

РОЗДІЛ IV

Геоекологія та геоінформатика

УДК 621.548

DOI <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.14>

Віталій Зацерковний

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри геоінформатики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
vitalii.zatserkovnyi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>

Олексій Бондаренко

аспірант кафедри геоінформатики, ННІ «Інститут геології»,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
oleksii.bondarenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0215-5607>

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

Анотація. Енергія є рушійною силою економічного розвитку та індустріалізації будь-якої країни та світу загалом. Тривалий час потреби в енергії світове співтовариство задовольняло переважно за рахунок викопного палива. Проте гіперболічне збільшення населення на планеті, зростання енергетичних потреб людства, зменшення запасів викопного (традиційного) палива, зростання його вартості та нерівномірність розташування по територіях і безпрецедентне забруднення навколишнього природного середовища (НПС), а саме – «теплове забруднення», кислотні дощі, зменшення озонового шару та виникнення озонових дір, забруднення хімічними речовинами й радіонуклідами, скорочення біологічної різноманітності, глобальне потепління тощо спричинили усвідомлення значення використання відновлювальних (альтернативних) джерел енергії (ВДЕ) та зростання їх споживання для забезпечення енергетичної та економічної безпеки держав. Саме тому останніми десятиліттями у світі все більше уваги приділяється відновлювальній (альтернативній) енергетиці.

Серед переваг ВДЕ є їх екологічність, через відсутність викидів в атмосферу та забезпечення економічної та стабільної роботи енергосистеми через зниження залежності від імпорту вугілля та газу.

Серед усіх ВДЕ одним з найважливіших і перспективних виступає швидкозростаюча, зріла, економічно ефективна та комерційно приваблива технологія виробництва вітрової електроенергії, яка на сьогодні стала вже конкурентноспроможною з енергією викопного палива.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), відновлювана енергетика, вітроенергетичні станції (ВЕС).

Zatserkovnyi Vitaliy, Bondarenko Oleksii. USE OF REMOTE SENSING TECHNOLOGIES IN WIND ENERGY PROBLEMS

Abstract. Energy is the driving force of economic development and industrialization of any country and the world as a whole. For a long time, the world community met the need for energy mainly through fossil fuels. But a hyperbolic increase in the population on the planet, an increase in the energy needs of mankind, a decrease in fossil reserves (traditional) fuel, increase in its cost and uneven location in the territories and unprecedented pollution of the natural environment (NE), namely "heat pollution," acid rain, ozone depletion and ozone hole formation, chemical and radionuclide pollution, biodiversity reduction, global warming, etc., it all have led to awareness of the importance of using renewable (alternative) energy sources (RES) and the growth of their consumption to ensure the energy and economic security of states. That is why in recent decades more and more attention has been paid to renewable (alternative) energy in the world.

Among the advantages of RES are their environmental friendliness, due to the absence of emissions into the atmosphere and ensuring the economic and stable operation of the power system due to a decrease in dependence on coal and gas imports.

Among all RES, one of the most important and promising is the fast-growing, mature, cost-effective and commercially attractive wind electricity production technology, which has now become competitive with fossil fuel energy.

The advantages of using wind as a source of renewable energy are considered.

Among the main technical problems of creating wind power plants (WPP) is the choice of their potential locations, since the decision to place such stations strongly affects future demand, the impact on NE, supply and prices, regulatory risks in making investment decisions. From the characteristics of the territory (relief and topography), the amount of potentially produced energy can radically change. In addition, for the successful development of the WPP, it is necessary to provide the necessary support from the state.

The algorithm of search of optimal territories for installation of objects of wind energy is offered.

Key words: geographic information systems (GIS), geographic information technologies (GIT), renewable energy, wind power plants (WPP).

