

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Вітроенергетичний потенціал України на основі кліматичних
сценаріїв RCP-2.6 і RCP-4.5 за період 2020-2050 рр.

Виконав студент 2 курсу групи МЗМ-18
спеціальності 103 - «Науки про Землю»
Жук Даніїл Олегович

Керівник к. геогр. н., зав.лаб.
Куришина Вікторія Юріївна

Рецензент д.геогр.н, професор
Ляшенко Галина Віталіївна

Одеса-2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри Прокоф'єв О.М.

“28” жовтня 2019 року

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

Жуку Даніїлу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вітроенергетичний потенціал України на основі кліматичних сценаріїв RCP-2.6 і RCP-4.5 за період 2020-2050 рр.

керівник роботи Куришина Вікторія Юріївна к. геогр. н.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти №235-С від 18 жовтня 2019 р.

2. Строк подання студентом роботи 6 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Місячні дані про швидкість вітру з кліматичних довідників України за 1961-1990 рр. 2. Добові дані про швидкість вітру кліматичних регіональних моделей за сценаріями RCP 2.6 і RCP 4.5 за період 2020-2050 рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Розрахунок середньої місячної швидкості вітру та побудова карт просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру для холодного і теплого періоду року. 2. Розрахунок та побудова міжрічної мінливості середньомісячної швидкості вітру та їх аналіз. 3. Розрахунок середньомісячної швидкості вітру та енергетичного потенціалу на висотах. 4. Визначення районів з найбільшим енергетичним потенціалом.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1, 1.2, 2.1 – ілюстрації з літературних джерел: динаміка обсягу встановлених потужностей ВЕУ в світі; розподіл середньомісячної швидкості вітру на території України; ометаєма площа ротора Рис. 3.1. просторовий розподіл метеорологічних станцій України. Рис. 3.2 – просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для січня та квітня, побудований за даними 27-х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 рр.). Рис. 3.3–3.8 – середньомісячні та середньорічні швидкості вітру за період 2020-2050 рр. для 27 метеостанцій України за різними сценаріями. Рис. 3.9 – Середньомісячні швидкості вітру за різними моделями та сценаріями.–

Карті просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру за холодній і теплий період року Рис. 3.12 3.13–Часовий хід середньомісячних швидкостей вітру на різних висотах на станції Долина та Маріуполь

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	28 жовтня 2019 р.	90	відмінно
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	листопад 2019 р.	90	відмінно
3.	<i>Аналіз просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру за даними кліматичних довідників</i>	листопад 2019 р.	90	відмінно
4.	<i>Аналіз розрахунків модельних швидкостей вітру різних моделей та сценарій</i>	листопад 2019 р.	90	відмінно
5.	<i>Розрахунок швидкостей вітру енергетичного потенціалу на висотах</i>	листопад 2019 р.	90	відмінно
6.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку</i>	грудень 2019 р.	90	відмінно
7.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	5 грудня 2019 р.	90	відмінно
8.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	10 грудня 2019 р.	90	відмінно
9.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору</i>	6-9.12.2019		
10.	<i>Підготовка доповіді та презентації. Попередній захист магістерської роботи.</i>	грудень 2019		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	відмінно

Студент

_____ Жук Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Куришина В.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: Вітроенергетичний потенціал України на основі кліматичних сценаріїв RCP-2.6 і RCP-4.5 за період 2020-2050 рр.

Автор: Жук Данііл Олегович

Актуальність проблеми полягає в тому, що знання режиму швидкості вітру дозволяє вирішувати багато задач, пов'язаних як із глобальними проблемами змін клімату, так і суто практичних, таких як вітроенергетика.

Метою даної роботи є отримання характеристик режиму швидкості вітру України з подальшим визначенням районів з найбільшим вітроенергетичним потенціалом.

Задачі, які були розв'язані відповідно до поставленої мети полягали у наступному:

- провести аналіз просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру за даними кліматичних довідників.
- розрахувати та побудувати карти середньомісячних швидкостей вітру за добовими модельними даними.
- провести порівняльний аналіз розрахунків між даними по швидкості вітру різних моделей і сценарій і порівняти їх з кліматичною нормою.
- розрахувати швидкість вітру і вітроенергетичний потенціал на висотах 100, 200, 300 м.

Об'єкт дослідження – режим швидкості вітру.

Предмет дослідження – кліматичні показники швидкості вітру.

Методи дослідження – фізико-статистичний та кліматичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів.

Отримання кліматичних показників швидкості вітру за прогностичними даними регіональних кліматичних моделей за сценаріями RCP-2.6 і RCP-4.5.

Практичне значення отриманих результатів. Розраховані характеристики швидкості вітру можуть бути використані у вирішенні питань, пов'язаних з вітроенергетикою.

Магістерська робота в обсязі 69 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань, з 22 джерел, одного додатку, містить 16 рисунків та 21 таблицю.

Ключові слова: швидкість вітру, степеневий закон профілю вітру, потужність вітрового потоку, вітроенергетичний потенціал, регіональні кліматичні моделі

Summary

Theme: The potential of wind energy in Ukraine using scenarios climate data RCP 2.6 and RCP 4.5 for the period 2020-2050.

Author: Zhuk Daniil Olegovich

Urgency of the issue of the wind speed regime allows us to solve many problems associated with both global climate change and purely practical issues, such as wind power.

Aim of this study is to obtain the characteristics of wind speed regime of Ukraine with further identification of the areas with the highest wind energy potential.

Tasks that have been resolved in accordance with the intended objectives were to:

- analyze the spatial distribution of the average month wind speed according to data from climate directories.
- calculate and build maps of month average wind speeds by modal daily data.
- conduct a comparative analysis of the calculations between the wind speed of various scenarios and models and compare them with the climatic norm.
- calculate wind speed and wind energy potential at an altitudes of 100, 200, 300 m.

Object of scientific research – wind speed regime of Ukraine.

Subject of scientific research – wind speed climatic indicators.

Methods of scientific research physic-statistical and synoptic analysis.

Scientific novelty of results obtained.

Getting climatic parameters of wind speed scenarios climate data RCP 2.6 i RCP 4.5.

Practical importance of results obtained.

Calculated characteristics of wind speed can be used to address issues related to wind power.

The master thesis of 69 pages consists of 3 chapters, conclusions, bibliography of 22 sources, 1 application, contains 16 figures and 21 tables.

Keywords: wind speed, power law of wind profile, wind flow power, wind energy potential, regional climate models.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ВІТРОЕНЕРГЕТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ	6
1.1 Основні поняття вітроенергетики	6
1.2 Історія розвитку вітроенергетики в світі й сучасне її використання	11
1.3 Вітропотенціал території України та проблеми його розвитку	12
1.3.1 Вітроенергетичні ресурси України	14
1.3.2 Проблеми розвитку вітроенергетики в Україні	17
2 МЕТЕОРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ	19
2.1 Метод розрахунку ветроенергетичного потенціалу	19
2.2 Метод розрахунку швидкості вітру на висотах	23
3 ЧАСОВА ТА ПРОСТОРОВА МІНЛИВІСТЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	27
3.1 Кліматичні моделі	27
3.2 Короткий огляд режиму вітру на Україні за минулий кліматичний період (1961-1990 рр.)	30
3.3 Аналіз результатів розрахунку середньої швидкості вітру на території України за допомогою кліматичних моделей згідно сценарію RCP-2.6	34
3.4 Аналіз результатів розрахунку середньої швидкості вітру на території України за допомогою кліматичних моделей згідно сценарію RCP-4.5	37

3.5	Просторовий розподіл швидкості приземного вітру України за прогностичний період з 2020 по 2050 рр.	44
3.6	Швидкість вітру та енергетичний потенціал на висотах	48
	ВИСНОВОК	51
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
	ДОДАТОК А	56

ВСТУП

Історія використання енергії вітру сягає своїм корінням в стародавні століття. Людина, починаючи з витоків цивілізації, використовувала у своїй господарській діяльності вітрило і вітряні млини. З настанням промислової революції виникла потреба в залученні додаткових енергетичних витрат на процес виробництва. Пошук нових джерел енергії в ХХ столітті привів до великомасштабного впровадження вітрових турбін, потужність яких до кінця століття досягла кількох мільйонів кіловат. В останні десятиліття в деяких країнах була створена окрема галузь вітроенергетики, яка разом з промисловістю поставляє електроенергію декільком мільйонам будинків, допомагає вирішити проблеми водопостачання та іригації. Другим з пріоритетних напрямків розвитку вітроенергетики є широке впровадження систем автономного енергопостачання у віддалених районах з децентралізованим енергозабезпеченням та розробка більш економічних вітрових турбін на основі впровадження нових технологій.

Метою наукової роботи є порівняння минулих вітрових подій, оформлених у вигляді кліматичних норм за 1960-1991 рр. з вітровим режимом на Україні, який прогнозується моделями ЗЦА при зміні клімату за сценаріями RCP 2.6 і RCP 4.5 для періоду 2021-2050 рр.

Магістерська робота складається з 3 розділів: перший розділ є обзорним і присвячений основним поняттям вітроенергетиці – альтернативному джерелу енергії та вітропотенціалу території України; другий – метеорологічним аспектам вітроенергетики, а третій – часовій та просторовій мінливості швидкості вітру на території України. Магістерська робота є реальною.

1 ВІТРОЕНЕРГЕТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

1.1 Основні поняття вітроенергетики

Вітроенергетика – галузь енергетики, пов'язана з розробкою методів і засобів перетворення енергії вітру в механічну, теплову або електричну енергію. Енергія вітру (кінетична енергія вітрового потоку) є формою сонячної енергії: виникнення вітру є наслідком діяльності Сонця. Таким чином, запаси енергії вітру є невичерпними, що дозволяє відносити їх до поновлюваних джерел енергії. Крім того, енергію вітру відносять до так званої «чистої», або «зеленої» енергії, оскільки вона характеризується практично нульовим рівнем викидів парникових газів.

Загальний вітроенергетичний потенціал Землі величезний: авторитетних експертних оцінок показав, що він становить близько 1200 ТВт. Однак реальне використання цього потенціалу нашою країною на ряд труднощів, обумовлених як нерівномірністю його розподілу в різних районах Землі, так і великими втратами при його перетворенні в інші види енергії. Так, в сучасних вітроагрегатах коефіцієнт корисного використання енергії повітряного потоку на 10% менший теоретично можливого, що дорівнює 59,3%, і зазвичай не перевищує 50% і то за умови оптимальної, передбаченої для даного вітрогенератора, швидкості вітру. Крім того, оскільки частина енергії вітру втрачається при перетворенні механічної енергії в електричну, питома електрична потужність на виході вітроагрегатів складає лише 30...40% потужності повітряного потоку за умови стійкої роботи у діапазоні швидкостей, передбачених для вітрогенератора. І це ще не все. З урахуванням необхідності вимушених відключень вітроагрегатів у разі перевищення розрахункових швидкостей вітру і зупинок при його відсутності, питома вироблення електроенергії протягом року зазвичай не перевищує 15...30% енергії вітру, в залежності від місця розташування та параметрів вітроагрегатів.

За даними Global Wind Energy Council, встановлені потужності вітроелектричних установок (ВЕУ) за підсумками 2015 року склали 283 ГВт, включаючи 5,4 ГВт морських ВЕУ (+31,4%). За даними BP Statistical Review of World Energy 2013, вироблення електроенергії на ВЕС в світі склала 521,3 млрд. кВт·год (або 2,3% від загальносвітового обсягу виробництва електроенергії) (рис. 1.1)

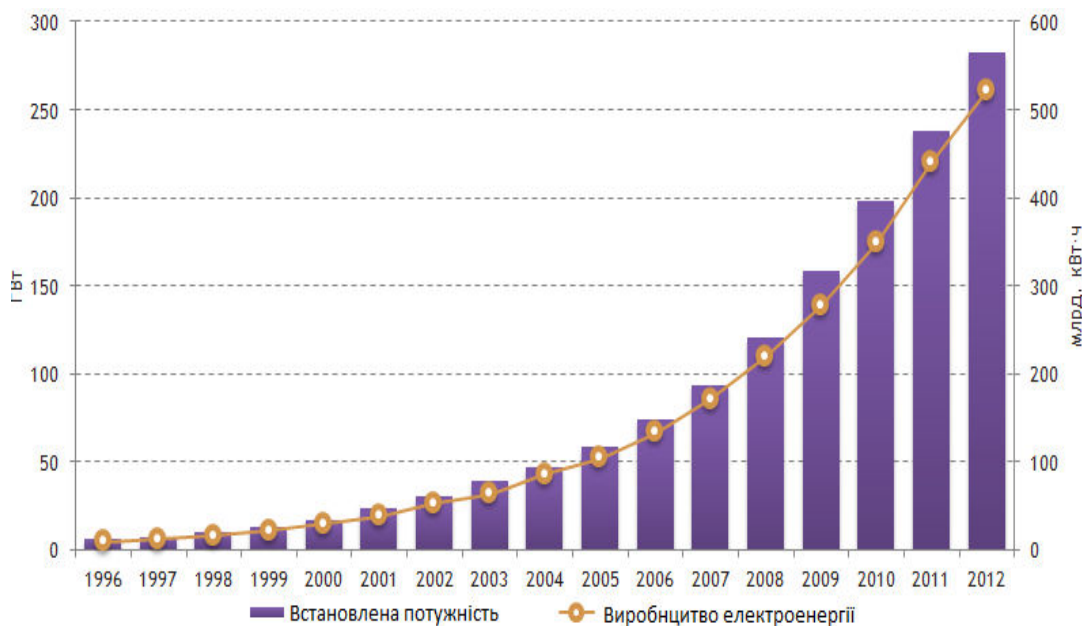


Рисунок 1.1 – Динаміка обсягу встановлених потужностей ВЕУ в світі (ліва вісь) і обсягу світового виробництва електроенергії на ВЕУ (права вісь) [14]

Велика частина встановлених потужностей припадає на країни Європи (38,8%). Далі – країни Азії (34,5%) і Північної Америки (23,9%). Найменше вітроенергетику використовують у країнах Латинської Америки і Карибського басейну (1,2%), в країнах Тихоокеанського регіону (1,1%), а також у країнах Африки і Близькосхідного регіону (0,4%). Що стосується країн-лідерів з розвитку вітроенергетики, то більша частина (73,6%) світового обсягу встановлених потужностей ВЕУ припадає на п'ять країн: Китай, США, Німеччину, Іспанію та Індію (табл. 1).

Фактори, що сприяють розвитку вітроенергетики:

- Зростаюча залежність більшості розвинених країн від імпорту енергоресурсів. Більш того, імпортери все більше покладаються на імпорт енергоресурсів з країн та регіонів, що характеризуються частими збройними конфліктами і політичною нестабільністю. Така ситуація створює ризики для енергетичної безпеки країн-імпортерів, що спонукає їх уряди стимулювати розвиток та використання альтернативних джерел енергії.
- Збільшення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Зростаючі обсяги викидів парникових газів та шкідливих речовин паливо- опалювальними установками в атмосферу сприяють зміні клімату і негативно позначаються на здоров'ї людини. В результаті виникає необхідність розвитку низько вуглецевої енергетики, яка характеризується низькими або навіть нульовими викидами парникових газів та шкідливих речовин в атмосферу.
- Розвиток технологій і накопичений досвід. З початку комерційного використання ВЕУ минуло вже майже 30 років. В даний час при виробництві ВЕУ використовуються сучасні, більш ефективні і дешеві матеріали, збільшилася одинична потужність ВЕУ. Крім того, позначається ефект від масштабу установки. Така ситуація веде до скорочення витрат з виробництва ВЕУ та виробленні електроенергії на них, а отже, до підвищення конкурентноспроможності ВЕУ в порівнянні з іншими технологіями виробництва електроенергії.

Таблиця 1.1 – Топ – десять країн за обсягом встановленої потужності ВЕУ і їх частки в загальносвітовому обсязі встановленої потужності ВЕУ (станом на кінець 2012 року) [14]

Страна	Мощность, МВт	Доля, %
Китай	75 324	26,7
США	60 007	21,2
Германия	31 308	11,1
Испания	22 796	8,1
Индия	18 421	6,5
Великобритания	8445	3,0
Италия	8144	2,9
Франция	7564	2,7
Канада	6200	2,2
Португалия	4525	1,6
Остальной мир	39 853	14,1
Итого (топ-десять стран)	242 734	85,9
Итого (мир)	282 587	100

Згідно ряду експертних прогнозів, потреби людства в енергії, що складають в даний час близько 13 ТВт, зростуть до середини нинішнього століття до 30, а до його кінця – до 46 ТВт. Такі потреби в енергії можуть бути задоволені лише за рахунок переважного розвитку поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) і, насамперед, за рахунок набагато більш масштабного виробництва сонячної та вітрової енергії, яке особливо прискорилося за останні роки.

Зростання у світі вітрових генеруючих потужностей за період з 2000 р. по 2012 р. видно, що встановлена потужність світової вітроенергетики в 2012 р. збільшилася майже на 19% у порівнянні з 2011 р. і досягла 282,5 ГВт. Згідно з річним звітом Глобальної Ради з вітроенергетики (GWEC) за 2012 р. середньорічне зростання вітроенергетичної потужності світової вітроенергетики до 2017 р. складе 13,7%, а сумарна потужність сягне 536 ГВт.

Прискорений приріст генеруючих потужностей на основі ПДЕ, який був забезпечений, в першу чергу, за рахунок введення в експлуатацію нових сонячних і вітрових потужностей, характерний в даний час і для країн

Євросоюзу, де в 2009 р. було введено в експлуатацію 27,5 ГВт нових генеруючих потужностей:

- на ВЕС – 5,8 ГВт (21%);
- на сонячних ФЕС – 10,2 ГВт (37,1%);
- на БіоЕС – 0,58 ГВт (2,1%);
- на ГЕС – 0,39 ГВт (1,4%);
- на СЕС на основі сонячних концентраторів – 0,12 ГВт (0,4%);
- на ТЕС і АЕС – 10,4 ГВт (37,8%).

З цих даних випливає, що в 2009 р. введення в експлуатацію нових генеруючих потужностей у країнах ЄС в основному (на 62%) був забезпечений за рахунок введення потужностей на основі ПДЕ. Так було і в 2008 р., коли за рахунок ПДЕ було введено 57% нових генеруючих потужностей, і в 2011 р., коли було введено 32 ГВт нових потужностей, близько 67% з яких становили ВЕС і СЕС.

Переваги і недоліки вітроенергетики. Вітроенергетика характеризується наступними перевагами:

- енергія вітру є доступним і поновлюваним джерелом енергії, запаси якого невичерпні;
- відсутність парникових і шкідливих викидів в атмосферу при виробництві електричної енергії;
- невелика площа займаної території (можливість використання землі, на якій встановлена ВЕУ, для інших цілей, наприклад для сільського господарства);
- можливість автономного енергозабезпечення віддалених та ізольованих територій.

До числа недоліків вітроенергетики відносяться:

- нестале і нерегульоване вироблення електроенергії;
- більш високі капітальні витрати на одиницю потужності в порівнянні з традиційними тепловими електростанціями;
- необхідність розвитку мережевої інфраструктури;

- шумовий, візуальний та електромагнітний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини [12].

1.2 Історія розвитку вітроенергетики в світі та сучасне її використання

Хоча приземні вітри виникають не завжди, змінюють свій напрямок, а їх сила нестала, вітродвигун являє собою одну з найдавніших машин для отримання енергії з природних джерел. Через сумнівну надійність давніх письмових повідомлень про вітродвигуни не цілком відомо, коли і де такі машини з'явилися вперше. Але, судячи за деякими записами, вони існували вже до VII століття н.е. Відомо, що перси в X столітті з допомогою вітряків мололи зерно, причому їх вітряні млини оберталися на осі. У Західній Європі перші вітряки з'явилися наприкінці XII століття. Протягом XVI століття остаточно сформувався шатровий тип голландського вітряка, причому голландці використовували їх не тільки для перемелювання зерна, але і для відкачування води з обвалованих знижень ландшафту, на яких вони вирощували сільськогосподарські культури. Лопаті голландські вітряки по довжині вже тоді досягали 12 метрів. Велика кількість вітряних млинів в Голландії, яким нині понад 500 років, знаходяться в робочому стані. Такі млини є і в Англії. Особливих змін в їх конструкції не спостерігалось аж до початку XX століття, коли в результаті досліджень були значно вдосконалені форми та покриття крил млинів. Оскільки низькообертові машини громіздкі, у другій половині XX століття стали будувати високооберотні вітродвигуни, тобто такі, вітроколеса які можуть здійснювати велике число оборотів в хвилину з високим коефіцієнтом використання енергії вітру за рахунок інерційності обертання.

Сучасна вітроенергетика є однією з найбільш розвинених і перспективних областей нетрадиційної енергетики. У програмі ООН розвитку світової енергетики, зокрема, підкреслюється, що в XXI столітті розвиненими будуть ті країни, де інтенсивно розвивається вітроенергетика. Згідно з

оцінками Всесвітньої Енергетичної Ради за «мінімального» і «максимального» варіантів розвитку нетрадиційної енергетики, внесок вітрової енергетики в загальне виробництво енергії в світі на 2020 рік буде складати 122 і 307 млн. т умовного палива відповідно. В даний час вітроенергетика використовується більш ніж в 30 країнах. Великі вітроенергетичні проекти реалізуються в Китаї, Швеції, Ірландії, Новій Зеландії, Швейцарії, Канаді, Німеччині, США, Іспанії, Данії [14].

1.3 Вітропотенціал території України та проблеми його розвитку

Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць у світі по використанню енергії вітру. Основний вплив на клімат і, як наслідок, на вітровий режим території України надають Атлантичний і Північний льодовитий океани. Істотно впливають на формування клімату окремих регіонів країни також висота й напрямок розташування карпатських і кримських гір, Подільської, Волинської та Придніпровської височин, Донецького кряжу, близькість інших регіонів до Чорного та Азовського морів і цілий ряд інших факторів.

Аналіз багаторічних спостережень метеостанцій свідчить про те, що на Україні переважають вітрові потоки із середньорічними швидкостями вітру від 5 м/с (на висоті флюгера 10 м). Такі вітрові потоки при сучасному рівні розвитку вітроенергетичних технологій дозволяють економічно обґрунтовано використовувати вище зазначені регіони для будівництва потужних ВЕС. Крім того, науковими дослідженнями, проведеними метеорологами Центральної геофізичної обсерваторії України, встановлено, що в найближчі 30...40 років на території України слід очікувати поступове збільшення середньої швидкості вітру на 1...2 м/с, що буде впливати на збільшення прогнозного потенціалу ВЕУ.

Енергія вітру розподілена по території України вкрай нерівномірно, причому вітропотенціал на півдні країни значно вище, ніж на півночі. З точки зору використання енергії вітру на суші, найбільш сприятливими регіонами є Крим, Карпати (Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська, західна частина Чернівецької області), узбережжя Чорного та Азовського морів (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька та Донецька області), а також Луганська область. Площі територій, придатних для спорудження ВЕС, оцінюються в 8...9 тис. км². На цих територіях при використанні 20...30% площі і при щільності будівництва ВЕС 5...8 МВт/км² можна побудувати ВЕС загальною потужністю 8...24 тис. МВт і генерувати 16...48 млрд. кВт·год електроенергії на рік. Правда, при цьому велика частина території України стане непридатною для проживання, і в прямому сенсі цього слова перетвориться на мертву землю.

