

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «Режимні характеристики приземного вітру в районі
Одеси в період 2013-2017 рр.»

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ- 2М
спеціальності 103 – «Науки про Землю»
Шмаюн Віталій Володимирович

Керівник к.гегр.н.,доцент.
Хоменко Галина Василівна

Рецензент к.гегр.н.,доц.
Божко Людмила Юхимівна

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра, циклова комісія _____ кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 103 «Науки про Землю»
Освітня програма «Метеорологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ Івус Г.П.

_____ 29.Жовтня.2018 _____

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шмаюна Віталія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Режимні характеристики приземного вітру в районі Одеси в період 2012-2017рр

керівник роботи Хоменко Галина Василівна, к. геогр. н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти № 271 "С" від 5 жовтня 2018 р.

2.Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи: Данні восьмистрокових спостережень за напрямком і швидкістю приземного вітру на ст. Одеса-ГМО за 2013-2017рр., а також відомості про режимні характеристики вітру за 2006-2015рр., які представленні в роботі [15]

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Ознайомився з науковою літературою з теми дослідження. 2) Розрахунки повторюваності напрямків вітру по восьми румбах і швидкості вітру по градаціях. 3) Обчислення статистичних характеристик вітрового режиму. 4) Оцінка вітроенергетичного потенціалу Одеського регіону.

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

- роза вітрів.

- таблиці повторюваності (ч.в. і %) швидкості вітру по градаціях.

- карта середньої швидкості вітру для деяких станцій Одеської області.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 29.Жовтня.2018 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			У %	за 4-х бальною шкалою
1.	Ознайомлення з науковою літературою з теми дослідження ; складання реферативної частини роботи	3 29 жовтня 2018 р.	92	Відм.
2.	Сбір та попередня обробка вихідної інформації; складання бази даних	листопад 2018 р.	92	Відм.
3.	Розрахунок режимних характеристик приземного вітру	листопад 2018 р.	92	Відм.
4.	Рубіжна атестація	19 – 24.11.18	90	Відм.
5.	Аналіз отриманих характеристик вітрового режиму Одеси стосовно	грудень 2018	90	Відм.
6.	Ознайомлення з результатами дослідження режиму вітру на станціях Одеської області.	грудень 2018	90	Відм.
7.	Оцінку вітроенергетичного потенціалу	грудень 2018	92	Відм.
8.	Складання висновків. Оформлення тексту магістерської роботи та ілюстративного матеріалу. Здача роботи на кафедру	05 – 10.12.18	94	Відм.
9.	Підготовка доповіді та презентації до захисту магістерської роботи	грудень 2018	94	Відм.
10.	Попередній захист магістерської роботи	грудень 2018	94	Відм.
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92	Відм.

Студент

_____ Шмаюн В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Хоменко Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Режимні характеристики приземного вітру в районі Одеси в період 2013-2017рр»

Автор: Шмаюн Віталій Володимирович.

Актуальність дослідження: *Ресурси відновлювальної енергії є величезними та доступними в кожній країні. Вони не здійснюють значного негативного впливу на довкілля та, порівняно швидко відшкодовуються. З усіх видів відновлювальних джерел енергії енергія вітру є в теперішній час найбільш поширеною, доступною та вживаною.*

Мета роботи: вивчення режиму вітру біля поверхні землі на ст. Одеса-ГМО і оцінка доцільності використання вітру як альтернативного джерела енергії.

Згідно з метою розв'язані такі задачі:

- розраховані повторюваності напрямків вітру по румбах за всі місяці 2013-2017 рр.;
- розраховані повторюваності швидкості вітру по градаціях: 0 - 2, 3 - 4, ≥ 5 м/с і середньорічні швидкості вітру;
- перераховано швидкості вітру на рівень 150 м за ступеневим законом;
- виконано розрахунок питомої потужності вітрового потоку для ст. Одеса-ГМО;
- зроблена оцінка вітроенергетичного потенціалу для Одеського регіону.

Об'єкт дослідження: режим вітру біля поверхні землі.

Предмет дослідження: кількісні характеристики режиму вітру.

Методи дослідження базується на використанні методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів: полягає в оцінці вітроенергетичного потенціалу Одеського регіону за сучасними даними.

Магістерська кваліфікаційна робота в обсязі 48 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 16 джерел, і містить 20 рисунків і таблиць в основному тексті.

Ключові слова: статистичні характеристики режиму вітру, вітроенергетичні ресурси, вітрове колесо, вітрогенератор, питома потужність

SUMMARY

Theme: "The Regime Characteristics of the Surface Wind in the Vicinity of Odessa in the Period of 2013-2017"

Author: Shmaiun Vitalii Vladimirovich.

The urgency of the study: Renewable energy resources are enormous and affordable in each country. They do not have a significant negative impact on the environment and relatively quick reimbursement. Of all renewable energy sources, wind power is currently the most widespread, accessible and used.

The purpose of the work: studying the wind mode near the surface of the earth at the st. Odessa-GMO and an assessment of the feasibility of using wind as an alternative source of energy.

In accordance with the set objective, the following tasks are solved:

- calculated repetitions of wind directions in rumba for all months of 2013-2017;
- calculated recurrence of wind velocity in gradations: 0 - 2, 3 - 4, ≥ 5 m / s and average annual wind speeds;
- the speed of the wind is listed at the level of 150 m according to the step-by-step law;
- the calculation of the specific power of the wind flow for Art. Odesa-GMO;
- an estimate of wind energy potential for the Odessa region is made.

Study object: wind mode near the surface of the earth.

Subject of research: кількісні характеристики режиму вітру.

Methods of research is based on the use of methods of mathematical statistics.

Scientific novelty of the obtained results is to assess the wind energy potential of the Odessa region on the basis of modern data.

Master's qualifying paper in 48 pages consists of 3 sections, conclusions, a list of references from 16 sources, and contains 20 drawings and tables in the main text.

Keywords: statistical characteristics of the wind regime, wind energy resources, wind wheel, wind turbine, specific power.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. СТИСЛИЙ ГЕОГРАФІЧНИЙ ТА КЛІМАТИЧНИЙ ОПИС ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ.....	9
1.1 Фізико-географічний опис.....	9
1.2 Особливості клімату та атмосферної циркуляції.....	9
2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ.....	15
2.1. Природа та характер вітру.....	15
2.2. Вітер, як носій енергії.....	21
3. ОЦІНКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНУ.....	31
3.1. Вихідні дані та методи досліджень.....	31
3.2. Режимні характеристики вітру в районі ст. Одеса- ГМО.....	32
3.3. Оцінка вітроенергетичного потенціалу Одеського регіону.....	40
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	47
ДОДАТОК А.....	48

ВСТУП

З розвитком науково-технічної революції відбувається неперервний процес урбанізації, що характеризується все зростаючою концентрацією населення, збільшенню споживання енергії та збільшення антропогенного забруднення в містах. За даними 2017 року Одеса радує багатим списком шкідливих сполук, в повітрі якої, крім звичного формальдегіду (концентрація якого в 3,7 рази вище за допустимий рівень) можна насолодитися також ароматом сажі, фенолу та фтороводною (який при взаємодії з водою утворює плавикову кислоту, одну з небагатьох здатних розчинити скло). І в цілому в рейтингу міст України з найбільш забрудненим повітрям Одеса має почесне 3 місце. Великі урбанізовані площі призводять до формування особливого клімату міського типу, який, також, може бути корисним з точки зору його використання для розвитку відновлювальних видів енергії.

Уряд України встановив мету в рамках з ЄС збільшити до 2020 року використання відновлюваних джерел енергії з внутрішніх джерел до 11%.п Виробництво відновлюваної енергії в Україні становить близько 6% від загального обсягу виробництва електроенергії. Це включає близько 8.7 ГВт гідро продукції і 2.0 ГВт продукції від вітрової, сонячної енергії та інше.

Для досягнення цієї мети щодо асоціації з ЄС Україні буде потрібно близько 3 ГВт нових потужностей відновлюваної енергетики і прямі інвестиції в розмірі понад 3 млрд євро. Для залучення цих інвестицій у сектор відновлюваної енергетики уряд України встановив державні пільгові тарифи.

В Україні введено в експлуатацію 490 МВт вітроенергетичних проектів з 13 вітроелектростанцій (за винятком Кримського п-ова). Нові розроблені потужності включають більше 2,0 ГВт з більш ніж 20 вітроенергетичних проектів. Розробники проектів можуть отримати доступ до кредитного фінансування від міжнародних фінансових інститутів та українських комерційних банків, що дозволить їм приступити до виконання проектів, які отримують вигоду від державного пільгового тарифу в розмірі 101,8 євро за МВт для проектів, які будуть введені в експлуатацію до 31 грудня 2019 року.[16]

Енергетичні ресурси України планують розвивати виробництво вітроенергетики з акцентом на проекти вздовж Чорноморського узбережжя України. Цей район має привабливі середні швидкості вітру в діапазоні від 7,7 до 8,1 м / с на висоті встановлення вітроколеса (130 м) і легкодоступні з'єднання з енергосистемою України.

Особливості міського типу клімату, окрім своєї, подекуди, шкідливості можуть бути використані для популяризації відновлювальних видів енергії. Міста характеризуються великими відкритими площами, відсутністю природних бар'єрів для сонячної енергії та енергії вітру. З точки зору використання енергії сонця, в кінцевому варіанті все досить просто, досить на етапі проектування будівель вносити в конструкцію даху сонячні

енергетичні панелі, які можуть використовуватись, як для обігріву води, так і для виробництва електроенергії. Але недоліком сонячної енергії є її мала продуктивність, та найбільш актуальною в наших широтах є її сезонна мінливість. Іншою є можливість використання енергії вітру, яка за рік не має такої амплітуди активності, як сонячна, та в умовах сучасною забудови можуть виникати локальні циркуляції, які можуть суттєво впливати на процеси розповсюдження шкідливих домішок і забруднення навколишнього середовища. Використання енергії вітру замість енергії, яка добувається шляхом спалювання палива, сприятиме зменшенню викидів в атмосферу парникових газів та аерозолів. Енергія вітру вже використовується в Україні, наприклад у Львові, який входить в четвірку найчистіших міст України.

Вітровий режим є однією з характеристик клімату, що істотно впливає на умови життя людей і їх господарську діяльність. У зв'язку з цим оцінка неминучих при сучасних змінах клімату змін характеристик вітрового режиму має не тільки теоретичне, а й безпосередньо практичне значення. У більшій частині географічної літератури не наводяться періоди осереднення, за які беруться дані за вітром. Тривалий час основним документом, який регламентує характеристики вітрового режиму в межах території України, був Випуск 10 Довідника з клімату СРСР, в частині III якого були приведені нормативні характеристики вітру по окремим метеорологічним станціям станом на 1960 р. У багатьох випадках ці дані наводяться в науковій та навчальній літературі і в даний час, не дивлячись на обговорювані в другій половині XX століття процеси зміни клімату.

Мета даної роботи полягає в дослідженні вітрового режиму Одеси за останні шість років і в оцінці вітроенергетичних ресурсів міста.

Для виконання роботи використанні дані восьмистрокових спостережень за напрямком вітру на станції Одеса - ГМО за всі місяці року в період 2012-2017 рр.

Магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом к. геогр. н., доц. Хоменко Галини Василівни.

1 СТИСЛИЙ ГЕОГРАФІЧНИЙ ТА КЛІМАТИЧНИЙ ОПИС ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ

1.1 Фізико-географічний опис

Місто Одеса з населенням більше 1 млн. мешканців - адміністративний, економічний та культурний центр однойменної області, і з містами-супутниками, Іллічівськом і Південним, формує важливий промисловий і торговельний комплекс.

Місто розташовано на північно-західному узбережжі Чорного моря, на перетині шляхів з Північної й Центральної Європи на Близький Схід й в Азію.

Одеса на півночі межує з Комінтернівським районом, на сході та південному-сході місто омиває Чорне море, на захід від міста розташований Біляївський район, а на півдні Овідіопольський район. Площа міста становить 20,1 млн. км.

Одеса знаходиться на відстані 495 км від Києва, 200 км від Херсона, до Миколаєва - 137 км і з'єднаний з ними автомобільними магістралями. Це дозволяє розвиватись підприємствам цих міст, використовуючи тісні зв'язки по кооперації, комбінуванню і територіальній концентрації виробництва. Місто розташоване на перетині найважливіших міжнародних шляхів з Європи в Азію, із Центральної й Північної Європи на Близький Схід. Через Одесу проходить міжнародний транспортний коридор №9, що сполучає Фінляндію, Росію, Литву, Білорусь, Україну, Молдову, Румунію, Болгарію й Грецію.

Розвинена мережа автодоріг, розташування міста поблизу рік Дунай, Дністер, Південний Буг і Дніпро, а також великі морські порти Одеса, Іллічівськ і Південний - у сполученні з Одеським міжнародним аеропортом і залізницею створюють сприятливі унікальні передумови для прийому, обробки, зберігання й транспортування вантажів, а також обробки потужних пасажиропотоків.

Розростаючись місто Одеса асимілює навколишні села. Цей процес продовжується і зараз. Причому, його інтенсивність сьогодні прямо пропорційно залежить від збільшення вартості земельних ділянок під забудову та проведення виробничої діяльності.

1.2 Особливості клімату та атмосферної циркуляції

Температура, вологість, вітер, хмарність та інші метеорологічні величини знаходяться в залежності від властивостей повітряних мас і від вертикальних рухів в атмосферних циркуляційних системах.

При вивченні ролі атмосферної циркуляції в формуванні клімату необхідно враховувати як великомасштабну циркуляцію, так і регіональні процеси, які безпосередньо впливають на клімат відносно невеликій

території. Південь України, де знаходиться Одеса, виділяється за кліматичними характеристиками в окрему підобласть. Це обумовлено не тільки впливом Чорного моря, але і специфічними особливостями циркуляції - циклони помірних широт, що зміщуються із заходу і північного заходу, не роблять безпосередньо впливу на південь України. Розвиток цих циклонів над Європейською частиною Росії(ЄЧС) супроводжується проходженням через південні райони улоговини або утворенням перехідної зони між циклонами і розташованими південніше областями високого тиску. У таких перехідних областях відзначається, як правило, малозбурене перенесення повітряних мас, напрямок якого залежить від взаємного розташування циклонів і антициклонів.

Через південь України центральною частиною переміщуються тільки циклони, що виникають в басейні Середземного і Чорного морів, а також невеликі циклони, що виникають на рухомих із заходу і північного заходу холодних фронтах. Периферійні атмосферні процеси характерні для півдня України при розвитку над Європою антициклонів, проте останні, на відміну від циклонів, своєю центральною частиною нерідко переміщуються через південь України і Чорне море.

