергетика становила близько 6 відсотків потреб у електроенергії Канади. А також працювало 299 діючих вітроелектростанцій. Кожна канадська провінція має принаймні один проект вітроенергетики. Станом на кінець 2018 року Канада мала майже 13 тисяч мегават діючої енергії вітру, достатньою потужністю для задоволення потреб 3,3 млн будинків.

1.3 Аналіз розвитку вітроенергетичних потужностей в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Загальна потужність вітроенергетичних установок в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні перевищила потужність 261 ГВт у 2018 році. Хоча збільшення цього обсягу значною мірою спричиняється прибережними вітровими установками, останнім роком також спостерігається приватний сектор. Повітряна потужність вітру в регіоні в минулому році становила 256,3 ГВт, в той час як її офшорна потужність становила 4,8 ГВт, згідно з даними, наданими Глобальною радою з вітроенергетики.

За підсумками 2019 року встановлена потужність китайської вітроенергетики перевищила 200 ГВт, і вона виробила понад 5,5% китайської електроенергії.

До недавнього часу Китай розвивав вітроенергетику головним чином на материковій частині країни. Вітрові електростанції в гігантських масштабах будувалися у Внутрішній Монголії, автономному районі на півночі КНР, відомому своїм хорошим вітровим потенціалом. Недоліком такого підходу є географічна віддаленість від основних центрів споживання електроенергії, розташованих в прибережних регіонах на південному сході країни. У поєднанні з недостатніми темпами розширення ліній електропередач це призводило і призводить до сих пір до високих вимушених втрат вітрової електроенергії, зниження ефективності галузі.

Кілька виробників з Китаю створили моделі турбін класу 10 МВт і почали їх випуск. Китайські енергетики демонструють рекордні темпи будівництва морських вітрових електростанцій.

Тому, хоча встановлена потужність офшорної вітроенергетики КНР поки мізерно мала (в порівнянні з розмірами китайської електроенергетики в цілому) - близько 5 ГВт, вона невпинно розвивається.

1.4 Причини бурхливого росту вітроенергетики в світі

В країнах Європи, Китаї та США влада приділяє велику увагу цій галузі енергетики. Підприємства, що працюють в даній сфері, отримують різні пільги, їм надається фінансова допомога.

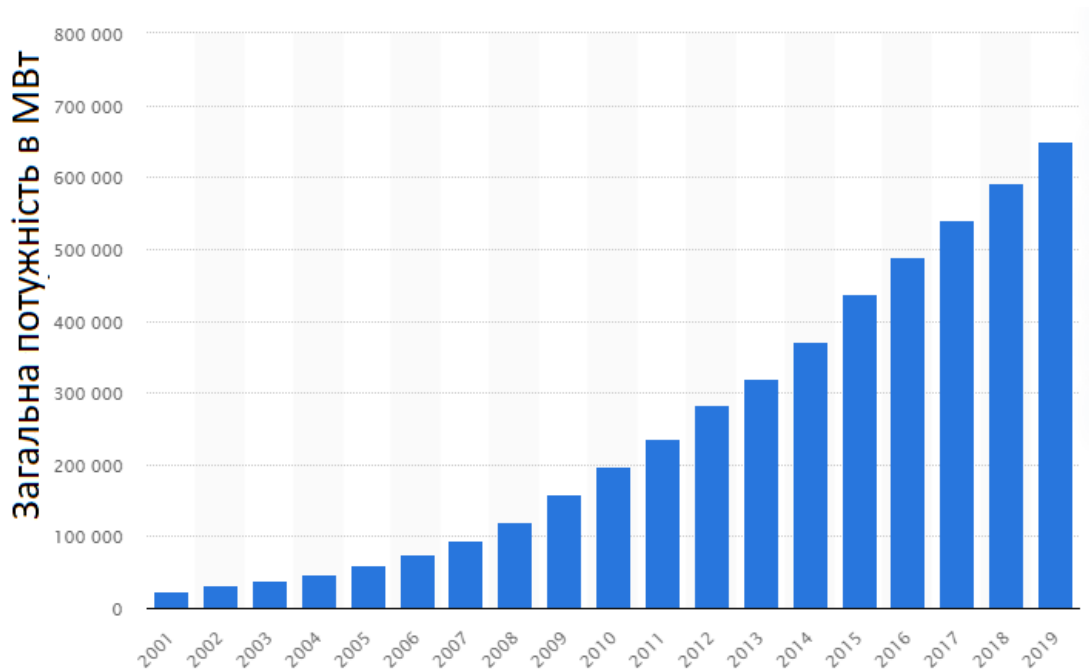


Рисунок 1.3 – Графік загальної встановленої вітроенергетичної потужності в світі з 2001 по 2019 рік.

Також важливим аспектом є поступове зниження цін на вітроелектростанції. Він досягається завдяки все більшій автоматизації виробництва, та уніфікації товару для різноманітних споживачів, оптимізації конструкції, технології та організації виробництва, переносу виготовлення деяких складових в місця з дешевшою робочою силою.

Іншою, але не менш важливою причиною є зменшення забруднення повітря, завдяки заміні викопних палив на енергію вітру, зменшується рівень викиду вуглекислого газу в атмосферу. Так в Китаї через великий рівень забрудненості повітря велика кількість людей має проблеми з органами дихання. Враховуючи, що з 7 міст з найзабрудненішим повітрям 5 належить КНР, можна зрозуміти, чому ж саме Китай вводить в експлуатацію найбільше ВЕС.

В країнах Африки та Близького Сходу вітроенергетика також розвивається, але має куди менші масштаби. Хоча ці регіони мають величезний вітроенергетичний потенціал.

					ЕД 6101.141. ДП	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.5 Аналіз вітроенергетичних потужностей України

Загальний обсяг електроенергії, виробленої за рахунок вітрової енергії у достатній для забезпечення понад 245 тисяч українських домогосподарств при середньому їх споживанні 400 кВт•год електроенергії на місяць.

Вітроенергетика відіграє ключову роль в процесі очищення повітряних мас України. Тільки завдячуючи вітроенергетичним технологіям, викиди CO₂ в атмосферу було зменшено на 835 млн т.

Окрім того, вітряна енергія все більше заміщує традиційну генерацію, яка добуває електроенергію завдяки спалюванню викопних палив, а саме – вугілля, природного газу, нафти та продуктів її переробки. Так в 2018 році було заміщено близько 101 544 т. у. п. що еквівалентно 168 000 тон вугілля або 111 млн кубометрів природного газу.

Український вітроенергетичний сектор позитивно впливає на заповнення державних та місцевих бюджетів у вигляді державних зборів та податків, що дає змогу економічно розвивати країну.

Лідуючу позицію по вітроенергетичним потужностям з 2012 року залишається Запорізька область, в якій розміщена одна з найбільших в Європі – 200 МВт Ботієвська ВЕС. Вона розташовується в с. Ботієво, та її потужність достатня для забезпечення півдня Запорізької області. На ній було запущено 65 генераторів Vestas V112.

В 2019 році було введено в експлуатацію Приморську ВЕС, яка розташована в с. Борисівка, Запорізької області. В її складі знаходиться 52 турбіни General Electric загальною потужністю 200 МВт.

Також популярним місцем для побудови великих електростанцій є місто Старий Самбір що знаходиться Львівської області. Там було побудовано дві ВЕС Старий Самбір - 1 та Старий Самбір – 2. Вони були запущені з різницею в 2 роки. Перша в 2015 році має потужність 13.2 МВт за рахунок 4 вітрових турбін компанії Vestas по 3.3 МВт кожен. Друга в 2017, та має більшу потужність 20.7 МВт.