Справа в тому, що ВЕУ становлять небезпеку не лише для птахів, які масово розбиваються об лопаті їх генераторів, але й для всього живого. При роботі ВЕУ виробляються інфразвукові коливання великої інтенсивності. Тому з місць, де знаходяться ВЕС, йде все живе й навіть щури. З прибережних вод, де встановлено ВЕУ, йде риба. Тому розміщення ВЕУ поблизу населених пунктів категорично забороняється.

Набагато більші площі для будівництва потужних ВЕУ є на прибережних і внутрішніх акваторіях України. Так, затока Сиваш площею 2700 км², не використовується в народному господарстві Криму, на висоті 10 м, тобто на місцях установки флюгерів, характеризується швидкістю 5,8...6,3 м/с, а на висоті 25 м – 7,2...7,6 м/с. Він цілком може бути використаний для будівництва економічно ефективних ВЕС, сумарна потужність яких може скласти від 21,5 до 37,8 ТВт при щільності забудови 8...14 МВт/км². Крім Сиваша значний вітропотенціал мають також акваторії на Азовському морі (площа – 60 тис. км²), на Чорному морі (Одеська затока, площа 10 тис. км²; Каркінітська затока, площа 25 тис. км²), на приморських лиманах та на ряді інших водосховищ. В цілому по площах мілководних акваторій, придатних

для будівництва ВЕУ водного базування, Україна знаходиться на другому місці в світі (після Норвегії).

З урахуванням можливих обсягів інвестицій в сумарну потужність ВЕУ, які можуть бути побудовані протягом найближчих 10 років в перспективних регіонах України, за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, можна оцінити в 16 ТВт з можливим річним обсягом виробництва енергії близько 32 млрд. кВт·год/рік.

1.3.1 Вітроенергетичні ресурси України

Нижче представлений короткий огляд досліджень, які більш детально характеризують вітровий режим окремих областей України, в порівнянні з описом в монографії «Клімат України» [6].

Для сучасного технічного рівня розвитку вітроенергетичних установок (ВЕУ) використовуються райони із середньорічними швидкостями вітру 5 м/с і більше, на висоті флюгера 10 м. Тому попередня оцінка вітрових характеристик території України дається з використанням цього критерію.

Аналіз даних багаторічних спостережень 214 метеостанцій за тривалий період часу свідчать про те, що в Україні переважають вітри від 0 до 5 м/с з повторюваністю від 70 до 90%.

За середньорічними швидкостями вітру більш 5 м/с можна виділити сім регіонів і дві зони. До регіонів належать Карпатський, Причорноморський, Приазовський, Донбаський, Західно-Кримський, Східно-Кримський, до зон – Харківська і Полтавська.

Карпатський регіон виділено з використанням даних двох метеостанцій: Пожежевська (Івано-Франківська область, середньорічна швидкість 5,9 м/с) і Плай (Закарпатська область – 5,8 м/с). Обидві метеостанції розташовані на території з дуже високими відмітками: Пожежевська – 1451 м і Плай – 1330 м. Дані метеостанції основної мережі Закарпатського регіону показують, що середньорічні швидкості вітру невеликі і становлять 1,4-3,4 м/с.

Причорноморський регіон. Це смуга узбережжя шириною 25-30 км від кордону з Румунією до Криму. Дані мережі метеостанцій в цій смузі дають середньорічні швидкості вітру понад 5 м/с.

Приазовський регіон розташовується вздовж узбережжя Сиваша і Азовського моря від Перекопського перешийка до кордону з Росією. Ширина смуги від 2-х до 25 км. Найбільші значення показників середньорічної швидкості вітру зафіксовано метеостанцією в Маріуполі – 6,1 м/с.

Донбаський регіон починається від Луганська (середньорічна швидкість 5,7 м/с) і поширюється до з'єднання з Приазовським регіоном. Регіон виділено за даними 5 метеостанцій і належить центральній частині Донецького кряжа.

Західно-Кримський регіон поширюється вздовж західного узбережжя Криму, де за даними метеостанцій середня швидкість вітру становить 5,4 м/с.

Східно-Кримський регіон. Це Керченський півострів, східне передгір'я Кримських гір і частина Арабатської стрілки. У регіоні три метеостанції, в тому числі метеостанція Мисове, де середньорічні швидкості вітру складають 6,2 м/с.

Гірський Крим. В горах та на південному березі Криму дуже компактна мережа метеостанцій, дані яких дають досить строкату картину розподілу вітру, що характерно для гірської місцевості. Первинний аналіз показує, що середньорічні швидкості близько 5 м/с зареєстровані на метеостанціях, відкритих вітрам південно-західного напрямку і частково північного.

Харківська зона визначена за даними однієї метеостанції (м. Харків). Аналіз даних і орографії місцевості свідчать про можливість утворення майданчиків біля міста, особливо в північно-східному напрямку зі швидкостями вітру більш 5 м/с.

Полтавська зона виділена за даними однієї метеостанції в Полтаві зі швидкістю 5 м/с.

Як видно з вище викладеного матеріалу, районування територій розміщення вітроелектростанцій та оцінка вітроенергетичних ресурсів в

Україні ведеться на підставі середньорічних швидкостей вітру з урахуванням загального орографічного аналізу.

У цілому територіальні особливості України і вітрові умови сприятливі для будівництва вітроелектростанцій.

Організації, які проводили ці дослідження підкреслюють, необхідність використання сучасних комп'ютерних технологій і програм для оцінки вітрового потенціалу і вибору майданчиків ВЕУ для всієї території України. Такі дослідження повинні бути виконані не за середньорічними швидкостями вітру, а по швидкостях вітру з урахуванням їх добової і сезонної мінливості до висоти 300 м, залежить від мінливості динамічних властивостей поверхні (шорсткість) і гідростатичної стійкості всього приземного шару атмосфери.

Нижче на рис. 1.2 показані результати районування території України, виконані державної організацією.

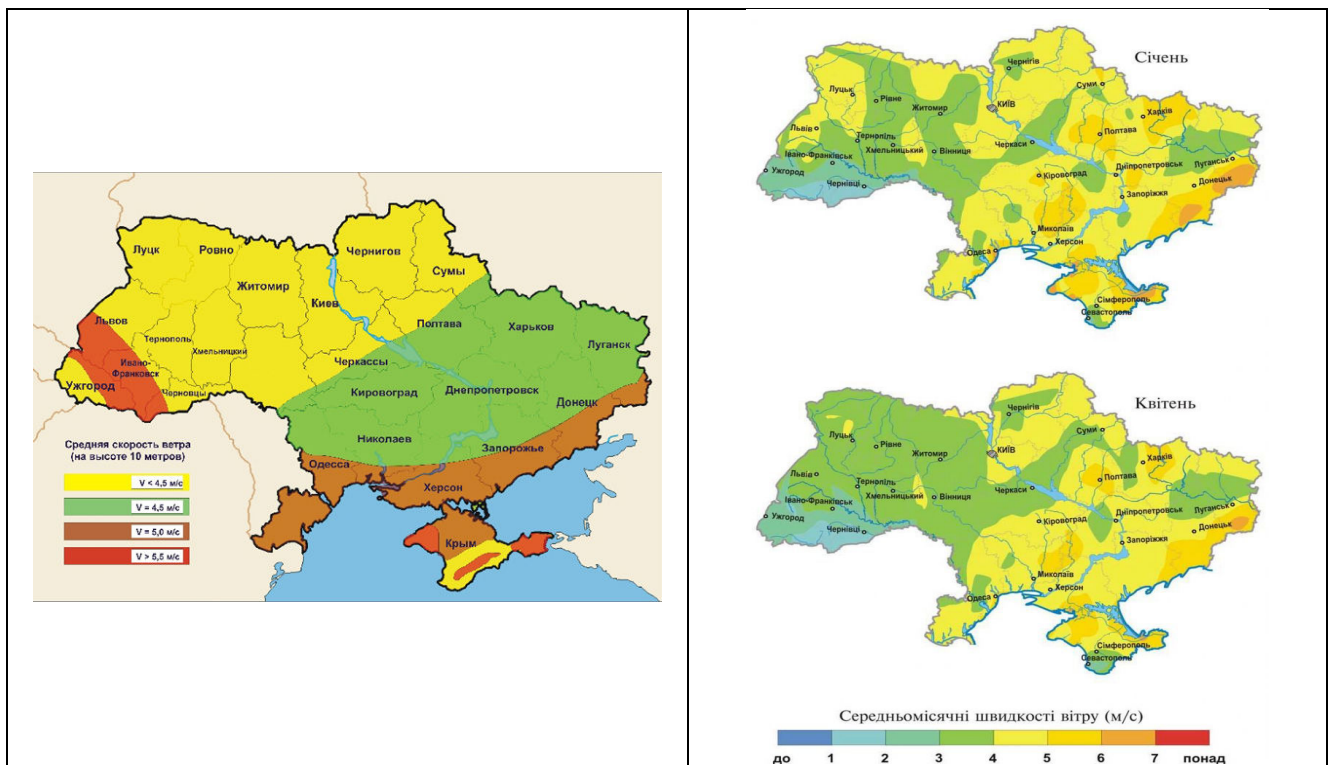


Рисунок 1.2 – Розподіл середньомісячної швидкості вітру на території України, за даними джерела [11]

1.3.2 Проблеми розвитку вітроенергетики в Україні

Щоб використовувати незаперечні переваги ВЕС, необхідно активно розвивати новітні технології виробництва обладнання для таких електростанцій. Однак, на жаль, ця галузь в Україні недостатньо розвинена, навіть незважаючи на те, що плани щодо її розвитку були амбітні, ще в середині 1990-х років, коли почала здійснюватися, але незабаром провалилася програма конверсії підприємств ВПК. В даний час на Україні вітроенергетичне обладнання виготовляють лише кілька виробників, серед них завод «Південмаш» (точніше, «Уінденерго Лтд.»), Новокраматорський машинобудівний завод (НKMЗ), компанія Windelectric та інші. Всі вони різною мірою використовують закордонні комплектуючі для складання свого обладнання.

Проблеми вітроенергетики України зводяться, як нам представляється, до декількох аспектах. Насамперед, це монополізм традиційної енергетики, заснований на обробці потоків енергоносіїв, наявність необхідної інфраструктури, але особливо – на колосальній частці електростанцій різного типу в національному капіталі.

Другою і особливо важливою проблемою для нашої вітроенергетики є застаріла техніка. Враховуючи те, що вже існує вітротехніка, яка може ефективно експлуатуватися на майданчиках із середньорічною швидкістю, починаючи з 4,3 м/с, можна зробити висновок, що ВЕУ та інші вітроенергетичні об'єкти можуть ефективно працювати практично на всій території України.

По-третє, альтернативна енергетика вимагає іншого мислення та іншого роду кваліфікації кадрів.

По-четверте, позначається занедбаність проблеми на національному рівні, тому вторгнення українських виробників на світовий ринок вітроенергетичного обладнання повинно пройти такий же тернистий шлях, як їх затвердження в авіабудуванні або ракетній техніці. Але на відміну від

зазначених галузей виробництва, які мають високоефективними технологіями, у виробництві вітроагрегатів «все охоплено», і пробитися можна, на думку авторів, тільки з чимось якісно новим.

2 МЕТЕОРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Метод розрахунку вітроенергетичного потенціалу

Технічні вітроенергетичні ресурси дорівнюють річним значенням енергії, які можна отримати сучасними технічними засобами на даною територією.

Кінетична енергія вітрового потоку E , тобто енергія одиниці повітряної маси m , яка має швидкість V , визначається формулою

$$E = \frac{mV^2}{2}, \text{ Дж} \quad (2.1)$$

Знаючи середню швидкість повітряного потоку, а також густину повітря ρ (кг/м^3), можна визначити масу повітря, яка пройде за одиницю часу, через одиничну площадку, а саме $m = \rho V$ ($\text{кг/м}^2\text{с}$). Підставляючи $m = \rho V$ в (2.1) отримаємо питому потужність $\bar{V}$ вітрового потоку у вигляді

$$W_{\bar{V}} = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^3, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.2)$$

Формула (2.2) використовується для оцінки теоретичного природного питомого вітроенергетичного потенціалу повітряного потоку (вітру). Як правило, такий потенціал характеризується середньорічною швидкістю вітру на висоті 10 м над пвдстельною поверхнею. Потенціал може бути визначений або за даними спостережень мережевих метеостанцій або за даними висотного зондування.

Для визначення теоретичної потужності вітроенергетичної установки (ВЕУ), необхідно знати «ометаемую» площу $S = \pi R^2$, яка знаходиться в площині, нормальній до вектору потоку, обертання ротора. Тоді формула (2.2) набуває вигляду

$$W_{\bar{V}, BEY} = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^3 S = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^3 \pi R^2, \text{ Вт} \quad (2.3)$$

де $R(\text{м})$ – радіус обертання ротора з горизонтальною віссю.

Величину, яка віднесена до одиниці «захоплюваної» площі, прийнято називати «Питомим вітроенергетичним потенціалом».

Повна потужність ВЕУ залежить від величини «захоплюваної» ветроколесом площі і, звичайно, від швидкості вітру. Деяка частина потужності втрачається в процесі перетворення кінетичної енергії в електричну.

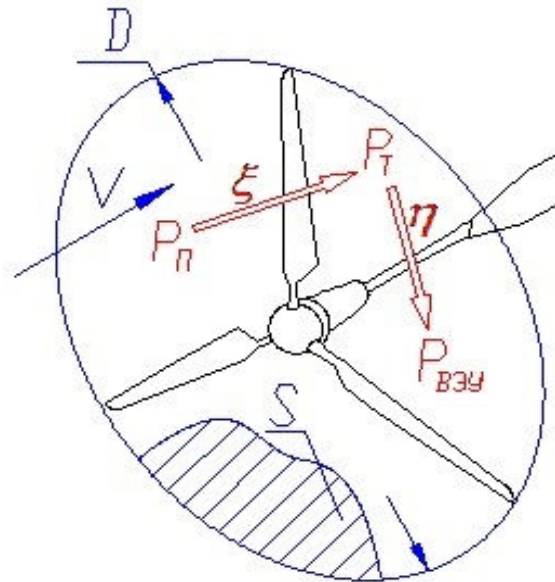


Рисунок 2.1 – Ометаєма площа ротору S : V –вектор повітряного потоку; D – діаметр колеса; P_{Π} – потужність вітрового потоку; P_{τ} – потужність вітрового потоку з урахуванням ККД $\xi_{\text{КПД}}$ ротора; W_{BEY} – потужність на виході генератора з урахуванням ККД редуктора і генератора η

Потужність вітрового потоку змінюється пропорційно змінам швидкості вітру. Тому вітроенергетичний потенціал, того чи іншого регіону, визначається за швидкостями вітру, які осереднені за тривалі проміжки часу, як правило, по середньорічній швидкості вітру. Досвід показує, що інтегральні

характеристики вітру за рік, і його енергетичні параметри досить точно характеризують енергетичний потенціал в межах заданого району.

Незважаючи на невеликі швидкості вітру, вітроенергетичний потенціал в окремих регіонах України є досить великим. За підрахунками Інституту електродинаміки НАН України, вітроенергетичний потенціал в 2000 разів перевищує сучасне виробництво енергії в Україні.

Тимчасові зміни швидкості вітру представляються у вигляді випадкової функції, так як швидкість вітру залежить від безлічі метеорологічних і геофізичних факторів.

Оцінка енергетичного потенціалу вітрового потоку виконується, як інтеграл функції, відповідний сумі великої кількості нескінченно малих складових

$$W_{\bar{v}} = 0,5\rho \int_0^{V_{\max}} \bar{v}^3 f(v) dv \quad (2.4)$$

де $f(v)$ – відносна (далі - диференціальна) повторюваність швидкостей вітру.

Формула (2.4) широко використовується для розрахунку природного реального потенціалу вітрового потоку, за даними про повторюваність швидкостей вітру за обрані проміжки часу

$$W_{\Delta V} = \alpha T \left(\sum_{v_{\min}}^{v_{\text{раб}}} \bar{v}_i^3 \cdot p_i + \bar{v}_{\text{раб}}^3 \sum_{v_{\text{раб}}}^{v_{\max}} p_i \right), \text{ кВтч/м}^2 \quad (2.5)$$

де $\alpha = \rho/2 = 0,613$ числовий коефіцієнт відповідний стандартної величини густини $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ сухого повітря при температурі 15°C на рівні моря (густина $\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$ використовується при всіх розрахунках ВЕУ); T – кількість годин $T = 720$ ч за місяць, $T = 2160$ ч за сезон и $T = 8760$ ч за рік;

$\bar{V}_i^3$ – куб середньої швидкості для кожної градації; $\bar{V}_{раб}^3$ – куб робочої швидкості вітру, прийнятою рівною $V = 10$ м/с, при якій встановлюється номінальна потужність; v_{max} – максимальна швидкість вітру для ВЕУ; v_{min} – мінімальна швидкість вітру дорівнює $\bar{V} = 4-5$ м/с для ВЕУ, яка відповідає початку старту вітрового колеса; для яких визначена $p_i(v_i)$ – повторюваність в частках одиниці швидкостей вітру в інтервалі значень ΔV за досліджуваний період часу.

Для оцінки технічного потенціалу вітроустановки вводяться різні коефіцієнти, що характеризують можливості ВЕУ перетворити кінетичну енергію в електричну, наприклад, такі як: C_p – коефіцієнт використання вітрового потоку; η_p, η_g – коефіцієнти корисної дії редуктора і генератора. Для тихохідних ВЕУ ці коефіцієнти дорівнюють $\eta_p = 0,95$, $C_p = 0,35$, а для швидкохідних $\eta_p = 0,9$, $C_p = 0,45$ [12].

Коефіцієнт використання енергії вітру (критерій Бетца-Жуковського), залежить від втрати швидкості вітру при проходженні його через площину вітроколеса. Максимальне значення цього коефіцієнта дорівнює 0,593, тобто ВЕУ може використовувати не більше 2/3 енергії вітрового потоку.

Повна потужність природного вітроенергетичного потенціалу за тривалий проміжок часу, визначається як сума енергії за початкові проміжки часу, наприклад, вітроенергетичний потенціал за місяць, як сума потенціалів за добу, потенціал за рік, як сума місячних потенціалів і т.п.

Тоді, теоретичний питомий вітроенергетичний потенціал з урахуванням формули (2.2) визначиться так

$$W_{\bar{V}}^T = \sum_{i=1}^N W_{\bar{V}}^{\tau_i}, \text{ кВтч} \cdot \text{год/м}^2 \quad (2.6)$$

де τ_i – тривалість початкового періоду добу, декада, місяць, рік, T – тривалість досліджуваного періоду дорівнює сумі $\sum_{i=1}^N \tau_i$.

Реальний питомий вітроенергетичний потенціал з урахуванням (2.5), визначиться за формулою

$$W_{\Delta V}^T = \sum_{i=1}^N W_{\Delta V}^{\tau_i}, \text{ кВтч} \cdot \text{год/м}^2 \quad (2.7)$$

2.2 Метод розрахунку швидкості вітру на висотах

Швидкість вітру в граничному шарі атмосфери з висотою збільшується, через зменшення сил тертя в міру віддалення від земної поверхні.

Розрахунок зміни швидкості вітру з висотою здійснюється за формулою

$$V_z = V_{10} \left(\frac{z}{z_{10}} \right)^m, \quad (2.8)$$

де V_z – швидкість вітру на розрахунковій висоті z ; V_{10} – швидкість вітру на стандартній висоті вимірювання вітру $z = 10$ м; m – показник ступеня степеневого закону, який залежить від гідростатичної стійкості атмосфери, шорсткості поверхні і від самої швидкості вітру.

Значення показника ступеня у формулі (2.8) залежить від характеру підстильної поверхні (міська поверхня, сільська поверхня) і гідростатичної стійкості приземного шару повітря. Для оцінки класу стійкості, в світовій практиці, часто використовується класифікація Паскуїлла, що розділяє ступінь термічної стійкості шару на 6 класів від сильно нестійкого конвективного стану, до сильно стійкого інверсійного стану.

В «Керівництві по спеціалізованому обслуговуванню економіки кліматичною інформацією, продукцією і послугами» рекомендується використовувати залежність показника ступеня від сезону року, так як протягом року змінюється шорсткість земної поверхні в зв'язку зі змінами густини і висоти рослинного покриву в теплий період і наявністю снігового покриву в холодний період року.

Таблиця 2.1 – Залежність показника ступеня в степеневому законі зростання швидкості вітру з висотою для різних сезонів року

Ступень	Зима	Весна	Літо	Осінь	Рік
m	0,17	0,22	0,24	0,17	0,20

З табл. 2.1 випливає, що найбільше зростання швидкості вітру з висотою ($m = 0,24$), при середніх умовах нейтральної термічної стратифікації, буде влітку, коли шорсткість поверхні найбільша. Взимку при практичній відсутності листової поверхні рослинного покриву і можливою наявністю сніжного покриву, наростання швидкості вітру з висотою зменшується.

Показники ступеня, які наведені в табл. 2.1, використовувалися нами для розрахунку швидкості вітру на висотах 100, 200 і 300 м для оцінки зміни вітроенергетичного потенціалу.

Значення в багатьох роботах, наприклад, в [1], приймається рівною $m = 0,143$ (закон «1/7» наростання швидкості з висотою). У нормативних документах [2] рекомендується використовувати $m = 0,2$. В роботі [3] для різних місць в США, рекомендуються значення $m = 0,23 \pm 0,03$ (табл. 2.2). При вимірах на різних висотах в роботі [4] значення можуть досягати 0,34. В окремих роботах для України використовується $m = 0,167$.

Таблиця 2.2 – Рекомендовані показатели m степеневому закону профілю вітру в США [13]

Клас стійкості	Міський показник	Сільський показник
A	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.250	0.10
D	0.25	0.15
E	0.30	0.35
F	0.30	0.55

Нейтральний клас D, для якого при шорсткості $z_0 = 5-10$ см показник так само дорівнює $m = 0,2$.

Недоліком степеневої залежності при відновленні середнього багаторічного вертикального профілю швидкості вітру є те, що існує досить сильна його залежність від термічної стійкості приземного шару атмосфери. Показник m , в цьому випадку, може змінюватися від 0,10 до 0,50 і, тому, для достовірних оцінок мінливості вертикального профілю необхідні дані мережевих метеорологічних спостережень, які проводиться як днем, так і вночі. Але зі збільшенням періоду осереднення швидкості вітру усередняється і умови впливу термічної стратифікації, які наближаються до нейтрального стану.

Тому, на практиці розрахунок вітроенергетичного потенціалу виконується за даними про середню швидкість вітру за тривалі інтервали часу, наприклад, за рік.