В залежності від характеру приземного і висотного полів тиску, а також напрямоку перенесення повітряних мас, автори [7] виділяють для півдня України десять різновидів атмосферних процесів, у розвитку яких за часом, в їх послідовному переході від одного різновиду до іншого є визначені закономірності. З урахуванням загальних властивостей атмосферні процеси можна об'єднати в три групи: периферійні процеси, циклонічна і антициклонічна циркуляція.

Периферійні атмосферні процеси, до яких відносяться малозбурені переноси з південною, західною та східною складовою, а також малоградієнтні поля тиску біля поверхні землі, оказують суттєвий вплив на південь України. Слід відзначити, що ці процеси, мають порівняно велику повторюваність, тривалі за часом, а тому, їх роль у формуванні клімату дуже значна.

Одним із різновидів периферійних процесів є ситуація, коли південні райони України знаходяться під впливом південної периферії або гребеня антициклонону, тоді спостерігаються східні вітри з невеликою північною або південною складовою.

Другий різновид периферійних атмосферних процесів -західний і північно-західний перенос. Він формується на південній периферії циклонів помірних широт. Погодні умови при таких процесах відрізняються від тих, які властиві східному переносу. Це обумовлено більшою термічною нестійкістю повітряних мас, яка особливо характерна для теплого періоду. З хмар конвективних форм можуть випадати невеликі опади. Безпосередньо в районі Одеси це відбувається у другій половині дня, коли хмарність, що виникла над материком, переміщується в прибережну зону.

При вторгненні холодного повітря за атмосферними фронтами часто спостерігаються великі швидкості вітру. Зменшення швидкості вітру

відбувається при послідовному швидкому зміщенні області високого тиску на південь України. Західний перенос часто порушується в результаті впливу гірських систем півдня Європи і в таких випадках улоговина переміщується із заходу або встановлюється південний перенос. При південному перенесення в залежності від сезону спостерігаються різні погодні умови: в теплий період переважає малохмарна погода, в холодний - тумани, низька хмарність, мряка. У середній і верхній тропосфері південному переносу відповідають вітри південного або південно-західного напрямку в передній частині висотної улоговини. Безпосередньо після південного перенесення часто відбувається вихід південних циклонів або переміщення улоговин. До циклонічної циркуляції на півдні України відносяться три різновидності атмосферних процесів: південні циклони, улоговини, які зміщуються із заходу, і чорноморська депресія. Роль південних циклонів в формуванні погоди і клімату регіону велика, незважаючи на те, що повторюваність цього процесу значно менша повторюваності периферійних циркуляцій. Пояснюється це тим, що виходи південних циклонів супроводжуються великою кількістю опадів, хуртовинами, ожеледдю взимку і зливами з грозами влітку. Південні циклони в початковий період їх виходу на ЄЧР мають діаметри в декілька сотень кілометрів і тому їх вплив на конкретний район в великій мірі залежить від траєкторії циклону. Переміщення таких циклонів відбувається під передньою частиною висотної улоговини, орієнтація якої і наступна її еволюція визначають траєкторії циклонів.

Найбільша кількість опадів в Одесі пов'язана часто з виходом циклону безпосередньо на південь України і його стаціонаванням в даному районі. Значні опади спостерігаються і в разі, коли циклон розташовується в західній частині Чорного моря, а південь України знаходиться під впливом північної периферії циклону і теплового фронту. Такий розвиток процесу часто супроводжується одночасним розвитком антициклону над материком і виникненням великих градієнтів тиску на півдні України. В результаті в холодну пору року створюються умови для виникнення хуртовин, а при випадінні дощу і невеликій від'ємній температурі відбувається утворення ожеледі. Відзначаю, що вихід південних циклонів - процес переважно холодного періоду з максимум в січні. [7]

У зимовий сезон термічний режим області, як і України в цілому, формується переважно під впливом атмосферної циркуляції і адвекції (горизонтального переміщення) повітря, що обумовлюється нею. При цьому територія області знаходиться під впливом повітряних мас, що поступають як із заходу і південного заходу - з Атлантичного океану і Середземного моря, так і з півночі і сходу - з європейської Півночі і Сибіру. Західне перенесення обумовлює пом'якшення погоди, вторгнення ж арктичного повітря - формування морозної погоди з найнижчими за зиму температурами. У літній сезон циклонічна діяльність слабшає і термічний режим території області формується в основному під впливом радіаційного чинника і особливостей земної поверхні. Завдяки своєму географічному положенню і однорідності поверхні, вся територія добре прогрівається і контрастність в

термічних умовах окремих її частин істотно зменшується. Істотний вплив на термічний режим і інші компоненти клімату території області надає Чорне море. Його вплив розповсюджується углиб території на 140-280 км, але найбільш помітне воно в прибережній смузі довжиною 4050 км. В термічному режимі вплив Чорного моря, перш за все, виявляється в підвищенні зимових температур повітря і пониженні літніх.

Кількість атмосферних опадів по території області в цілому зменшується з півночі на південь, досягаючи найменших значень на узбережжі Чорного моря. За даними метеорологічних спостережень в північних районах середня за кліматичний період (1961-1990 рр.) річна сума опадів складала 525-575 мм, в центральних - 475-525 мм, в прибережній зоні - 400-450 мм. На території області переважають опади теплого періоду. При наближенні до чорноморського побережжя відмінність в кількості опадів теплого і холодного періодів зменшується. Мінімум опадів по всіх пунктах метеорологічних спостережень території області відмічається в березні і жовтні. [11]

Для території області характерні слабкі і помірні вітри, хоча можливі короточасні посилення вітру до 30-35 м/с і навіть більше. Середньомісячні швидкості вітру в північних районах області змінюються по різних напрямках взимку від 3,5 до 4,5 м/с, влітку - від 2,5 до 3,5 м/с, в південних районах - від 3,5 до 5,0 м/с взимку і від 3 до 4 м/с влітку. Тобто, в межах області має місце збільшення швидкостей вітру з півночі на південь і зменшення - від зими до літа [15]. Протягом року найбільшими середніми швидкостями характеризуються вітри північних і північно-східних румбів. Їх значення зменшуються від зими до літа, а потім восени знов зростають. Вітри всієї решти напрямів окрім північно-західного і західного мають найбільші швидкості навесні, вітри північно-західного і західного посилюються взимку. В північних районах переважають північні, північно-західні і південно-східні, південні вітри; в центральній частині області і на півдні панують північні і північно-східні. Щодо напрямків вітру, то можна відзначити наступне: весною на півночі області унаслідок неоднорідності баричного поля розподіл вітру по напрямках достатньо рівномірний, але взимку переважають вітри північні - північно-західні і південно-східні - південні. Влітку на всій території області панують західні і північно-західні вітри з сумарною повторюваністю при деякому переважанні північно-західних вітрів.

Район Одеси (з точки зору загальної циркуляції) можна назвати районом північно-західного переносу. Де переважають вітри представляють собою західні, північно-західні і південно-західні, тобто. вітри з суші. Їх загальна повторюваність близько 42% як в бризові, так і в безбризові періоди. Повторюваність морських вітрів в бризові і безбризові періоди також майже однакова. У жовтні-березні повторюваність східних, південно-східних і південних вітрів складає 34%, а в квітень-вересні - 42%. Однак в той час як з 34% випадків морського вітру в безбризовий період 1 2% складають дні зі східним вітром, в Бризовий період повторюваність східних вітрів склад ляє

всього 5 з 42%, але зате зростає роль південних і південно-східних вітрів. Взимку східні і північно-східні вітри обумовлюються наявністю над степовими районами південно-західній периферії відрогу сибірського антициклону. Влітку переважання південних вітрів пояснюється бризовим ходом напрямку вітру.

Повторюваність тих чи інших румбів в січні однакова майже у всіх термінах. У липні чітко виявляється внутрішньодобова зміна вітру, що свідчить про бризовий характер вітру в Одесі в літні місяці.

Інтенсивність Бризу істотно залежить від відстані пункту спостереження від берега і особливостей гідрологічного режиму водойми, над якими розвиваються бризи. Так, в липні показник періодичності вітру на ст. Одеса, обсерваторія - 44, а на ст. АМСГ, розташованій в восьми кілометрах від берега, - 17. Умови розвитку бризів погіршуються не тільки в міру просування в глиб суші, а й під час руху повітря над лиманами і заплавами річок Дніпра і Бугу, де контраст температур суша – море згладжений.

Бризи істотно впливають на погоду. слід вказати на характерний режим вітру, який і визначає бриз як метеорологічне явище. Напрямок берегового і морського бризу залежить від багатьох факторів: баричного вітру, рельєфу і сили Коріоліса. В умовах складної берегової лінії можна спостерігати обертання вітру при бризах проти годинникової стрілки. Періодична зміна напрямку вітру при бризах супроводжується своєрідним добовим ходом температури і вологості повітря. Особливість добових коливань температури і вологості пояснюється тим, що бризи супроводжуються адвекцій тепла і вологи, викликані перенесенням з моря або берега.

Зазвичай в ясні дні (після сходу сонця) температура земної поверхні зростає дуже швидко, а разом з нею зростає і температура повітря. У момент приходу морського бризу температура повітря або перестає зростати, або навіть падає. Іноді вона може залишатися протягом усього дня постійною поки дме морський бриз.

У дні з бризом температура може мати два максимуми. Добовий хід відносної вологості протилежний ходу температури повітря. Максимум відзначається перед сходом сонця, а з ростом температури повітря відносна вологість починає зменшуватися. Після приходу морського бризу температура повітря падає і відбувається різке підвищення відносної вологості. У другій половині дня відносна вологість повільно зменшується, а після зміни морського бризу береговим вона приймає свій звичайний хід.

Максимальне значення вологості під час бризів на 20-30% (Іноді і більше) перевищує нормальне значення для цього часу діб. Ранній прихід морського бризу, коли вологість ще взагалі висока, може викликати конденсацію водяної пари і утворення туману або затримати розсіювання нічного туману. У години дії морського бризу добовий хід швидкості вітру майже паралельний добовому ходу відносної вологості, а добовий хід температури є як би дзеркальним відображення ходу швидкості вітру. Отже, збільшення швидкості вітру з моря викликає зменшення температури і

відповідне збільшення вологості повітря. Перенесення тепла у вітерці, як і добовий хід температури повітря, суттєво залежить від швидкості вітру. Добовий хід температури повітря на березі в день з бризом складається з двох компонентів: звичайного добового ходу, пов'язаний ного з сонячним прогріванням, і похолодання, принесеного з моря. Вночі в шарі 0-400 м переважають вітри з берега, в шарі 500-800 м однаково часто спостерігаються як берегові бризи, так і анти бризи, починаючи з висоти 900 м і вище переважають антибризи. Днем морські бризи переважають в шарі 0-600 м, в шарі 700-1000 м з'явлення бризів і антибризів рівноймовірно, антибризи переважають на рівні 1000 м і вище.

Прихід стійко стратифікованого повітря з гладкою поповерхнею моря послаблює турбулентний обмін в денні години. Нічний бриз формується над шорсткою поверхнею суші, але повітря в цілому стратифікована стійко. ослаблення вертикального турбулентного перенесення вологи і тепла (в поєднанні з властивою бризам стійкою стратифікацією) перешкоджає розвитку конвекції і утворенню хмар в прибережній зоні.

Якщо хмарні системи, утримувані денним бризом на деякій відстані від моря, до вечора не розмиваються, то вони разом з береговим бризом просуваються до моря, над яким посилюється термічна конвекція, що призводить до розвитку вночі злив і гроз в літній період.

2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ

2.1 Природа та характеристики вітру

Вітер у приземному шарі утворюється внаслідок нерівномірного нагрівання земної поверхні Сонцем. Оскільки поверхня Землі неоднорідна, то навіть на одній і тій же широті суша і водні простори, гори і лісові масиви, пустелі і болотисті низини нагріваються по-різному. Протягом дня над морями і океанами повітря залишається порівняно холодним, оскільки значна частина енергії сонячного випромінювання витрачається на випаровування води або поглинається нею. Над сушею повітря прогрівається більше, розширюється, знижує свою щільність і спрямовується в більш високі шари над землею. Його заміщають більш холодні, а отже, більш щільні повітряні маси, що розташовувалися над водними просторами, що і призводить до виникнення вітру, як спрямованому переміщенню великих мас повітря. Таким чином, повітряні маси увесь час перемішуються і переміщуються як у вертикальному напрямку, так і паралельно земній поверхні. Ці переміщення мають дуже складний характер і залежать від багатьох причин.

Річні зміни температури в берегових районах великих морів і океанів викликають циркуляцію більш великого масштабу, ніж бризи, звані мусонами. Вони діляться на морські і материкові, відрізняються, як правило, великими швидкостями і протягом ночі змінюють свій напрямок. Аналогічні процеси відбуваються в гірських місцях і долинах внаслідок різних рівнів нагріву та багатьох інших факторів. Характер циркуляції земної атмосфери ускладнюється внаслідок сил інерції, що виникає при обертанні Землі. Вони викликають різні відхилення повітряних течій, утворюється безліч циркуляцій, в більшій чи меншій мірі взаємодіючих між собою.

Зі збільшенням висоти швидкість вітру в середньому зростає, й на висоті 500 м вона майже вдвічі вища, ніж у землі. Сила і напрям вітру в різних зонах по-різному змінюються залежно від висоти над поверхнею землі. Так, на екваторі близько до земної поверхні розташована зона з відносно невеликими і змінними за напрямом швидкостями вітру, а у верхніх шарах виникають досить великі за швидкістю повітряні потоки в східному напрямку. На висоті від 1 до 4 км від поверхні Землі, в зоні між 30° північної і південної широтою утворюються досить рівномірні повітряні течії. У північній півкулі ближче до поверхні землі їх середня швидкість становить 7-9 м/с.

Навколо зони зниженого тиску утворюються великомасштабні циркуляції повітряних мас – в північній півкулі проти руху годинникової стрілки, а в південному – у напрямку її руху. Внаслідок нахилу 23,5° осі обертання Землі до площини її обертання відносно Сонця відбуваються

сезонні зміни теплової енергії, одержуваної від нього, величина яких впливає на швидкість і напрямок вітру над певною зоною земної поверхні.

На відносно великій висоті над поверхнею Землі (в середньому 8-12 км) в тропосфері виникають досить рівномірні і потужні повітряні течії, що отримали назву струмінних. Їх утворення викликано особливостями висотної атмосферної циркуляції, тому характеристики струмінних течій істотно відрізняються від параметрів приземного вітру.