Їх розташування пов'язане з великою швидкістю Карпатських вітрів, які не рідко досягають 6.5-7.5 м/с. Саме цей фактор дає можливість будувати потужні промислові електростанції. Але в Прикарпатті складно будувати вітроелектростанції, через важкодоступність територій для транспорту та важкість забудови на пригірських масивах.

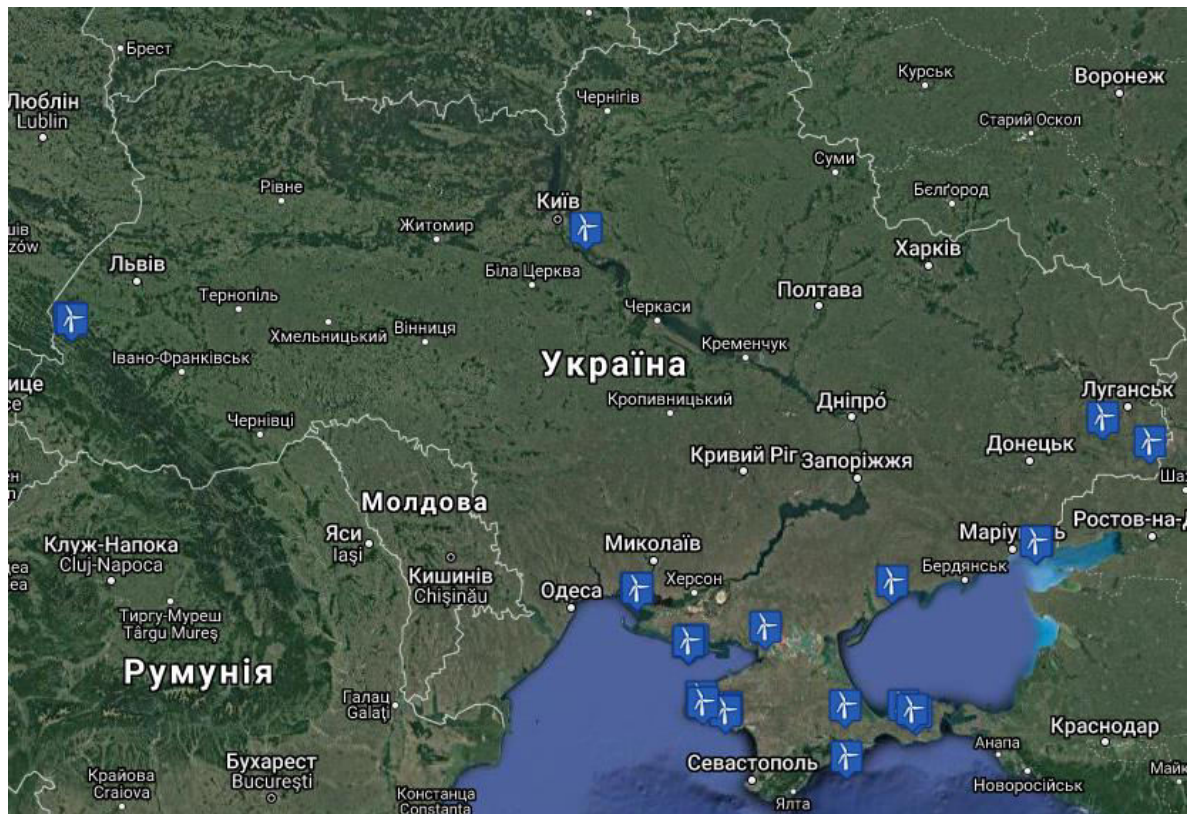


Рисунок 1.4 – Карта розміщення ВЕС на території України.

Вцілому вітроенергетика в Україні просувається великими кроками. Завдяки державній підтримці люди все частіше починають використовувати енергію вітру.

1.6 Аналіз вітроенергетичних потужностей Київської області

На території Київської області є багато земель, які б могли бути призначеними для встановлення вітрогенераторів, але не всі вони мають достатню швидкість вітрового потоку.

Єдина електростанція, яка працює за «зеленим» тарифом розташована в м. Бориспіль. Вона побудована ТОВ «ВФК Лігена», та забезпечує готельно-ресторанний комплекс цієї компанії. Встановлена потужність станції 400 кВт.

Середня швидкість вітру коливається від 2.5 до 4 метрів за секунду. Це робить регіон непривабливим для будівництва великих ВЕС, які будуть приносити надприбутки, але при цьому непоганим для будівництва невеликих станцій віддалених від ліній електропередачі для власних потреб, або ж для часткової продажі електроенергії по «зеленому» тарифу.

Хоча і територія Київської області має невеликий вітроенергетичний потенціал, будувати тут вітроелектростанції можна, при врахуванні всіх за та проти цієї установки.

1.7 Місце розташування вітроелектричної установки

Місце розташування майбутньої вітроустановки смт. Рокитне, яке розташоване на берегах річки Рокита та біля місця її впадіння в р. Рось.

В економіці району провідне місце належить землеробству, розвинено тваринництво. У районі приблизно 12 промислових підприємств.

Неподалік ВЕС знаходиться приватне підприємство Симол (Рокитнянський маслозавод), яке виготовляє широкий асортимент молочних продуктів таких як: молоко, масло, кефір, ряжанка, сметана, творог та інше.

Поблизу також розташоване Сільськогосподарське ТОВ «Нива», яке займається вирощуванням зернових культур, бобових, насіння олійних культур, овочів, коренеплодів та бульбоплодів, розведенням свиней, торгівлею м'ясом, зерном, необробленим тютюном, цукром, кондитерськими виробами, кормами для тварин.

Ці два підприємства є одними з найбільших платників податків в Рокитнянському районі. Також разом з цим, вони дають велику кількість робочих місць, що сприяє розвитку району.

На рисунку 1 зображена стовбурна діаграма розподілу середньої швидкості вітру для Рокитнянського району протягом року для кожного місяця. Базуючись на цій діаграмі (рис. 1) середня швидкість вітру складає $3,5 \text{ м/с}$.



Рисунок 1.5 – Розподіл середньої швидкості вітру

Серед об'єктів, які можуть заважати потокам вітру є велика кількість дерев та саме складське приміщення. Висота дерев та складу не перевищує 9 метрів.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

Аркуш

22

РОЗДІЛ 2

СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

					ЕД 6101.141. ДП									
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2. Схеми підключення вітроенергетичної установки				Літ.		Арк.	Аркушів		
Разраб		Астащенко І.П..										23	54	
Керівник		Головко В.М.							ФЕА, ЕД-61					
Реценз.														
Н. Контр.		Головко В.М.												
Затв.		Кудря С.О.												

Запитання вибору схеми підключення вітряної електростанції важливо вирішити вже при її проектуванні. Кожна зі схем має свої переваги та недоліки, та застосовується при їх врахуванні.

Автономна вітрогенераторна установка – чудовий вибір для забезпечення об'єктів, які віддалені від електричної мережі, або її проведення занадто затратить великі кошти. За умови повної відсутності мережі є одним з найкращих джерел енергії, бо не вимагає постійних перевірок, регулювань та частого обслуговування. Деякі з таких станцій можуть працювати разом з дизельними генераторами. Часто знаходять широке застосування для забезпечення енергією приватних будинків, індивідуальних споживачів, автозаправних станціях, навігаційних, метеорогічних та інших постів яким потрібне безперебійне живлення. Також вони можуть працювати як в якості головного джерела електроенергії, так і джерела безперебійного живлення.

Така станція складатиметься з вітрогенератора, контроллера живлення, акумуляторних батарей та інвертору.

Головною проблемою такої схеми підключення є велика ціна на акумулятори, яка напряду негативно вплине як на загальну ціну вітроустановки, так і на термін окупності. Іншим суттєвим мінусом можна назвати те, що в літній час при днях з низькою швидкістю вітру, в які установка не вироблятиме достатньо енергії для повного забезпечення потреб споживача.