Актуальність. Тенденція виснаження традиційних (викопних) енергетичних ресурсів у більшості країн світу, зростання їх негативного впливу на навколишнє природне середовище (НПС), постійне зростання цін на енергоресурси з одночасним прагненням держав до енергетичної та економічної безпеки та низка інших факторів спричинили усвідомлення значення використання відновлювальних (альтернативних) джерел енергії та зростання їх споживання. Україна – одна з країн, яка болісно відчуває всі перераховані проблеми. Залежність від імпорту коштовних енергоресурсів спричиняє доволі значні соціально-економічні проблеми. Проблему додатково посилює високий ступінь зношення вітчизняної енергетичної інфраструктури. Як наслідок, маємо низьку ефективність використання енергетичних ресурсів та високі показники енергоємності економіки.

Паливно-енергетична галузь в Україні є однією з найбільш уразливих на фоні загальних глобальних перебудов всесвітньої економіки та надмірної залежності виробничо-технічної бази та соціальної сфери від імпортованих енергоносіїв [3]. Зростання цін на енергоносії, вичерпування ресурсів основних видів енергоносіїв, якими є, насамперед, нафта, газ, кам'яне та буре вугілля, а також обмежені можливості розвитку атомної та гідравлічної енергетики свідчать про те, що проблеми енергетичної безпеки набувають все більшої актуальності та потребують пошуку ефективних шляхів їх вирішення. Більше того, через енергетичне марнотратство та відсутність адекватних вимог до екологічно прийняттого функціонування енергетичної системи з дбайливим ставленням до НПС в Україні встановився один із найвищих рівнів смертності через хвороби, пов'язані із забрудненням повітря [12]. Це свідчить про те, що перед Україною постала енергетична проблема.

Вирішити цю актуальну проблему щодо забезпечення енергоносіями Україну можна за рахунок використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) (деревини та її відходів, інших біопалив, торфу, горючих сланців, бітумів, нетрадиційних газів, енергії вітру, сонця, тепла землі, біосинтезу тощо), які реально є безмежними.

Усвідомлення гостроти та реальної загрози цієї проблем стало тим поштовхом розвитку, який спричинив швидкий розвиток ВДЕ. Серед переваг ВДЕ є їх екологічність, через відсутність викидів в атмосферу та забезпечення економічної й стабільної роботи енергосистеми через зниження залежності від імпорту вугілля та газу. Тому, логічним та перспективним рішенням цієї проблеми є розвиток енергетичної інфраструктури, яка використовує відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), зокрема вітроенергетики.

Метою роботи є висвітлення сучасних можливостей дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в інтеграції з ГІС у питаннях обґрунтування, аналізу, планування та розробки відновлювальної енергетичної інфраструктури, перед усім вітрових електростанцій (ВЕС). Серед головних технічних проблем створення вітроенергетичних станцій (ВЕС) є вибір їх потенційних місць розташування, оскільки рішення щодо розміщення таких станцій сильно впливає на майбутній попит, вплив на НПС, пропозицію та ціни, регуляторні ризики під час прийняття інвестиційних рішень.

Методи дослідження. Теоретичною основою роботи стали наукові праці таких українських учених в галузі відновлюваної енергетики, як А. О. Касич, С. О. Кудря, М. Кузьмін., В. Ліщук, О. Стоян, а також наукові розробки таких зарубіжних авторів, як Б. Джонес, С. Райкар, Б. Соренсен, В. Шукл, Б. Фішер, К. Геймлінк, М. Хугвейк.

Інструментарієм аналізу слугували методи причинно-наслідкового та ситуаційного аналізу, порівнянь (у тому числі міждержавних), угруповань, експертних оцінок, соціологічний, економіко-статистичних, графічних і аналогічних методів. Виявлення та пошук методів вирішення завдань здійснювалися на основі системного аналізу джерел енергії у світі.

Використані матеріали – дані з відкритих джерел, офіційні дані Державної служби статистики України, міжнародних банків, організацій та установ, дані вітчизняного та міжнародного моніторингу, періодичні видання (друковані та інтернет-видання), а також дані неурядових організацій, науково-дослідних центрів та експертів провідних енергетичних компаній.