Таким чином, тепла енергія, що безперервно надходить від Сонця, перетворюється в кінетичну енергію руху в атмосфері великих мас повітря. Вітер – величина векторна, яка характеризується двома основними параметрами: напрямком, в якому переміщується повітря, і швидкістю, з якою відбувається це переміщення. Напрямок вітру на практиці прийнято позначати тією частиною горизонту, відкідля він дує. Таким чином, вітер, при якому повітря переміщається з півдня на північ, буде південним.

Швидкість його зазвичай визначають у метрах за секунду, а у судноплавстві у вузлах.

З якісною характеристикою нерозривно зв'язане поняття швидкості вітру:

- 2...3 м/с – слабкий (ледь відчувається);
- 4...7 м/с – помірний (хитаються тонкі гілки дерев);
- 10...12 м/с – сильний (хитаються товсті гілки дерев);
- 15...20 м/с – буря;
- 20...30 м/с – шторм;
- більше 30 м/с – ураган.

Англійський військовий гідрограф і картограф, контр-адмірал Френсіс Бофорт (1774 – 1857) [14] запропонував в 1806 році умовну шкалу для оцінки сили вітру в балах за його впливом на наземні предмети і по хвилюванню моря. На прізвище автора шкала отримала назву "шкала Бофорта" і нею донині користуються моряки і до неї присусі дилися й вітроенергетики. В додатку 2 наведена згадана шкала і до неї додано дві графі: "вплив вітру на ВЕУ" і "Умови для роботи ВЕУ в даному діапазоні швидкості вітру". Ці дві графі та їх характеристики запропонували Дж. Твейдейл і А. Уейр в 1986 році. [14]

Вітер є одним з найбільш потужних енергетичних джерел, який здавна використовується людиною, і при сприятливих умовах може бути утилізований в значно більших масштабах, ніж це має місце в даний час. За орієнтовними оцінками, енергія, яка безперервно надходить від Сонця, відповідає сумарній потужності, що перевищує 1011 ГВт. Це визначає можливе річне вироблення енергії вітроагрегатами, рівне $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·год, що у багато разів перевищує кількість енергії, споживаної сьогодні людством. [14]

Згідно інформації Інституту відновлюваної енергетики АН України на території України в залежності від середньорічної швидкості вітру можливо виділити декілька областей, які можна використовувати для економічно

вигідного виробництва електричної енергії за допомогою вітрогенераторних установок. Це, насамперед, південні області України і Криму, а також передгір'я Карпат в західних областях України. [14]

Вітровий потік, зустрічаючи при русі на своєму шляху лопаті, віддає свою енергію вітроколесу. Внаслідок наявності аеродинамічних втрат вітроколесо використовує тільки частину потужності вітрового потоку. При цьому, в результаті безперервної зміни миттєвих швидкостей вітру в значних межах змінюється енергія вітрового потоку, а отже, потужність, що розвивається вітроколесом. Структура вітрового потоку за спостережуваний проміжок часу характеризується рядом величин: середньою швидкістю вітру його поривчастістю та мінливістю а також тривалістю провалів-підйомів швидкостей вітру вище або нижче середнього значення.

Енергетичні установки зазвичай використовують вітер у приземному шарі на висоті до 50...70 м, рідше – до 100...150 м від поверхні Землі, тому найбільший інтерес представляють характеристики руху повітряних потоків саме в цьому шарі. Найважливішою характеристикою, що визначає енергетичну цінність вітру, є його швидкість. В силу ряду метеорологічних чинників (збурення атмосфери, зміни сонячної активності, кількості теплової енергії, що поступає на Землю, і інших причин), а також внаслідок впливу рельєфних умов, безперервна тривалість вітру в даній місцевості, його швидкість і напрямок змінюються за випадковим законом. Тому потужність, яку може виробляти вітроустановка в різні періоди часу, вдається передбачати з дуже малою ймовірністю. У той же час сумарне вироблення агрегату, особливо за тривалий проміжок часу, можна розрахувати з високим рівнем достовірності, так як середня швидкість вітру і частота розподілу швидкостей протягом року або сезону змінюються незначно.

Одиницями вимірювання швидкості в Україні є метр в секунду (м/с) і кілометр за годину (км/год), за кордоном застосовують також миля за годину (1 миля/год = 0,44 м/с). Напрямок вектора швидкості вимірюється в градусах або румбах і показує його кутове положення щодо напрямку (зазвичай північного), прийнятого за початок відліку.

Для вимірювання миттєвої швидкості вітру, тобто шляху повітряного потоку, пройденого ним за проміжок часу, що вимірюється секундами або навіть частками секунд, користуються анемометрами різних конструкцій. Чим менше інтервал часу усереднення швидкості, тим менше інерційним повинно бути вітроприймаючий пристрій анемометра.

Тому для подібних вимірів використовують спеціальний клас приладів – малоінерційні. Усереднену за більш тривалі проміжки (кілька десятків секунд

або хвилин) швидкість потоку вимірюють анемометрами з інтегруючими пристроями різноманітних типів, які мають також прилади для отримання візуальних відліків і реєструють частину, що забезпечує запис швидкостей на стрічку. Похибка вимірювання швидкості анемометром може доходити до 5...7%, тому в тих випадках, коли потрібна велика точність,

наприклад при випробуваннях в аеродинамічній трубі вітродвигунів і їх моделей, використовують більш складні і точні прилади.

Миттєва швидкість вітру часто визначає динамічний вплив повітряного потоку на вітродвигун. Динамічні характеристики потоку, його пориви впливають на роботу автоматичних систем регулювання й орієнтації. Кількість енергії, яку може виробити вітроагрегат, залежить в першу чергу від усередненої швидкості вітру за певний інтервал часу і по всьому перерізу потоку, що дорівнює площі поверхні, яка обмахується вітроколесом. Саме ця швидкість в основному визначає також режими роботи агрегату.

Середня швидкість вітру $V_{\text{сер}}$ за вибраний проміжок часу $T = t_2 - t_1$ визначається відношенням суми вимірених значень миттєвої швидкості V до числа вимірювань n

$$V_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (2.1)$$

Середньодобову швидкість $V_{\text{доб}}$ знаходять діленням на 24 суми середньогодинних швидкостей $V_{\text{год}}$, а середньорічну $V_{\text{рік}}$ – діленням на 365 суми всіх $V_{\text{доб}}$ за рік.

Середні значення швидкостей в розглянутому районі, як правило, визначають за даними спостережень на метеостанціях, а в ряді випадків – за матеріалами анеморозвідок. В залежності від категорії та класу метеостанції, вимог та особливостей об'єктів, що знаходяться поблизу від обслуговуючих станцій, метеорологічні терміни спостережень за швидкістю вітру встановлюються різні. Найчастіше прийняті інтервали в 3, 4 або 6 год. з вимірами в певний час, але на деяких метеостанціях і спеціальних об'єктах ведуть безперервний запис швидкостей або проводять щогодинні спостереження.

Середні швидкості вітру змінюються в різний час доби, різні місяці і сезони. Тому розглядають добовий, місячний і сезонний хід швидкостей, що визначає загальну тенденцію їх зміни в зазначені періоди і оцінює макроструктуру повітряного потоку. Граничні значення швидкостей вітру, дані про його інтенсивність і мікроструктура потоку в різних точках його поперечного перерізу і поздовжнього вектора за відносно короткі інтервали часу є важливими режимними характеристиками вітру, що використовується в розрахунках на міцність і довговічність агрегатів, при проектуванні механізмів приводу, систем регулювання та орієнтації, схем спільного використання з іншими установками та ін.

Пульсації швидкості і, отже, енергії повітряного потоку викликаються загальним характером формування структури вітру, місцевими особливостями, зокрема ландшафтними та рельєфними. Нерідко причиною руйнування вітроагрегату є не стільки загальний рівень швидкості вітру, скільки його динаміка і структура варіацій швидкості за короткі проміжки часу, тобто прискорення потоку, тривалість поривів і їх збіг в різних точках поверхні, обмахуваної вітроколесом, нарешті, поривчастість потоку $K_{\text{пор}}$, що

є відношенням максимально заміряної швидкості V_{max} до середньої $V_{сер}$ за вибраний інтервал часу (зазвичай не більше 2 хв.):

$$K_{пор} = \frac{V_{max}}{V_{сер}} \quad (2.2)$$

Поривчастість вітру є функцією ряду факторів, регіональних і зональних умов і варіює в значних межах. Звичайно чим більше швидкість, тим менше $K_{пор}$, хоча абсолютні відхилення швидкості від середньої при пориві зростають.

Напрямок вітру звичайно відіграє меншу роль з точки зору його використання. Однак у кожних ландшафтних умовах вітри різних румбів мають неоднакову поривчастість і швидкість. Їх повторюваність визначають по розі вітрів – графіку, що показує, який відсоток від загальної кількості випадків, в різні пори року вітер має той чи інший напрямок (рис. 2.1).

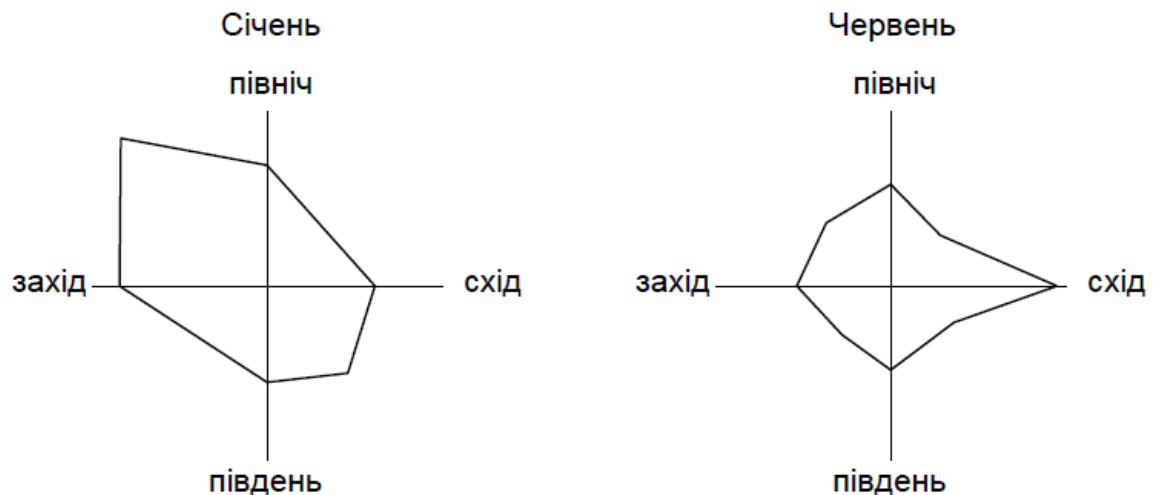


Рисунок 2.1 – Приклад рози вітрів

Повторюваність швидкостей вітру, які мають різні напрямки, змінюється в залежності від сезону і часу доби, в який проводиться вимірювання. Кутові градієнти швидкості істотно впливають на роботу механізмів автоматичної орієнтації і на величину навантажень, що виникають у вузлах і деталях ВЕУ під час повороту головки в процесі її орієнтації "на вітер".

Найважливіше значення для надійності і довговічності вітроенергетичної установки мають значення граничних швидкостей вітру в зоні. Вони визначають прийняті розрахункові нормативи при проектуванні вузлів і конструкцій установки на міцність, параметри регуляторів, аеродинамічні характеристики лопатей.

Важливою характеристикою є також вертикальний профіль вітру, тобто зміни його швидкості по висоті в приземному шарі. Вплив земної поверхні на швидкість і напрям вітру зменшується при збільшенні висоти. Тому швидкість зазвичай зростає, а поривчастість і прискорення потоку

знижуються. Градієнт швидкостей влітку, як правило, менше, ніж взимку, коли вертикальний перепад температур відносно невеликий.

На підставі даних спостереження швидкостей вітру по висоті деякими дослідниками [14, 8] виведено узагальнюючі формули для визначення швидкості вітру по висоті. З них найбільш проста залежність для висоти від 5 м і вище має наступне вираження:

$$V = V_{\phi} \left(\frac{h}{h_{\phi}} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.3)$$

де V_{ϕ} – швидкість вітру на висоті розташування флюгера; h_{ϕ} – висота розташування флюгера; V – швидкість, обумовлена для висоти h . Недоліком цієї формули є те, що вона не враховує впливу підстильної поверхні на швидкість вітру, а також турбулентності потоку поблизу поверхні землі. Якщо врахувати вплив цих факторів і, допустити, що на деякій висоті h_0 швидкість вітру дорівнює нулю, можна отримати наступну формулу:

$$V = V_1 \frac{\ln \frac{h_1}{h_0}}{\ln \frac{h_1}{h_0}} \quad (2.4)$$

де V – швидкість вітру на висоті h ; V_1 – відома швидкість вітру на висоті h_1 ; h_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює 0. Зазвичай h_0 розглядається як міра шорсткості підстильної поверхні; її величина дорівнює для сніжного покриву 0,5 см, для поверхні з низькою травою – 3,2 см, з більш високими рослинами – 5...7 см; $h_{0,max} = 20$ см.

Підстильна поверхня і рельєф місцевості мають великий вплив на швидкість вітру. Встановлено, що на висоті 10...20 м у рівнинному степу швидкість вітру змінюється в залежності від рельєфу місцевості. Швидкість вітру над вершинами відкрито розташованих хребтів з правильними, добре обтічними схилами без різкої зміни рельєфу, збільшується в 1,5...2 рази. Якщо височина не представляє правильного схилу або рельєф спотворений обривом, ярмом і т. п., то швидкості вітру зазвичай малі. Пагорби з крутими, обривистими, кам'янистими схилами обумовлюють досить низькі швидкості вітру; тут вирішальний вплив належить висхідним і нисхідним потокам.

Рельєф місцевості створює так звані місцеві вітри. Якщо повітряний потік зустрічає вершину, яка стоїть окремо, то він за деяких умов може обійти її, прямуючи по долині, а не над її гребенем. У разі руху вітру між двома підвищеннями його швидкість значно зростає. У долині між підвищеннями утворюється рід коридору, в який з силою спрямовується повітряний потік. Таким чином, створюються місцеві вітри, що досягають іноді великої сили при порівняно малих швидкостях вітру в сусідніх відкритих ділянках. Швидкість вітру також підвищується при обтіканні пагорбів, що мають більш-менш правильний обрис поверхні.

Отже різні перешкоди на земній поверхні сильно впливають на швидкість зростання і напрямок повітряних течій. Частина повітряного потоку при обтіканні перешкод з прямолінійного руху переходить в хаотичний, вихровий. Повітряні струмені, безпосередньо оточуючі краї перешкод, зриваються з них і закручуються в вихори, які несуться в напрямку повітряного потоку. На місці віднесених з'являються нові вихори і т. д. Це вихроутворення, утворюючись на гранях перешкоди, далеко за ним поступово загасає і зовсім припиняється на відстані приблизно п'ятнадцятикратної висоти перешкоди. Внаслідок цього швидкість повітряного потоку при проходженні його над дахом будинку значно підвищується, а позаду перешкоди убуває не тільки на рівні самої перешкоди, але навіть на декілька більшій висоті.