Вітро-сонячна, або ж гібридна установка може бути як мережева, так і автономна. Вона найбільш ефективна при цілорічному автономному постачанні енергії. Її перевагою проти простої автономної станції є постачання ще й сонячної енергії, яка в літній час, навіть при малій швидкості вітру, буде виробляти електроенергію. З цього також випливає мінус, так як така установка потребує як гібридний контролер, так і придбання сонячних фотомодулів та системи кріплення для них. Фотомодулі мають велику ціну, що може відчутно вдарити по кишені при придбанні та

встановленні станції.

Мережева вітроустановка може працювати з акумуляторами та паралельно з мережою. Паралельна робота досягається за рахунок пристрою АВР (автоматичного введення резерву). Цей пристрій перемикається на електромережу при повному розряді акумуляторів та при малій швидкості вітру. Такі установки потрібні тим споживачам, в яких часто виникають перебої з постачанням електроенергії, або ж якість електроенергії від компанії постачальника їх не задовільняє частково або повністю. Також таку систему можна встановити для збільшення встановленої потужності та економії на електроенергії.

Мережеві вітроустановки працюють паралельно з промисловою мережею. В якості акумулятора в ній працює звичайна електрична мережа. Такі станції складаються з контролера, мережевого інвертора, лічильника. Через таку відносно невелику базу потрібних елементів вона дешевша за інші станції. Часто використовується для продажу електроенергії по «зеленому» тарифу.

В нашому випадку, найкраще нам підходить вітрова електростанція під'єднана до локальної мережі, котра буде надлишок енергії продавати по «зеленому» тарифу, а при її недостатці братиме з електромережі. В такому випадку нам не потрібні високовартісні акумулятори, що дасть нам зекономити на встановленні та експлуатації вітроустановки. Також разом з цим зменшується можливість поломки системи через зменшення кількості елементів системи. До плюсів також можна віднести економію грошей в зв'язку з майже щорічними підвищеннями цін на електроенергію.

Саме такий варіант має величезну перевагу для складу. Якщо він не буде використовуватись по якісь причині, то вся вироблена електроенергія подаватиметься в електромережу продаватиметься за «зеленим» тарифом. Це може зменшити термін окупності вітроустановки.

					ЕД 6101.141. ДП	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВІТРЯНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

					ЕД 6101.141. ДП		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 3. Розрахунок параметрів вітряної електростанції		
Разраб		Астащенко І.П.					
Керівник		Головко В.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Головко В.М.					
Затв.		Кудря С.О.			ФЕА, ЕД-61		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						26	54

3.1 Визначання потужності генератора вітроенергетичної установки

Виходячи з місця розташування складського приміщення та наявності поруч великої кількості дерев, та з метою збільшення середньої швидкості вітру, встановимо для ротора вісь обертання 30 метрів. Зробимо перерахунок за формулою Д.Т. Лайхтмана:

$$v_{cp} = v_1 \cdot \frac{\log \frac{h}{h_0}}{\log \frac{h_1}{h_0}} = 3,5 \cdot \frac{\log \frac{30}{0,032}}{\log \frac{10}{0,032}} = 4,17 \approx 4,2 \text{ м/с}$$

Таким чином номінальна швидкість вітру буде становити:

$$v_n = 1,5 \cdot v_{cp} = 1,5 \cdot 4,2 = 6,3 \text{ м/с}$$

Потужність генератора вітроенергетичної установки

В табл. 3.1, яка наведена нижче представлені основні процеси споживання електричної енергії, які відбуваються протягом часу роботи складського приміщення. Значення потужності вказано з врахуванням характеру навантаження та пускових моментів. Згідно даної таблиці побудована навантажувальна діаграма (рис 3.1), з якої наглядно видно, що максимальна потужність споживання складає 5,93. Таким чином необхідна

Таблиця 3.1 – Навантаження складу за технологічними процесами

№	Процеси	Потужність, кВт	Коефіцієнт навантаження	Потужність генератора, кВт	Години доби																							
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Комп'ютери та периферія	2,2	1	2,992																								
2	Система безпеки	0,5	1	0,680																								
3	Зовнішнє освітлення	0,7	1	0,952																								
4	Внутрішнє освітлення	1	1	1,360																								
Сумарна потужність, кВт					4,49	4,49	4,49	4,49	2,99	2,99	2,99	5,98	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03	5,98	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	

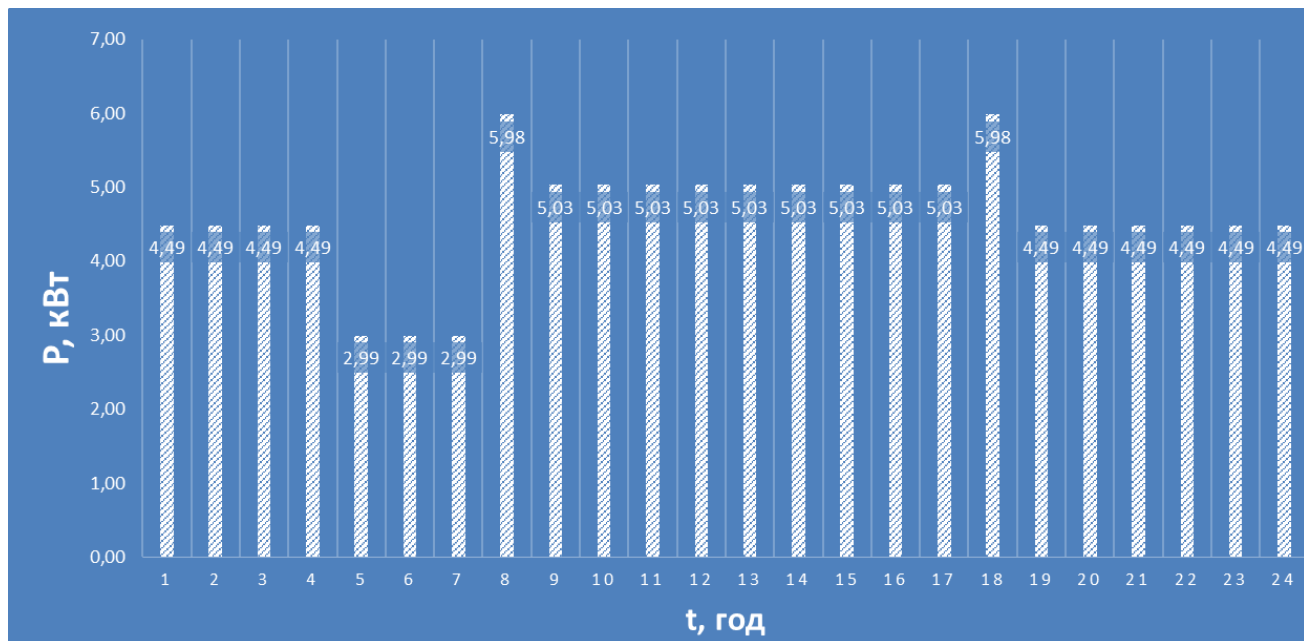


Рисунок 3.1 – Навантажувальна діаграма складу

3.2 Аеродинамічний розрахунок ротору вітроустановки з профілем лопаті BS-16%.