Виклад основного матеріалу. Для успішного розвитку енергетичної галузі необхідно забезпечити необхідну підтримку з боку держави та розробити комплексний підхід до розв’язку задачі обґрунтування місця спорудження електростанцій, оскільки від особливостей території (рельєфу та топографії), може кардинально змінитися кількість потенційно виробленої енергії.

Робочим інструментарієм прийняття рішень слугують геоінформаційні системи (ГІС), а основним інформаційним ресурсом – дані ДЗЗ, використання яких допоможе швидко аналізувати особливості поставленого завдання та знаходити ефективні методи для його вирішення.

Вітроенергетика – галузь альтернативної енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну енергію [2].

Енергія вітру – це кінетична енергія руху повітряних мас, похідна енергії Сонця. За низкою причин Сонце прогріває земну поверхню з різною інтенсивністю, утворюючи області з різними значеннями атмосферного тиску. А це є причиною переміщення повітряних мас з області з високим тиском в область із низьким [2].

Використовуючи енергію вітру, людство стає менш залежним від обмежених викопних ресурсів, мінімізує викиди забруднюючих речовин в атмосферу та більш стійким перед зміною клімату.

Переваги використання вітроенергетики представлені на рис. 1.



Рис. 1. Переваги використання вітроенергетики

Проте, як і будь-яке технічне рішення використання вітроенергетики має й недоліки, які представлені на рис. 2.

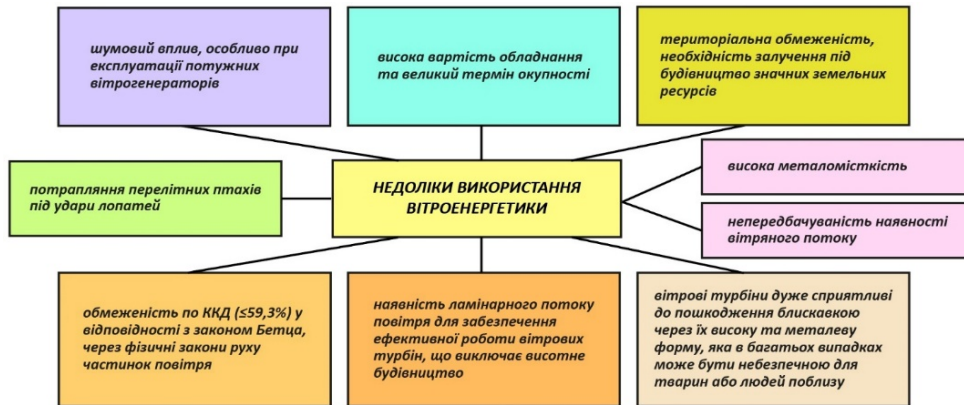


Рис. 2. Недоліки використання вітроенергетики

Енергія вітру може бути перетворена в у кінетичну, механічну та електричну види енергії (рис. 3).



Рис. 3. Види енергії вітру

На сьогодні, вітроенергетика є одним із найбільш розвинених сегментів альтернативної енергетики, оскільки сумарна потужність усіх встановлених у світі вітрогенераторів перевищила 450 ГВт, що становить близько 3% від всієї генерації електрики. За прогнозом, до 2025 р. на вітроенергетику припадатиме близько 12% електроенергії вироблюваної у світі [2].

Для того, щоб будівництво вітроелектростанції виявилось економічно виправданим, необхідно, щоб середньорічна швидкість вітру в конкретному районі складала не менше 6 метрів за секунду.

Про перспективність використання вітроенергетики у світі, як джерела енергії свідчить постійне зростання та прогноз використання вітроенергії у світі (рис. 4 і рис. 5).