Вплив перешкод на швидкість вітру при збільшенні висоти над землею зменшується і на деякій висоті майже пропадає. Вітри нижніх шарів реагують на форму рельєфу місцевості. Нерівності, що при цьому зустрічаються, викликають вихори, несприятливі для роботи вітрогенераторів. Нестійкість вітру як по швидкості, так і по напрямку поширюється до висоти близько 80 м над землею.

Повторюваність вітру називають суму годин, протягом яких в будь-якому певному пункті в різний час дув вітер з однаковою швидкістю. Повторюваність основною величиною, що характеризує вітер з енергетичної сторони. Зважаючи на непостійність вітру, вивчення його повторюваності представляє дуже складну задачу. Російський дослідник М. М. Поморцев [14] вперше встановив залежність, яка дає оцінку повторюваності вітрів, близької до дійсної, в районах з середньорічними швидкостями, що не перевищують 5 м/сек. Він прийшов до висновку про показовий характер цієї залежності, що приводиться до виду нормальної кривої ймовірності Гауса:

$$\tau = \frac{dt}{dv} = A \cdot e^{-B(v-v_0)^4}$$

де параметри A і B можливо визначити або способом найменших квадратів за фактичними спостереженнями для цілих значень v_0 , або за теоретичною залежністю:

$$A = \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{\pi}} = \frac{\sqrt{(n-1)}}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{\sum (v-v_0)^2}}; B = \frac{n-1}{\sum (v-v_0)^2}, \quad (2.5)$$

де v – швидкість вітру; v_0 – середня швидкість вітру протягом обраного періоду; n – число доданків.

2.2 Вітер, як джерело енергії

Як і всяке рухоме тіло, вітер володіє певним запасом кінетичної енергії $E_{\text{кін}}$, і яка може бути перетворена в механічну роботу або електричну енергію за допомогою спеціальних пристроїв і установок, що одержали назву вітряних. Швидкість вітру є найважливішою характеристикою технічних

властивостей вітру. Кінетична енергія вітрового потоку E , як всякого тіла, що рухається зі швидкістю v і має масу m , дорівнює:

$$E_{\text{кін}} = \frac{mv^2}{2}. \quad (2.6)$$

У свою чергу маса повітря в перерізі перед вітроагрегатом є масовою витратою повітря, що могло би пройти через обмахувану площу S вітроколеса за одиницю часу, маючи густину ρ

$$m = \rho v A, \quad (2.7)$$

де $\rho = \frac{\gamma}{g}$ – масова щільність повітря; γ – питома вага повітря; g – прискорення сили тяжіння; A – площа, через яку протікає вітровий потік; v – швидкість вітру.

Обмахувана площа вітроколеса – це геометрична проекція площі вітроколеса на площину, перпендикулярну вектору швидкості вітру. У разі перпендикулярності вектора швидкості вітру до обмахуваної площі S , її величина визначається за формулами:

– для горизонтально-осьового вітродвигуна

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.8)$$

– для вертикально-осьового вітродвигуна

$$A = DH. \quad (2.9)$$

Тут діаметр вітроколеса D – це діаметр кола, описуваного найбільш віддаленими від осі обертання вітроколеса частинами лопатей, H – висота вертикальної вітротурбіни.

Розглянемо трубку потоку повітря радіусом R , зі швидкістю потоку v (рис. 2.2) і визначимо масу повітря, що проходить через перетин трубки в одиницю часу

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot dl = \rho \cdot A \cdot v \cdot \Delta t = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho \cdot \Delta t, \quad (2.10)$$

де ρ – питома густина повітря, кг/м³; V – об'єм, який займає повітря, м³; A та R – відповідно площа і радіус трубки потоку повітря, м², м; dl – елемент довжини потоку, який долається за час Δt .

Підставивши у вираз 2.6 значення маси повітря з 2.10, отримаємо рівняння для визначення кінетичної енергії повітряного потоку (вітру) та його потужності.

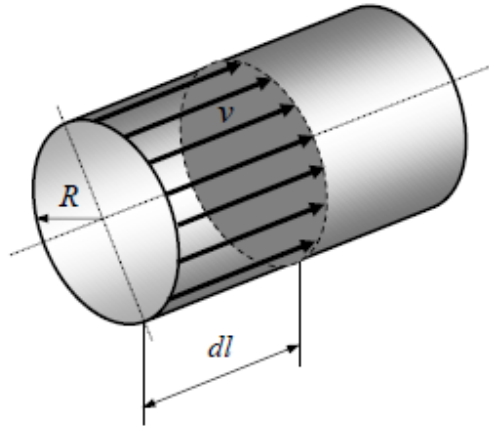


Рисунок 2.2 – Трубка потоку повітря [14]

$$E_{\text{кін}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot \Delta t; \quad (2.11)$$

$$P_B = \frac{E_{\text{кін}}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3; \quad (2.12)$$

Питома густина повітря ρ не є сталою величиною і залежить від тиску, температури і кількості водяної пари в повітрі. Щільність водяної пари менше густини сухого повітря, тому вологе повітря при тому ж тиску буде мати меншу густину, ніж сухе. Якщо розглядати повітря як ідеальний і сухий газ, то залежність густини повітря від тиску і температури набуває наступний вигляд

$$\rho = \frac{p}{R_S T}; \quad (2.13)$$

де p – тиск повітря, (Па = $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$); R_S – питома газова стала ($287,058 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$); T – абсолютна температура повітря, ($^{\circ}\text{К} = ^{\circ}\text{С} + 273,15$).

При нормальному атмосферному тиску (на рівні моря $p_0 = 101325 \text{ Па}$) і температурі повітря 0°С отримаємо:

$$\rho_0 = \frac{p}{R_S \cdot T} = \frac{101325}{287,058 \cdot 273,15} = 1,292 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

На рис. 2.3 наведена залежність зміни питомої густини повітря, розрахована за рівнянням (2.13) для сухого повітря і нормального атмосферного тиску в діапазоні температур від -25°С до $+35^{\circ}\text{С}$. Ця залежність носить нелінійний характер.

Для практичних розрахунків з похибкою, що не перевищує 0,75%, цю нелінійну криву можна замінити спадаючою апроксимуючою прямою, хід якої задовольняє наступному рівнянню:

$$\rho = \rho_0 - k \cdot T = 1,298 - 0,0046 \cdot T, \quad (2.14)$$

де T – температура повітря за шкалою Цельсія, $^{\circ}\text{С}$, $k = 0,0046$ – коефіцієнт пропорційності $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{С}}$

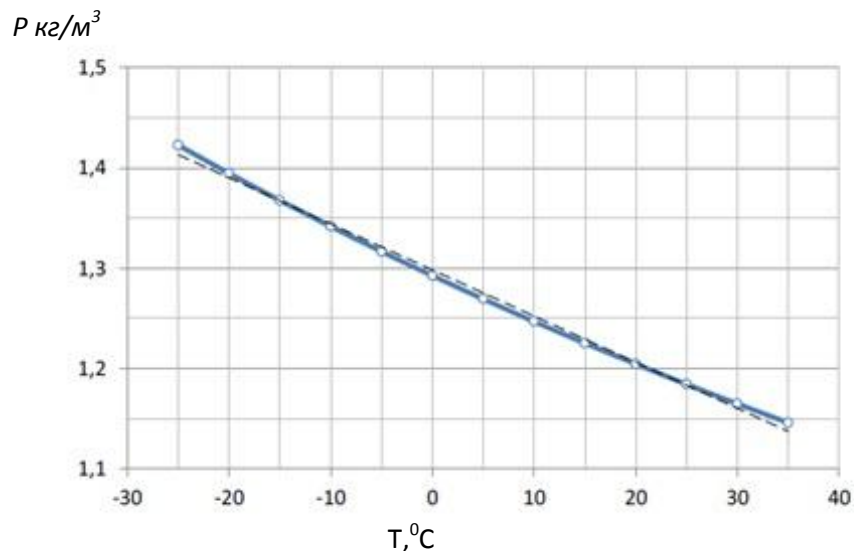


Рис. 2.3 – Залежність зміни питомої густини сухого повітря від температури при нормальному атмосферному тиску. [14]

На рис. 2.3 ця пряма представлена у вигляді штрихової лінії. Відомо, що з підвищенням висоти тиск повітря падає. На невеликих висотах, які використовуються у вітроенергетиці, кожні 12 метрів підвищення висоти призводять до зменшення атмосферного тиску на 1 мм.рт.ст. або 133,322 Па. Наприклад для потужних офшорних вітрогенераторних установок, які установлюються в прибережних зонах морів з висотою осі обертання лопатей вітряка 120 метрів, зміна тиску становитиме величину $\frac{133,322 \cdot 10}{101325} \cdot 100\% = 1,32\%$. Відповідно на цю ж, практично несуттєву величину, зменшиться залежна від тиску питома густина повітря. Зміна ж температури від $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ призведе до зменшення густини, а отже і маси повітря майже на 20%. Як приклад, з використанням виразів (2.7–2.9), визначимо масу повітря, що проходить за 1 секунду через омивану площу вітрового колеса установки E126 фірми Enercon GmbH (Німеччина) потужністю 7,5 МВт і діаметром вітрового колеса 126 метрів ($R = 63\text{ м}$), його кінетичну енергію та потужність [8].

При температурі повітря $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і номінальній для цієї установки швидкості вітру 16 м/с за 1 с ця маса складе:

$$m = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v \cdot \Delta t = (\rho_0 - k \cdot T) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v \cdot \Delta t \\ = (1.298 - 0.0046 \cdot 20) \cdot \pi \cdot 63^2 \cdot 16 \cdot 1 = 240 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

Таким чином, кожну секунду через омивану площу вітрового колеса, яка омивається повітрям, проходить 240 тон повітря. Це відповідає масі чотирьох повністю завантажених вугіллям залізничних вагонів.

Кінетична енергія цієї маси при швидкості вітру 16 м/с становить:

$$E_{\text{кін}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 240,6 \cdot 10^3 \cdot 16^2 = 30,8 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Відповідно потужність вітрового потоку складе

$$P_{\text{в}} = \frac{E_{\text{кін}}}{t} = \frac{30,8 \cdot 10^6}{1} = 30,8 \text{ МВт.}$$

Порівнюючи отриману вище потужність вітру з номінальною потужністю установки Е126 (7,5 МВт) можна побачити, що сумарний коефіцієнт корисної дії (далі ККД) перетворення системи вітер – електрична енергія нижче 30%. Це говорить про те, що перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ротора ВГУ, а потім і в електричну енергію відбувається з досить великими втратами. Однак вітер дається нам практично «безкоштовно», і в порівнянні з паровими машинами, що широко використовувались на початку і середині 20 століття і мали навіть у своїх кращих конструкціях ККД близько 7...9%, використання енергії вітру має безсумнівні переваги і на сьогоднішній день є економічно вигідним.

В даний час створено велику кількість вітрогенераторних установок з різними діаметрами вітрових коліс. Тому доцільно ввести поняття питомої потужності вітру $P_{0\text{в}}$, яка припадає на 1 м² омиваної площі вітрового колеса, яка омивається повітрям ($\pi R_2^2 = 1$). Це буде відповідати радіусу коліс 56,42 см. Або діаметру колеса порядку 113 см.

$$P_{0\text{в}} = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot (1.298 - 0.0046 \cdot T) \cdot 1 \cdot v^3 = (0.649 - 0.0023 \cdot T) \cdot v^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (2.15)$$

На рис. 2.4 наведена залежність питомої потужності вітру від його швидкості і температури навколишнього середовища при нормальному атмосферному тиску. Верхня крива відповідає температурі – 20 °С; нижня – температурі + 20 °С і середня – температурі 0 °С.

Питома потужність вітру зростає пропорційно кубу швидкості вітру з коефіцієнтом пропорційності, рівним половині питомої щільності повітря. При температурі 0 °С рівняння (2.15) набуває наступний вигляд:

$$P_{0\text{в}} \approx 0.649 \cdot v^3 \approx 0.65 \cdot v^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (2.16)$$

Наприклад, при швидкості вітру 10 м/с і температурі навколишнього середовища 0 °С, на кожен квадратний метр омиваної поверхні вітрового колеса доводиться 650 Вт потужності набігаючого повітряного потоку.

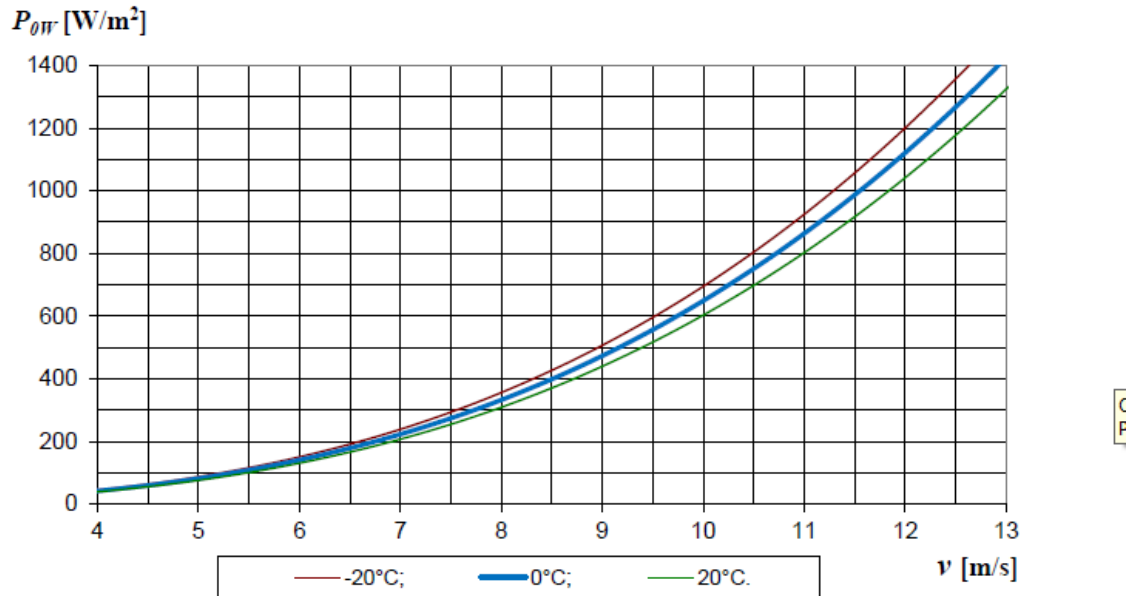


Рисунок 2.4 – Залежність питомої потужності вітру від його швидкості і температури при нормальному атмосферному тиску [14]

Температура робить істотний вплив на зміну питомої потужності. При швидкості вітру 10 м/с і діапазоні зміни температури повітря від +20 до –20 °С прибавка питомої потужності становить 92 Вт (див. рис. 2.4), що, наприклад при діаметрі вітрового колеса 126 метрів (установка Enercon E126) і площі ротора, яка дорівнює 12469 м², призводить до збільшення діючої на ротор сумарної потужності вітру на 1,15 МВт. При швидкості вітру 12 м/с прибавка питомої потужності становить вже 159 Вт і повна потужність зростає на 1,98 МВт. Таким чином, при однаковій швидкості вітру в зимовий період ВГУ виробляє електроенергії більше, ніж в літній період.