Так як, найбільш імовірним станом атмосфери є нейтральна стратифікація, то можна з успіхом використовувати і логарифмічну залежність, яка враховує вплив шорсткості підстильної поверхні на зростання швидкості вітру з висотою. Ця залежність записується в такий спосіб

$$\bar{V}_z = \bar{V}_{10} \ln(z/z_0) / \ln(10/z_0) \quad (2.9)$$

Параметр шорсткості z_0 в логарифмічній формулі має набагато більший діапазон мінливості від 10^{-3} до 2 м, тому логарифмічна залежність більш зручна для проведення узагальнення та районування території за вітроенергетичним потенціалом. Доведено [3], що між степеневим і логарифмічним законом розподілу швидкості вітру з висотою є функціональна взаємозв'язь.

Відзначимо так само, що на висоті 10 м найбільш енергонесущіх вітрами є швидкості вітру від 8 до 14 м/с, а на висоті понад 50 м швидкості вітру від 10 до 18 м/с. Швидкості менш $V < 5$ м/с і високі швидкості більш $V > 18$ м/с, не забезпечують високий енергопотенціал, так як перші мають низьку потенційну потужність, а високі швидкості мають дуже малу забезпеченість.

У США рекомендовано значення показника поділеного на класи стратифікації A, B, C, D, E, F (табл. 2.2).

3 ЧАСОВА ТА ПРОСТОРОВА МІНЛИВІСТЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

3.1 Кліматичні моделі

Передбачення клімату, включаючи наслідки його змін, це центральна задача науки про клімат. Поведінка кліматичної системи визначається взаємодією п'яти сфер: атмосфера, океан, криосфера, біосфера і діяльний шар суші (літосфера). Щоб зрозуміти і передбачити поведінку такої складної системи під впливом зовнішніх впливів необхідно використовувати фізико-математичними моделями, які описують процеси в зазначених середовищах з достатнім ступенем ймовірності і деталізації.

Сьогодні у всьому світі кількість відомих глобальних моделей становить кілька десятків. Зазвичай кожна модель добре відтворює лише частина шуканих кліматичних величин, в той час як інша частина відтворюється гірше.

При всьому величезному і далеко не вичерпаному потенціалі кліматичних моделей їх можливості не безмежні. Проте, без сумніву, сучасні кліматичні моделі відповідають найвищому рівню знань, накопичених людством за час досліджень кліматичної системи, і їм немає альтернативи в оцінках можливих в майбутньому змін клімату.

На основі сценаріїв майбутніх емісій парникових газів та аерозолів за допомогою сучасних моделей клімату отримані кліматичні сценарії.

Під кліматичним сценарієм розуміють ймовірну еволюцію кліматичної системи в майбутньому, яка узгоджується з припущеннями про майбутні емісії (зі сценаріями емісій) парникових газів і інших атмосферних домішок. Відповідно, під сценарієм зміни клімату мається на увазі різниця між кліматичними сценарієм і сучасним станом клімату. Оскільки сценарії емісій ґрунтуються на тих чи інших припущеннях про майбутнє економічному, технологічному, демографічному і т.п. розвитку людства. Кліматичні сценарії,

так само як і сценарії зміни клімату, слід розглядати не як прогноз, але лише як картини можливих в майбутньому станів клімату.

Зміни клімату оцінюються в нашій роботі двома сценаріями з різною концентрацією парникових газів RCP2.6 (490 p.p.m) і RCP4.5 (650 p.p.m) за прогнозований період 2021-2050 pp.

Можливі кліматичні зміни вітрових ресурсів України досліджується на основі результатів моделювання зміни клімату за допомогою регіональних кліматичних моделей по проекту EURO-CORDEX (CLMcom4, (Climate Limited-area Modelling Community), MPI-CSC2 (Max Planck Institute for Meteorology), SMHI5 (Swedish Meteorological and Hydrological Institute)).

Вихідна інформація про вітрові характеристики, яка отримана за допомогою кліматичних моделей містить дані про середньодобову швидкість вітру.

Моделльні вітрові характеристики були представлені для 27-х міст України, список станцій з укаазанієм області дано в табл. 3.1, а їх просторовий розподіл представлено на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Метеорологічні станції України, які вибрані для опису змін характеристик вітрового потоку

Номер станції	Назва станції	Область	Широта	Довгота
1	Семенівка	Чернігівська	52,2	32,6
7	Ковель2	Волинська	51,2	24,7
11	Коростень	Житомирська	50,9	28,6
12	Ніжин	Чернігівська	51,1	31,9
15	Суми	Сумська	50,9	34,7
16	Рава-Рус.	Львівська	50,2	23,6
18	Рівне	Рівненська	50,6	26,1
22	Фастів	Київська	50,1	29,9

Продовження табл. 3.1

28	Тернопіль	Тернопільська	49,5	25,7
33	Черкаси	Черкаська	49,4	32,1
35	Полтава	Полтавська	49,6	34,6
36	Долина	Івано-Франківська	48,9	24
39	Вінниця	Вінницька	49,2	28,6
44	Ужгород	Закарпатська	48,6	22,3
48	Чернівці	Чернівецька	48,4	25,9
50	Кіровоград	Кіровоградська	48,5	32,2
53	Любашівка	Одеська	47,9	30,3
56	Пришиб	Запорізька	47,3	35,3
61	Маріуполь	Донецька	47,1	37,6
63	Одеса аеропорт	Одеська	46,4	30,7
64	Миколаїв	Миколаївська	47	31,9
66	Ізмаїл	Одеська	45,4	28,9
70	Асканія-Нова	Херсонська	46,4	33,9
72	Харків	Харківська	49,1	36,1
77	Сватово	Луганська	49,4	38,2
79	Дніпро Кайдаки	Дніпропетровська	48,6	35
81	Луганськ аеропорт	Луганська	48,4	39,4

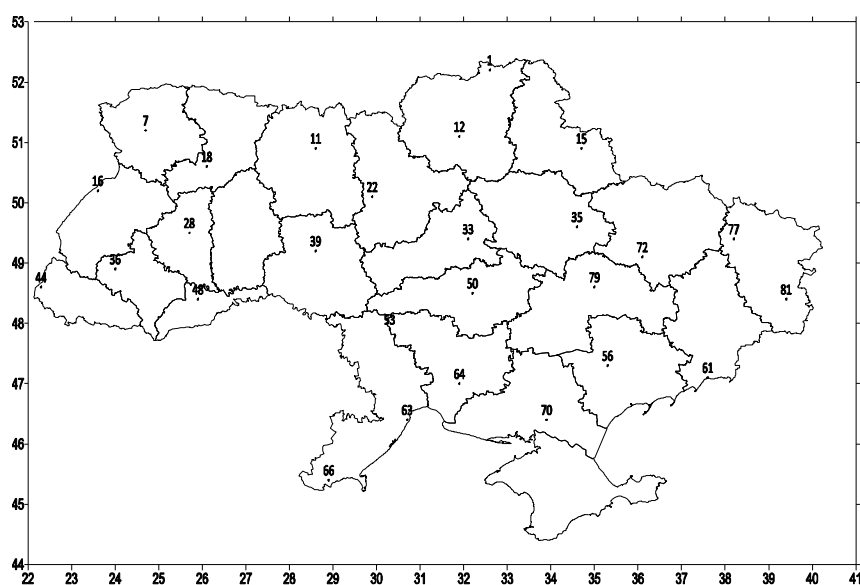


Рисунок 3.1 – Просторовий розподіл метеорологічних станцій України

3.2 Короткий огляд режиму вітру на Україні за минулий кліматичний період (1961-1990 рр.)

Дослідженню режиму вітру на Україні присвячена значна кількість теоретичних і експериментальних робіт. Узагальнення цих досліджень виконано у фундаментальній монографії «Клімат України», підготовленої співробітниками Українського науково-дослідницького гідрометеорологічного інституту, під редакцією В.М. Ліпніцького, В.А. Дячука і В.М. Бабіченко, яка опублікована в 2003 році [6].

В зв'язку зі зміною сучасного клімату, почнемо дослідження можливих змін вітрового режиму з аналізу просторового розподілу швидкостей вітру по території України за період, діючої до теперішнього часу кліматичної норми, тз 1960 до 1990 рр., тобто до початку різкого потепління клімату, яке спостерігалось протягом останнього десятиліття ХХ століття.

Розглянемо поля вітру (рис.3.2), які побудовані за даними кліматичної норми 27 метеостанцій України. Ці дані використовуються при аналізі змін швидкості вітру, розрахованих за сценаріями RCP2.6 та RCP4.5 (табл. 3.1).

Характерними особливостями розподілу швидкості вітру, незалежно від сезону, є:

- наявність трьох «зон» найбільших швидкостей вітру $\bar{V} > 4,3$ м/с в Дніпровській, Донецькій області та в східних областях північного регіону (Рівненська область). Відзначимо, що наявність зон великих швидкостей вітру в районах Донецької області підтверджується аналогічними швидкостями вітру в прилеглій території Російської Федерації;
- зони з великими швидкостями вітру на сході і заході України розділені улоговиною, шириною в 200-300 км, з середньомісячними швидкостями не більше 2,5-3,0 м/с. Улоговина, у вигляді меридіональної спрямованої смуги, простягається від південного (Одеська область) до північного регіону України (Чернігівська область).

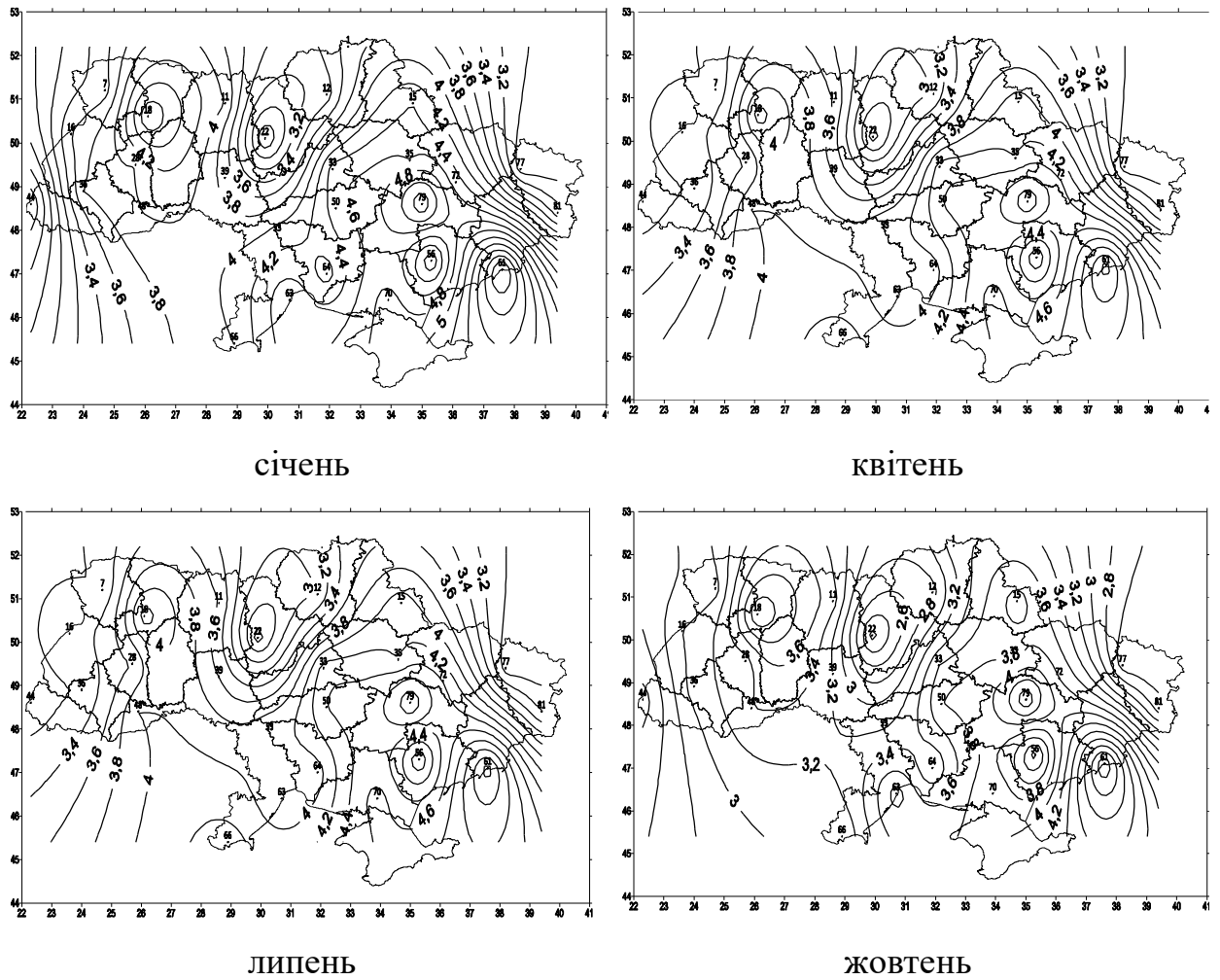


Рисунок 3.2 – Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для січня та квітня, побудований за даними 27-х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 рр.)

Найбільша середня місячна швидкість вітру спостерігається майже на всій території України в лютому, іноді цей максимум доводиться на січень, листопад або грудень (табл. 3.1).

Найменша швидкість вітру відмічається влітку. В липні-серпні на більшій частині території швидкість вітру зменшується до мінімальних значень.

Мінливість швидкості вітру за окремі місяці незначна, за винятком Українських Карпат. Загальний характер збільшення швидкості вітру (на

півночі до 3-4 м/с, на півдні до 5-6 м/с) відмічається з півночі на південь і обумовлено температурною неоднорідністю, а також сезонними баричними циркуляційними процесами в поєднанні з орографічними особливостями місцевості [6].

Таблиця 3.1 – Середньомісячні швидкості вітру за даними 27-х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 рр.)

№ станції	Назва станції	Місяць												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Семенівка	3,7	3,8	3,5	3,4	2,9	2,7	2,5	2,4	2,9	3,3	3,8	3,9	3,2
7	Ковель2	3,5	3,5	3,6	3,2	2,7	2,5	2,4	2,2	2,4	2,9	3,6	3,4	3
11	Коростень	4	3,7	3,8	3,6	3	2,9	2,9	2,9	3,2	3,5	4,1	4	3,5
12	Ніжин	3,3	3,4	3,2	3	2,6	2,4	2,3	2,2	2,4	2,7	3,2	3,3	2,8
15	Суми	4,4	4,6	4,3	4,1	3,5	3,3	3,1	3,1	3,3	3,9	4,4	4,5	3,9
16	Рава-Рус.	3,6	3,5	3,5	3,4	2,9	2,8	2,8	2,5	2,8	3	3,6	3,6	3,2
18	Рівне	4,8	4,7	4,6	4,3	3,7	3,4	3,3	3,1	3,7	4,2	5,1	4,9	4,2
22	Фастів	2,6	2,6	2,5	2,5	2,1	1,8	1,7	1,7	1,8	2,12	2,4	2,4	2,2
28	Тернопіль	4	4,1	4	3,6	3	2,8	2,7	2,5	2,9	3,3	4,1	4	3,4
33	Черкаси	4,5	4,6	4,4	4,3	3,8	3,2	3,1	3,2	3,3	3,6	4,1	4,3	3,9
35	Полтава	4,6	5,0	4,5	4,2	3,7	3,2	3,1	3	3,2	3,7	4,3	4,4	3,9
36	Долина	3,8	3,6	3,6	3,2	2,6	2,5	2,5	2,3	2,6	3,1	3,8	3,7	3,1
39	Вінниця	3,7	3,9	3,7	3,6	3	2,7	2,8	2,6	2,8	3,2	3,7	3,7	3,3
44	Ужгород	2,2	2,5	2,8	3,1	2,7	2,4	2,3	2,1	2,3	2,3	2,5	2,3	2,5
48	Чернівці	4	4,2	4,1	4	3,6	3,4	3,3	3,1	3,1	3,4	3,8	3,7	3,6
50	Кіровоград	4,5	4,8	4,6	4,4	3,9	3,5	3,4	3,5	3,6	3,8	4,2	4,4	4,1
53	Любашівка	4,1	4,3	4,1	4	3,4	3	2,9	2,9	2,9	3,2	3,7	3,9	3,5
56	Пришиб	4	4,5	4	3,8	3,3	2,7	2,6	2,7	2,8	3,1	3,5	3,6	3,4
61	Маріуполь	6,3	7,1	6,1	5,5	5	4,4	4,2	4,4	4,8	5,4	5,9	5,9	5,4
63	Одеса аеропорт	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
64	Миколаїв	4,1	4,2	4,1	3,9	3,6	3,3	3,1	3,1	3,1	3,2	3,8	3,9	3,6
66	Ізмаїл	4	4,4	4,3	4,3	3,8	3,5	3,2	2,9	2,9	3	3,3	3,6	3,6
70	Асканія-Нова	4,9	5,5	5,1	4,7	4,1	3,7	3,6	3,7	3,7	4	4,5	4,5	4,3
72	Харків	4,5	4,8	4,6	4,4	3,8	3,4	3,3	3,2	3,4	3,8	4,2	4,4	4
77	Сватово	2,9	3,1	3	2,9	2,5	2,2	2,2	2,1	2,2	2,5	2,8	2,9	2,6
79	Дніпро Кайдаки	5,4	5,7	5,2	5	4,4	3,8	3,7	3,8	4,1	4,6	4,9	5,2	4,7
81	Луганськ аеропорт	3,3	3,8	3,5	3,2	2,8	2,1	2	2,1	2,3	2,7	3,1	3,1	2,8
	Серед по Україні	4,05	4,24	4,04	3,83	3,33	2,99	2,9	2,84	3,03	3,39	3,88	3,92	3,54

Відмінність швидкості вітру між північними і південними районами в холодний період року досягає 3,5 м/с, влітку і восени вона зменшується і дорівнює 2,8 м/с, а весною – 2,3 м/с.

Проте, на окремих станціях (Чернігів, Житомир, Тернопіль, Вінниця, Дніпропетровськ, Ужгород, Чернівці) спостерігається збільшення швидкості вітру, тому зменшення швидкості вітру слід пояснювати не тільки суб'єктивними причинами, але й впливом змін динамічних макроциркуляційних процесів.

Найбільшу повторюваність (60-90 %) має помірний вітер (2-5 м/с), в зимові місяці повторюваність такого вітру зменшується до 50-60 %. Швидкість 6-10 м/с частіше всього спостерігається в холодний період року або в перехідні сезони. Вітер із швидкістю більше 10 м/с буває рідко, в зимові місяці на більшій частині території частота його складає 3-8 %, в гірських районах вона зростає до 20-30 %, влітку майже на всій території зменшується до 1-2 %, в горах – 10 %.

Найбільше число днів з вітром >10 м/с спостерігається на більшій частині території в квітні і коливається від 10 до 15 днів. В центральних і південних областях такий вітер спостерігається частіше (15-18 днів) в січні і березні, в горах найбільше число днів з вітром більше 10 м/с приходить на грудень (18-20 днів). В середньому за рік така швидкість, на значній частині території, спостерігається від 90 до 150 днів, на Закарпатській низовині до 70 днів, на височинах, в горах і на узбережжі Чорного та Азовського морів їх кількість зростає до 200-250 днів. Вітер із швидкістю більше 15 м/с на значній території в середньому за рік відмічається від 5 до 30 днів.

3.3 Аналіз результатів розрахунку середньої швидкості вітру на території України за допомогою кліматичних моделей згідно сценарію RCP2.6

На рис. 3.3 показані середньомісячні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$, і середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ для 27 метеостанцій України за період 2021-2050 рр., згідно кліматичної моделі CLMcom4 за сценарієм RCP2.6. Табличні дані приведені в додатку А.

Бачимо, що протягом року на всіх метеостанціях зберігається сталість швидкості вітру від 3,5 до 4,5 м/с в залежності від їх географічного положення по території України.

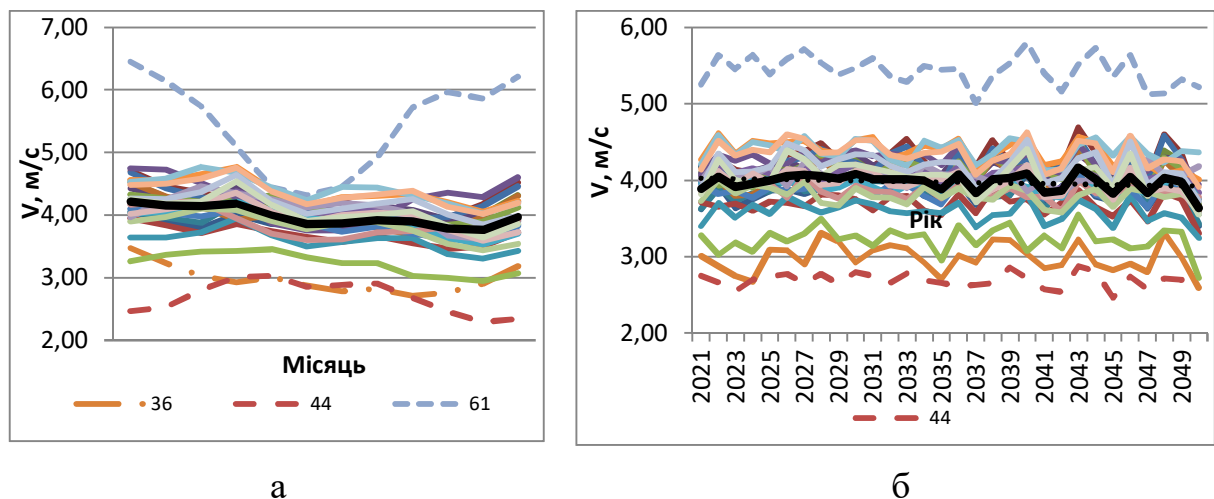


Рисунок 3.3 – Середньомісячні швидкості вітру ($V_{\text{мод}}$) (а); середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ (б) за період 2021-2050 рр. для 27 метеостанцій України, згідно кліматичної моделі CLMcom4. Сценарій RCP2.6

Сезонні коливання швидкості на всіх станціях відсутні. Модель CLMcom4 виділяє окремо станцію: №61 (Маріуполь) з максимальною швидкістю вітру взимку до 7 м/с і мінімальною 4,5 м/с – влітку, а також станції

№ 36 (Долина), №44 (Ужгород) та №48 (Чернівці) на яких прогнозуються слабкі швидкості вітру менше 3,5 м/с без сезонних коливань швидкості.

Звертає увагу збільшення швидкості вітру в теплий сезон року. Зростання швидкості вітру в теплий сезон можливий може тільки за рахунок утворення циклонічного баричного поля на всій території України.

На рис. 3.3б показаний багаторічні зміни середньорічних швидкостей вітру $V_{\text{мод}}$ за весь період з 2021 до 2050 рр. для 27 метеостанцій України. Середньорічні швидкості вітру протягом всього 30-річного періоду на всіх 27 метеостанцій, крім Маріуполя і Ужгорода, мало змінюються, і в залежності від їх географічного розташування, швидкості вітру на станціях становить від 2,5 до 5,5 м/с.

Тренд зміни швидкостей зменшиться на 0,1 м/с, а середня швидкість за результатами осереднення на всіх станцій становить $V_{\text{ср}} = 3,97$ м/с.