Використовуючи аналіз джеоел розробки отримаємо наступні величини для розрахунку:

Номинальна швидкість вітру: $v_n = 6,3 \text{ м/с}$

Передбачена потужність: $N = 6 \text{ кВт}$

Коефіцієнт потужності: $\xi = 0,35$

Визначаємо діаметр ротора:

$$D = 45,6 \cdot \sqrt{\frac{N}{v_n^3 \cdot \xi}} = 45,6 \cdot \sqrt{\frac{6}{6^3 \cdot 0,35}} = 11,937 \approx 12,0 \text{ м.}$$

Число модулів приймаємо $Z = 7$

Визначимо коефіцієнт гальмування при якому досягається найбільше значення коефіцієнта потужності. Для цього визначаємо зворотну якість лопаті, котра визначається згідно даних профіля, за формулою:

$$\mu = \frac{C_x}{C_y}.$$

Відповідні розрахунки та профіль лопаті занесені до таблиці 3.2, згідно якої середнє значення складає: $\mu_{\text{сер}} = 0,1092$.

Таблиця 3.2 - Дані профіля "Серія BS-16%".

α	C_y	C_x	μ
0	0,1	0,012	0,1200
1,5	0,2	0,015	0,0750
3	0,3	0,02	0,0667
4,3	0,4	0,027	0,0675
5,8	0,5	0,039	0,0780
7,4	0,6	0,056	0,0933
9,4	0,7	0,095	0,1357
12,5	0,8	0,12	0,1500
14	0,83	0,14	0,1687
16	0,87	0,119	0,1368

Приклад алгоритму розрахунку для випадку $e = 0,1$:

Ідеальний коефіцієнт потужності:

$$\xi_i = 4 \cdot e \cdot \frac{1-e}{1+e} = 4 \cdot 0,2 \cdot \frac{1-0,1}{1+0,1} = 0,32727$$

Кінцеві втрати:

$$\bar{T}_j \cong \frac{e}{1-e} \cdot \left[\frac{8 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{1-e}{z}\right)^2}}{i \cdot z \cdot (1+e)} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{i \cdot z}{\pi \cdot (1-0,5 \cdot e)}\right]^2}} \right] =$$

$$\frac{0,1}{1-0,1} \cdot \left[\frac{8 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{1-0,1}{7}\right)^2}}{3 \cdot 7 \cdot (1+0,1)} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{3 \cdot 7}{\pi \cdot (1-0,5 \cdot 0,1)}\right]^2}} \right] = 0,02316$$

Профільні втрати:

$$\bar{T}_p \cong 2 \cdot \mu' \cdot \left[\frac{1-e}{z} + \frac{z}{3 \cdot (1-e)} \right] = 2 \cdot 0,1092 \cdot \left[\frac{1-0,1}{7} + \frac{7}{3 \cdot (1-0,1)} \right] = 0,59412$$

Втрати на крутіння струменя за ротором:

$$\bar{T}_m = \frac{\xi_i \cdot \eta_1^2}{2 \cdot z^2} \cdot \ln \frac{R}{r_0} = \frac{\xi_i \cdot \left(\frac{1-\mu' \cdot z}{1+\frac{\mu}{z}}\right)^2}{2 \cdot z^2} \cdot \ln \frac{R}{r_0} = \frac{0,32727 \cdot \left(\frac{1-0,1092 \cdot 7}{1+\frac{0,1092}{7}}\right)^2}{2 \cdot 7^2} \cdot \ln \frac{10}{1} = 0,00041$$

Коефіцієнт потужності:

$$\xi = \xi_i \cdot \left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} - \bar{T}_j - \bar{T}_p - \bar{T}_m \right) = 0,32727 \cdot \left(1 - \frac{1}{10^2} - 0,02316 - 0,59412 - 0,00041 \right) = 0,12198$$

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта гальмування

e	ξ_i	T_j	T_p	$T_{ш}$	ξ_p
0,1	0,32727	0,02316	0,59412	0,00000	0,12198
0,12	0,37714	0,02776	0,60636	0,00048	0,13404
0,14	0,42246	0,03238	0,61920	0,00054	0,14274
0,16	0,46345	0,03703	0,63268	0,00059	0,14816
0,17	0,48239	0,03938	0,63968	0,00061	0,14970
0,18	0,50034	0,04174	0,64685	0,00063	0,15049
0,19	0,51731	0,04412	0,65421	0,00066	0,15054
0,2	0,53333	0,04652	0,66176	0,00068	0,14989
0,25	0,60000	0,05890	0,70265	0,00076	0,13661
0,3	0,64615	0,07215	0,74961	0,00082	0,10818
0,4	0,68571	0,10285	0,86779	0,00087	0,01268

При досягненні значення коефіцієнта гальмування $e = 0,19$,
максимальне значення коефіцієнта потужності сягатиме $\xi = 0,15054$.

3.3 Визначення кута встановлення (заклинення) за довжиною лопаті.

Далі наведений приклад алгоритму розрахунку для випадку: $r_0/R = 1$

Число модулів для елемента лопаті:

$$z_u = \frac{z}{2 \cdot (1 - e_{max})} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\xi_{maxi}}{z^2}} \right] = \frac{7}{2 \cdot (1 - 0,19)} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{0,51731}{7^2}} \right] = 8,665$$

Мінімальне значення $\mu = 0,0667$ буде при значенні коефіцієнт підйомної сили $C_y = 0,3$. Таким чином:

$$\bar{i}bC_y = \frac{8 \cdot \pi \cdot \frac{r_0}{R} \cdot \frac{e}{(1+e) \cdot (1-e)^2}}{(z_u + \mu) \cdot \sqrt{1 + z_u^2}} = \frac{8 \cdot \pi \cdot 1 \cdot \frac{0,19}{(1+0,19) \cdot (1-0,19)^2}}{(8,665 + 0,0667) \cdot \sqrt{1 + 8,665^2}} = 0,0803$$

Ширина лопаті:

$$b = \frac{(\bar{i}bC_y)}{i \cdot C_y} \cdot R = \frac{(0,0803)}{3 \cdot 0,3} \cdot 6 = 0,5354$$

Згідно методики розрахунків обираємо 5 основних перерізів лопаті: 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2. Задаємось значенням для $b_{(0.2)} = 1,5 \cdot b_{(1.0)} = 0,8031$.

Ширина лопаті на перетині:

$$b_k = b_{(1.0)} + \frac{b_{(0.2)} - b_{(1.0)}}{n-1} (k-1) = 0,5354 + \frac{0,8031 - 0,5354}{5-1} (1-1) =$$

0,5354

$$C_y^{(k)} = \frac{(\bar{i}bC_y)}{i \cdot b_k} \cdot R = \frac{(0,0803)}{3 \cdot 0,5354} \cdot 6 = 0,3$$

З графіками $C_y = f(\alpha)$; $\mu = f(\alpha)$ для отриманих $C_y^{(k)}$ визначаємо α і μ та заносимо всі результати розрахунків до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Значення кутів заклинення за довжиною лопаті

	r_0/R	z	z_u	$\bar{i}bC_y$	b_k , мм	C_y	μ	α	β	φ
1	1	7	8,665	0,0803	535	0,300	0,0667	3	6,583	3,583
2	0,8	5,6	6,942	0,0995	698	0,285	0,0694	2,8	8,197	5,397
3	0,6	4,2	5,223	0,1305	836	0,312	0,0669	3,1	10,839	7,739
4	0,4	2,8	3,513	0,1871	914	0,409	0,0676	4,3	15,890	11,590
5	0,2	1,4	1,836	0,3076	803	0,766	0,1437	11,3	28,578	17,278

Розрахунок характеристики ротора вітроустановки $M=f(z)$, $\xi=f(z)$

Приклад алгоритму розрахунку для випадку $\alpha = 0$:

$$ib = \frac{ibC_y}{C_{yk}} = \frac{0,0803}{0,3} = 0,2677$$

$$\beta = \alpha + \varphi = 0 + 3,583 = 3,583$$

$$Z_\mu = \frac{1}{\tan(\beta \cdot \frac{\pi}{180})} = \frac{1}{\tan(3,583 \cdot \frac{\pi}{180})} = 15,9683$$

$$E = C_{y(k)}^2 \cdot \frac{(z_{u(k)} + \mu_{(k)}) \cdot \sqrt{1 + z_{u(k)}^2}}{\frac{8\pi \cdot r_0}{ib \cdot R}} = 0,1^2 \cdot \frac{(15,9683 + 0,12) \cdot \sqrt{1 + 15,9683^2}}{\frac{8\pi}{0,2677} \cdot 1} = 0,027$$