Практичний інтерес представляє питання: яку кількість енергії вітру взагалі можливо використовувати сучасними технічними засобами? Мінливість швидкості вітру за часом і висотою, відсутність досвіду експлуатації груп вітроенергетичних установок і станцій, не дозволяють точно визначити величину енергії вітру, можливу до практичного використання.

Наближений теоретичний підрахунок використовуваної вітроенергетичними установками енергії вітру виконаємо виходячи з розподілу вітроустановок на поверхні суші в шаховому порядку і (для виключення взаємного впливу вітроустановок) на відстані п'ятнадцятикратної величини діаметра вітроколеса. Дотримуючись шахового розподілу вітроустановок на поверхні землі, підрахуємо кількість енергії вітру на 1 км². Площа поверхні під один вітряк повинна дорівнювати:

$$F = 0.785 \cdot D^2 \quad (2.17)$$

де: $D = 15D$ – діаметр кола площі під один вітряк; D – діаметр вітроколеса вітроенергетичної установки, м.

Найбільш щільно розташуються вітряки, якщо взяти площу під кожен вітряк у вигляді правильного шестикутника. Площа такого шестикутника буде дорівнювати:

$$F_{\text{ш}} = 0.87 \cdot D^2 = 0,87 (15D)^2 = 196 \cdot D^2 \quad (2.18)$$

Розділивши 1 км^2 на $F_{\text{ш}}$, отримаємо кількість вітродвигунів, які можливо розмістити на 1 км^2 , а саме:

$$n = \frac{1000^2}{196 \cdot D^2} = \frac{5100}{D^2} \quad (2.19)$$

З урахуванням значень масової густини повітря і числа π можна отримати формулу для потужності кожної з вітроенергетичних установок, розміщених на площі 1 км^2 :

$$P = 0.000457 D^2 v^3 c_p \quad (2.20)$$

де c_p – коефіцієнт використання енергії вітру вітроустановкою. Помноживши останній вираз на n , отримаємо сумарну встановлену потужність вітроенергетичних установок, розміщених на 1 км^2 :

$$P_{\text{втан}} = 0,000457 D^2 v^3 c_p \cdot \frac{5100}{D^2} = 2,33 v^3 c_p \quad (2.21)$$

або

$$P_{\text{втан}} = 2,33 v^3 c_p \quad (2.22)$$

Для визначення річного виробітку енергії необхідно знати характеристику вітроенергетичної установки і повторюваність вітру в районі її розміщення. За характеристикою вітроустановки можна визначити коефіцієнт використання енергії вітру при різних швидкостях вітру, а по кривій повторюваності вітру можна визначити число годин роботи вітродвигуна протягом року при кожній швидкості вітру. У таблиці 2.1 наведено розрахункові дані значень встановленої потужності генераторів вітроенергетичних установок, які можна розмістити на 1 кв. км земної поверхні значення вироблюваної ними енергії для різних значень середньорічної швидкості вітру.

Валовий потенціал

Валовий (теоретичний) потенціал вітрової енергії регіону (країни, континенту) – це частина середньобогаторічної сумарної вітрової енергії, яка доступна для використання на площі регіону протягом одного року.

Розглянутий регіон представляється як сукупність ділянок, або зон, у кожній з яких питома потужність вітрової енергії, а також географічні,

кліматичні і погодні умови є однорідними по всій площі зони. Як правило, зони повинні відповідати розташуванню метеорологічних станцій. Валовий потенціал W_v , кВт·год/рік регіону представляє суму валових потенціалів складових його зон.

Таблиця 2.1 - Енергетичними характеристиками вітру є валовий, технічний і економічний ресурси або потенціали [8]

Середньорічні швидкості вітру, м/с	3	4	5	6	7	8	9	10
Встановлена потужність генераторів, працюючих від вітродвигунів на 1 км ² , кВт	297	435	618	790	1100	1480	1880	2400
Річне вироблення енергії, що отримане з 1 км ² , тис. кВт·год	445	680	1060	1550	2220	3040	3950	5120

Питомий валовий потенціал вітрової енергії зони визначається середньою питомою потужністю вітрового потоку P , кВт/м²:

$$W_{\text{пит.в}} = \frac{\langle P \rangle T}{20}. \quad (2.23)$$

де $T = 8760$ год/рік.

Розглянемо виведення формули (2.23), оскільки це є надзвичайно важливим моментом для визначення всіх енергетичних характеристик. Валовий потенціал визначається відповідно до допущення, що при обтіканні повітряними потоками перешкоди ("повітряної греблі") висотою "Н" збурений потік повністю відновлюється на відстані рівній $20H$ після перешкоди.

Тоді модель визначення валового потенціалу вітрової енергії представляє систему "повітряних гребель" висотою H , орієнтованих перпендикулярно напрямку вітру і розташованих на плоскій поверхні Землі з відстанню $20H$ один від одного.

Для кожної прямокутної площадки зі сторонами a і b ($S = ab$) з відомою питомою енергією ($S = ab$, Вт·год/м²) проходять над майданчиком повітряних мас задача визначення валового потенціалу зводиться до визначення величини площин, що пересікаються повітряними потоками і кількості цих площин ("рамок") на майданчику. Це пояснюється на рис. 2.5.

Очевидно, площа "рамок" дорівнює:

$$A = aH,$$

а кількість рамок на майданчику

$$n_p = \frac{b}{20H}$$

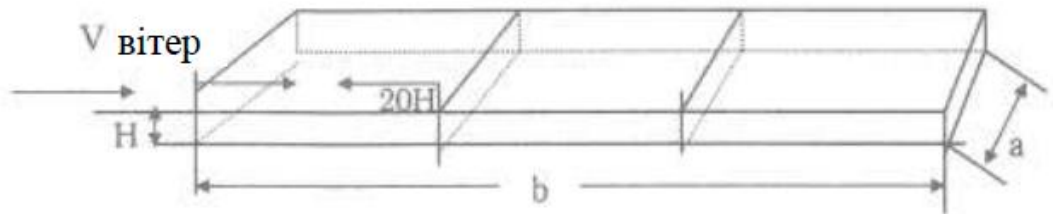


Рисунок 2.5 – Модель визначення валового потенціалу вітрової енергії [14]

Загальна площа, що пересікається повітряними потоками

$$S_{\text{розр}} = An_p = \frac{abH}{20H} = \frac{20}{H}. \quad (2.24)$$

Очевидно, що формула (2.20) не зміниться, якщо сторони a і b поміняти місцями по відношенню до швидкості вітру. Тоді валовий потенціал вітрової енергії над ділянкою площею S дорівнюватиме,

$$W_B = E_B S_{\text{розр}} = E_B \frac{20}{H} = \frac{\rho T S \sum_{i=1}^n V_i^3 t_i}{20}, \quad (2.25)$$

Отже, виходить, на перший погляд, парадоксальний результат. Вітрова енергія насправді залежить від площі перетину перпендикулярного швидкості вітру, а у формулі (2.21) вона залежить від площі на поверхні землі. Очевидно весь "фокус" в відстані, взятої між "повітряними" потоками.

Як видно з формули валовий потенціал в явному вигляді не залежить від товщини шару H . Ця залежність проявляється через швидкість вітру, яка застосовується для розрахунку потенціалу. Проте, наведені в таблиці 2.2 дані дозволяють обчислити орієнтовні значення валового потенціалу в будь-якій точці на базі питомого валового потенціалу на висоті 50 м над поверхнею землі при різних географічних характеристиках місцевості. Виділені п'ять градацій середньорічних швидкостей вітру v , м/с, відповідають значенням питомого валового потенціалу вітрової енергії, представленого в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Середньорічні швидкості вітру v , м/с, і питомі валові потенціали вітрової енергії, кВт·год/(м²·рік) (на висоті 50 м над рівнем Землі)

Закрита місцевість		Відкрита місцевість		Морський берег		Відкрите море		Пагорби і гори	
v	$W_{\text{пит.в}}$	v	$W_{\text{пит.в}}$	V	$W_{\text{пит.в}}$	v	$W_{\text{пит.в}}$	v	$W_{\text{пит.в}}$
>6,0	> 110	>7,5	>220	>8,5	> 310	> 9,0	>350	>11,5	>790
5-6,0	66-110	6,5-7,5	130-220	7,0-8,5	180-310	8,0-9,0	260-350	10-11,5	530-790
4,4-5,0	44-66	5,5-6,5	88-130	6,0-7,0	110-180	7,8-8,0	180-260	8,5-10	310-530
3,5-4,5	22-44	4,5-5,5	44-88	5,0-6,0	66-110	5,5-7,0	88-180	7,0-8,5	180-310
<3,5	<22	< 4,5	<44	< 5,0	<66	< 5,5	<88	<7,0	<180

Валовий потенціал зони (території) визначається за формулою:

$$W_b = W_{yB} S, \quad (2.26)$$

де S , м² – площа зони земної поверхні.

Технічний потенціал

Технічний потенціал вітрової енергії регіону – це сумарна електрична енергія, яка може бути отримана в регіоні від використання валового потенціалу вітрової енергії при сучасному рівні розвитку технічних засобів і дотриманні екологічних норм.

Технічний потенціал регіону являє суму технічних потенціалів складових його зон. Технічний потенціал, таким чином, залежить від параметрів вітроенергетичної установки, середньорічної швидкості вітру в зоні на висоті оголовка, а також частини площі зони, придатної для спорудження установки. Технічний потенціал може бути визначений за формулою:

$$W_T = W_B c_p \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{мех}} \frac{S_T}{S}, \quad (2.27)$$

де: c_p – коефіцієнт використання енергії вітру, який залежить від швидкості вітру по складному закону, змінюючись від максимального значення рівним 0,593, до мінімального порядку 0,05. Досягнуте максимальне значення складає 0,4-0,45. Для зазначених вище цілей коефіцієнт приймається 0,2; $\eta_{\text{ген}}$ і $\eta_{\text{мех}}$ – відповідно ККД генератора і редуктора вітроустановки, значення яких можна прийняти рівним 0,9; S_T – площа зони (регіону) на якому з урахуванням технічних і екологічних обмежень можливе розміщення вітроустановок. Попередні оцінки показують, що величина цієї площі може коливатися від 10 до 30% всієї площі зони (регіону). Приймаємо S_T рівною 12%.

Підставляючи в (2.28) зазначені вище значення, отримаємо співвідношення між валовим і технічним потенціалами:

$$\frac{W_T}{W_B} = 0.02 \quad 2.28$$

Економічний потенціал

Економічний потенціал вітрової енергії регіону – це величина річного надходження електричної енергії в регіоні від використання ВЕУ, отримання якої економічно виправдане для регіону при існуючому рівні цін на будівельно-монтажні роботи, обладнання, виробництво, транспортування і розподіл енергії і палива і дотриманні екологічних норм.

Економічний потенціал регіону являє суму економічних потенціалів складових його зон. На основі аналізу даних щодо відведення площ для розміщення вітроенергетичних установок і технічних характеристик ВЕУ в провідних країнах світу приймаємо, що технічний потенціал регіону становить 2% від його валового потенціалу, а економічний потенціал складає 0,5% від технічного потенціалу цього регіону.

3 ОЦІНКА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ

3.1 Вихідні дані та методи дослідження

В роботі розраховано повторюваність напрямків та швидкостей вітру за 12 місяців в період 2012 – 2017 роки. В якості вхідних даних використані дані восьмистрокових спостережень за напрямком та швидкістю вітру станції Одеса-ГМО. За цими даними розраховані повторюваності напрямків вітру та швидкості по градаціях 0-2, 3-4 і ≥ 5 м/с. За отриманими результатами, які представлені в таблицях 3.1 3.2 побудовані рози вітрів (рис. 3.1 – 3.4).

Для оцінки вітроенергетичного потенціалу Одеського регіону використані результати даного дослідження, а також досліджень, виконаних на кафедрі метеорології та кліматології для станцій Одеської області [15].

В даний час створено велику кількість вітрогенераторних установок з різними діаметрами вітрових коліс. Тому доцільно ввести поняття питомої потужності вітру P_{0B} , яка припадає на 1 м² омиваної площі вітрового колеса, яка омивається повітрям ($\pi R_2 = 1$). Це буде відповідати радіусу коліс 56,42 см. Або діаметру колеса порядку 113 см.

$$P_{0B} = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot (1.298 - 0.0046 \cdot T) \cdot 1 \cdot v^3 = (0.649 - 0.0023 \cdot T) \cdot v^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (3.1)$$

Питома потужність вітру зростає пропорційно кубу швидкості вітру з коефіцієнтом пропорційності, рівним половині питомої щільності повітря. При температурі 0 °С рівняння (2.15) набуває наступний вигляд:

$$P_{0B} \approx 0.649 \cdot v^3 \approx 0.65 \cdot v^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (3.2)$$

де P_{0B} – питома потужність набігаючого вітрового потоку, v^3 - куб швидкості вітру.

Наділі будем використовувати формулу 3.2 для розрахунку питомої потужності набігаючого вітрового потоку.

В роботі будуть розраховані статистичні характеристики, а саме:

- $\bar{V}$ - середня швидкість вітру, розраховується вона за формулою 3.3

$$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \quad (3.3)$$

- $V_{\max}$ - максимальна швидкість вітру за розрахунковий період

- σ_x - середнє квадратичне відхилення, розраховується за формулою 3.4

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(v_i - \bar{v})^2}{n}} \quad (3.4)$$

- C_v - коефіцієнт варіації, розраховується за формулою 3.5

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{v}} \quad (3.5)$$

- As – коефіцієнт асиметрії, розраховується за формулою 3.6

$$As = \frac{(\bar{v} - Me)}{\sigma_x} \quad (3.6)$$

- $\overline{(V)^3}$ - куб швидкості, розраховується за формулою 3.7

$$\overline{(V)^3} = \frac{V_1^3 + V_2^3 + \dots + V_n^3}{n} \quad (3.7)$$

Представлені статистичні характеристики занесені в таблицю 3.3

3.2 Режимні характеристики вітру в районі Одеса - ГМО

В багатьох дослідженнях, які стосуються використання нетрадиційних джерел енергії, зокрема вітрової, показано, що мінімальне порогове значення швидкості вітру для запуску вітрогенератора потрібно, щоб середньорічна швидкість вітру перевищувала порогове значення 2,5 м/с [1].