Перейдемо до аналізу моделі MPI-CSC2.

На рис. 3.4а модель MPI-CSC2, на відміну від моделі CLMcom4, прогнозує на всіх метеостанціях сезонні коливання швидкості вітру з амплітудою (А) від 1 м/с до 3,5 м/с на різних станціях.

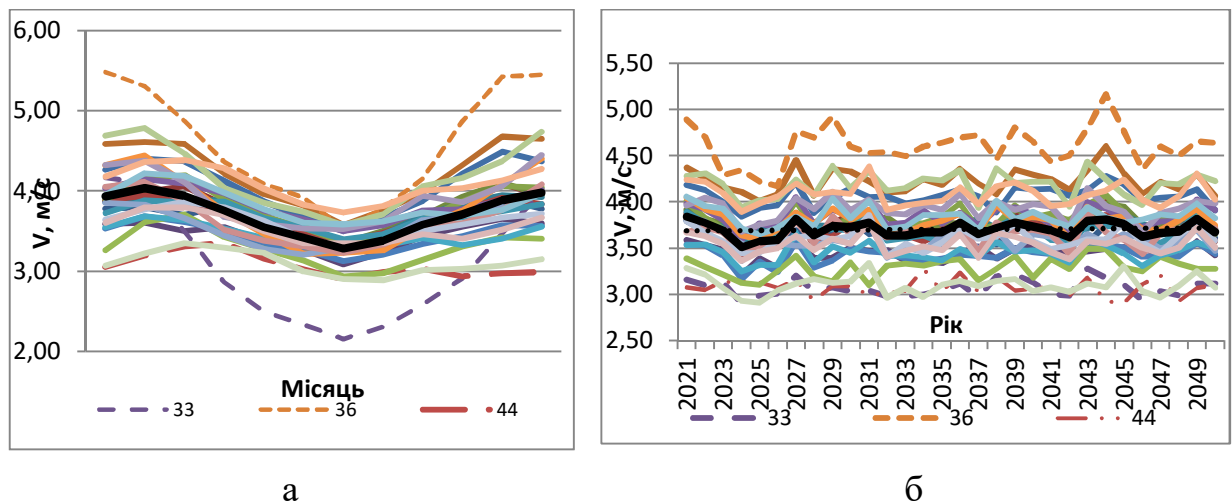


Рисунок 3.4 – Середньомісячні швидкості вітру ($V_{\text{мод}}$) (а); середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ (б) за період 2021-2050 рр. для 27 метеостанцій України, згідно кліматичної моделі MPI-CSC2. Сценарій RCP2.6

Модель MPI-CSC2 виділяє особливості двох станцій: станцію №33 (Черкаси, Центральний регіон) зі слабкими швидкостями вітру до 2 м/с і станцію №36 (Долина, Західний регіон) зі швидкостями вітру взимку до 5,5 м/с.

На рис. 3.46 показаний багаторічний хід середньорічних швидкостей вітру $V_{\text{мод}}$ 27 метеостанцій України за період з 2021 по 2050 рр.

Середньорічні швидкості вітру протягом усього 30-річного періоду на 27 метеостанціях мало змінюються і, в залежності від їх географічного розташування, швидкості вітру розташовуються в діапазоні від 3 м/с до 4,4 м/с.

Середня швидкість по Україні для моделі MPI-CSC2 становить $V_{\text{ср.}} = 3,70$ м/с.

Розглянемо далі особливості моделі SMHI5.

На рис. 3.5а показані сезонні зміни середньомісячних швидкостей вітру для всіх метеостанцій. Максимальна амплітуда (А) сезонних коливань складає 2,5 м/с, що близько до амплітуди 3,2 м/с за кліматичну норму. Швидкість вітру на всіх метеостанціях близька до середньої швидкості кожного перерізу випадкової функції зміни швидкості вітру.

Особливість моделі SMHI5, це прогноз швидкості вітру для метеостанцій, які за період з 2021 по 2050 рр., будуть мати швидкості вітру вище кліматичної норми на 1-2м/с, а швидкість вітру на метеостанціях №35 (потавіть, Центральний регіон), №79 (Дніпро, Центральний регіон), №33 (Черкаси, Центральний регіон), №61 (Маріуполь, Східний регіон), №72 (Харків, Східний) і №70 (Асканія-Нова, Південний регіон) буде менші приблизно на 0,5-1,0 м/с.

На рис. 3.5б показаний багаторічний хід середньорічних швидкостей вітру 27 метеостанцій України за період з 2021 по 2050 рр. Середньорічні швидкості вітру мало змінюються і розподіляються від 3м/с до 4,5 м/с.

Середня швидкість вітру в Україні змінюється щодо кліматичної норми всього лише на 0,06 м/с. Середня швидкість по Україні для моделі SMHI5 складе $V_{\text{ср}}=4,06$ м/с.

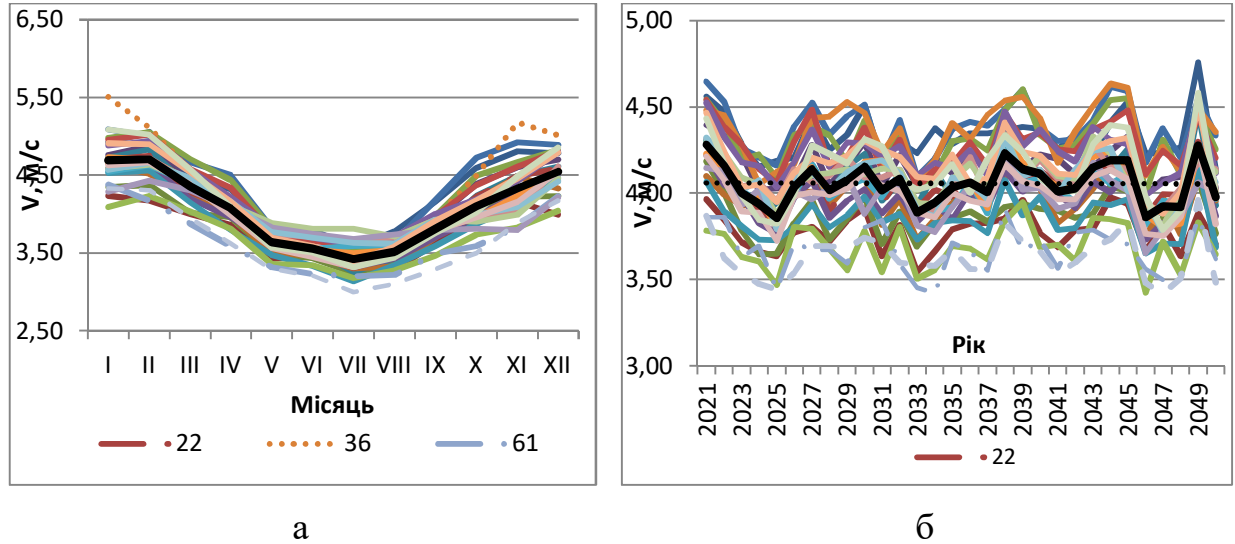


Рисунок 3.5 – Середньомісячні швидкості вітру ($V_{\text{мод}}$) (а); середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ (б) за період 2021-2050 рр. для 27 метеостанцій України, згідно кліматичної моделі SMHI5. Сценарій RCP2.6

3.4 Аналіз результатів расчета средней скорости ветра на территории Украины за допомогою кліматичних моделей згідно сценарію RCP4.5

Почнемо з аналізу моделі CLMcom4.

Рис. 3.6а показує, що впродовж року на всіх метеостанціях зберігається сталість швидкості вітру від 3 до 5,5 м/с в залежності від їх географічного положення по території України. Сезонні коливання швидкості на всіх станціях відсутні. Модель CLMcom4 виділяє окремо дві станції: №61 (Маріуполь) з максимальною швидкістю вітру взимку до 7 м/с і мінімальною

швидкістю влітку 4,5 м/с, та станцію №44 (Ужгород) на якій прогнозується слабкі швидкості вітру менше 3 м/с без сезонних коливань швидкості.

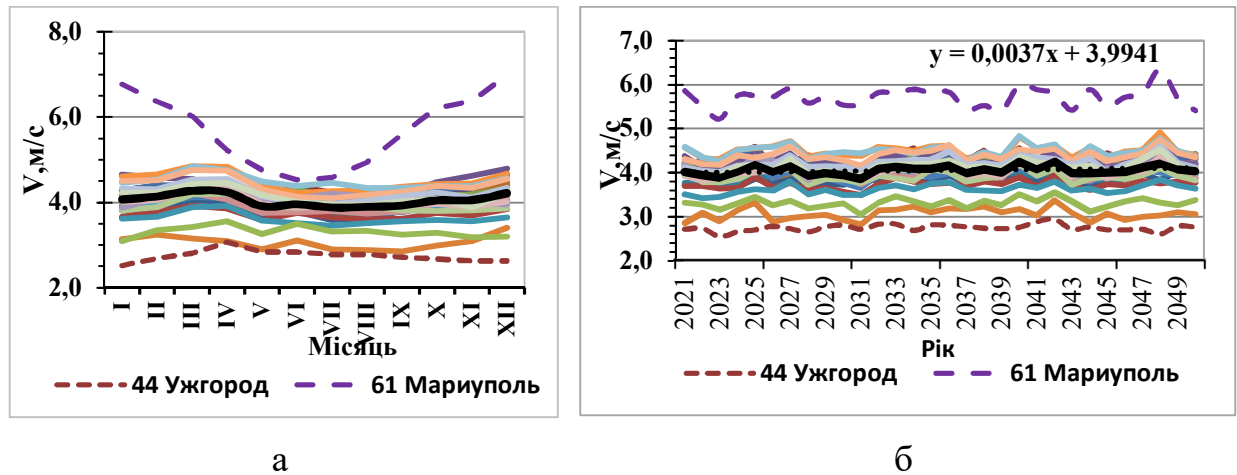


Рисунок 3.6 – Середньомісячні швидкості вітру ($V_{\text{мод}}$) (а); середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ (б) за період 2021-2050 рр. для 27 метеостанцій України, згідно кліматичної моделі CLMcom4

На рис. 3.6б показано багаторічні зміни середньорічних швидкостей вітру $V_{\text{мод}}$ за весь період з 2021 до 2050 рр. для 27 метеостанцій України. Середньорічні швидкості вітру протягом всього 30-річного періоду на всіх 27 метеостанціях, крім Маріуполя і Ужгорода, мало змінюються, і в залежності від їх географічного розташування, швидкості вітру на станціях становить від 3 до 4,5 м/с. Середня швидкість за результатами осреднення моделей стане $V_{\text{ср}} = 4,05$ м/с (додаток А).

Перейдемо до аналізу моделі MPI-CSC2.

На рис. 3.7а модель MPI-CSC2, на відміну від моделі CLMcom4, прогнозує на всіх метеостанціях сезонні коливання швидкості вітру з амплітудою (а) від 1 м/с до 3,5 м/с на різних станціях. Модель MPI-CSC2 виділяє особливості двох станцій: станцію №33 (Черкаси, Центральний регіон) зі слабкими швидкостями вітру і станцію №36 (Долина, Західний регіон) зі швидкостями вітру взимку до 6 м/с.

На рис. 3.7б показано багаторічний хід середньорічних швидкостей вітру $V_{\text{мод}}$ 27 метеостанцій України за період з 2021 по 2050 рр.

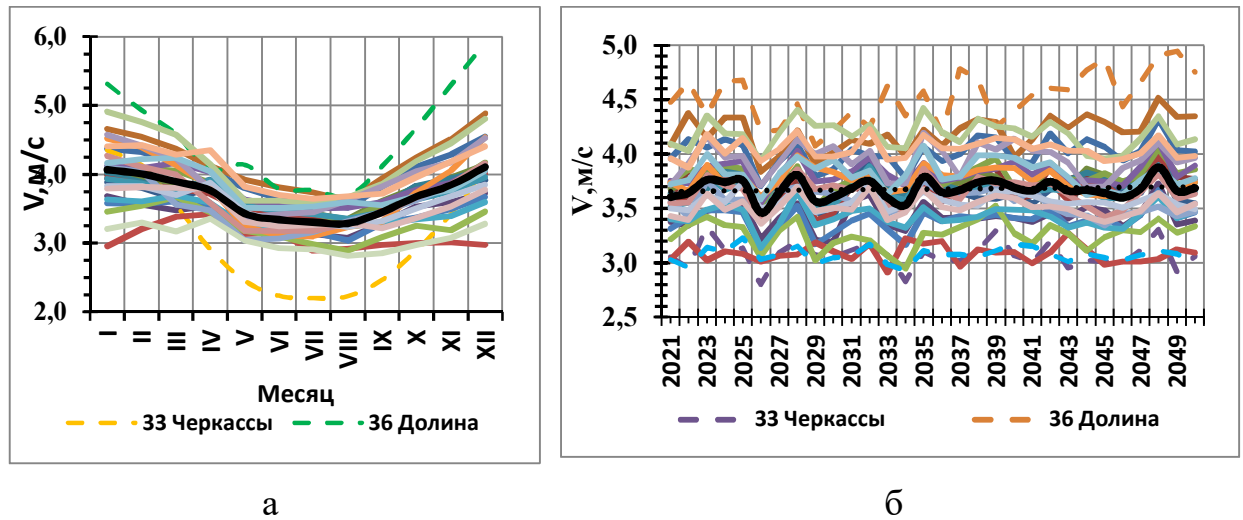


Рисунок 3.7 – Середньомісячні швидкості вітру ($V_{\text{мод}}$) (а); середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ (б) за період 2021-2050 рр. для 27 метеостанцій України, згідно кліматичної моделі MPI-CSC2

Середньорічні швидкості вітру протягом усього 30-річного періоду на 27 метеостанціях мало змінюються і, в залежності від їх географічного розташування, швидкості вітру розташовуються в діапазоні від 3 м/с до 4,5 м/с.

Середня швидкість по Україні для моделі MPI-CSC2 становить $V_{\text{ср}}=3,68$ м/с (додаток А).

Розглянемо далі особливості моделі SMHI5.

На рис. 3.8а показані сезонні зміни середньомісячних швидкостей вітру для всіх метеостанцій. Максимальна амплітуда (рис. 3.8а) сезонних коливань складає 2,5 м/с, що близько до амплітуді 3,2 м/с за кліматичну норму.

На рис. 3.8б показаний багаторічний хід середньорічних швидкостей вітру 27 метеостанцій України за період з 2021 по 2050 рр. Середньорічні швидкості вітру протягом усього 30-річного періоду мало змінюються і, в залежності від їх географічного розташування, швидкості вітру розподіляються від 3,3 м/с до 4,7 м/с.

Середня швидкість по Україні для моделі SMHI5 складе $V_{\text{ср}}=4,02$ м/с (додаток А).

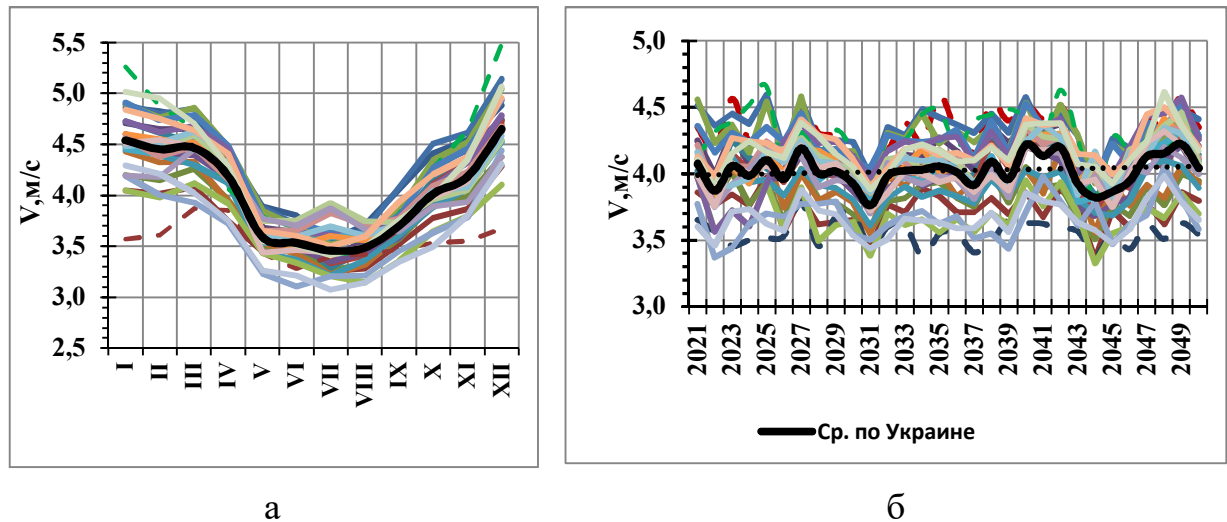


Рисунок 3.8 – Середньомісячні швидкості вітру ($V_{\text{мод}}$) (а); середньорічні швидкості вітру $V_{\text{мод}}$ (б) за період 2021-2050 рр. для 27 метеостанцій України, згідно кліматичної моделі SMHI5

На рис. 3.9 показані результати прогнозів середньомісячної швидкості вітру на метеостанції №61 (Долина) та метеостанції №61 (Маріуполь) за різними моделям сценаріями.

При порівнянні значень модельних середньомісячних швидкостей вітру виявлено за різними сценаріями визначено, що часовий хід швидкості вітру мають чітко виражений сезонний хід з максимальними значеннями в холодну пору року від 4,3 до 6,4 м/с для станції Маріуполь (модель CLMcom4), однак для станції Долина модель CLMcom4 занижує значення, (від 2,7 до 3,5 м/с), а річний хід практично відсутній.

Дані середньомісячних швидкостей вітру, які розраховані за моделями MPI-CSC2 і SMHI5 коливаються в межах від 3,2 м/с до 4,3 м/с. Варто також визначити, що на станції Маріуполь модельні значення близькі до кліматичної норми (модель CLMcom4) або нижче її (моделі MPI-CSC2 і SMHI5).

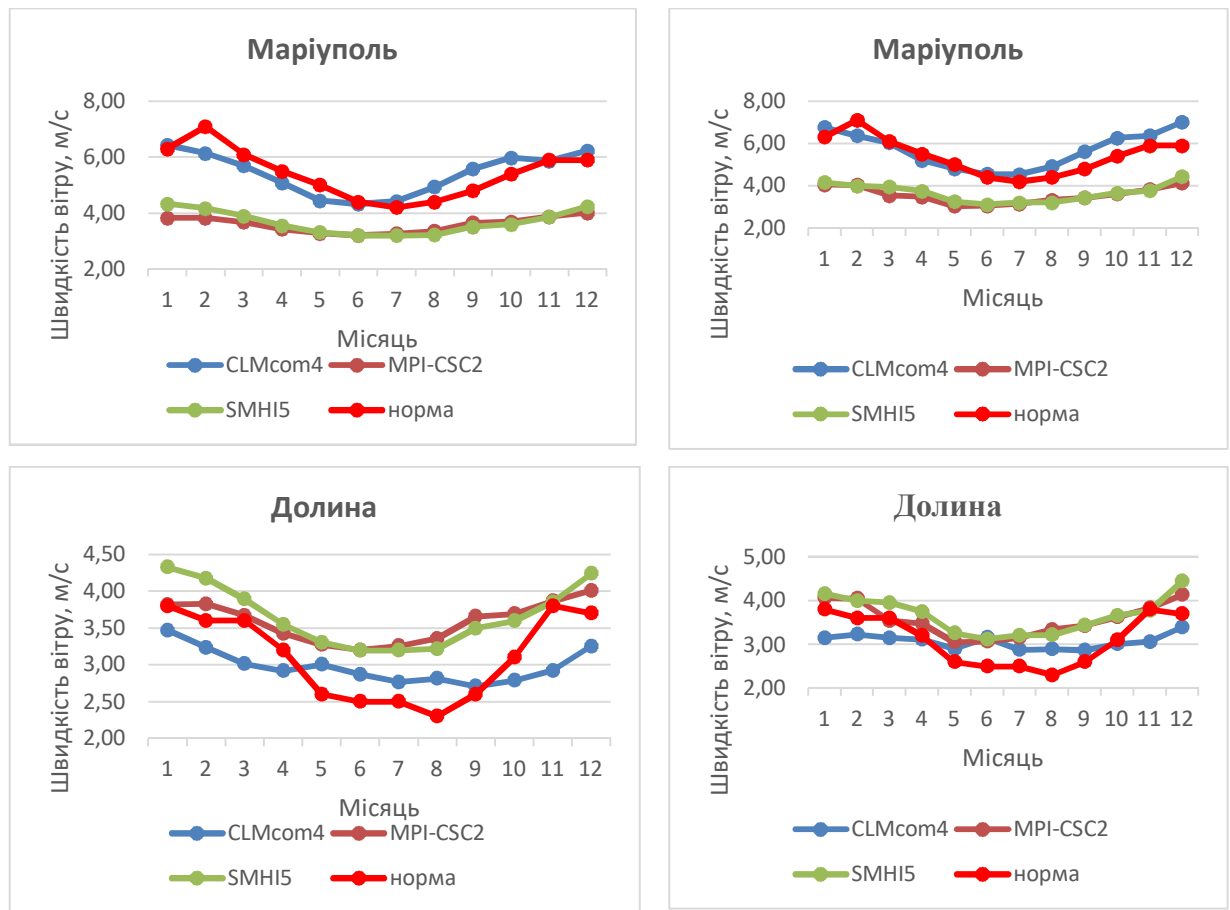


Рисунок 3.9 – Середньомісячні швидкості вітру за різними моделями та сценаріями

Фактори підвищення швидкості вітру в теплий період року в прогнозах кліматичних моделей може бути вікнікані малоїмовірнімі прогнозами зміни, наприклад, при зміні баричної системи з антициклональної на циклонічну.

У таблицях 3.2-3.3 наведені відомості про дані кліматичної норми, прогностичні модельні середньорічні значення швидкості вітру и їх відхилення від кліматичної норми по 27 станціям України згідно сценаріям RCP2.6 и RCP 4.5.