Використавши таблицю коренів відповідно до кожного раніше згаданого значення E знайдемо рішення нижчеподаного рівняння:

$$\frac{e_{(k)}}{(1+e_{(k)})(1-e_{(k)})^2} = C_{y(k)}^2 \frac{(z_{u(k)} + \mu_{(k)}) \sqrt{1 + z_{u(k)}^2}}{\frac{8\pi r_0}{ib \cdot R}}$$

В даному випадку $e_p = 0,026$

$$\Delta \bar{M} = \frac{8 \cdot (\frac{r_0}{R})^2}{\frac{1+e_{(k)}}{e_{(k)}}} \cdot \frac{1 - \mu_{(k)} \cdot z_{u(k)}}{z_{u(k)} + \mu_{(k)}} = \frac{8 \cdot (1)^2}{\frac{1+0,026}{0,026}} \cdot \frac{1 - 0,12 \cdot 15,9683}{15,9683 + 0,12} = -0,012 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$z = z_{u(k)} \cdot (1 - e_{(k)}) - \frac{1}{z_{u(k)} \cdot \frac{1+e_{(k)}}{e_{(k)}}} = 15,9683 \cdot (1 - 0,026) -$$

$$\frac{1}{15,9683 \cdot \frac{1+0,026}{0,026}} = 15,55$$

$$Z = \frac{z \cdot R}{r_0} = z \cdot \frac{R}{r_0} = 15,55 \cdot 1 = 15,55$$

Робиться перерахунок для $\Delta \bar{M}_{(k)} = f(Z_{(k)})$ при сталих $(r_0/R)_{(k)}$ та

$\Delta \bar{M}_{(k)} = f((\frac{r_0}{R})_{(k)})$ при сталих $(Z_{(k)})$. Зведені розрахунки внесені до таблиці 2.3.1

Таблиця 3.5 – Характеристики ротора вітроустановки

r_0/R	φ	i_b	α	β	z_u	M	C_y	$8\pi r_0/R/i_b$	E	e	ΔM	z	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	3,583	0,2677	0	3,58	15,9683	0,1200	0,1	93,88497	0,027	0,026	-0,012	15,55157	15,55157
			1,5	5,08	11,2415	0,0750	0,2		0,054	0,051	0,0054	10,66391	10,66391
			3	6,58	8,66472	0,0667	0,3		0,073	0,068	0,0246	8,068175	8,068175
			4,3	7,88	7,22197	0,0675	0,4		0,091	0,083	0,0431	6,611938	6,611938
			5,8	9,38	6,05139	0,0780	0,5		0,100	0,09	0,0569	5,493117	5,493117
			7,4	10,98	5,15252	0,0933	0,6		0,106	0,095	0,0687	4,646193	4,646193
			9,4	12,98	4,33721	0,1357	0,7		0,104	0,0935	0,0629	3,911963	3,911963
			12,5	16,08	3,46835	0,1500	0,8		0,089	0,081	0,0795	3,16581	3,16581
			14	17,58	3,15557	0,1687	0,83		0,081	0,075	0,0785	2,896793	2,896793
			16	19,58	2,8109	0,1368	0,87		0,071	0,066	0,1034	2,603356	2,603356

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

Аркуш

34

продовж. табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,8	5,397	0,3492	0	5,40	10,5845	0,1200	0,1	57,57262	0,020	0,02	-0,003	10,37099	12,96374
			1,5	6,90	8,26702	0,0750	0,2		0,048	0,046	0,0103	7,881414	9,851768
			3	8,40	6,77433	0,0667	0,3		0,073	0,068	0,0261	6,304275	7,880343
			4,3	9,70	5,852	0,0675	0,4		0,098	0,089	0,0428	5,317207	6,646509
			5,8	11,20	5,05169	0,0780	0,5		0,115	0,102	0,056	4,518098	5,647623
			7,4	12,80	4,40253	0,0933	0,6		0,127	0,112	0,0676	3,886573	4,858216
			9,4	14,80	3,78561	0,1357	0,7		0,131	0,115	0,0655	3,323023	4,153779
			12,5	17,90	3,09659	0,1500	0,8		0,117	0,104	0,0796	2,744122	3,430152
			14	19,40	2,84011	0,1687	0,83		0,108	0,097	0,0784	2,533483	3,166853
			16	21,40	2,55207	0,1368	0,87		0,097	0,088	0,1003	2,295799	2,869749

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

продовж. табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,6	7,739	0,4182	0	7,74	7,35855	0,1200	0,1	36,05807	0,015	0,015	0,0007	7,246162	12,07694
			1,5	9,24	6,14775	0,0750	0,2		0,043	0,041	0,0098	5,889286	9,815477
			3	10,74	5,27274	0,0667	0,3		0,072	0,067	0,022	4,907554	8,179256
			4,3	12,04	4,68898	0,0675	0,4		0,101	0,091	0,0345	4,244496	7,07416
			5,8	13,54	4,15288	0,0780	0,5		0,125	0,11	0,0456	3,672203	6,120339
			7,4	15,14	3,69619	0,0933	0,6		0,145	0,125	0,0553	3,204106	5,340176
			9,4	17,14	3,24272	0,1357	0,7		0,156	0,133	0,056	2,775238	4,625396
			12,5	20,24	2,71224	0,1500	0,8		0,147	0,1265	0,067	2,327738	3,879564
			14	21,74	2,50793	0,1687	0,83		0,138	0,12	0,0665	2,16426	3,6071
			16	23,74	2,27387	0,1368	0,87		0,126	0,111	0,0822	1,977532	3,295887

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

продовж. табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,4	11,59	0,4571	0	11,59	4,87603	0,1200	0,1	21,99357	0,011	0,011	0,0012	4,820162	12,0504
			1,5	13,09	4,30071	0,0750	0,2		0,035	0,034	0,0065	4,146844	10,36711
			3	14,59	3,84186	0,0667	0,3		0,063	0,059	0,0136	3,600693	9,001732
			4,3	15,89	3,5129	0,0675	0,4		0,095	0,087	0,0218	3,184496	7,96124
			5,8	17,39	3,193	0,0780	0,5		0,124	0,109	0,0289	2,814178	7,035446
			7,4	18,99	2,90589	0,0933	0,6		0,151	0,129	0,0355	2,491712	6,22928
			9,4	20,99	2,60648	0,1357	0,7		0,171	0,143	0,0377	2,185751	5,464378
			12,5	24,09	2,2366	0,1500	0,8		0,170	0,1425	0,0445	1,862116	4,655289
			14	25,59	2,08812	0,1687	0,83		0,164	0,138	0,0446	1,741881	4,354704
			16	27,59	1,91365	0,1368	0,87		0,152	0,13	0,053	1,604761	4,011903

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

Аркуш

37

продовж. табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,2	17,28	0,4015	0	17,28	3,21488	0,1200	0,1	12,518	0,009	0,009	0,0005	3,183175	15,91587
			1,5	18,78	2,9411	0,0750	0,2		0,030	0,029	0,0023	2,846227	14,23114
			3	20,28	2,70648	0,0667	0,3		0,058	0,055	0,0049	2,538357	12,69178
			4,3	21,58	2,52849	0,0675	0,4		0,090	0,082	0,0077	2,291178	11,45589
			5,8	23,08	2,34691	0,0780	0,5		0,124	0,109	0,0106	2,049217	10,24609
			7,4	24,68	2,17631	0,0933	0,6		0,156	0,133	0,0132	1,832921	9,164605
			9,4	26,68	1,99014	0,1357	0,7		0,185	0,153	0,0146	1,618972	8,094859
			12,5	29,78	1,74762	0,1500	0,8		0,195	0,1594	0,0171	1,39038	6,951899
			14	31,28	1,6461	0,1687	0,83		0,192	0,157	0,0173	1,305231	6,526154
			16	33,28	1,5236	0,1368	0,87		0,183	0,1515	0,0201	1,206423	6,032114

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

На основі даних таблиці 3.5, будується залежність $\Delta \bar{M} = f(z)$ при сталих значеннях $(r_0/R)_{(k)}$.