Із сказаного випливає, що для оцінки вітроенергетичного потенціалу Одеси, тобто для розрахунку запасів кінетичної енергії і характеристик вітрових генераторів потрібне дослідження вітрового режиму в районі Одеси.

Як відзначалося вище, для виконання роботи використані дані восьми стропових спостережень за швидкістю і напрямком вітру. Відомо, що найбільш важливою характеристикою, що визначає енергетичну цінність вітру, є його швидкість, але хоча напрямок вітру відіграє меншу роль, відомості про переважаючі напрямки вітру при різних швидкостях вітру в питаннях вітроенергетики можуть бути корисними.

В даному дослідженні для кожного місяця розглянутого періоду розраховані повторюваності вітру за вісьмома румбами для трьох градацій швидкості вітру: 0-2, 3-4, ≥ 5 м/с.

Результати розрахунків, які представлені в таблиці 3.1, показують, що слабкі вітри (0-2 м/с) при всіх окремих напрямках, мають невелику повторюваність, яка не перевищує 6,5%. При цьому в межах одного кліматичного сезону максимальна повторюваність припадає на різні напрямки. Так, в зимовий період: в січні і грудні найбільша повторюваність градації 0-2 м/с припадала на південну, тобто на південну. тобто на південно-східний, південний і південно-західний напрямки (майже 14%). У весняні місяці повторюваність вітру 0-2 м/с, як в січні і грудні, припадає на південно-західну чверть і коливається в межах: біля 10% в квітні і 20% в березні.

В квітні та осінні місяці, за виключенням червня, повторюваність слабого вітру в південно-західній чверті змінюється приблизно від 10 до 16%. Особливістю розподілу повторюваності за напрямком в серпні і вересні є те, що вітер швидкістю 0-2 м/с спостерігається при всіх напрямках практично з однаковою частотою (біля 3%).

Відзначимо, що відомості про повторюваність слабого вітру різних напрямків можуть бути використані при дослідженні забруднення атмосферного повітря, але для вітроенергетики важливими є градації 3-4 і ≥ 5 м/с. Знову повернемося до таблиці 3.1.

Як показують дані таблиці, вітри зі швидкістю 3-4 м/с в усі місяці спостерігаються практично при всіх напрямках вітру, але найбільша їх повторюваність припадає на північні, західні, та північно-західні напрямки. При цьому взимку повторюваність складає 22-26%, навесні 23-24%, влітку 19-25%, а восени 16-19%, тобто при напрямках вітру північно-західної чверті для використання вітрогенераторів сприятливі. Слід відзначити, що в окремі місяці підвищена повторюваність градації 3-4 м/с отримана також для північно-східного напрямку. Наприклад, в січні, лютому і червні Р дорівнює приблизно 10%, а в серпні і вересні -8.

Вище відмічалось, що швидкість вітру 2,5 м/с є пороговою для старту вітрогенераторів, але вітрові електростанції можна встановлювати, якщо середньорічна швидкість вітру значно перевищує це значення. Тому розглянемо повторюваність вітрів, швидкість яких дорівнювала або перевищувала 5 м/с.

З таблиці 3.1 видно, що вітри з мінімальними швидкостями підвищену повторюваність мають в основному при північних та північно-західних напрямках: значення ймовірності змінюються по місяцях від 10 до 26%, для західних напрямків ймовірність не перевищує 7%, а північно-східні в деякі місяці відсутні, а для лютого, червня і серпня максимальне значення Р не перевищує 10.3%.

Таким чином, із аналізу таблиці 3.1 випливає, що найбільш часто на ст. Одеса - ГМО фіксуються швидкості вітру в діапазоні 3-4 м/с, їх найбільша повторюваність для північно-західної чверті, швидкості ≥ 5 м/с найбільш часто повторюються при північних та північно-західних напрямках.

В таблиці 3.1 наведені також відомості про повторюваність напрямків вітру за румбами незалежно від швидкості. Для наочності і за цими даними побудовані рози вітрів які представлені на рисунках 3.5 та 3.6. Видно що максимальна повторюваність маюць вітри північно-західної чверті в усі місяці крім січня, лютого, червня і серпня, коли влітку повторюваності мали північно-східні вітри (для перелічених місяців Р= приблизно 20%) на частину вітрів північно-західної чверті припадає 50-65% від загальної кількості випадків.

Важливим вітроенергетичним показником є середньорічна швидкість вітру. За даними роботи [15] середня за рік швидкість на ст. Одеса -ГМО складає 2,9 м/с за період 2001-2010 рр. В цей період середньорічні швидкості вітру по місяцях перевищує порогове значення 2,5 м/с в усі місяці крім літніх, коли швидкість дорівнювала 2.4, 2.3 та 2.2 м/с відповідно у червні, липні і серпні.

Вітрові електростанції є сенс встановлювати, якщо в місці встановлення середньорічна швидкість вітру перевищує мінімальне порогове значення швидкості вітру для старту вітрогенератора, а саме швидкість в 2,5 м/с.

Дослідивши вітровий режим Одеси можна визначити, чи є доцільним встановлення вітряків в Одесі. Враховуючи що середня висота міста над рівнем моря 40 м, то втрати потужності із-за висоти встановлення не буде. Бо коефіцієнти K зміни потужності генератора, в залежності від висоти розташування над рівнем моря такі: до 150м – $K=1$; 150-300м – 0,97; 300-600м – 0,94; 600-900м – 0,91; 900-1200м – 0,88 ; 1200-1500м – 0,85; 1500-1800м – 0,82; 1800-2100м – 0,79; 2100-2400м – 0,76; 2400-2700м – 0,76; 2700-3000м – 0,70 [13].

Враховуючи вище сказане, про мінімальне порогове значення швидкості вітру, дані спостережень по вітру було розбито на градації 0-2, 3-4 та ≥ 5 м/с (табл 3.1), та розрахована їх повторюваність стосовно 8 румбів. Отримані дані було проаналізовано з точки зору вітроенергетики, а саме, градації 3-4 та ≥ 5 м/с, які є стартовими та енергоефективними швидкостями вітру, для їх використання в вітровій енергетиці. Далі було зсумовано повторюваності вітру за кожним румбом, та по отриманим розрахункам побудовані рози вітрів (рис 3.1). Використовуючи рози вітрів були зроблені висновки стосовно пануючого напрямку вітру.

Таблиця 3.1 – Повторюваність P (%) швидкостей вітру по румбах в період 2012 – 2017 рр.

місяці	градації швидкостей вітру	Напрямки вітру (румби)								
		Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	сума
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
січень	0-2	3	6	0	0	6	3	6	0	26
	3-4	6	10	3	3	0	6	3	6	39
	≥ 5	13	3	3	0	0	0	6	10	35
	сума	23	19	6	3	6	10	16	16	100
лютий	0-2	3	0	0	3	3	7	0	0	17
	3-4	7	10	7	3	7	3	7	7	52
	≥ 5	7	10	7	0	0	0	3	3	31
	сума	17	21	14	7	10	10	10	10	100
березень	0-2	3	6	0	0	6	6	6	0	29
	3-4	10	3	3	3	0	6	10	6	42
	≥ 5	10	0	0	0	0	0	6	13	29
	сума	23	10	3	3	6	13	23	19	100
квітень	0-2	3	0	0	3	3	7	0	3	21
	3-4	7	7	3	3	7	3	10	7	48
	≥ 5	7	3	7	0	0	3	7	3	31
	сума	17	10	10	7	10	14	17	14	100
травень	0-2	3	6	0	0	6	3	6	0	26
	3-4	6	3	3	3	0	6	10	6	39
	≥ 5	13	0	3	0	0	0	6	13	35
	сума	23	10	6	3	6	10	23	19	100

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
червень	0-2	3	0	0	3	3	7	7	3	27
	3-4	7	10	7	3	7	3	7	7	50
	≥ 5	3	7	3	0	0	0	7	3	23
	сума	13	17	10	7	10	10	20	13	100
липень	0-2	3	6	0	0	6	3	6	3	29
	3-4	6	6	3	3	0	6	6	6	39
	≥ 5	13	0	3	0	0	0	6	10	32
	сума	23	13	6	3	6	10	19	19	100
серпень	0-2	3	3	3	3	3	3	3	6	29
	3-4	10	6	10	3	3	3	6	3	45
	≥ 5	10	10	0	0	0	0	3	3	26
	сума	23	19	13	6	6	6	13	13	100
вересень	0-2	3	3	3	3	3	3	3	7	30
	3-4	10	10	7	3	3	3	7	0	43
	≥ 5	10	10	0	0	0	0	3	3	27
	сума	23	23	10	7	7	7	13	10	100
жовтень	0-2	3	3	0	0	6	3	6	3	26
	3-4	6	6	3	3	0	6	6	6	39
	≥ 5	10	3	3	0	0	3	6	10	35
	сума	19	13	6	3	6	13	19	19	100
листопад	0-2	3	6	3	0	3	3	6	3	29
	3-4	6	3	3	3	3	6	6	10	42
	≥ 5	13	0	0	0	0	0	6	10	29
	сума	23	10	6	3	6	10	19	23	100
грудень	0-2	3	6	0	0	6	3	6	0	26
	3-4	6	3	3	3	0	6	10	6	39
	≥ 5	13	0	3	0	0	0	6	13	35
	сума	23	10	6	3	6	10	23	19	100

Таблиця 3.2 – Число випадків швидкостей вітру по румбах в період 2012 – 2017 рр.

місяці	градації швидкостей вітру	Напрямки вітру (румби)								
		Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	сума
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
січень	0-2	6	12	0	0	12	6	12	0	48
	3-4	12	18	6	6	0	12	6	12	72
	≥ 5	24	6	6	0	0	0	12	18	66
	сума	42	36	12	6	12	18	30	30	186
лютий	0-2	6	0	0	7	6	12	0	0	31
	3-4	13	18	12	6	12	6	12	12	91
	≥ 5	12	12	12	0	0	0	6	6	48
	сума	31	30	24	13	18	18	18	18	170

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
березень	0-2	6	12	0	0	12	12	12	0	54
	3-4	18	6	6	6	0	12	18	12	78
	≥ 5	18	0	0	0	0	0	12	24	54
	сума	42	18	6	6	12	24	42	36	186
квітень	0-2	6	0	0	6	6	12	0	6	36
	3-4	12	12	6	6	12	6	18	12	84
	≥ 5	12	6	12	0	0	6	12	12	60
	сума	30	18	18	12	18	24	30	30	180
травень	0-2	6	12	0	0	12	6	12	0	48
	3-4	12	6	6	6	0	12	18	12	72
	≥ 5	24	0	6	0	0	0	12	24	66
	сума	42	18	12	6	12	18	42	36	186
червень	0-2	6	0	0	6	6	12	12	6	48
	3-4	12	18	12	6	12	6	12	12	90
	≥ 5	6	12	6	0	0	0	12	6	42
	сума	24	30	18	12	18	18	36	24	180
липень	0-2	6	12	0	0	12	6	12	6	54
	3-4	12	12	6	6	0	12	12	12	72
	≥ 5	24	0	6	0	0	0	12	18	60
	сума	42	24	12	6	12	18	36	36	186
серпень	0-2	6	6	6	6	6	6	6	12	54
	3-4	18	18	12	6	6	6	12	6	84
	≥ 5	18	18	0	0	0	0	6	6	48
	сума	42	42	18	12	12	12	24	24	186
вересень	0-2	6	6	6	6	6	6	6	12	54
	3-4	18	18	12	6	6	6	12	0	78
	≥ 5	18	18	0	0	0	0	6	6	48
	сума	42	42	18	12	12	12	24	18	180
жовтень	0-2	6	6	0	0	12	6	12	6	48
	3-4	12	12	6	6	0	12	12	12	72
	≥ 5	18	6	6	0	0	6	12	18	66
	сума	36	24	12	6	12	24	36	36	186
листопад	0-2	6	12	6	0	6	6	6	6	48
	3-4	12	6	6	6	6	12	12	18	78
	≥ 5	24	0	0	0	0	0	12	18	54
	сума	42	18	12	6	12	18	30	42	180
грудень	0-2	6	12	0	0	12	6	12	0	48
	3-4	12	6	6	6	0	12	18	12	72
	≥ 5	24	0	6	0	0	0	12	24	66
	сума	42	18	12	6	12	18	42	36	186

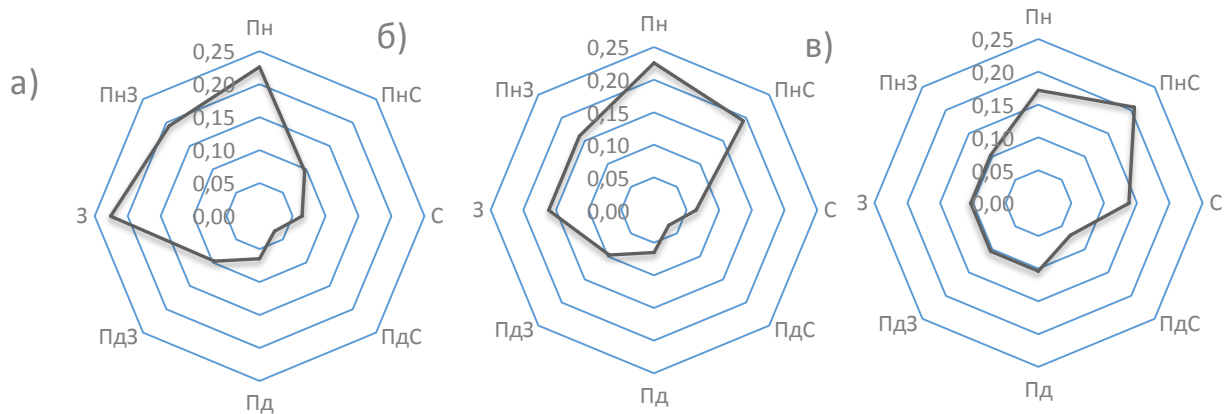


Рис. 3.1 Повторюваність (Р, %) вітру в зимовий період (період 2012 – 2017рр): а) грудень; б) січень; в) лютий.