Таблиця 3.3 – Приземна середньорічна швидкість вітру на рівні флюгеру та відхилення середньорічних швидкостей вітру від кліматичної норми, м/с. Сценарій RCP2.6

№ ст.	Назва станції	Середньорічна швидкість вітру на рівні флюгеру, м/с				Відхилення середньорічних швидкостей вітру від кліматичної норми, м/с		
		Норма	CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5
1	Семенівка	3,2	3,8	3,7	4,3	0,6	0,5	1,1
7	Ковель2	3	4,3	3,7	3,8	1,3	0,7	0,8
11	Коростень	3,5	4,2	3,8	3,9	0,7	0,3	0,4
12	Ніжин	2,8	4,2	3,5	4,2	1,4	0,7	1,4
15	Суми	3,9	3,9	3,7	4,1	0,0	-0,2	0,2
16	Рава-Рус.	3,2	4,0	4,2	4,0	0,8	1,0	0,8
18	Рівне	4,2	4,2	4,1	4,4	0,0	-0,1	0,2
22	Фастів	2,2	3,7	3,7	4,1	1,5	1,5	1,9
28	Тернопіль	3,4	4,1	3,8	4,3	0,7	0,4	0,9
33	Черкаси	3,9	4,3	3,1	4,0	0,4	-0,8	0,1
35	Полтава	3,9	3,6	3,7	3,9	-0,3	-0,2	0,0
36	Долина	3,1	3,0	4,6	4,4	-0,1	1,5	1,3
39	Вінниця	3,3	3,9	3,4	4,3	0,6	0,1	1,0
44	Ужгород	2,5	2,7	3,1	4,3	0,2	0,6	1,8
48	Чернівці	3,6	3,2	3,3	3,7	-0,4	-0,3	0,1
50	Кіровоград	4,1	4,1	3,8	4,2	0,0	-0,3	0,1
53	Любашівка	3,5	3,9	3,5	4,0	0,4	0,0	0,5
56	Пришиб	3,4	4,4	3,8	4,1	1,0	0,4	0,7
61	Маріуполь	5,4	5,4	3,6	3,7	0,0	-1,8	-1,7
63	Одеса аеропорт	3,9	3,9	3,7	4,1	0,0	-0,2	0,2
64	Миколаїв	3,6	3,8	4,2	4,1	0,2	0,6	0,5
66	Ізмаїл	3,6	4,1	3,9	4,0	0,5	0,3	0,4
70	Асканія-Нова	4,3	4,4	3,8	4,1	0,1	-0,5	-0,2
72	Харків	4	4,4	4,1	4,2	0,4	0,1	0,2
77	Сватово	2,6	4,2	3,6	3,6	1,6	1,0	1,0
79	Дніпро Кайдаки	4,7	4,0	3,5	4,0	-0,7	-1,2	-0,7
81	Луганськ аероп.	2,8	4,1	3,1	4,1	1,3	0,3	1,3
	Сер. по Україні	3,5	4,0	3,7	4,1	0,4	0,2	0,5

Таблиця 3.4 – Середньорічна швидкість вітру на рівні флюгеру та відхилення середньорічних швидкостей вітру від кліматичної норми, м/с.
Сценарій RCP 4.5

№ ст.	Назва станції	Середньорічна швидкість вітру на рівні флюгеру, м/с				Відхилення середньорічних швидкостей вітру від кліматичної норми, м/с		
		Норма	CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5
1	Семенівка	3,2	3,8	3,7	4,3	0,6	0,5	0,6
7	Ковель2	3	4,3	3,7	3,7	1,3	0,7	1,3
11	Коростень	3,5	4,2	3,7	3,8	0,7	0,2	0,7
12	Ніжин	2,8	4,2	3,4	4,2	1,4	0,6	1,4
15	Суми	3,9	3,9	3,7	4,1	0,0	-0,2	0,0
16	Рава-Рус.	3,2	4,1	4,2	3,9	0,9	1,0	0,9
18	Рівне	4,2	4,3	4,0	4,3	0,1	-0,2	0,1
22	Фастів	2,2	3,7	3,7	4,0	1,5	1,5	1,5
28	Тернопіль	3,4	4,2	3,8	4,3	0,8	0,4	0,8
33	Черкаси	3,9	4,3	3,1	4,0	0,4	-0,8	0,4
35	Полтава	3,9	3,6	3,7	3,9	-0,3	-0,2	-0,3
36	Долина	3,1	3,1	4,5	4,3	0,0	1,4	0,0
39	Вінниця	3,3	3,9	3,4	4,3	0,6	0,1	0,6
44	Ужгород	2,5	2,7	3,1	4,3	0,2	0,6	0,2
48	Чернівці	3,6	3,3	3,3	3,7	-0,3	-0,3	-0,3
50	Кіровоград	4,1	4,2	3,8	4,2	0,1	-0,3	0,1
53	Любашівка	3,5	4,0	3,4	4,0	0,5	-0,1	0,5
56	Пришиб	3,4	4,5	3,8	4,1	1,1	0,4	1,1
61	Маріуполь	5,4	5,7	3,6	3,7	0,3	-1,8	0,3
63	Одеса аеропорт	3,9	4,0	3,7	4,1	0,1	-0,2	0,1
64	Миколаїв	3,6	3,9	4,2	4,1	0,3	0,6	0,3
66	Ізмаїл	3,6	4,1	4,0	4,0	0,5	0,4	0,5
70	Асканія-Нова	4,3	4,5	3,8	4,1	0,2	-0,5	0,2
72	Харків	4	4,4	4,0	4,2	0,4	0,0	0,4
77	Сватово	2,6	4,2	3,6	3,7	1,6	1,0	1,6
79	Дніпро Кайдаки	4,7	4,0	3,5	4,0	-0,7	-1,2	-0,7
81	Луганськ аероп.	2,8	4,1	3,1	4,2	1,3	0,3	1,3
	Сер. по Україні	3,54	4,1	3,7	4,0	0,5	0,1	0,5

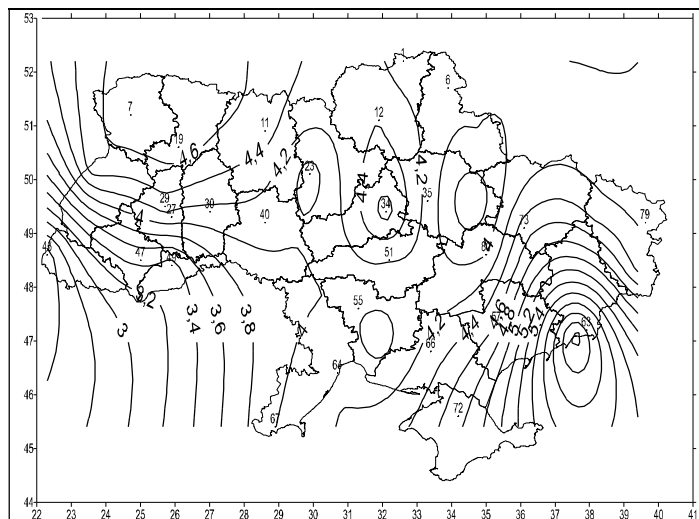
Таким чином, можна зробити висновок, що модель CLMcom4 прогнозує відсутність сезонних змін швидкості вітру, коли швидкість змінюється незначно. Тоді як, дві інші моделі MPI-CSC2, SMHI5 показують великий розмах сезонних коливань в 1,5 м/с. Середні відхилення по Україні складають для моделі CLMcom4 складає 0,1 м/с, для моделей MPI-CSC2, SMHI5 складає 0,1 м/с

3.5 Просторовий розподіл швидкості приземного вітру України за прогностичний період з 2021 по 2050 рр.

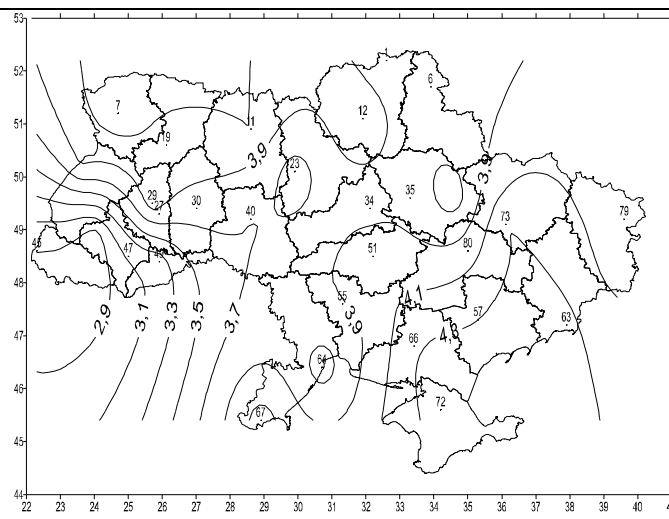
Аналіз просторового розподілу швидкості вітру виконан шляхом порівняння ізоанемон (лінія однакових середньорічних швидкостей вітру), побудованих за середньомісячним даними, які були отримані за допомогою кліматичних моделей, згідно сценаріїв зміни клімату RCP2.6 і RCP4.5. Ізолінії рівних швидкостей вітру проведені з дискретністю 0,2 м/с, починаючи від ізолінії 2,0 м/с до ізолінії 6,0 м/с.

На рис. 3.10-3.11 представлені карти просторового розподілу середньої швидкості вітру для двох місяців холодного і теплого періоду: січня і липня, розрахованих за допомогою моделей CLMcom4, MPI-CSC2, SMHI5 за сценаріями RCP 2.6 та RCP 4.5, їх табличні значення наведені в Додатку А.

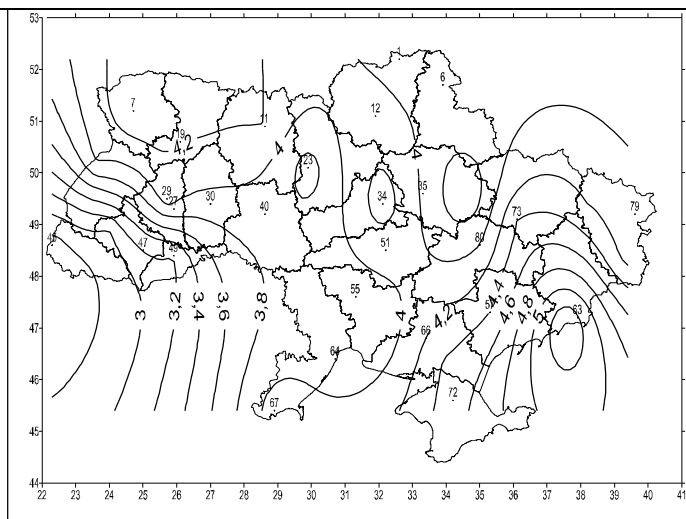
Аналіз карт середніх швидкостей вітру за сценарієм RCP 4.5 (рис. 3.11а), отриманих відповідно до моделі CLMcom4 показав, що центри високих і низьких швидкостей вітру за модельними даними зберігаються по відношенню до кліматичної норми. Найбільші швидкості вітру будуть спостерігатися в східній частині України і будуть досягати 6-7 м/с в зимовий період і більше 4 м/с – в літній, проте, в подальшому прогнозується їх поступове зменшення. Центри найменших швидкостей вітру будуть розташовані на заході України.



січень

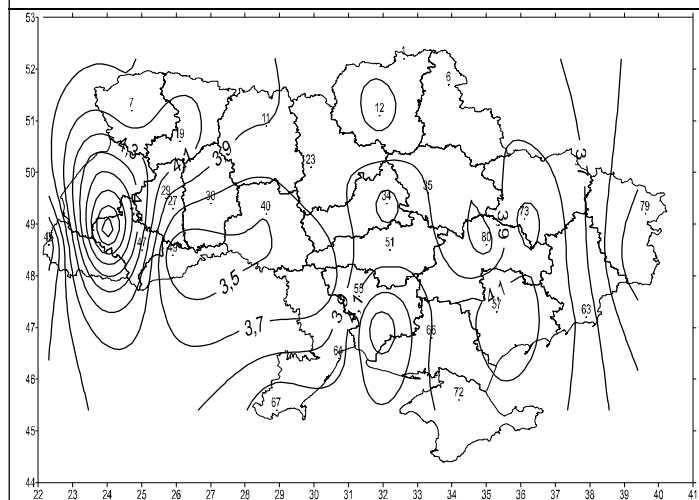


липень

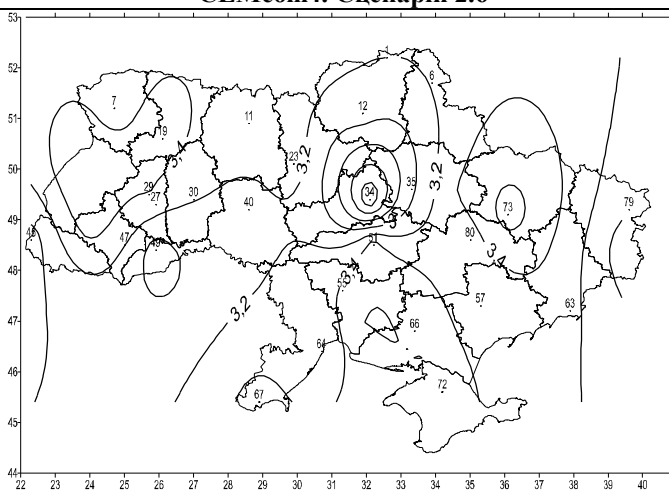


рік

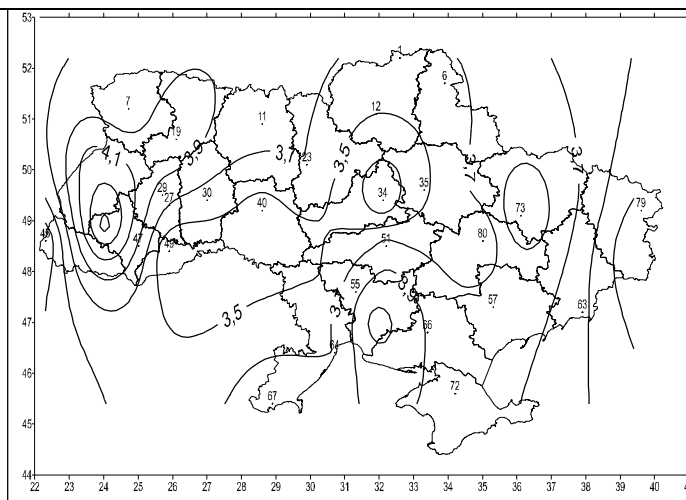
CLMcom4.2.6



січень



липень



рік

MPI-CSC2.2.6

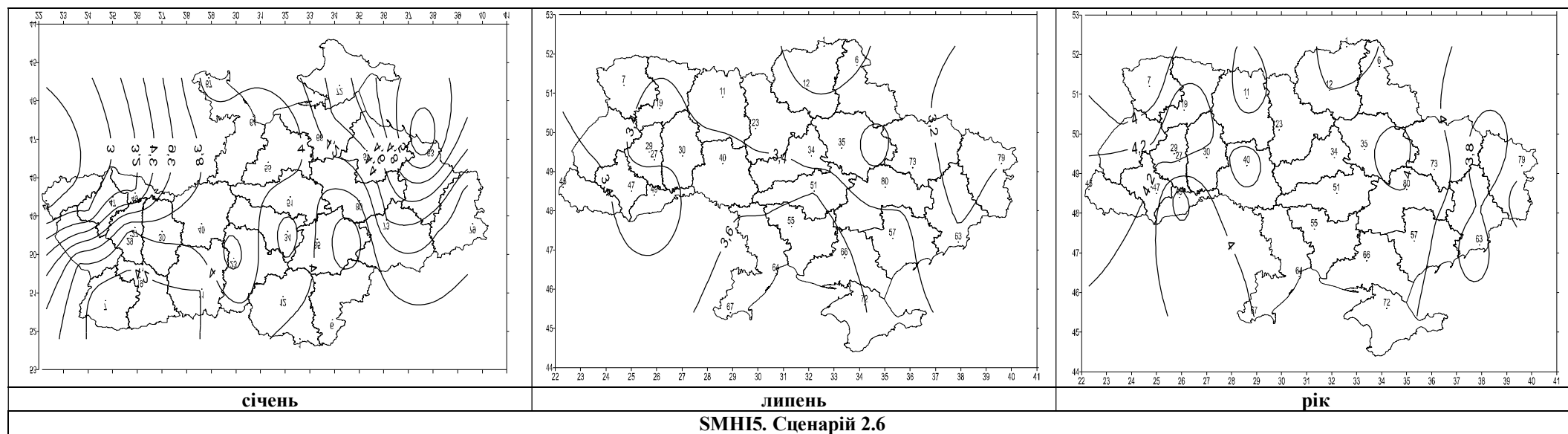
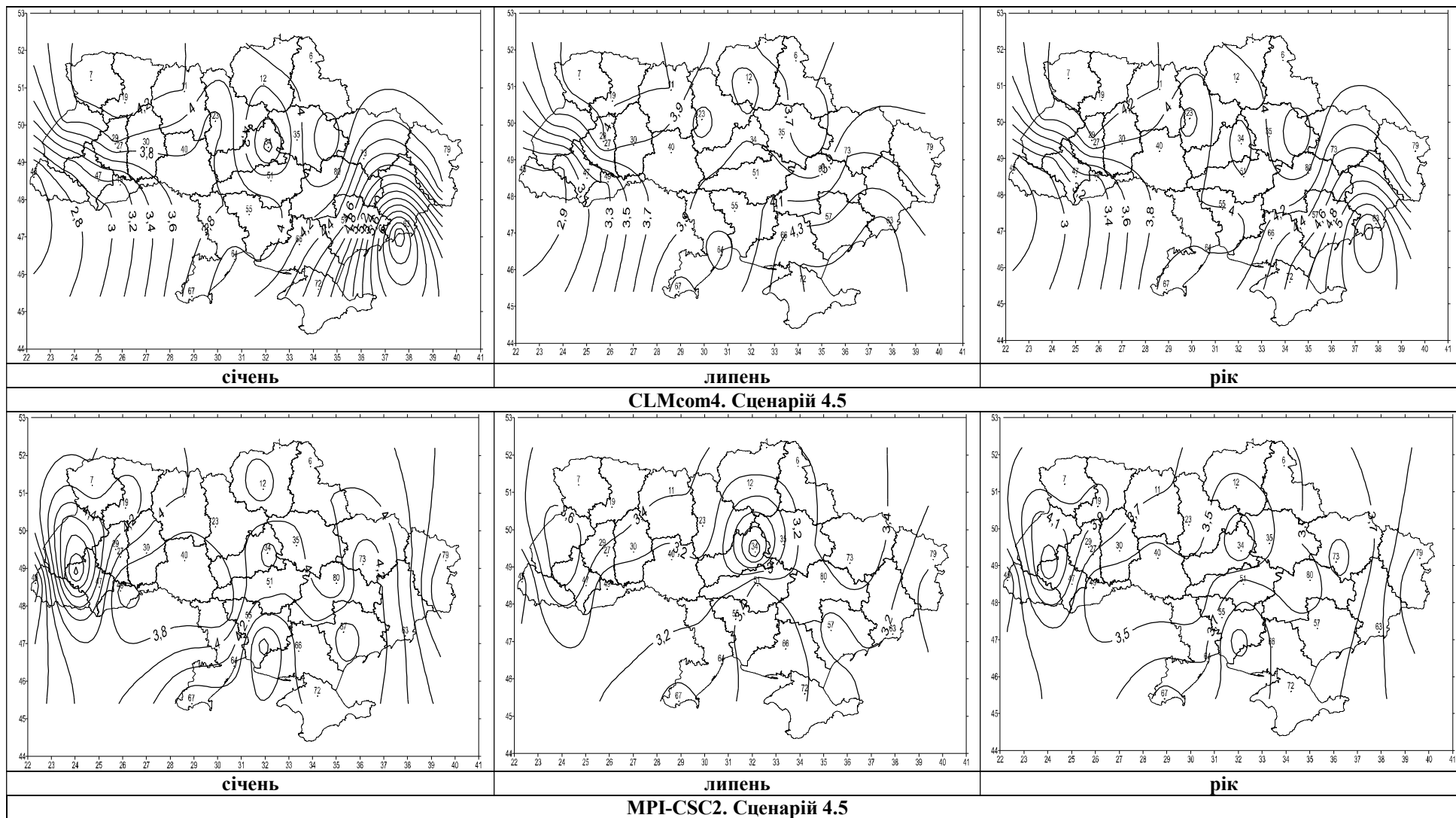


Рисунок 3.10 – Середня швидкість вітру за зимовий та літній період (січень і липень) за прогнозований період 2021-2050 рр. за різними моделями. Сценарій RCP 2.6



Відповідно до моделі MPI-CSC2 (рис. 3.11б) швидкість вітру в східній частині сильно зменшуватися в порівнянні з кліматичною нормою, а середньорічні значення не буде перевищувати 4,4 м/с. Центри високих швидкостей смещуються на захід і південь України.

Згідно з моделлю SMHI5, максимумами також будуть розташовані в західній і східній частинах України.

Просторовий розподіл швидкостей відповідно до сценарію RCP 2.6 подібно розподілу швидкостей сценарія RCP 4.5.

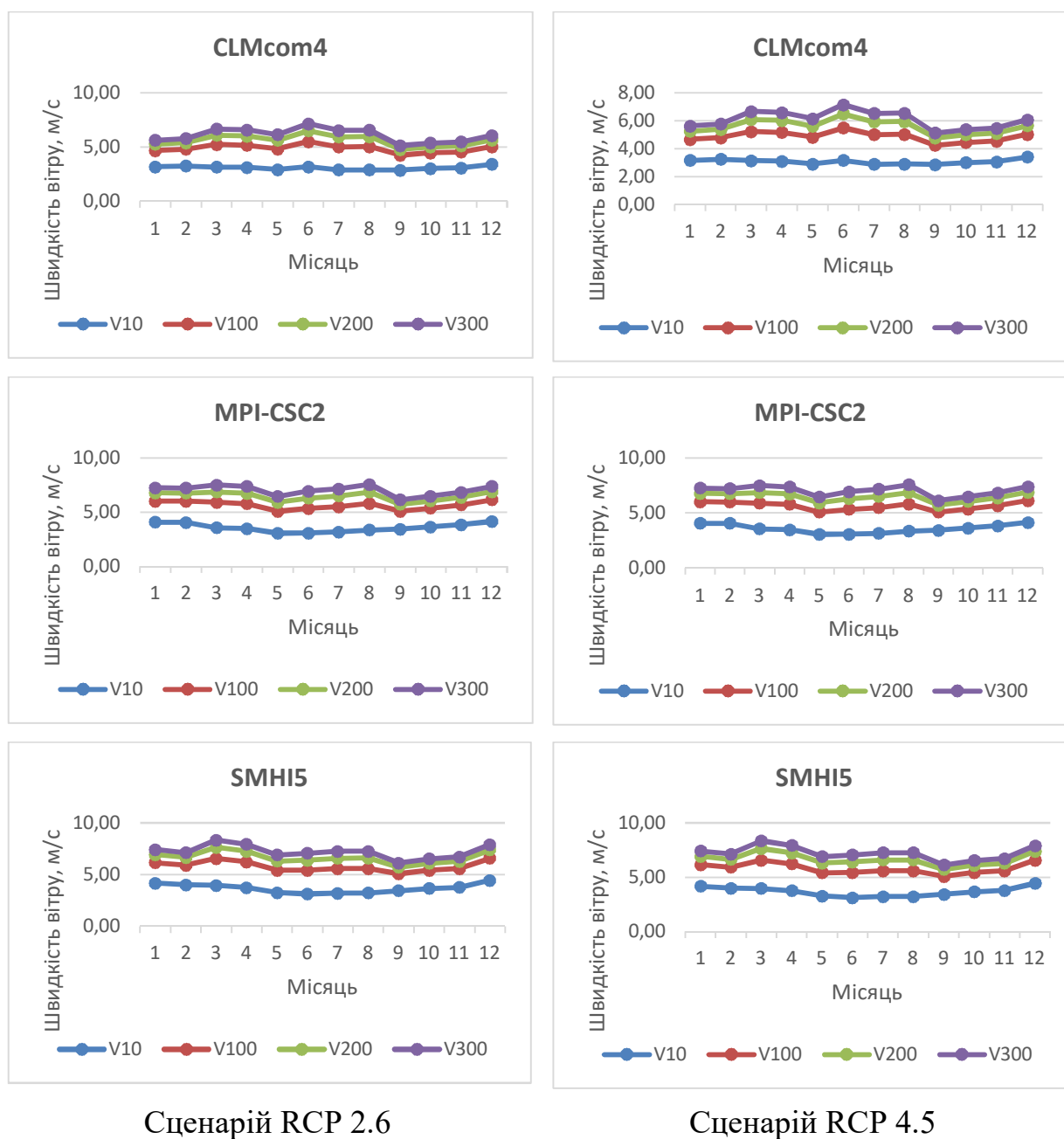
Таким чином, середня швидкість вітру по Україні за період 2021-2050 рр., яка прогнозована різними моделями і сценаріями, становитиме:

1. Для сценарія RCP 2.6: CLMcom4 – 3,98 м/с, MPI-CSC2 – 3,70 м/с, SMHI5 – 4,06 м/с,
- 2) Для сценарія RCP 4.5: CLMcom4 – 4,05 м/с, MPI-CSC2 – 3,68 м/с, SMHI5 – 4,05 м/с.