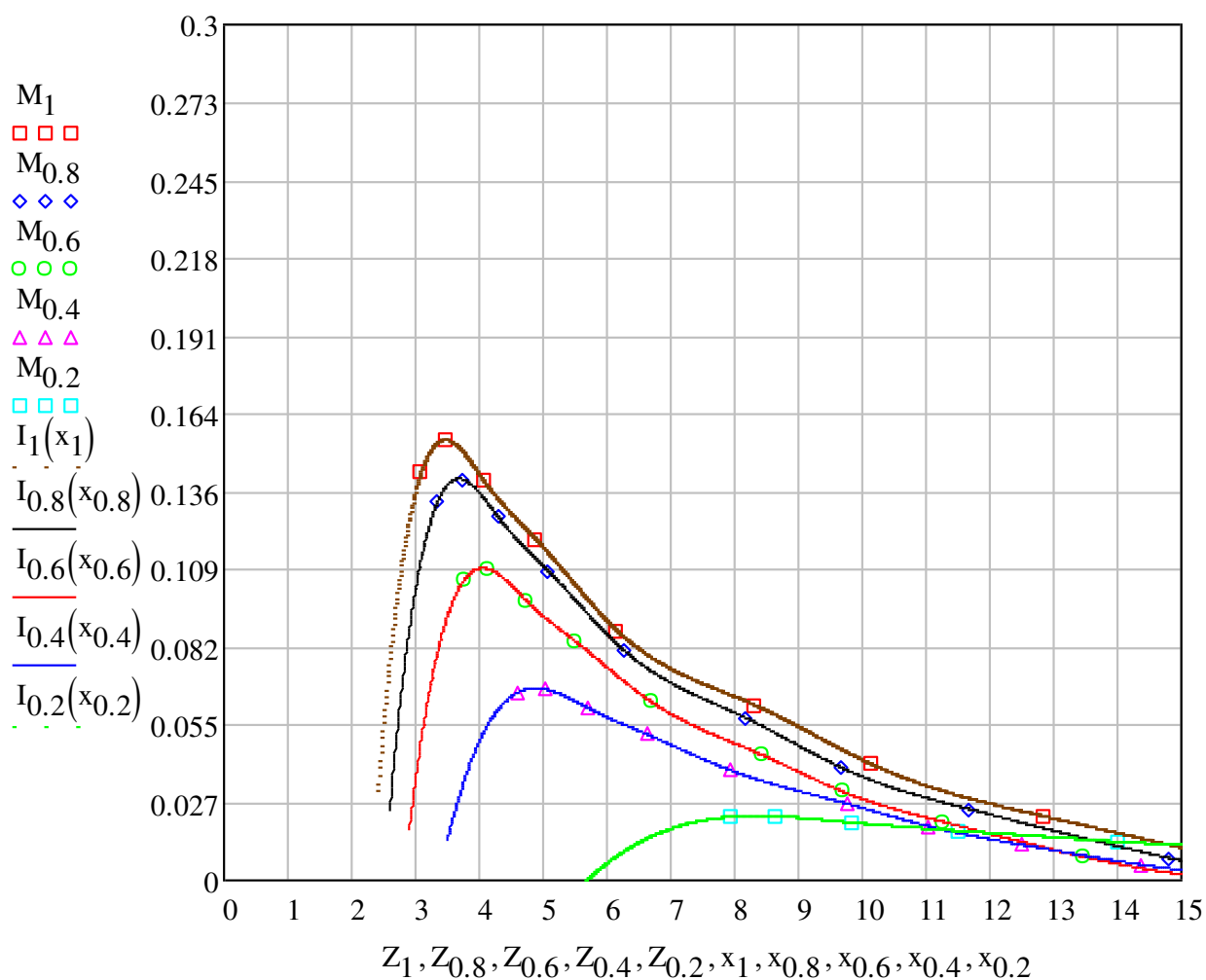


Рисунок 3.2 – Залежність $\Delta \bar{M} = f(z)$ розрахованого ротора вітроустановки

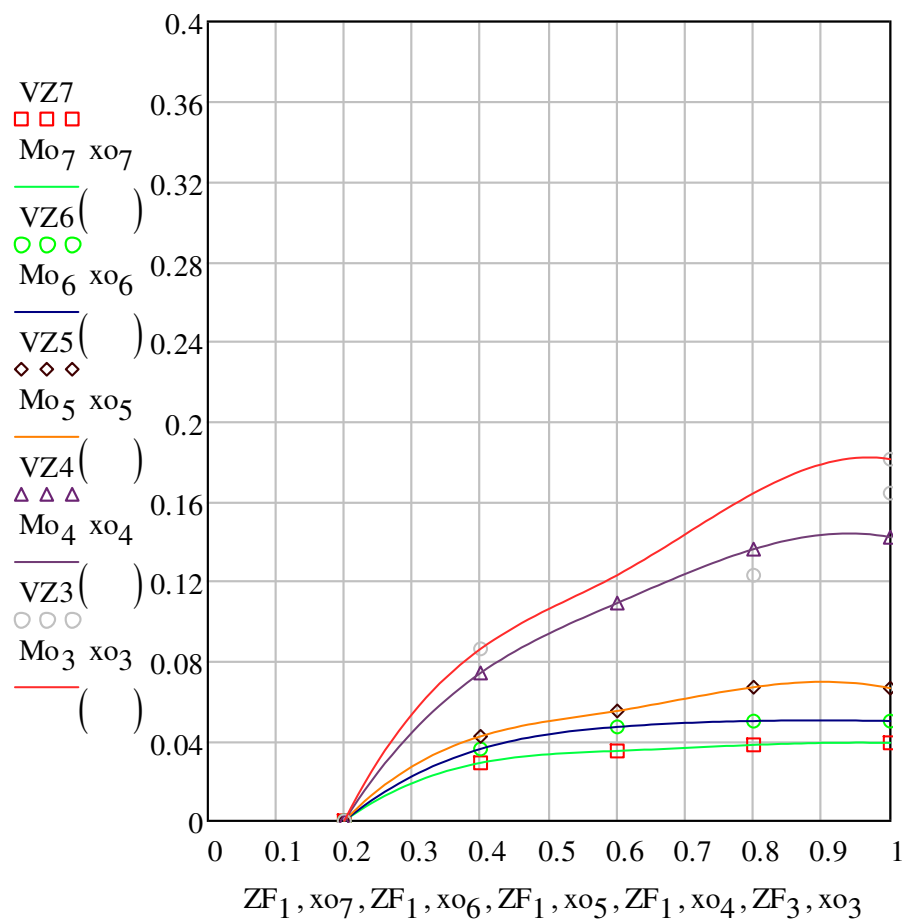
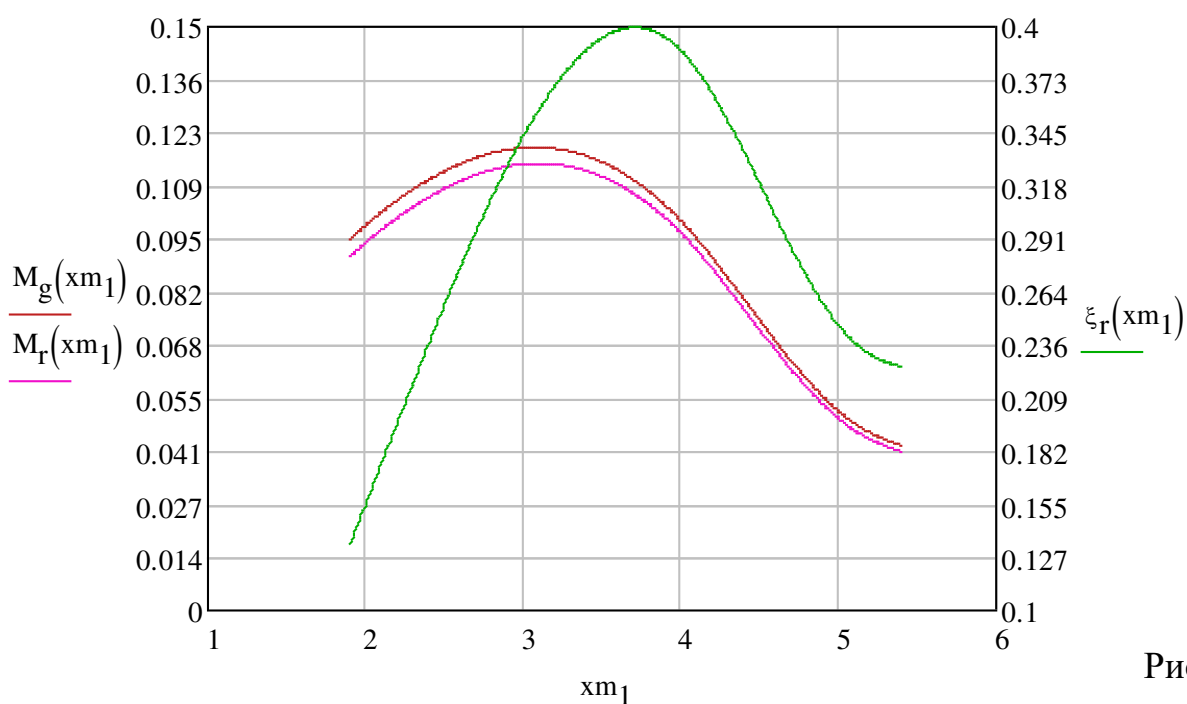