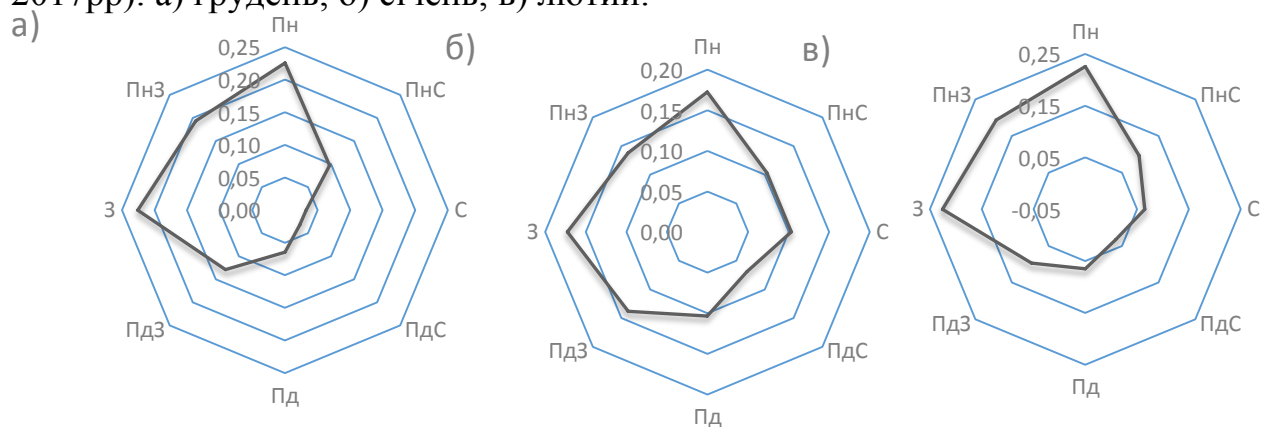


Рис. 3.2 Повторюваність (Р, %) вітру в весняний період (період 2012 – 2017рр): а) березень; б) квітень; в) травень.

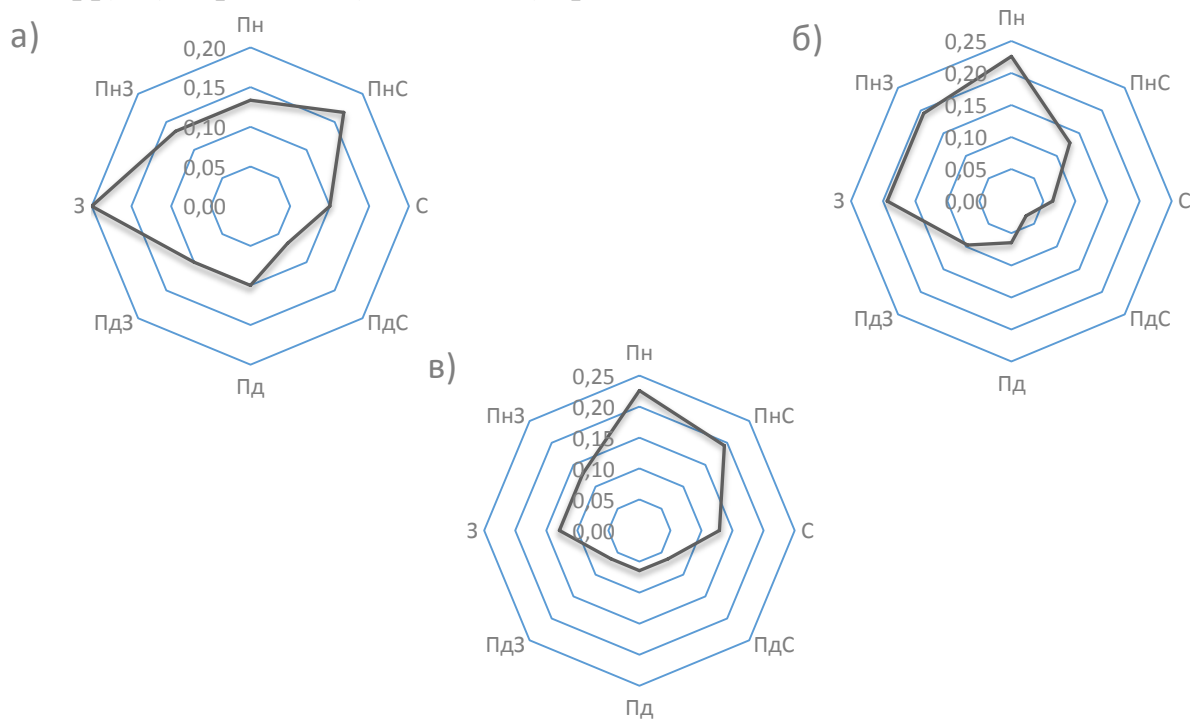


Рис. 3.3 Повторюваність (Р, %) вітру в літній період (період 2012 – 2017рр): а) червень; б) липень; в) серпень.

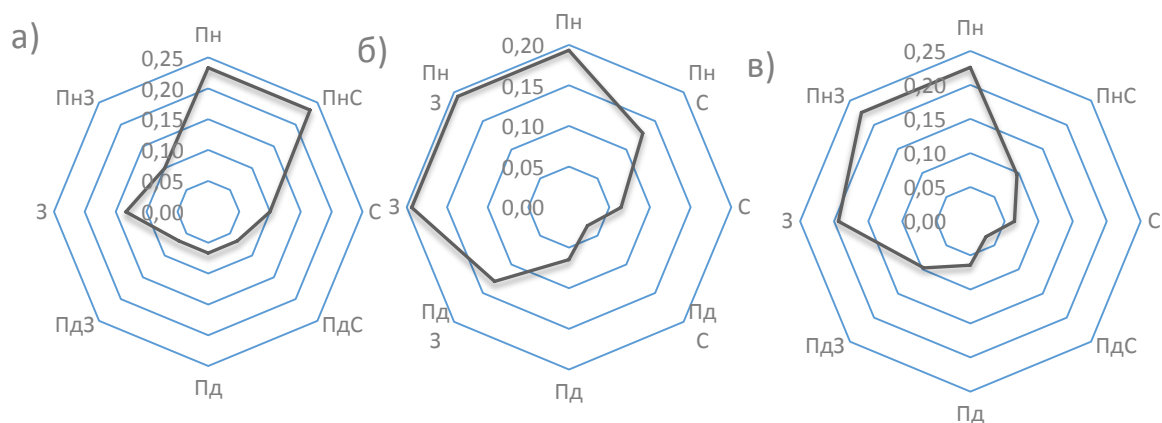


Рис. 3.4 Повторюваність (Р, %) вітру в осінній період (період 2012 – 2017рр): а) вересень; б) жовтень; в) листопад.

Вихідними вимогами до розгортання вітроенергетичних пристроїв (далі ВЕП) є наявність вітроенергетичного потенціалу, який можна оцінити за значенням середньорічної швидкості вітру 2,5 м/с та більше. При цьому сприятливою умовою є сталість швидкості вітру, яка характеризується коефіцієнтом варіації не більше, ніж 0,5 [6,7].

В таблиці 3.3 представлені статистичні характеристики для швидкості вітру для чотирьох АМСЦ, які розглядаються.

Таблиця 3.3 Статистичні характеристики швидкості вітру для ст. Одеса - ГМО

	201 2	201 3	201 4	201 5	201 6	201 7
$\bar{V}$	2,8	2,7	3,2	2,8	2,7	2,9
$V_{\max}$	17,0	17,0	14,0	15,0	18,0	16,0
σ_x	2,01	2,12	2,04	2,01	2,02	2,01
C_v	0,71 3	0,77 1	0,63 7	0,71 3	0,73 5	0,69 4
Me	0,7	0,6	1,5	0,7	0,6	0,8
Mo	0,7	0,6	1,5	0,7	0,6	0,8
As	1,1	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0
$(\bar{V})^3$	22,5	20,8	33,1	22,5	20,7	24,4
$\overline{(V)^3}$	90,4	53,8	99,5	72,4	71,0	73,0

Проаналізувавши таблицю 3.3 можна зробити висновок, що мінливість швидкості вітру на ст. Одеса-ГМО є незначна, бо середнє квадратичне відхилення змінюється в проміжку від 2,01 до 2,12. Проте ці дані є розрахованими для висоти флюгера ($h_0=10$ м), для роботи буде доцільнішим розрахувати ці показники для швидкості вітру на висоті осі вітрогенератора ($h=130$ м) Для конвертації величини швидкості вітру на величину швидкості вітру на висоті h , скористаємось формулою 3.8 (вважаємо, що $k=0,2$)

$$v_h = v_{h_0} \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^k = v_{h_0} \cdot \left(\frac{130}{10}\right)^{0.2} = v_{h_0} \cdot 1.67 \quad (3.8)$$

Перерахувавши значення швидкості вітру з висоти флюгера на висоту осі вітрогенератора, отримуємо таблицю 3.4, дані з якої є більш корисними для розрахунку питомої потужності вітрогенератора на ст. Одеса-ГМО, та для розрахунку вітрового потенціалу даної місцевості.

Таблиця 3.4 Статистичні характеристики швидкості вітру для ст. Одеса – ГМО на висоті 130 м.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
$\bar{V}$	4,7	4,6	5,4	4,7	4,6	4,8
$V_{\max}$	17,0	17,0	14,0	15,0	18,0	16,0
σ_x	3,89	4,14	3,71	3,89	3,93	3,85
C_v	0,713	0,771	0,637	0,713	0,735	0,694
Me	4,8	5,1	3,2	4,8	5,1	4,5
Mo	0,4	0,4	0,0	0,3	0,4	0,2
As	2,0	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
$(\bar{V})^3$	104,7	96,5	153,9	104,7	96,6	108,8
$\overline{(V)^3}$	421,4	250,9	463,6	337,4	331,0	340,4

Аналізуючи таблицю 3.4 видно, що середні швидкості вітру на висоті 130 м майже вдвічі вищі ніж на висоті флюгера, і вони є такими, при яких вітрогенератор працює з великим КПД. Проте мінливість швидкості вітру, а також його відхилення, значно вищі ніж на поверхні землі.

Середньорічні швидкості вітру на ст. Одеса – ГМО, які спостерігаються в період з 2012 по 2017 роки перевищують порогове значення 2,5 м/с (табл. 3.4)

Ефективно, проте не вичерпно, природні вітроенергетичні ресурси можна оцінити за допомогою середнього куба швидкості [1]. Середній куб швидкості в даний період змінюється від 250,9 до 463,6 м/с.

З використанням формули 3.2 та даних про куб швидкості вітру з таблиці 3.4 розрахована питома потужність вітру $P_{ОВ}$ для ст. Одеса- ГМО. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.5. Для прикладу наведемо значення питомої потужності вітру $P_{ОВ}$ для ст. Одеса - ГМО в 2012 році; це значення складає: $P_{ОВ} = 0.65 \cdot 421,4 \approx 273,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Таблиця 3.4 Питомі потужності вітру $P_{ОВ}$ (Вт/м²) для ст. Одеса- ГМО в період 2012-2017

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
$(\overline{V})^3$	421,4	250,9	463,6	337,4	331,0	340,4	357,4
$P_{ОВ}$	273,9	163,1	301,3	219,3	215,2	221,2	232,3

Отримані в таблиці 3.4 дані дають відомість про те, яку в середньому питому потужність вироблятиме вітрове колесо з набігаючого повітряного потоку на кожен квадратний метр омиваної поверхні вітрового колеса. Знаючи ці дані, та використовуючи формулу для знаходження площі круга $S = \pi \cdot r^2$ розрахуємо питому потужність вітрового колеса радіусом від 10 до 50 м. Розрахунки внесемо в таблицю 3.5

Таблиця 3.5 Питома потужність $P_{ОВ}$ вітрового колеса радіусом від 10 до 60 м

R, м	10	20	30	40	50	60
$S, \text{м}^2$	314	1256	2826	5024	7850	11304
$P_{ОВ}, \text{кВт}$	72.9	291.8	656.6	1167.3	1823.9	2626.4

Із табл 3.5 видно, що зі збільшенням радіуса вітрового колеса, збільшується і його питома потужність. Але Одеса це місто з густою забудовою, тому поставити вітрове колесо достатнього радіуса, щоб вироблялась достатня кількість енергії не є можливим, тому для промислового використання вітрової енергії в місті не є доцільним, але для приватного використання це є цілком доцільно, вистачить вітрового колеса радіусом 20 м для того, щоб задовольнити потреби одного приватного будинку.

Отже, для промислового використання енергії вітру потрібні великі площі, тому доцільним буде підрахувати питому потужність в Одеському регіоні.

3.3 Оцінка вітрового потенціалу Одеського регіону

Для того, щоб оцінити вітровий потенціал в Одеському регіоні використаємо дані по вітру з монографії Г.П. Ивус, Є. В. Агайар [15]. Використовувати будемо дані про середньомісячні швидкості вітру, Дані внесемо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 Середньомісячні швидкості вітру для деяких міст Одеської області

№	Місяць		Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середня
	Станція														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Затишшя	3,8	4,0	3,9	3,7	3,3	2,8	2,7	2,7	2,7	2,9	3,3	3,5	3,3	
2	Сербка	3,8	4,1	3,9	3,7	3,3	3,0	3,0	2,9	2,9	3,0	3,4	3,5	3,4	
3	Вилкове	4,0	4,1	4,1	3,9	3,5	3,3	3,0	2,8	2,9	3,3	3,4	3,5	3,5	
4	Б. Дністровський	4,0	4,4	4,0	4,2	3,8	3,8	3,9	3,7	3,7	3,9	4,1	4,1	4,0	
5	Болград	3,2	3,5	3,4	3,5	3,1	2,9	2,9	2,7	2,6	2,7	2,9	3,0	3,0	
6	Ізмаїл	4,0	4,4	4,3	4,3	3,8	3,5	3,2	2,9	2,9	3,0	3,3	3,6	3,6	
7	Любашівка	4,1	4,3	4,1	4,0	3,4	3,0	2,9	2,9	2,9	3,2	3,7	3,9	3,5	
8	Одеса	4,6	4,6	4,3	3,8	3,4	3,2	3,2	3,3	3,4	3,9	4,3	4,3	3,9	
9	Роздільна	3,3	3,5	3,4	3,3	3,1	2,7	2,6	2,7	2,6	2,7	3,0	3,0	3,0	
10	Сарата	3,2	3,3	3,2	3,0	2,7	2,6	2,6	2,5	2,3	2,4	2,7	2,8	2,8	

Представлені в таблиці дані для висоти флюгера, нам потрібні дані на висоті 130 м, тому конвертуємо дані з таблиці 3.6 використовуючи раніше виведену формулу 3.8, отримані дані внесемо в таблицю 3.7

Таблиця 3.7 Середньомісячні швидкості вітру для деяких міст Одеської області на висоті 130 м.