3.6 Швидкість вітру та енергетичний потенціал на висотах

Для отримання даних про середню швидкість та енергетичну характеристику (питомий вітроенергетичний потенціал) використовувалася метод степеневого закону профілю вітру. За результатами розрахунків зроблені підсумкові таблиці середньомісячних швидкостей вітру та енергетичний потенціал на висотах 10, 100, 200 та 300 м (додаток Б). В якості прикладу, за результатами розрахунків побудовані часові ряди на станціях Маріуполь та Долина, згідно сценаріям RCP 4.5 і RCP 2.6 (рис. 3.12 та 3.13).

Найбільші швидкості вітру на всіх висотах, відповідно до моделі CLMcom4 фіксуються на сході України. Тут швидкості вітру більші ніж на 1-1,5 м/с в порівнянні зі швидкістю вітру в інших регіонах України. Отже, східні області України, як і в попередні роки, володіють найбільшим вітровим енергопотенціалом.



Сценарій RCP 2.6

Сценарій RCP 4.5

Рисунок 3.12 – Часовий хід середньомісячних швидкостей вітру на різних висотах на станції Долина (№ 36)

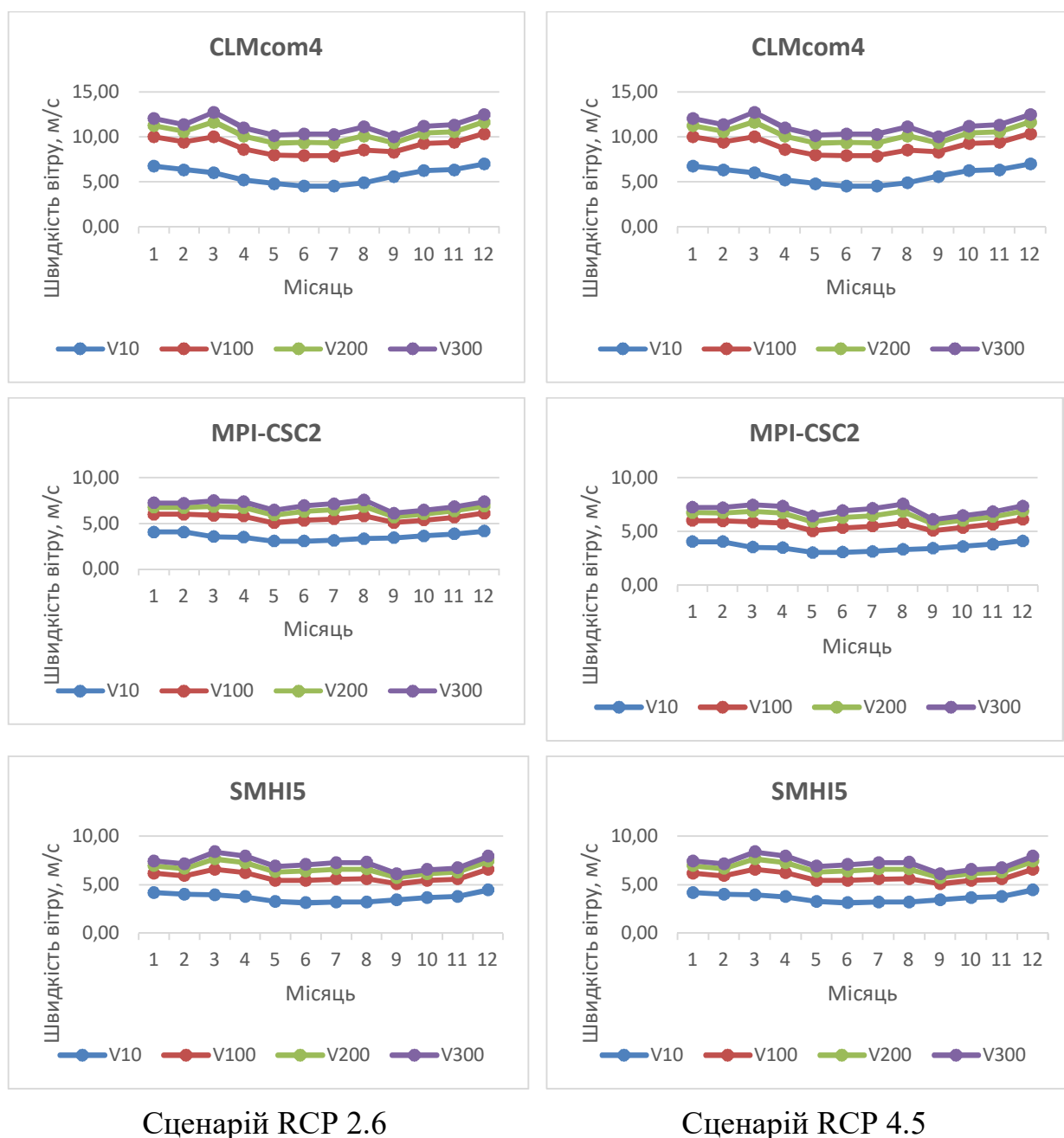


Рисунок 3.13 – Часовий хід середньомісячних швидкостей вітру на різних висотах на станції Маріуполь (№61)

Мінімальні в західних областях. Моделі MPI-CSC2 і SMHI5 показують схоже розподіл з максимальними значеннями в західній і південній частинах України і мінімальними значеннями в центральній частині.

ВИСНОВКИ

Характер просторової мінливості швидкості вітру змінюється від регіону до регіону. Змінюється як амплітуда, так і фаза коливань, тобто вітровий режим середини ХХІ століття відрізняється від режиму вітру за базовий кліматичний період.

Так як кожна модель прогнозує різні варіанти просторових змін середньорічної швидкості вітру на території України, то узагальнюючи ці зміни можна знайти регіони, які володіє найбільшою вітровою енергетикою.

У звіті наводяться свідчення середньомісячних швидкостей вітру для кожної метеостанції тих чи інших регіонів. Усереднити ці середньомісячні швидкості по всім метеостанціях регіону, ми отримуємо середньорічну швидкість яка характеризує потенціал вітрової енергетики даного регіону.

Покажемо які регіони матимуть найбільший потенціал вітрової енергетики (ПВЕ) в прогнозований період з 2031 по 2050 рр.

Результати згідно сценарію RCP 2.6.

1. Модель CLMcom4

Східний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,5 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 803Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Маріуполь – 5,7 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 1456 Вт/м².

2. Модель MPI-CSC2

Західний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 3,83м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 507Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Долина – 4,6 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 983 Вт/м².

3. Модель SMHI5

Північний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 559Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Семенівка – 4,3 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 650 Вт/м².

Центральний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 552Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Вінниця – 4,3 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 647 Вт/м².

Південний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 555Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Ізмаїл – 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 580 Вт/м².

Результати згідно сценарію RCP 4.5.

1. Модель CLMcom4

Східний регіон України: середня річна швидкість по регіону складе 4,61 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 849Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Маріуполь – 5,7 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 1627 Вт/м².

2. Модель MPI-CSC2

Південний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 3,8 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 457Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Ізмаїл-4,2 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 608 Вт/м².

Західна регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 3,8 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 480Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Долина – 4,2 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 933 Вт/м².

3. Модель SMHI5

Північний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 559Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Семенівка – 4,3 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 650 Вт/м².

Центральний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 557Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Вінниця – 4,3 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 639 Вт/м².

Південний регіон України: середня річна швидкість по регіону складає 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку регіону на висоті 10м – 553Вт/м²; метеостанція з найбільшими ПВЕ Ізмаїл – 4,1 м/с; питома потужність вітрового потоку в районі метеостанції – 577 Вт/м².

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бызова Н. Л, Мошкова Г. Б. Безразмерные характеристики профиля скорости ветра по измерениям в 300-метровом слое атмосферы. – изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1976, т.2, №7, с. 681-687
2. Волошин В.Г. Динамическая модель загрязнения атмосферы с метеорологическим препроцессором. /Монография, науч. редактор С.Н. Степаненко/. Од.: Экология. 2013 г. – 295 с.
3. Голубенко Н.С., Довгальок С.И., Фельдман А.М., Худик В.Б. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности. С. 1-4.
4. Ешманова Н.В., Степанова Н.Е. Оценка климатологически оптимального режима использования ветровой энергии // Тр.ВНИИГМИ МЦД. – 1985. – Вып. 125. – С. 10-19.
5. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: [монографія] / колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.]; за ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. – Одеса: Вид. „ТЕС”, 2015. – 520 с.
6. Клімат України. – К.: Видавництво Раєвського. – 2003. – 560 с.
7. Кліматичний кадастр України. – Київ.: Видавництво Раєвського. – 2006. – 400 с.
8. Метеорологія і кліматологія. Підручник / Під. редакцією професора С.М. Степаненка.– Одеса, ТЕС, 2008.–534 с.
9. Подгуренко В.С. Анализ развития ветроэнергетики в Украине // Энергетика и электрификация. – 2000. – №10. – С. 40-51.
10. Руководство по использованию климатических показателей / Под. ред. Кобышевой Н. В. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 200 с.
11. Степаненко С.Н Динамика и моделирование климата. – Одеса: Екологія, 2013. – 206 с.
12. Шефтер Я.І. Використання енергії вітру 2 видання, перероб, і доп.. <http://ac.gov.ru/>. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации.

13. Businger J.A., Wyngaard J.C., Izumi Y., Bradley E.F. Flux profile relationships in the atmospheric surface layer//J. Atmos Sci. – 1971. – №28. – P. 181-189.
14. Global Wind Energy Council; BP Statistical Review of World Energy, June 2013.
15. Paskuill F., Smith F. Atmosphery diffusion, third edision. John Waily – New York, 1983 – 440 p.
16. <http://www.litsoch.ru/referats/read/308452/>
17. <http://gis-meteo.org.ru>
18. <http://msd.in.ua/rozvitok-vitroenergetiki-v-ukra%D1%97ni/>
19. <http://zavantag.com/docs/283/index-559551.html>
20. <http://ua-referat.com>
21. <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=479315>
22. <http://roovee.net/c125/item1188405.html>

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Середньомісячні швидкості вітру кліматичної норми (1961-1990 рр.) для п'яти регіонів України.

№ станції	Назва станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	3,70	3,80	3,50	3,40	2,90	2,70	2,50	2,40	2,90	3,30	3,80	3,90	3,20
11	Коростень	4,00	3,70	3,80	3,60	3,00	2,90	2,90	2,90	3,20	3,50	4,10	4,00	3,50
12	Ніжин	3,30	3,40	3,20	3,00	2,60	2,40	2,30	2,20	2,40	2,70	3,20	3,30	2,80
15	Суми	4,40	4,60	4,30	4,10	3,50	3,30	3,10	3,10	3,30	3,90	4,40	4,50	3,90
22	Фастів	2,60	2,60	2,50	2,50	2,10	1,80	1,70	1,70	1,80	2,12	2,40	2,40	2,20
	Середнє	3,60	3,62	3,46	3,32	2,82	2,62	2,50	2,46	2,72	3,10	3,58	3,62	3,12
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	3,50	3,50	3,60	3,20	2,70	2,50	2,40	2,20	2,40	2,90	3,60	3,40	3,00
16	Рава-Рус.	3,60	3,50	3,50	3,40	2,90	2,80	2,80	2,50	2,80	3,00	3,60	3,60	3,20
18	Рівне	4,80	4,70	4,60	4,30	3,70	3,40	3,30	3,10	3,70	4,20	5,10	4,90	4,20
28	Тернопіль	4,00	4,10	4,00	3,60	3,00	2,80	2,70	2,50	2,90	3,30	4,10	4,00	3,40
36	Долина	3,80	3,60	3,60	3,20	2,60	2,50	2,50	2,30	2,60	3,10	3,80	3,70	3,10
44	Ужгород	2,20	2,50	2,80	3,10	2,70	2,40	2,30	2,10	2,30	2,30	2,50	2,30	2,50
48	Чернівці	4,00	4,20	4,10	4,00	3,60	3,40	3,30	3,10	3,10	3,40	3,80	3,70	3,60
	Середнє	3,70	3,73	3,74	3,54	3,03	2,83	2,76	2,54	2,83	3,17	3,79	3,66	3,29
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,50	4,60	4,40	4,30	3,80	3,20	3,10	3,20	3,30	3,60	4,10	4,30	3,90
35	Полтава	4,60	5,00	4,50	4,20	3,70	3,20	3,10	3,00	3,20	3,70	4,30	4,40	3,90
39	Вінниця	3,70	3,90	3,70	3,60	3,00	2,70	2,80	2,60	2,80	3,20	3,70	3,70	3,30
50	Кіровоград	4,50	4,80	4,60	4,40	3,90	3,50	3,40	3,50	3,60	3,80	4,20	4,40	4,10
79	Дніпро Кайдаки	5,40	5,70	5,20	5,00	4,40	3,80	3,70	3,80	4,10	4,60	4,90	5,20	4,70
	Середнє	4,54	4,80	4,48	4,30	3,76	3,28	3,22	3,22	3,40	3,78	4,24	4,40	3,98
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	4,10	4,30	4,10	4,00	3,40	3,00	2,90	2,90	2,90	3,20	3,70	3,90	3,50
63	Одеса аеропорт	4,60	4,60	4,30	3,80	3,40	3,20	3,20	3,30	3,40	3,90	4,30	4,30	3,90
64	Миколаїв	4,10	4,20	4,10	3,90	3,60	3,30	3,10	3,10	3,10	3,20	3,80	3,90	3,60
66	Ізмаїл	4,00	4,40	4,30	4,30	3,80	3,50	3,20	2,90	2,90	3,00	3,30	3,60	3,60
70	Асканія-Нова	4,90	5,50	5,10	4,70	4,10	3,70	3,60	3,70	3,70	4,00	4,50	4,50	4,30
56	Пришиб	4,00	4,50	4,00	3,80	3,30	2,70	2,60	2,70	2,80	3,10	3,50	3,60	3,40
	Середнє	4,28	4,58	4,32	4,08	3,60	3,23	3,10	3,10	3,13	3,40	3,85	3,97	3,72
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	6,30	7,10	6,10	5,50	5,00	4,40	4,20	4,40	4,80	5,40	5,90	5,90	5,40
72	Харків	4,50	4,80	4,60	4,40	3,80	3,40	3,30	3,20	3,40	3,80	4,20	4,40	4,00
77	Сватово	2,90	3,10	3,00	2,90	2,50	2,20	2,20	2,10	2,20	2,50	2,80	2,90	2,60
81	Луганськ аероп.	3,30	3,80	3,50	3,20	2,80	2,10	2,00	2,10	2,30	2,70	3,10	3,10	2,80
	Середнє	4,25	4,70	4,30	4,00	3,53	3,03	2,93	2,95	3,18	3,60	4,00	4,08	3,70

Таблиця А2 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період
2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель CLMcom4.
Сценарій RCP 2.6

№ станції	Назва станції	Місяці												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	4,07	3,91	3,80	4,01	3,85	3,84	3,75	3,85	3,75	3,58	3,72	3,90	3,83
11	Коростень	4,53	4,29	4,22	4,27	4,18	4,11	4,07	4,09	4,04	3,91	4,00	4,31	4,17
12	Ніжин	4,43	4,26	4,18	4,46	4,24	4,15	4,06	4,16	4,08	3,92	4,03	4,22	4,18
15	Суми	4,04	3,96	3,88	4,20	3,95	3,79	3,78	3,88	3,85	3,66	3,71	3,84	3,88
22	Фастів	3,95	3,83	3,71	3,86	3,75	3,65	3,58	3,67	3,55	3,46	3,50	3,72	3,69
	Середнє	4,20	4,05	3,96	4,16	3,99	3,99	3,85	3,93	3,85	3,71	3,79	4,00	3,95
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	4,70	4,46	4,36	4,25	4,28	4,16	4,22	4,09	3,94	3,96	4,18	4,53	4,26
16	Рава-Рус.	4,52	4,30	4,13	3,92	3,99	3,89	3,88	3,81	3,67	3,75	3,97	4,31	4,01
18	Рівне	4,68	4,43	4,28	4,24	4,22	4,09	4,03	3,96	3,94	3,97	4,15	4,46	4,20
28	Тернопіль	4,33	4,26	4,22	4,25	4,31	4,15	3,98	3,94	3,84	3,84	3,89	4,12	4,09
36	Долина	3,47	3,24	3,03	2,93	3,01	2,87	2,78	2,82	2,71	2,76	2,90	3,18	2,98
44	Ужгород	2,47	2,53	2,80	3,00	3,03	2,86	2,89	2,91	2,68	2,46	2,29	2,35	2,69
48	Чернівці	3,26	3,37	3,42	3,43	3,45	3,33	3,23	3,23	3,03	3,00	2,94	3,07	3,23
	Середнє	3,92	3,80	3,75	3,72	3,76	3,62	3,57	3,54	3,40	3,39	3,47	3,72	3,64
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,75	4,72	4,51	4,28	3,87	3,76	3,75	3,94	4,26	4,35	4,29	4,60	4,26
35	Полтава	3,65	3,64	3,72	3,95	3,69	3,50	3,57	3,63	3,63	3,38	3,30	3,43	3,59
39	Вінниця	4,10	4,03	3,98	4,08	4,02	3,86	3,74	3,82	3,70	3,63	3,65	3,83	3,87
50	Кіровоград	4,20	4,18	4,22	4,38	4,20	4,02	4,06	4,09	4,05	3,81	3,73	3,92	4,07
79	Дніпро Кайдаки	4,02	4,09	4,19	4,35	4,05	3,88	4,00	4,04	4,01	3,77	3,59	3,73	3,98
	Середнє	4,14	4,13	4,12	4,21	3,97	3,81	3,82	3,90	3,93	3,79	3,71	3,90	3,95
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	4,02	4,05	4,14	4,22	4,08	3,95	3,92	4,00	3,85	3,63	3,53	3,71	3,92
63	Одеса аеропорт	4,16	4,21	4,20	3,95	3,71	3,60	3,61	3,73	3,75	3,81	3,74	3,91	3,87
64	Миколаїв	3,90	3,97	4,10	4,08	3,90	3,78	3,88	3,89	3,76	3,54	3,44	3,54	3,82
66	Ізмаїл	3,97	4,25	4,46	4,35	4,26	4,12	4,20	4,15	4,03	3,67	3,61	3,72	4,07
70	Асканія-Нова	4,53	4,58	4,77	4,68	4,44	4,23	4,45	4,44	4,32	4,18	4,02	4,19	4,40
56	Пришиб	4,56	4,55	4,65	4,77	4,41	4,14	4,28	4,31	4,34	4,21	4,05	4,22	4,37
	Середнє	4,19	4,27	4,39	4,34	4,13	3,97	4,06	4,09	4,01	3,84	3,73	3,88	4,07
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	6,45	6,14	5,73	5,10	4,44	4,32	4,45	4,92	5,72	5,96	5,86	6,21	5,44
72	Харків	4,49	4,51	4,58	4,76	4,38	4,18	4,28	4,32	4,39	4,14	4,02	4,19	4,35
77	Сватово	4,27	4,26	4,37	4,64	4,22	4,02	4,10	4,18	4,25	4,01	3,84	3,99	4,18
81	Луганськ аероп.	4,25	4,18	4,21	4,54	4,17	3,91	3,97	4,00	4,06	3,83	3,64	3,86	4,05
	Середнє	4,86	4,77	4,73	4,76	4,30	4,11	4,20	4,36	4,60	4,48	4,34	4,56	4,51

Таблиця АЗ – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період
2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель MPI-CSC2.
Сценарій RCP 2.6

№ станції	Назва станції	Місяці												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	3,78	3,80	3,70	3,82	3,64	3,47	3,24	3,46	3,68	3,84	3,90	3,78	3,67
11	Коростень	3,94	4,01	3,92	3,85	3,65	3,56	3,35	3,50	3,68	3,92	4,10	3,95	3,79
12	Ніжин	3,59	3,61	3,50	3,55	3,37	3,27	3,09	3,24	3,44	3,55	3,65	3,60	3,45
15	Суми	3,86	3,92	3,84	3,91	3,68	3,52	3,33	3,45	3,69	3,84	3,95	3,92	3,74
22	Фастів	3,88	3,94	3,86	3,77	3,54	3,51	3,35	3,47	3,63	3,76	3,91	3,84	3,71
	Середнє	3,81	3,85	3,76	3,78	3,47	3,47	3,27	3,42	3,62	3,78	3,90	3,82	3,67
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	3,88	3,99	4,06	3,83	3,57	3,45	3,29	3,41	3,58	3,85	4,08	3,95	3,74
16	Рава-Рус.	4,59	4,61	4,59	4,22	3,96	3,82	3,57	3,76	3,98	4,32	4,68	4,65	4,23
18	Рівне	4,27	4,40	4,37	4,13	3,86	3,67	3,50	3,66	3,87	4,22	4,49	4,37	4,07
28	Тернопіль	3,89	4,15	4,19	3,89	3,68	3,54	3,36	3,45	3,64	3,87	4,06	4,04	3,81
36	Долина	5,48	5,30	4,87	4,37	4,09	3,92	3,53	3,78	4,15	4,87	5,42	5,45	4,60
44	Ужгород	3,05	3,19	3,31	3,35	3,16	3,02	2,90	2,99	3,03	2,94	2,98	2,99	3,08
48	Чернівці	3,26	3,61	3,70	3,43	3,28	3,13	2,93	2,98	3,14	3,31	3,42	3,41	3,30
	Середнє	4,06	4,18	4,16	3,89	3,51	3,51	3,30	3,43	3,63	3,91	4,16	4,12	3,83
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,17	4,10	3,49	2,86	2,49	2,33	2,15	2,30	2,59	2,91	3,47	3,98	3,07
35	Полтава	3,72	3,88	3,86	3,87	3,66	3,54	3,39	3,46	3,65	3,67	3,74	3,84	3,69
39	Вінниця	3,53	3,68	3,61	3,52	3,33	3,27	3,12	3,21	3,34	3,44	3,57	3,56	3,43
50	Кіровоград	4,04	4,15	4,09	3,97	3,75	3,65	3,50	3,58	3,75	3,77	3,88	4,01	3,85
79	Дніпро Кайдаки	3,60	3,79	3,79	3,70	3,50	3,35	3,34	3,35	3,46	3,40	3,52	3,67	3,54
	Середнє	3,81	3,92	3,77	3,58	3,23	3,23	3,10	3,18	3,36	3,44	3,64	3,81	3,51
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	3,54	3,68	3,64	3,53	3,41	3,35	3,25	3,32	3,42	3,32	3,40	3,56	3,45
63	Одеса аеропорт	4,05	4,11	3,88	3,51	3,38	3,31	3,23	3,33	3,58	3,60	3,76	4,09	3,65
64	Миколаїв	4,69	4,78	4,47	4,03	3,85	3,74	3,57	3,71	4,06	4,16	4,37	4,74	4,18
66	Ізмаїл	4,33	4,38	4,11	3,68	3,59	3,53	3,52	3,62	3,94	3,86	4,06	4,44	3,92
70	Асканія-Нова	3,95	4,22	4,18	3,98	3,77	3,60	3,58	3,62	3,73	3,69	3,76	3,97	3,84
56	Пришиб	4,33	4,44	4,11	3,75	3,47	3,22	3,23	3,26	3,55	3,76	4,08	4,40	3,80
	Середнє	4,15	4,27	4,06	3,75	3,46	3,46	3,40	3,48	3,71	3,73	3,91	4,20	3,81
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	3,85	3,83	3,66	3,44	3,28	3,20	3,30	3,35	3,64	3,69	3,83	3,98	3,59
72	Харків	4,18	4,36	4,38	4,28	4,02	3,82	3,73	3,81	4,00	4,03	4,13	4,28	4,09
77	Сватово	3,64	3,77	3,86	3,80	3,63	3,41	3,31	3,36	3,50	3,58	3,67	3,72	3,60
81	Луганськ аероп.	3,07	3,22	3,35	3,30	3,22	3,00	2,90	2,89	3,01	3,03	3,07	3,15	3,10
	Середнє	3,69	3,79	3,81	3,70	3,36	3,36	3,31	3,35	3,54	3,58	3,68	3,78	3,59