Рисунок 3.3– Залежність $\Delta \bar{M}_{(k)} = f(r)$ розрахованого ротора вітроустановки

В табл. 3.6 приведені загальні характеристики ротора вже з врахуванням моментів кінцевих втрат, на основі якої побудований відповідний графік (рис. 3.4).

Таблиця 3.6 – Загальна характеристика ротора вітроустановки

e	Z	M	Mj	Mзаг	ξ
0,076	7	0,031416587	0,000658485	0,030758102	0,215306713
0,085	6	0,040666616	0,001107756	0,03955886	0,237353162
0,092	5	0,0511213	0,001863047	0,049258253	0,246291266
0,094	4	0,099999815	0,003091357	0,096908458	0,387633831
0,079	3	0,118916326	0,004194362	0,114721965	0,344165894



Рисунок

3.4 – Характеристика ротора вітроустановки

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕД 6101.141. ДП

Аркуш

41

3.4 Розрахунок опори вітроустановки

Об'єктами, що можуть заважати вітровим потокам є саме складське приміщення, та навколишні дерева. Висота дерева не перевищує $h = 9$ метрів. Відповідно мінімальна висота опори складе:

$$H = h + c + \frac{D}{2} = 9 + 1,5 + \frac{12}{2} = 16,5 \text{ м.}$$

Оскільки наявна велика кількість дерев та враховуючи відповідні вказівки, що наведені в технічному завданні приймаємо висоту опори:

$$H = 30 \text{ м}$$

Тип обраної опори – циліндричний. Вітрове навантаження на опору:

$$P_{\text{оп}} = 7,1 \cdot \beta \cdot H^2 = 7,1 \cdot 1,01 \cdot 30^2 = 6453,9 \text{ кг}$$

Лобовий тиск на ротор:

$$\omega = \frac{2 \cdot k_H \cdot Z}{D} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 7}{12} = 2,0$$

$$n = \frac{\omega^2 \cdot r^2 + v_{\text{п}}^2}{\omega^2 \cdot r^2 + v^2} = \frac{\omega^2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 + v_{\text{п}}^2}{\omega^2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 + v^2} = \frac{1,8^2 \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2 + 6,3^2}{1,8^2 \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2 + 4,2^2} = 1,136$$

Максимальна спостережувана швидкість вітру в області $v_{\text{max}} = 30 \text{ м/с}$ лобовий тиск на ротор буде складати:

$$P_p = c_y \cdot S \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (\omega^2 \cdot r_{\text{ш}}^2 + v_{\text{max}}^2) \cdot i \cdot n = 1,12 \cdot 2,6 \cdot \frac{0,125}{2} \cdot \left(2,0^2 \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2 + 30^2\right) \cdot 3 \cdot 1,136 = 1942,64 \text{ кг}$$

Момент біля основи опори:

$$M_{\text{оп}} = P_{\text{оп}} \cdot H + P_p \cdot H = 6453,9 \cdot 30 + 1942,64 \cdot 30 = 251896 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Згідно наявних діючих аналогів вітрогенераторів обираємо масу опори 4400 кг.

$$G = 4400 + 141 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 4400 + 141 \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2 = 9476 \text{ кг}$$

Площа фундаменту:

$$S = \frac{M_{\text{оп}} + G}{17,8 \cdot 10^3} = \frac{251896 + 9476}{17,8 \cdot 10^3} = 14,7 \text{ м}^2$$

Маса фундаменту при глибині закладці 2 м:

$$G_{\text{ф}} = S \cdot 2 \cdot 2000 = 58799 \text{ кг}$$

Результуюча стискаюча сила за умови, що $P_{\text{м}} = M_{\text{оп}}$:

$$P_{\text{рез}} = G + G_{\text{ф}} + P_{\text{м}} = 9476 + 58799 + 251896 = 320171 \text{ кг}$$

					ЕД 6101.141. ДП	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3.5 Вибір обладнання для ВЕС

Для коректного підбору обладнання вітроелектричної станції потрібно чітко розуміти мету, та яких треба досягти. Від цього залежать параметри варіантів комплектації та вартості та виділеного бюджету.

Ротор виконує функцію перетворення кінетичної енергії вітру в механічну роботу, яка передається генератору.

Генератор — це трифазна електрична машина з ротором і статором. Обмотки статора, в яких обертається ротором збуджується змінний струм, підключені до контролера. Для вертикальних вітрогенераторів генератор може комплектуватися мультиплікатором, що підвищує число оборотів, що дозволяє підвищити потужність генератора або зменшити його розміри.

Інвертор — це серце сонячної станції, перетворює отриману енергію в звичні нам 220 або 380 Вольт. Без нього робота електростанції неможлива. Новітні покоління інверторів мають величезну кількість корисних функцій, в тому числі оптимізацію роботи станції при певних умовах, моніторинг роботи систем, який дозволяє спостерігати за станцією віддалено на ноутбуках і навіть на телефоні.

Основними критеріями вибору інвертора є потужність і тип станції.

А далі, для кожного типу станції підбирається конкретний інвертор: автономний, гібридний або мережевий, який максимально буде ефективний для кожного з випадків.

Варто зазначити що не варто надто заощаджувати на інверторі, так як хороший інвертор підвищує ефективність станції.

Лічильник — засіб для обліку відданої та спожитої електроенергії обладнаний системою АСКОЕ.