№	Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середня
	Станція													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Затишшя	6,3	6,7	6,5	6,2	5,5	4,7	4,5	4,5	4,5	4,8	5,5	5,8	5,5
2	Сербка	6,3	6,8	6,5	6,2	5,5	5,0	5,0	4,8	4,8	5,0	5,7	5,8	5,6
3	Вилкове	6,7	6,8	6,8	6,5	5,8	5,5	5,0	4,7	4,8	5,5	5,7	5,8	5,8
4	Б. Дністровський	6,7	7,3	6,7	7,0	6,3	6,3	6,5	6,2	6,2	6,5	6,8	6,8	6,6

5	Болград	5,3	5,8	5,7	5,8	5,2	4,8	4,8	4,5	4,3	4,5	4,8	5,0	5,1
---	---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Продовження таблиці 3.7

6	Ізмаїл	6,7	7,3	7,2	7,2	6,3	5,8	5,3	4,8	4,8	5,0	5,5	6,0	6,0
7	Любашівка	6,8	7,2	6,8	6,7	5,7	5,0	4,8	4,8	4,8	5,3	6,2	6,5	5,9
8	Одеса	7,7	7,7	7,2	6,3	5,7	5,3	5,3	5,5	5,7	6,5	7,2	7,2	6,4
9	Роздільна	5,5	5,8	5,7	5,5	5,2	4,5	4,3	4,5	4,3	4,5	5,0	5,0	5,0
10	Сарата	5,3	5,5	5,3	5,0	4,5	4,3	4,3	4,2	3,8	4,0	4,5	4,7	4,6

Як видно з таблиці, в усіх містах, середня швидкість вітру перевищує 5 м/с, що є дуже добре, тому що саме при такій швидкості більшість вітрогенераторів при швидкостях ≥ 5 м/с має найбільший ККД.

Використовуючи дані таблиці 3.7 нанесемо середні швидкості вітру на відповідні міста, та проведемо ізолінії через кожні пів метра в секунду. Далі відмітемо зони, які менші за 4 м/с, вони є не доцільними для вітроенергетики. А також виділемо зони в яких швидкості більші за 6 м/с, вони найбільше підходять для вітроенергетики. Як видно з Рис 3.6 найбільш привабливі для вітроенергетики райони розташовані в східній частині Одеської області.

Також в Одеській області завершається будівництво першої черги вітроелектростанції (ВЕС) “Овід Вінд 1”, одиничною потужністю 3.6 МВт (висота башти - 131 м) [16]. Планується будівництво другої черги ВЕС “Овід Вінд 2”. Якщо посилались на компанію, яка реалізує будівництво ВЕС, то в доповнення рис 3.6 можна додати рис 3.5 [16], на якому видно що чорноморське узбережжя має високий вітроенергетичний потенціал.

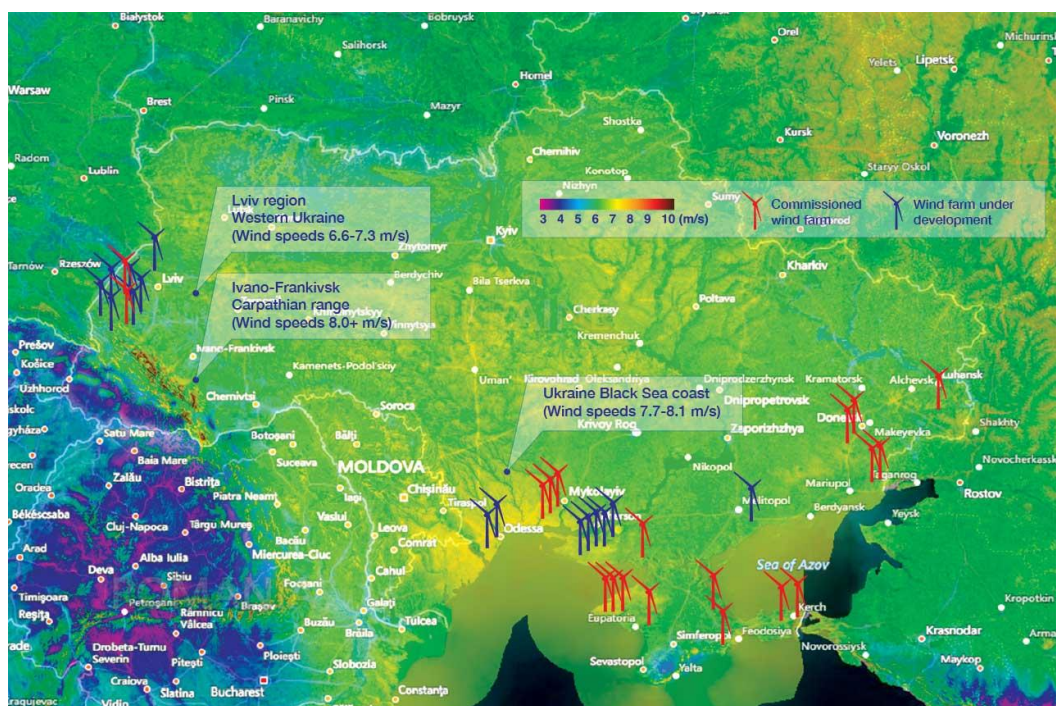


Рис 3.5 Вітроенергетичний потенціал України, і вітрогенератори, які будуть введені, та вже введені в експлуатацію [16]

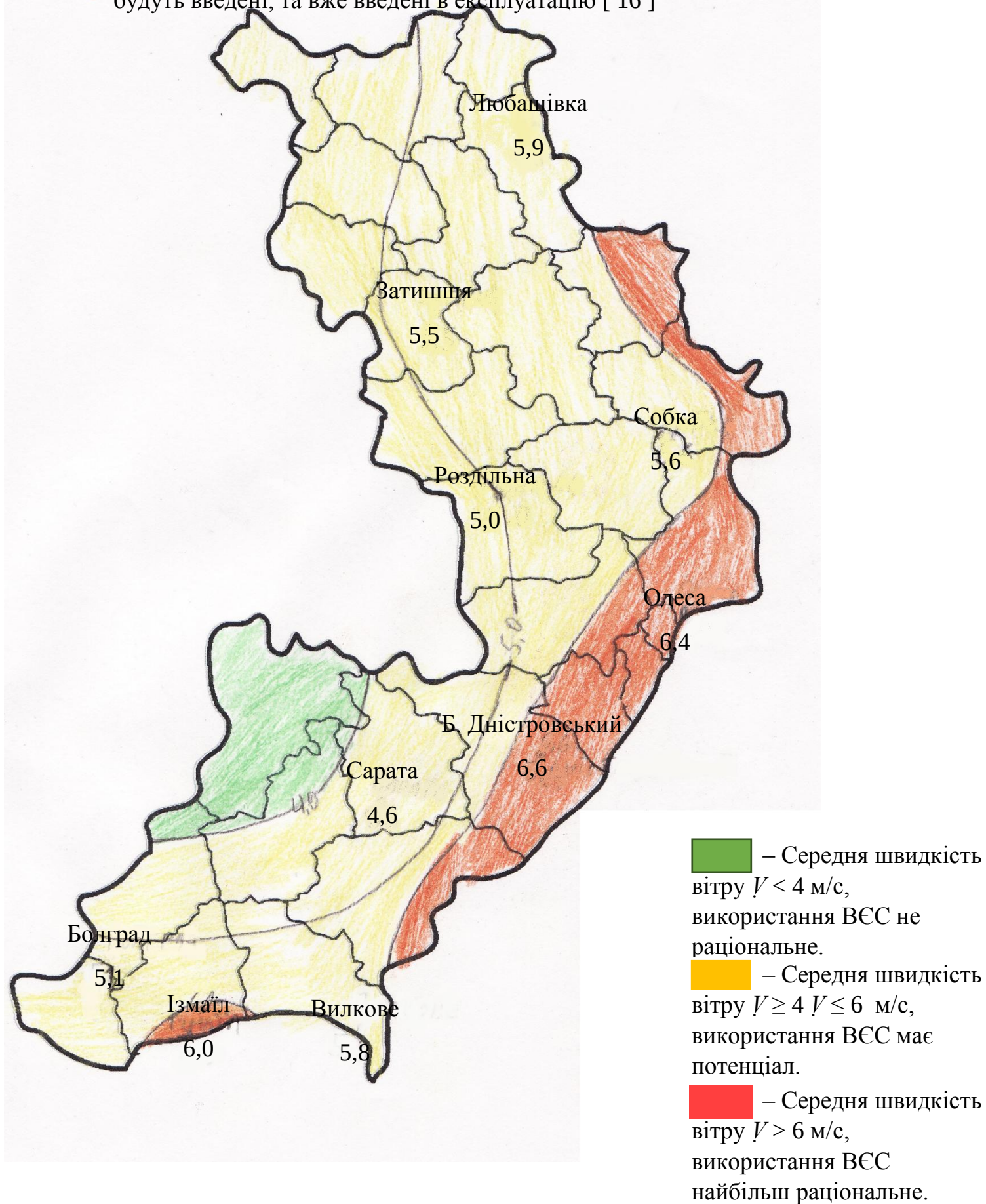


Рис 3.5 Розподіл середньої швидкості вітру на висоті 130 м. в Одеській області

ВИНОВКИ

В даній магістерській роботі вивчається режим вітру біля поверхні землі в районі Одеси за останнє п'ятиріччя для цілей вітроенергетики. На основі даних восьмистрокових спостережень за напрямком і швидкістю вітру на ст. Одеса – ГМО розраховані повторюваності напрямків вітру по восьми румбах і швидкості по градаціях: 0-2, 3-4, ≥ 5 м/с.

На основі отриманих результатів розраховані потужності вітрогенераторів, які доцільно встановлювати в Одеському районі.

Основні висновки даного дослідження наступні:

- слабкі вітри (0-2 м/с) при всіх окремих напрямках, мають невелику повторюваність, яка не перевищує 6,5%, при цьому в межах одного кліматичного сезону максимальна повторюваність припадає на різні напрямки.
- вітри зі швидкістю 3-4 м/с в усі місяці спостерігаються практично при всіх напрямках вітру, але найбільша їх повторюваність припадає на північні, західні, та північно-західні напрямки, при цьому взимку повторюваність складає 22-26%, навесні 23-24%, влітку 19-25%, а восени 16-19, в окремі місяці підвищена повторюваність градації 3-4 м/с отримана також для північно-східного напрямку. Наприклад, в січні, лютому і червні повторюваність дорівнює приблизно 10%, а в серпні і вересні 8.
- швидкості ≥ 5 м/с найбільш часто повторюються при північних та північно-західних напрямках, повторюваність рівна 13 %.
- максимальну повторюваність мають вітри північно-західної чверті в усі місяці крім січня, лютого, червня і серпня, коли влітку повторюваності мали північно-східні вітри (для перелічених місяців $P =$ приблизно 20%) на частину вітрів північно-західної чверті припадає 50-65% від загальної кількості випадків.
- середні швидкості вітру по роках (2013-2017) складають відповідно: 2,7; 3,2; 2,8; 2,7; 2,9 м/с, тобто середня за період швидкість складає 2,9 м/с; це значення збігається з результатами роботи [15]
- середні швидкості вітру, які перераховані на рівень 130 м, за вказані роки складають відповідно: 4,6; 5,4; 4,7; 4,6; 4,8 м/с, а середнє за період – 4,8 м/с.
- питома потужність вітру за роки рівна 232,3 Вт/м².
- питомі потужності вітрового колеса радіусом від 10 до 60 м складають: 10 м – 72,9 кВт; 20 м – 291,8 кВт; 30 м – 656,6 кВт; 40 м – 1169,5 кВт; 50 м – 1823,9 кВт; 60 м – 2626,4 кВт.

Отже Одеса має задовільний вітроенергетичний потенціал, але розміщення ВЕС в Одесі не є можливим, адже, щоб задовольнити енергетичні потреби населення потрібно вітрове колесо з великим радіусом

(≥ 50 м.) і площа на поверхні для встановлення декількох вітрогенераторів, що в самій Одесі не є можливим із-зі густої застройки. Але установа ВЕС в Одеській області досить доцільно. Перш за все на півдні Ізмаїльського району, на прибережній частині Татарбунарського, Білгород-Дністровського, Овідіопольського, Біляївського, Комінтернівського районів, а також в східній частині Миколаївського, Березівського та Комінтернівського районів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анапольская Л.Е., Гандин Л.С. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки// Метеорология и гидрология, 1978, 7, с. 11-18.
2. Ветроэнергетика/ Под ред. Д. де Рензо: Пер. с англ.: под ред. Я. И. Шефтера. - М: Энергоатомиздат. 1982. 272 с.
3. Ветродвигатели/ Под ред . Е.М. Фатеева – М.: Машгиз. 1962. 248 с.
4. Кармишин А.В. Современные ветродвигатели . Москва , Знание. 1956, 40 с.
5. Кирющатов А.И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве. М: Агропромиздат. 1991. 96 с.
6. Климатология/ Под ред. проф., д.геогр.н. Дроздова О.А. и проф., д.геогр.н. Кобышевой Н.В. – Л.:Гидрометеиздат, 1989, 568 с.
7. Клімат України. За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко/ Видавництво Раєвського. – Київ, 2003. – 343 с.
8. Кузьо І.В. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності/І.В. Кузьо, В.М. Корендій// Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 679. – С. 61 – 68.
9. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами/ Под ред. проф., д.геогр.н. Кобышевой Н.В. – ГУ «ГГО». – Санкт-Петербург, 2009, 334 с.
10. <http://pogoda.odeku.edu.ua>
11. Кліматичний кадастр України
12. <http://rp5.ua>
13. <http://www.ecosvit.net/ua/vitrogeneratori>

14. Бар'яхтар В., Кухар В., Пальшин Г. Енергетика України у контексті загальносвітових тенденцій // Вісн. НАН України. — 2000. — № 7 — с. 14 — 26.
15. Г.П. Ивус, Э.В. Агайар Физико-статистический анализ и прогноз слабого ветра и инверсий температуры над территорией северо-западного причерноморья — Одесса - ТЭС - 2018
16. <https://ukrainepowerresources.com/>

Додаток А

Довідка

про апробацію результатів наукових досліджень

Шмаюна Віталія Володимировича

на тему: «Режимні характеристики приземного вітру в районі Одеси в період
2013-2017 рр.»

1. Магістерська робота виконана в рамках науково-дослідної теми кафедри метеорології та кліматології «Прогнозування небезпечних явищ над південними районами України», № ДР0115U006532.
2. Отримані в магістерській роботі результати будуть внесені у звіт з вказаної наукової теми кафедри.
3. Студент пройшов участь в I турі конкурсу студентських наукових робіт в 2017 році.

Завідувач кафедри метеорології та
кліматології _____ Івус Г.П.