Таблиця А4 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період
2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель SMHI5.
Сценарій RCP 2.6

№ станції	Назва станції	Місяці												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	4,92	5,06	4,46	4,32	3,84	3,80	3,57	3,78	4,16	4,59	4,81	4,78	4,34
11	Коростень	4,35	4,38	4,02	3,96	3,49	3,44	3,24	3,37	3,72	4,07	4,22	4,23	3,87
12	Ніжин	4,76	4,88	4,41	4,21	3,68	3,59	3,41	3,58	3,94	4,38	4,60	4,70	4,18
15	Суми	4,72	4,83	4,33	4,03	3,60	3,55	3,25	3,43	3,79	4,23	4,49	4,61	4,07
22	Фастів	4,70	4,75	4,28	4,09	3,57	3,48	3,31	3,47	3,78	4,23	4,49	4,59	4,06
	Середнє	4,69	4,78	4,30	4,12	3,36	3,36	3,36	3,52	3,88	4,30	4,52	4,58	4,10
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	4,24	4,17	4,00	3,86	3,43	3,45	3,30	3,28	3,62	3,96	4,16	3,99	3,79
16	Рава-Рус.	4,65	4,52	4,27	4,00	3,50	3,46	3,30	3,33	3,70	4,17	4,48	4,33	3,98
18	Рівне	5,09	5,01	4,67	4,50	3,83	3,70	3,49	3,64	4,18	4,73	4,92	4,89	4,39
28	Тернопіль	4,98	5,05	4,71	4,44	3,81	3,73	3,54	3,61	3,98	4,50	4,67	4,83	4,32
36	Долина	5,51	5,11	4,56	4,13	3,76	3,72	3,42	3,46	3,95	4,50	5,18	5,02	4,36
44	Ужгород	3,64	3,77	3,76	3,75	3,43	3,34	3,46	3,44	3,44	3,52	3,63	3,58	3,56
48	Чернівці	4,09	4,23	4,03	3,81	3,36	3,34	3,18	3,28	3,47	3,73	3,83	4,05	3,70
	Середнє	4,60	4,55	4,29	4,07	3,38	3,54	3,38	3,43	3,76	4,16	4,41	4,38	4,01
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,59	4,64	4,20	3,96	3,64	3,47	3,32	3,42	3,70	3,97	4,25	4,51	3,97
35	Полтава	4,53	4,56	4,15	3,80	3,47	3,33	3,14	3,34	3,59	3,88	4,11	4,42	3,86
39	Вінниця	4,96	5,02	4,58	4,34	3,77	3,66	3,59	3,70	3,98	4,38	4,61	4,81	4,28
50	Кіровоград	4,88	4,94	4,57	4,22	3,83	3,70	3,60	3,71	4,00	4,19	4,42	4,80	4,24
79	Дніпро Кайдаки	4,63	4,67	4,38	3,98	3,57	3,45	3,32	3,48	3,79	3,96	4,16	4,54	3,99
	Середнє	4,72	4,77	4,38	4,06	3,39	3,52	3,39	3,53	3,81	4,07	4,31	4,62	4,09
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	4,55	4,63	4,40	4,06	3,65	3,56	3,59	3,60	3,88	3,97	4,10	4,46	4,04
63	Одеса аеропорт	4,68	4,72	4,40	4,01	3,74	3,72	3,67	3,70	3,93	3,96	4,04	4,61	4,10
64	Миколаїв	4,59	4,64	4,41	4,11	3,89	3,81	3,81	3,71	3,93	3,91	3,99	4,46	4,10
66	Ізмаїл	4,29	4,43	4,30	4,09	3,83	3,75	3,68	3,74	3,79	3,81	3,80	4,21	3,98
70	Асканія-Нова	4,57	4,66	4,47	4,16	3,77	3,70	3,63	3,62	3,93	4,00	4,10	4,42	4,08
56	Пришиб	4,73	4,70	4,43	4,11	3,67	3,54	3,50	3,54	3,80	3,96	4,23	4,57	4,07
	Середнє	4,57	4,63	4,40	4,09	3,65	3,68	3,65	3,65	3,88	3,93	4,04	4,46	4,06
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	4,38	4,17	3,88	3,59	3,32	3,23	3,20	3,22	3,49	3,59	3,83	4,23	3,68
72	Харків	4,91	4,90	4,54	4,17	3,69	3,59	3,39	3,58	3,91	4,17	4,46	4,79	4,18
77	Сватово	4,33	4,30	3,95	3,62	3,29	3,21	3,00	3,11	3,29	3,50	3,88	4,17	3,64
81	Луганськ аероп.	5,09	5,02	4,57	4,09	3,57	3,50	3,32	3,44	3,75	4,02	4,49	4,86	4,14
	Середнє	4,68	4,60	4,24	3,87	3,23	3,38	3,23	3,34	3,61	3,82	4,17	4,51	3,91

Таблиця А5 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період
2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель CLMcom4.
Сценарій RCP 4.5

№ станції	Назва станції	Місяці												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	3,81	3,89	4,05	4,00	3,69	3,78	3,59	3,62	3,80	3,87	3,85	4,00	3,83
11	Коростень	4,15	4,25	4,37	4,29	4,03	4,23	4,08	4,08	4,11	4,24	4,21	4,41	4,20
12	Ніжин	4,18	4,25	4,42	4,40	4,05	4,16	3,99	3,98	4,10	4,22	4,23	4,35	4,20
15	Суми	3,92	3,96	4,12	4,18	3,81	3,83	3,68	3,70	3,86	3,94	3,93	4,04	3,91
22	Фастів	3,66	3,78	3,92	3,86	3,59	3,75	3,64	3,60	3,61	3,75	3,70	3,85	3,73
	Середнє	3,94	4,03	4,18	4,15	3,84	3,84	3,80	3,80	3,90	4,00	3,99	4,13	3,97
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	4,28	4,39	4,38	4,41	4,12	4,37	4,23	4,28	4,19	4,29	4,39	4,67	4,33
16	Рава-Рус.	4,13	4,27	4,17	4,12	3,84	4,09	3,89	3,90	3,86	4,03	4,18	4,45	4,08
18	Рівне	4,29	4,40	4,39	4,36	4,07	4,31	4,12	4,11	4,13	4,29	4,37	4,62	4,29
28	Тернопіль	4,02	4,22	4,30	4,43	4,08	4,32	4,07	4,05	4,01	4,15	4,19	4,33	4,18
36	Долина	3,13	3,24	3,15	3,10	2,90	3,11	2,90	2,89	2,85	2,99	3,10	3,40	3,06
44	Ужгород	2,52	2,69	2,81	3,07	2,83	2,84	2,78	2,77	2,71	2,67	2,63	2,63	2,75
48	Чернівці	3,09	3,34	3,42	3,56	3,26	3,50	3,32	3,33	3,24	3,29	3,18	3,20	3,31
	Середнє	3,64	3,79	3,81	3,86	3,59	3,79	3,61	3,62	3,57	3,67	3,72	3,90	3,71
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,65	4,58	4,55	4,27	3,82	3,93	3,90	4,01	4,18	4,48	4,63	4,79	4,32
35	Полтава	3,62	3,66	3,89	3,92	3,57	3,51	3,45	3,52	3,56	3,59	3,56	3,65	3,63
39	Вінниця	3,83	4,00	4,13	4,10	3,85	4,00	3,82	3,80	3,78	3,96	3,88	4,04	3,93
50	Кіровоград	4,06	4,15	4,42	4,48	4,08	4,14	4,07	4,10	4,00	4,10	4,12	4,22	4,16
79	Дніпро Кайдаки	4,01	4,05	4,32	4,36	3,96	3,88	3,90	3,94	3,92	3,96	3,90	4,02	4,02
	Середнє	4,03	4,09	4,26	4,23	3,86	3,89	3,83	3,87	3,88	4,02	4,02	4,14	4,01
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	3,81	3,97	4,26	4,26	3,98	4,04	3,98	3,98	3,84	3,95	3,92	3,96	4,00
63	Одеса аеропорт	4,06	4,07	4,22	4,07	3,75	3,78	3,80	3,75	3,78	3,99	4,13	4,13	3,96
64	Миколаїв	3,81	3,89	4,19	4,21	3,90	3,87	3,96	3,91	3,81	3,79	3,81	3,86	3,92
66	Ізмаїл	3,88	4,11	4,41	4,45	4,08	4,10	4,21	4,15	4,02	4,02	4,01	3,95	4,12
70	Асканія-Нова	4,46	4,53	4,84	4,76	4,49	4,39	4,46	4,33	4,34	4,39	4,39	4,57	4,50
56	Пришиб	4,62	4,65	4,84	4,83	4,40	4,22	4,27	4,28	4,37	4,43	4,44	4,67	4,50
	Середнє	4,11	4,20	4,46	4,43	4,10	4,06	4,11	4,07	4,02	4,10	4,12	4,19	4,16
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	6,78	6,37	6,02	5,22	4,77	4,53	4,59	4,94	5,61	6,21	6,38	6,99	5,70
72	Харків	4,51	4,51	4,76	4,75	4,30	4,13	4,10	4,17	4,26	4,38	4,33	4,54	4,40
77	Сватово	4,32	4,31	4,54	4,55	4,15	3,99	3,96	4,05	4,15	4,23	4,11	4,33	4,22
81	Луганськ аероп.	4,22	4,23	4,43	4,46	4,17	4,01	3,95	3,93	4,03	4,09	3,88	4,23	4,14
	Середнє	4,96	4,86	4,94	4,75	4,35	4,17	4,15	4,27	4,51	4,73	4,68	5,02	4,61

Таблиця А6 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період
2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель MPI-CSC2.
Сценарій RCP 4.5

№ станції	Назва станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	3,89	3,80	3,64	3,81	3,57	3,43	3,37	3,29	3,54	3,83	3,88	3,92	3,66
11	Коростень	4,04	3,95	3,84	3,78	3,59	3,51	3,43	3,35	3,61	3,81	3,95	4,14	3,75
12	Ніжин	3,68	3,56	3,48	3,54	3,31	3,20	3,13	3,08	3,28	3,54	3,60	3,73	3,43
15	Суми	4,02	3,88	3,78	3,92	3,61	3,48	3,42	3,31	3,54	3,83	3,94	4,05	3,73
22	Фастів	3,95	3,86	3,80	3,72	3,48	3,38	3,38	3,32	3,52	3,70	3,81	4,01	3,66
	Середнє	3,91	3,81	3,71	3,76	3,40	3,40	3,35	3,27	3,50	3,74	3,84	3,97	3,65
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	3,99	3,96	3,86	3,75	3,51	3,45	3,43	3,30	3,55	3,76	3,92	4,14	3,72
16	Рава-Рус.	4,65	4,55	4,37	4,12	3,92	3,81	3,74	3,62	3,94	4,24	4,51	4,88	4,20
18	Рівне	4,37	4,32	4,18	4,04	3,80	3,64	3,61	3,52	3,81	4,11	4,29	4,55	4,02
28	Тернопіль	4,09	4,09	4,06	3,88	3,63	3,52	3,43	3,32	3,57	3,75	3,85	4,17	3,78
36	Долина	5,31	4,93	4,59	4,07	4,14	3,79	3,77	3,68	4,12	4,68	5,29	5,92	4,52
44	Ужгород	2,96	3,21	3,38	3,42	3,13	3,15	2,89	2,92	2,97	3,01	3,01	2,98	3,09
48	Чернівці	3,46	3,54	3,67	3,45	3,18	3,10	2,99	2,89	3,08	3,25	3,19	3,46	3,27
	Середнє	4,12	4,09	4,02	3,82	3,49	3,49	3,41	3,32	3,58	3,83	4,01	4,30	3,80
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,35	4,13	3,55	2,91	2,46	2,24	2,20	2,23	2,47	2,90	3,42	4,08	3,08
35	Полтава	3,93	3,87	3,77	3,92	3,55	3,46	3,42	3,36	3,45	3,64	3,75	3,96	3,67
39	Вінниця	3,59	3,58	3,59	3,50	3,26	3,20	3,13	3,09	3,26	3,41	3,48	3,67	3,40
50	Кіровоград	4,12	4,09	4,17	4,04	3,63	3,55	3,51	3,51	3,60	3,77	3,87	4,12	3,83
79	Дніпро Кайдаки	3,80	3,81	3,81	3,79	3,31	3,25	3,26	3,29	3,22	3,37	3,53	3,77	3,52
	Середнє	3,96	3,90	3,78	3,63	3,14	3,14	3,11	3,10	3,20	3,42	3,61	3,92	3,50
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	3,63	3,61	3,69	3,59	3,25	3,23	3,24	3,24	3,28	3,35	3,40	3,60	3,43
63	Одеса аеропорт	4,27	4,11	3,99	3,59	3,18	3,18	3,18	3,28	3,43	3,67	3,85	4,15	3,66
64	Миколаїв	4,91	4,76	4,57	4,14	3,62	3,61	3,58	3,66	3,86	4,19	4,45	4,80	4,18
66	Ізмаїл	4,57	4,42	4,23	3,78	3,38	3,42	3,45	3,63	3,82	4,05	4,18	4,52	3,95
70	Асканія-Нова	4,17	4,22	4,24	4,04	3,51	3,51	3,53	3,60	3,55	3,68	3,78	4,05	3,82
56	Пришиб	4,52	4,40	4,14	3,82	3,25	3,12	3,10	3,23	3,31	3,74	4,05	4,54	3,77
	Середнє	4,35	4,25	4,14	3,83	3,35	3,35	3,35	3,44	3,54	3,78	3,95	4,28	3,80
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	4,10	4,05	3,56	3,47	3,04	3,07	3,16	3,32	3,45	3,63	3,84	4,12	3,57
72	Харків	4,41	4,42	4,28	4,36	3,82	3,70	3,64	3,68	3,72	3,96	4,18	4,41	4,05
77	Сватово	3,83	3,83	3,70	3,88	3,44	3,32	3,30	3,24	3,32	3,51	3,68	3,85	3,57
81	Луганськ аероп.	3,21	3,30	3,17	3,36	3,04	2,93	2,91	2,82	2,86	2,98	3,07	3,28	3,08
	Середнє	3,89	3,90	3,68	3,77	3,25	3,25	3,25	3,26	3,34	3,52	3,69	3,91	3,57

Таблиця А7 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період
2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель SMHI5.
Сценарій RCP 4.5

№ станції	Назва станції	Місяці												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	4,87	4,82	4,76	4,44	3,89	3,80	3,56	3,71	4,06	4,41	4,54	4,88	4,31
11	Коростень	4,20	4,15	4,26	3,96	3,52	3,44	3,26	3,33	3,57	3,91	3,98	4,37	3,83
12	Ніжин	4,71	4,65	4,65	4,36	3,68	3,64	3,39	3,55	3,83	4,29	4,44	4,74	4,16
15	Суми	4,73	4,61	4,51	4,28	3,62	3,56	3,29	3,46	3,74	4,15	4,36	4,73	4,09
22	Фастів	4,60	4,49	4,53	4,20	3,56	3,54	3,33	3,40	3,67	4,11	4,33	4,72	4,04
	Середнє	4,62	4,55	4,54	4,25	3,37	3,37	3,37	3,49	3,77	4,18	4,33	4,69	4,09
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель2	4,05	4,02	4,08	3,75	3,45	3,46	3,26	3,28	3,52	3,78	3,87	4,28	3,73
16	Рава-Рус.	4,43	4,33	4,33	3,94	3,54	3,42	3,22	3,32	3,61	3,97	4,18	4,70	3,91
18	Рівне	4,89	4,80	4,85	4,42	3,88	3,71	3,53	3,66	4,08	4,51	4,61	5,14	4,34
28	Тернопіль	4,90	4,76	4,86	4,47	3,85	3,69	3,52	3,57	3,85	4,34	4,52	5,04	4,28
36	Долина	5,26	4,87	4,65	4,07	3,79	3,67	3,42	3,44	3,82	4,27	4,63	5,49	4,28
44	Ужгород	3,57	3,61	3,87	3,85	3,43	3,28	3,40	3,42	3,46	3,53	3,55	3,67	3,55
48	Чернівці	4,05	3,98	4,12	3,92	3,43	3,34	3,21	3,15	3,36	3,65	3,80	4,11	3,67
	Середнє	4,45	4,34	4,39	4,06	3,37	3,51	3,37	3,40	3,67	4,01	4,16	4,63	3,97
Центральна частина України (C.U.)														
33	Черкаси	4,47	4,40	4,39	4,16	3,55	3,48	3,35	3,43	3,58	3,97	4,15	4,63	3,96
35	Полтава	4,49	4,39	4,30	4,12	3,44	3,37	3,21	3,36	3,60	3,88	4,06	4,52	3,90
39	Вінниця	4,85	4,72	4,79	4,45	3,76	3,74	3,62	3,61	3,81	4,27	4,52	4,97	4,26
50	Кіровоград	4,72	4,62	4,68	4,46	3,60	3,64	3,61	3,61	3,78	4,09	4,31	4,78	4,16
79	Дніпро Кайдаки	4,51	4,54	4,48	4,24	3,44	3,46	3,44	3,49	3,76	3,98	4,14	4,67	4,01
	Середнє	4,61	4,54	4,53	4,29	3,45	3,54	3,45	3,50	3,71	4,04	4,24	4,71	4,07
Південна частина України (S.U.)														
53	Любашівка	4,45	4,40	4,55	4,25	3,53	3,53	3,59	3,62	3,70	4,00	4,17	4,53	4,03
63	Одеса аеропорт	4,56	4,38	4,48	4,16	3,65	3,66	3,83	3,71	3,77	4,09	4,23	4,67	4,10
64	Миколаїв	4,53	4,45	4,59	4,31	3,75	3,75	3,92	3,74	3,73	3,96	4,05	4,54	4,11
66	Ізмаїл	4,19	4,18	4,45	4,29	3,77	3,71	3,87	3,66	3,65	3,89	3,94	4,37	4,00
70	Асканія-Нова	4,48	4,51	4,63	4,41	3,60	3,60	3,69	3,60	3,72	4,04	4,08	4,59	4,08
56	Пришиб	4,60	4,55	4,52	4,40	3,55	3,49	3,60	3,56	3,71	4,00	4,18	4,68	4,07
	Середнє	4,47	4,41	4,54	4,30	3,75	3,62	3,75	3,65	3,71	4,00	4,11	4,56	4,06
Східна частина України (E.U.)														
61	Маріуполь	4,19	4,00	3,93	3,72	3,23	3,10	3,21	3,21	3,45	3,63	3,78	4,44	3,66
72	Харків	4,84	4,75	4,64	4,41	3,65	3,60	3,50	3,60	3,93	4,20	4,38	4,96	4,21
77	Сватово	4,29	4,21	4,02	3,75	3,27	3,21	3,07	3,14	3,34	3,50	3,80	4,31	3,66
81	Луганськ аероп.	5,02	4,95	4,71	4,29	3,55	3,52	3,41	3,49	3,76	3,98	4,35	5,06	4,17
	Середнє	4,58	4,48	4,32	4,04	3,30	3,36	3,30	3,36	3,62	3,83	4,08	4,69	3,92

Таблиця А8 –Тенденції швидкості вітру за сценарієм RCP 2.6 та сценарієм RCP 4.5 за прогнозований період 2021-2050 рр. по станціям України

№ станції	Назва станції	RCP 2.6			RCP 4.5		
		CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5
1	Семенівка	-0,035	0,081	0,020	0,171	0,032	0,055
7	Ковель2	0,058	0,058	0,026	0,078	0,119	-0,058
11	Коростень	-0,038	0,073	0,043	0,107	0,107	-0,026
12	Ніжин	-0,081	0,055	-0,023	0,145	0,055	0,073
15	Суми	-0,064	0,035	-0,012	0,203	0,075	0,055
16	Рава-Рус.	-0,020	0,032	0,012	0,081	0,218	-0,044
18	Рівне	-0,023	0,070	0,017	0,093	0,110	-0,087
22	Фастів	-0,084	0,075	0,032	0,104	0,116	0,043
28	Тернопіль	-0,052	0,081	0,026	0,099	0,113	-0,032
33	Черкаси	-0,128	0,029	0,041	0,174	-0,023	0,041
35	Полтава	-0,125	-0,017	-0,023	0,168	0,067	0,000
36	Долина	-0,038	0,136	0,072	0,061	0,386	-0,049
39	Вінниця	-0,003	0,070	0,006	0,078	0,099	0,035
44	Ужгород	-0,072	-0,038	-0,035	0,052	-0,012	-0,029
48	Чернівці	-0,052	0,119	0,032	0,075	0,041	-0,015
50	Кіровоград	-0,136	0,017	-0,041	0,162	0,049	0,470
53	Любашівка	-0,151	0,035	-0,044	0,099	0,009	0,093
56	Пришиб	-0,302	-0,029	-0,032	0,058	-0,064	0,160
61	Маріуполь	-0,197	-0,061	-0,046	0,107	-0,154	0,128
63	Одеса аеропорт	0,128	0,026	-0,029	0,015	-0,035	0,081
64	Миколаїв	-0,096	0,026	-0,032	0,032	-0,052	0,130
66	Ізмаїл	-0,064	0,006	-0,072	0,012	-0,003	0,070
70	Асканія-Нова	-0,064	-0,003	-0,046	0,046	-0,055	0,133
72	Харків	-0,041	-0,023	-0,041	0,128	-0,006	0,128
77	Сватово	-0,160	0,017	0,006	0,165	-0,009	0,113
79	Дніпро Кайдаки	-0,186	-0,015	-0,026	0,148	-0,003	0,133
81	Луганськ аероп.	-0,183	-0,001	0,029	0,186	-0,012	0,151
	Середнє	-0,082	0,032	-0,005	0,105	0,043	0,065