АСКОЕ — автоматизована система комерційного обліку електроенергії дозволяє яка дистанційно збирати, зберігати і обробляти інформацію про

енергетичні потоки. Наявність модуля GSM. Деякі лічильники мають вбудований GSM / GPRS / GPS модуль без проміжного підключення, живлення яких забезпечує блок живлення лічильника, що значно економить вартість лічильника в порівнянні із західними аналогами. Оптимальним вважається температурний діапазон для лічильників від -40 до +60 градусів.

				1	ЕД 6101.141. ДП	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Приведені витрати будуть визначатись як:

$$Z_i = E * K_i + I_i,$$

де K_i – інвестиції відповідного варіанту схеми електропостачання, грн.;

E – норматив ефективності, що дорівнює нормі дисконтування і відповідає процентній ставці НБУ на довгострокові внески: $E = 0,1$;

I_i - експлуатаційні витрати на ремонт обладнання, грн.

H_o - норма відрахувань на обслуговування, %. Норма відрахувань на обслуговування складає 4% від капіталовкладень.

Капітальні вкладення по даному варіанту складають:

$K_{\text{інв}}$ - кількість інверторів у схемі;

$C_{\text{інв}}$ - ціна придбання одного інвертора, грн.;

$C_{\text{ва}}$ - ціна проектування та побудови вітроагрегата, грн.;

$C_{\text{стаб}}$ - ціна придбання одного стабілізатора напруги, грн.;

Капітальні ж вкладення при виборі підключення вітроенергетичної установки як мережевої вітроелектростанції будуть складати:

$$K_i = K_{\text{інв}} * C_{\text{інв}} + C_{\text{ва}} + C_{\text{стаб}}$$

При варіанті з мережевої ВЕС без акумуляторних батарей можна суттєво зекономити.

$$Z_i = E * K_i + I_i = 0,1 * 323579 + 20943,16 = 344522,16 \text{ (грн)}$$

Визначаємо приблизні витрати при виборі мережевої системи та при виборі схеми зі спільною шиною змінного струму:

$$\begin{aligned} K_i &= K_{\text{інв}} * C_{\text{інв}} + C_{\text{ва}} + C_{\text{стаб}} = 1 * 23995 + 192000 + 14600 \\ &= 230595 \text{ (грн)} \end{aligned}$$

$$I_i = H_o * \frac{K_i}{100} = 4 * \frac{230595}{100} = 9223,8 \text{ (грн)}$$

$$Z_i = E * K_i + I_i = 0,1 * 230595 + 9223,8 = 239818,8 \text{ (грн)}$$

Отже, інвестиції в систему складатимуть 230595 (грн), витрати на

ремонт обладнання 9223.8 (грн), а приведені витрати дорівнюють 239818,8 (грн)

					ЕД 6101.141. ДП	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Розділ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

					ЕД 6101.141. ДП			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5. Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Разраб		Курмашов Я.О.						
Керівник		Головко В.М.					48	54
Реценз.						ФЕА, ЕД-61		
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затв.		Кудря С.О.						

Зростання об'ємів виробництв та їх розширення обумовлені поступовим збільшення населення Землі та науково-технічною революцією.

Попри вдосконалення технологій та техніки, шумовий вплив та вібрації негативно впливають на людей працюючих в енергетиці.

Інфразвук, як одна з вище згаданих проблем, може виникнути у випадку дебалансу вітроколеса при швидкості обертання більшій за 180 об./с. А оскільки навіть ВЕУ з потужністю 100 кВт мають значно меншу швидкість обертання, то вони не є причиною виникнення інфразвуку. Лише ВЕУ з потужністю меншою за 20 кВт можуть створювати інфразвук при незбалансованому вітроанму колесі, але така установка практично недієздатна, та буде швидко виходити з ладу через великі вібраційні навантаження.

Із значним зростанням частки вітроенергетики на енергетичному ринку України виникає ряд запитань по встановленню та експлуатації вітроустановок. Деякі роботи проводяться на висоті більшій за 1.3 метра, тож для робочого персоналу потрібно мати декларацію відповідності матеріально-технічної бази вимогам законодавства з охорони праці.

ВИСНОВКИ

При виконанні роботи було висвітлено загальний тренд на встановлення вітроелектростанцій. Так в Німеччині з 2008 по 2019 рік було збільшено загальну потужність ВЕС майже в 3 рази, а саме з 22 МВт до 60 МВт.

Показано, що вітроенергетика в США нарощує свої та конкурентоспроможна, і має ціну дешевшу за природний газ, 50 доларів за мегават-годину. Також показано причини зростаючого інтересу до розвитку вітроенергетики в деяких областях України.

Висота вітроустановки складе 30 м, швидкість вітру на такій висоті 6.3 м/с, діаметр ротора 12 м. Проведений аеродинамічний розрахунок для лопаті BS-16% кути встановлення, та встановлено, що максимальний коефіцієнт потужності вітроагрегату буде дорівнювати 0.33.

Техніко-економічний аналіз показав, що при виборі мережевої вітроелектростанції інвестиції в систему складатимуть 230595 грн.

Розглянуті фактори, які впливають на здоров'я робочих при встановленні станції, та проблеми, які можуть виникнути при неправильному балансуванні вітроагрегату.

Список використаної літератури

1. Про затвердження Порядку видачі дозволів на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки [Електронний ресурс] - Режим доступу. - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1107-2011-п#Text>
2. Схеми організації вітряних електростанцій [Електронний ресурс] - Режим доступу. - <https://www.atmosfera.ua/uk/vitryani-elektrostantsii/sxemi-organizacii-vitryanix-elektrostantsij/>
3. ВІТРОГЕНЕРАТОРИ: ПРИНЦИП ДІЇ, ТИПИ, ЗАСТОСУВАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ [Електронний ресурс] - Режим доступу. - <https://alterair.ua/uk/articles/vetrogeneratoryi/>
4. Принцип роботи вітрогенератора [Електронний ресурс] - Режим доступу. - <https://vencon.ua/ua/articles/printsip-raboty-vetrogeneratora>
5. ВЕС “Старий Самбір-1” в природі немає нічого зайвого [Електронний ресурс] - Режим доступу. - http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/USELF-2_Launch_Event_Kozytskyi_ukr_140627.pdf
6. Cumulative installed capacity of wind power worldwide in 2019 [Електронний ресурс] - Режим доступу. - <https://www.statista.com/statistics/217522/cumulative-installed-capacity-of-wind-power-worldwide/>
7. Wind Energy Is One of the Cheapest Sources of Electricity, and It's Getting Cheaper [Електронний ресурс] - Режим доступу. - <https://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/wind-energy-is-one-of-the-cheapest-sources-of-electricity-and-its-getting-cheaper/>
8. China’s Wind Turbine OEMs Top-Ten in 2019 [Електронний ресурс] - Режим

доступу. - <https://energyiceberg.com/china-wind-oems-2019/>

9. Вітроенергетика – практичні аспекти і перспективи [Електронний ресурс] - <http://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2081-vitroenerhetyka-praktychni-aspekty-i-perspektyvy.html>

10. ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕКТОР УКРАЇНИ [Електронний ресурс] - http://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea_2018_ua_web.pdf

11. DOE Report Confirms Wind Energy Costs At All-Time Lows [Електронний ресурс] - <https://nawindpower.com/doe-report-confirms-wind-energy-costs-at-all-time-lows>

12. Тенденция удешевления технических систем и продуктов [Електронний ресурс] - <https://www.metodolog.ru/node/2064>

13. Wind Energy Companies: Benefits to Canada [Електронний ресурс] - <https://naveco.ca/2019/12/20/wind-energy-companies-benefits-to-canada/>

ДОДАТКИ

Додаток 1. Геометричні та аеродинамічні параметри профілю bs-16%