Таблиця А9 –Швидкість та потенціал вітру на висотах 10м, 100 м, 200м, 300м за сценарієм RCP 2.6 за прогнозований період 2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель CLMcom4

№ станції	Назва станції	V10	V100	V200	V300	W10	W100	W200	W300
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	3,8	6,1	7,0	7,6	437,2	1774,7	2729,5	3517,5
11	Коростень	4,2	6,6	7,6	8,3	560,4	2262,6	3474,1	4473,0
12	Ніжин	4,2	6,6	7,6	8,3	562,4	2285,4	3515,6	4531,1
15	Суми	3,9	6,1	7,1	7,7	457,6	1861,2	2863,8	3691,4
22	Фастів	3,7	5,9	6,7	7,3	387,6	1572,9	2418,6	3116,5
	Середнє	3,9	6,3	7,2	7,8	481,0	1951,3	3000,3	3865,9
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель2	4,3	6,8	7,8	8,4	606,4	2432,7	3728,5	4795,3
16	Рава-Рус.	4,0	6,4	7,3	7,9	510,9	2034,8	3111,9	3997,3
18	Рівне	4,2	6,7	7,7	8,3	591,8	2361,1	3612,4	4641,3
28	Тернопіль	4,1	6,5	7,5	8,1	562,7	2283,2	3510,6	4523,4
36	Долина	3,0	4,7	5,4	5,9	252,8	984,2	1494,6	1912,0
44	Ужгород	2,7	4,3	4,9	5,4	160,5	677,2	1053,0	1365,5
48	Чернівці	3,2	5,1	5,9	6,4	312,1	1281,0	1976,4	2551,5
	Середнє	3,6	5,8	6,6	7,2	428,2	1722,0	2641,0	3398,0
Центральна частина України (C.U.)									
33	Черкаси	4,2	6,7	7,7	8,4	611,1	2404,4	3662,4	4693,2
35	Полтава	3,6	5,7	6,6	7,1	365,9	1501,6	2316,2	2989,8
39	Вінниця	3,9	6,1	7,1	7,7	451,8	1840,5	2833,3	3653,1
50	Кіровоград	4,1	6,5	7,4	8,1	529,0	2172,8	3352,9	4329,1
79	Дніпро К	4,0	6,3	7,3	7,9	500,9	2062,7	3185,1	4113,9
	Середнє	3,9	6,3	7,2	7,8	491,7	1996,4	3070,0	3955,8
Південна частина України (S.U.)									
53	Любашівка	3,9	6,2	7,2	7,8	482,1	1989,0	3073,2	3970,7
56	Одеса аер.	4,4	6,9	8,0	8,7	659,5	2695,4	4152,4	5356,0
63	Миколаїв	3,9	6,1	7,0	7,6	455,5	1818,0	2781,4	3573,4
64	Ізмаїл	3,8	6,1	7,0	7,6	440,3	1811,2	2796,0	3610,8
66	Асканія-Нова	4,1	6,5	7,4	8,1	541,3	2236,2	3456,2	4466,5
70	Пришиб	4,4	7,0	8,0	8,7	670,4	2747,7	4236,8	5467,8
	Середнє	4,1	6,5	7,5	8,1	553,4	2261,7	3484,6	4494,9
Східна частина України (E.U.)									
61	Маріуполь	5,4	8,6	9,8	10,6	1425,6	5470,2	8268,1	10547,5
72	Харків	4,3	6,9	7,9	8,6	645,5	2638,3	4064,8	5243,3
77	Сватово	4,2	6,6	7,6	8,3	585,9	2398,2	3696,5	4769,4
81	Луганськ аер.	4,0	6,4	7,4	8,0	556,3	2275,1	3505,8	4522,6
	Середнє	4,5	7,1	8,2	8,9	803,3	3195,4	4883,8	6270,7

Таблиця А10 –Швидкість та потенціал вітру на висотах 10м, 100 м, 200м, 300м за сценарієм RCP 2.6 5 за прогнозований період 2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель MPI-CSC2

№ станції	Назва станції	V10	V100	V200	V300	W10	W100	W200	W300
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	3,7	5,8	6,7	7,3	384,3	1528,7	2336,5	3000,2
11	Коростень	3,8	6,0	6,9	7,5	423,1	1679,0	2564,5	3291,6
12	Ніжин	3,4	5,5	6,3	6,8	316,9	1259,8	1925,4	2472,1
15	Суми	3,7	5,9	6,8	7,4	408,6	1623,1	2479,8	3183,2
22	Фастів	3,7	5,9	6,7	7,3	393,9	1568,2	2397,6	3079,2
	Середнє	3,7	5,8	6,7	7,3	385,4	1531,8	2340,8	3005,3
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель2	3,7	5,9	6,8	7,4	415,3	1645,2	2511,0	3221,6
16	Рава-Рус.	4,2	6,7	7,7	8,3	613,5	2401,5	3652,2	4675,8
18	Рівне	4,1	6,4	7,4	8,0	532,7	2096,8	3194,2	4093,5
28	Тернопіль	3,8	6,0	6,9	7,5	457,8	1814,7	2770,3	3554,5
36	Долина	4,6	7,3	8,3	9,0	983,2	3677,0	5512,0	6997,0
44	Ужгород	3,1	4,9	5,6	6,1	227,5	926,4	1425,7	1837,8
48	Чернівці	3,3	5,2	6,0	6,5	324,7	1293,2	1976,8	2538,3
	Середнє	3,8	6,1	7,0	7,6	507,8	1979,2	3006,0	3845,5
Центральна частина України (C.U.)									
33	Черкаси	3,1	4,8	5,5	6,0	272,0	1006,2	1502,4	1902,6
35	Полтава	3,7	5,9	6,7	7,3	396,0	1584,7	2426,3	3118,6
39	Вінниця	3,4	5,4	6,2	6,8	314,3	1254,4	1919,1	2465,5
50	Кіровоград	3,8	6,1	7,0	7,6	446,1	1777,4	2717,7	3490,5
79	Дніпро Кайд.	3,5	5,6	6,5	7,0	353,8	1419,2	2174,6	2796,2
	Середнє	3,5	5,6	6,4	6,9	356,4	1408,4	2148,0	2754,7
Південна частина України (S.U.)									
53	Любашівка	3,5	5,5	6,3	6,8	323,5	1297,8	1988,8	2557,5
56	Одеса аер.	3,8	6,0	6,9	7,5	454,2	1747,1	2642,4	3371,9
63	Миколаїв	3,7	5,8	6,6	7,2	400,7	1561,3	2371,3	3033,6
64	Ізмаїл	4,2	6,6	7,6	8,2	613,1	2373,2	3596,8	4595,7
66	Асканія-Нова	3,9	6,2	7,1	7,7	508,8	1972,9	2992,3	3825,2
70	Пришиб	3,8	6,1	7,0	7,6	455,8	1822,1	2788,8	3583,7
	Середнє	3,8	6,0	6,9	7,5	459,3	1795,7	2730,1	3494,6
Східна частина України (E.U.)									
61	Маріуполь	3,6	5,7	6,5	7,1	376,2	1466,2	2227,3	2849,8
72	Харків	4,1	6,5	7,5	8,1	534,3	2133,8	3264,8	4194,5
77	Сватово	3,6	5,7	6,6	7,1	366,5	1466,8	2245,7	2886,2
81	Луганськ аер.	3,1	4,9	5,7	6,1	235,1	948,4	1455,3	1872,9
	Середнє	3,6	5,7	6,6	7,1	378,0	1503,8	2298,3	2950,9

Таблиця А11 –Швидкість та потенціал вітру на висотах 10м, 100 м, 200м, 300м за сценарієм RCP 2.6 5 за прогнозований період 2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель SMHI5

№ станції	Назва станції	V10	V100	V200	V300	W10	W100	W200	W300
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	4,3	6,8	7,9	8,5	650,7	2504,0	3788,1	4834,9
11	Коростень	3,9	6,1	7,0	7,6	456,7	1774,2	2692,0	3441,9
12	Ніжин	4,2	6,6	7,6	8,2	587,5	2257,0	3412,3	4353,6
15	Суми	4,1	6,4	7,4	8,0	551,7	2111,8	3189,2	4066,2
22	Фастів	4,1	6,4	7,4	8,0	545,0	2095,4	3169,0	4043,9
	Середнє	4,1	6,5	7,4	8,1	558,3	2148,5	3250,1	4148,1
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель2	3,8	6,0	6,9	7,5	425,1	1661,1	2524,9	3231,6
16	Рава-Рус.	4,0	6,3	7,2	7,8	505,7	1947,3	2946,4	3760,9
18	Рівне	4,4	6,9	7,9	8,6	684,7	2627,2	3970,4	5064,3
28	Тернопіль	4,3	6,8	7,8	8,5	684,9	2640,5	3996,1	5101,2
36	Долина	4,4	6,9	7,9	8,5	782,3	2909,9	4354,2	5521,2
44	Ужгород	3,6	5,6	6,5	7,1	336,4	1344,5	2057,7	2644,3
48	Чернівці	3,7	5,8	6,7	7,3	445,9	1750,6	2664,7	3413,2
	Середнє	4,0	6,3	7,3	7,9	552,1	2125,9	3216,3	4105,3
Центральна частина України (C.U.)									
33	Черкаси	4,0	6,3	7,2	7,8	522,6	2016,5	3052,7	3897,7
35	Полтава	3,9	6,1	7,0	7,6	478,5	1835,6	2773,7	3537,7
39	Вінниця	4,3	6,8	7,8	8,4	647,3	2499,9	3785,7	4834,7
50	Кіровоград	4,2	6,7	7,7	8,3	630,4	2439,6	3696,9	4722,9
79	Дніпро Кайдаки	4,0	6,3	7,2	7,8	534,4	2057,3	3112,3	3972,2
	Середнє	4,1	6,4	7,4	8,0	562,6	2169,8	3284,3	4193,0
Південна частина України (S.U.)									
53	Любашівка	4,0	6,4	7,3	8,0	542,9	2118,8	3219,3	4119,3
56	Одеса аер.	4,1	6,4	7,4	8,0	557,4	2156,3	3267,0	4173,3
63	Миколаїв	4,1	6,5	7,5	8,1	569,5	2217,1	3366,3	4305,7
64	Ізмаїл	4,1	6,5	7,5	8,1	580,2	2282,2	3476,1	4454,3
66	Асканія-Нова	4,0	6,3	7,3	7,9	520,3	2063,8	3151,3	4044,0
70	Пришиб	4,1	6,5	7,4	8,0	564,4	2205,1	3351,3	4288,6
	Середнє	4,1	6,4	7,4	8,0	555,8	2173,9	3305,2	4230,9
Східна частина України (E.U.)									
61	Маріуполь	3,7	5,8	6,7	7,2	456,6	1748,4	2640,7	3367,1
72	Харків	4,2	6,6	7,6	8,2	602,6	2310,9	3491,6	4453,0
77	Сватово	3,6	5,7	6,6	7,1	399,8	1536,8	2323,7	2964,8
81	Луганськ аер.	4,1	6,5	7,5	8,1	623,9	2369,9	3569,8	4544,3
	Середнє	3,9	6,2	7,1	7,7	520,7	1991,5	3006,4	3832,3

Таблиця А12 –Швидкість та потенціал вітру на висотах 10м, 100 м, 200м, 300м за сценарієм RCP 4.5 за прогнозований період 2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель CLMcom4

№ станції	Назва станції	V10	V100	V200	V300	W10	W100	W200	W300
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	3,8	6,1	7,0	7,6	431,9	1740,1	2670,0	3436,1
11	Коростень	4,2	6,7	7,7	8,4	575,1	2324,4	3570,3	4597,7
12	Ніжин	4,2	6,7	7,7	8,3	566,7	2286,7	3510,2	4518,5
15	Суми	3,9	6,2	7,2	7,8	470,2	1896,6	2910,9	3746,7
22	Фастів	3,7	5,9	6,8	7,4	401,2	1627,0	2501,3	3222,7
	Середнє	4,0	6,3	7,3	7,9	489,0	1975,0	3032,5	3904,3
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель2	4,3	6,9	7,9	8,6	634,8	2560,6	3931,1	5060,9
16	Рава-Рус.	4,1	6,5	7,4	8,1	534,8	2139,6	3276,7	4212,4
18	Рівне	4,3	6,8	7,8	8,5	622,1	2498,6	3830,7	4927,7
28	Тернопіль	4,2	6,6	7,6	8,3	594,3	2411,4	3708,1	4778,1
36	Долина	3,1	4,9	5,6	6,1	274,4	1082,0	1649,7	2115,4
44	Ужгород	2,7	4,4	5,0	5,5	169,6	698,9	1079,4	1394,4
48	Чернівці	3,3	5,3	6,1	6,6	328,1	1343,3	2071,4	2673,4
	Середнє	3,7	5,9	6,8	7,4	451,2	1819,2	2792,4	3594,6
Центральна частина України (C.U.)									
33	Черкаси	4,3	6,8	7,9	8,5	629,9	2480,1	3779,1	4844,0
35	Полтава	3,6	5,8	6,6	7,2	375,4	1521,2	2337,7	3011,1
39	Вінниця	3,9	6,3	7,2	7,8	477,9	1943,0	2989,6	3853,5
50	Кіровоград	4,2	6,6	7,6	8,3	565,9	2309,3	3556,6	4586,9
79	Дніпро Кайд.	4,0	6,4	7,4	8,0	514,2	2088,8	3212,2	4139,1
	Середнє	4,0	6,4	7,3	8,0	512,7	2068,5	3175,1	4086,9
Південна частина України (S.U.)									
53	Любашівка	4,0	6,4	7,3	8,0	510,1	2092,6	3227,9	4166,8
56	Одеса аер.	4,5	7,1	8,2	8,9	707,7	2852,0	4375,3	5629,8
63	Миколаїв	4,0	6,3	7,2	7,8	488,1	1953,1	2990,5	3843,9
64	Ізмаїл	3,9	6,2	7,2	7,8	479,3	1961,5	3023,2	3900,7
66	Асканія-Нова	4,1	6,6	7,5	8,2	552,9	2267,1	3496,6	4513,3
70	Пришиб	4,5	7,1	8,2	8,9	707,8	2877,9	4426,9	5705,0
	Середнє	4,2	6,6	7,6	8,3	574,3	2334,0	3590,1	4626,6
Східна частина України (E.U.)									
61	Маріуполь	5,7	9,0	10,3	11,2	1627,4	6180,6	9310,4	11853,1
72	Харків	4,2	6,7	7,7	8,4	593,7	2393,0	3671,5	4724,4
77	Сватово	4,2	6,7	7,7	8,4	593,7	2393,0	3671,5	4724,4
81	Луганськ аер.	4,1	6,6	7,6	8,2	582,0	2356,4	3619,9	4661,5
	Середнє	4,6	7,2	8,3	9,0	849,2	3330,8	5068,3	6490,9

Таблиця А13 –Швидкість та потенціал вітру на висотах 10м, 100 м, 200м, 300м за сценарієм RCP 4.5 за прогнозований період 2021-2050 рр. для п'яти регіонів України. Модель MPI-CSC2

№ станції	Назва станції	V10	V100	V200	V300	W10	W100	W200	W300
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	3,7	5,8	6,7	7,2	384,2	1519,1	2317,7	2972,9
11	Коростень	3,7	5,9	6,8	7,4	413,1	1629,6	2484,7	3186,0
12	Ніжин	3,4	5,4	6,2	6,8	312,5	1235,0	1883,9	2416,2
15	Суми	3,7	5,9	6,8	7,4	404,9	1600,5	2441,5	3131,4
22	Фастів	3,7	5,8	6,7	7,2	383,6	1518,3	2317,2	2972,8
	Середнє	3,6	5,8	6,6	7,2	379,7	1500,5	2289,0	2935,9
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель2	3,7	5,9	6,8	7,3	404,3	1592,1	2426,2	3110,0
16	Рава-Рус.	4,2	6,6	7,6	8,3	593,5	2309,4	3506,3	4484,8
18	Рівне	4,0	6,4	7,3	7,9	509,5	1994,6	3033,8	3884,4
28	Тернопіль	3,8	6,0	6,9	7,5	441,2	1739,7	2651,9	3399,7
36	Долина	4,5	7,1	8,2	8,9	932,9	3470,0	5193,3	6586,4
44	Ужгород	3,1	4,9	5,7	6,1	234,9	959,1	1477,0	1904,6
48	Чернівці	3,3	5,2	6,0	6,5	310,8	1235,3	1887,4	2422,8
	Середнє	3,8	6,0	6,9	7,5	489,6	1900,0	2882,2	3684,7
Центральна частина України (C.U.)									
33	Черкаси	3,1	4,8	5,5	6,0	276,2	1019,5	1521,0	1925,2
35	Полтава	3,7	5,8	6,7	7,3	388,2	1546,0	2363,6	3035,4
39	Вінниця	3,4	5,4	6,2	6,7	305,6	1215,3	1857,3	2384,7
50	Кіровоград	3,8	6,1	7,0	7,6	441,6	1758,5	2688,3	3452,3
79	Дніпро К.	3,5	5,6	6,4	7,0	345,9	1380,6	2111,9	2713,1
	Середнє	3,5	5,5	6,4	6,9	351,5	1383,9	2108,4	2702,1
Південна частина України (S.U.)									
53	Любашівка	3,4	5,4	6,2	6,8	316,7	1269,3	1944,5	2500,1
56	Одеса аер.	3,8	5,9	6,8	7,4	447,4	1715,4	2591,6	3305,0
63	Миколаїв	3,7	5,8	6,6	7,2	401,7	1557,4	2361,5	3018,3
64	Ізмаїл	4,2	6,6	7,6	8,2	608,7	2349,0	3556,9	4542,2
66	Асканія-Нова	3,9	6,2	7,2	7,8	522,4	2012,6	3046,3	3889,6
70	Пришиб	3,8	6,1	7,0	7,6	448,5	1788,1	2734,7	3512,6
	Середнє	3,8	6,0	6,9	7,5	457,6	1782,0	2705,9	3461,3
Східна частина України (E.U.)									
61	Маріуполь	3,6	5,6	6,5	7,0	370,2	1427,3	2161,1	2759,8
72	Харків	4,0	6,4	7,4	8,0	519,5	2058,4	3141,8	4030,8
77	Сватово	3,6	5,7	6,5	7,1	355,1	1412,5	2158,6	2771,4
81	Луганськ аер..	3,1	4,9	5,6	6,1	227,6	911,1	1395,1	1793,2
	Середнє	3,6	5,6	6,5	7,0	368,1	1452,3	2214,1	2838,8

Таблиця А14 –Швидкість та потенціал вітру на висотах 10м, 100 м, 200м, 300м за сценарієм RCP 4.5 за прогнозований період 2021-2050 рр. для п'яти регіонів України.. Модель SMHI5

№ станції	Назва станції	V10 м/с	V100 м/с	V200 м/с	V300	W10	W100	W200	W300
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	4,3	6,8	7,8	8,5	649,1	2528,6	3839,1	4910,1
11	Коростень	3,8	6,1	7,0	7,6	446,7	1753,7	2669,2	3418,7
12	Ніжин	4,2	6,6	7,6	8,2	586,0	2277,5	3455,4	4417,4
15	Суми	4,1	6,5	7,4	8,0	560,7	2169,6	3287,2	4199,1
22	Фастів	4,0	6,4	7,3	8,0	536,5	2085,7	3164,5	4045,7
	Середнє	4,1	6,5	7,4	8,1	555,8	2163,0	3283,1	4198,2
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель2	3,7	5,9	6,8	7,4	410,6	1615,1	2459,8	3151,9
16	Рава-Рус.	3,9	6,2	7,1	7,7	485,2	1878,3	2846,5	3636,7
18	Рівне	4,3	6,9	7,9	8,5	667,4	2584,9	3917,6	5005,2
28	Тернопіль	4,3	6,8	7,8	8,4	669,5	2596,8	3937,0	5031,0
36	Долина	4,3	6,8	7,8	8,4	747,9	2802,1	4202,5	5336,2
44	Ужгород	3,6	5,6	6,5	7,0	333,8	1341,9	2057,0	2645,7
48	Чернівці	3,7	5,8	6,7	7,3	440,3	1738,5	2650,5	3398,2
	Середнє	4,0	6,3	7,2	7,8	536,4	2079,7	3153,0	4029,3
Центральна частина України (C.U.)									
33	Черкаси	4,0	6,3	7,2	7,8	518,8	2024,2	3074,7	3933,4
35	Полтава	3,9	6,2	7,1	7,7	488,7	1895,1	2873,1	3671,4
39	Вінниця	4,3	6,7	7,7	8,4	638,7	2488,9	3779,2	4833,7
50	Кіровоград	4,2	6,6	7,6	8,2	601,8	2357,4	3585,2	4589,9
79	Дніпро Кайд.	4,0	6,3	7,3	7,9	536,2	2082,5	3158,7	4037,6
	Середнє	4,1	6,4	7,4	8,0	556,9	2169,6	3294,2	4213,2
Південна частина України (S.U.)									
53	Любашівка	4,0	6,4	7,3	8,0	539,9	2123,6	3234,1	4143,6
56	Одеса аер.	4,1	6,4	7,4	8,0	557,1	2177,5	3309,4	4235,0
63	Миколаїв	4,1	6,5	7,5	8,1	564,4	2217,6	3376,6	4326,0
64	Ізмаїл	4,1	6,5	7,5	8,1	577,7	2294,0	3503,8	4497,1
66	Асканія-Нова	4,0	6,3	7,3	7,9	519,9	2081,8	3187,8	4097,4
70	Пришиб	4,1	6,5	7,4	8,1	563,5	2217,2	3376,4	4325,8
	Середнє	4,1	6,4	7,4	8,0	553,7	2185,3	3331,3	4270,8
Східна частина України (E.U.)									
61	Маріуполь	3,7	5,8	6,7	7,2	453,0	1741,6	2633,4	3360,1
72	Харків	4,2	6,6	7,6	8,3	610,2	2357,9	3570,9	4560,3
77	Сватово	3,7	5,8	6,6	7,2	407,0	1573,7	2383,7	3044,6
81	Луганськ аер.	4,2	6,6	7,6	8,2	636,1	2433,7	3674,0	4683,1
	Середнє	3,9	6,2	7,1	7,7	526,6	2026,7	3065,5	3912,0