За оцінками міжнародного агентства IRENA, Україна має найбільший серед країн Південно-Східної Європи технічний потенціал використання ВДЕ. Особливо це стосується вітрової генерації [16], для якої можуть бути використані понад 7000 км² території України для розвитку вітроенергетичних проєктів. Це – карпатський, приазовський, донецький, західнокримський, гірнокримський, керченський регіони, Харківська й Полтавської області.

За даними Міжгалузевого науково-технічного центру вітроенергетики Національної академії наук України, територія нашої країни має значні ресурси вітрової енергії, які оцінюються у 30 ТВт х год./рік [13].

Потенціал встановленої потужності офшорної вітрової енергетики в Україні становить 250 ГВт, щорічний виробіток електричної енергії офшорними вітровими електростанціями

може складати 984 млрд кВт-год. Сумарний потенціал вітрової енергетики в Україні сягає, за дослідженням ІВЕ НАН України, 688 ГВт встановленої потужності, а за дослідженням IRENA та NREL – 466 ГВт [1].

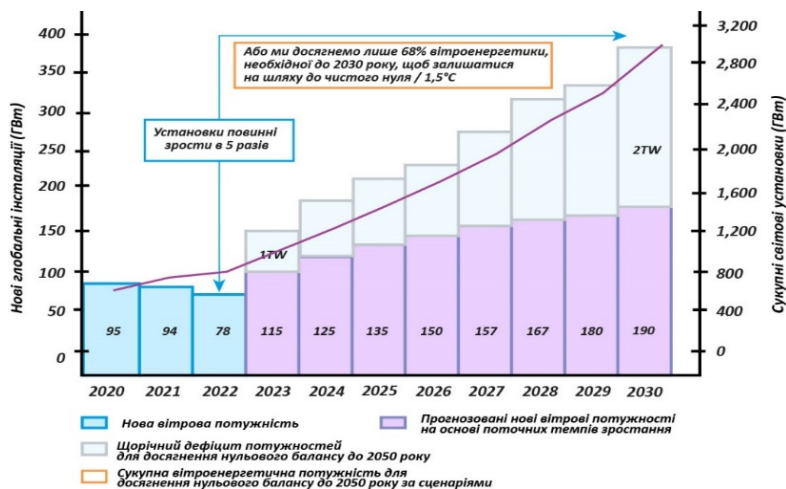


Рис. 4. Динаміка та прогноз використання вітроенергії у світі [16]

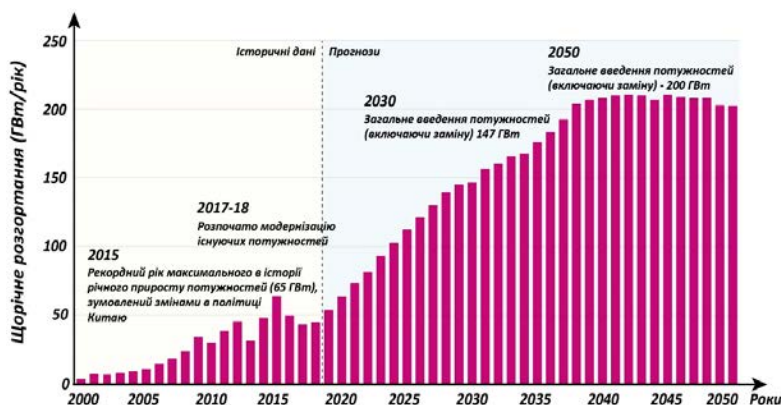


Рис. 5. Світові обсяги наземної вітроенергетики та прогноз динаміки зростання вітрової генерації [15]

За розрахунками науковців, при максимальному використанні сили вітру в цих регіонах можна було б одержувати електроенергію в обсягах, які б надавали можливість забезпечити до 50% загального енергоспоживання країни [13].

Наявність реальних вітрових станцій України станом на кінець 2021 р. представлена на рис. 6.

До війни, станом на 24 лютого 2022 р. загальна встановлена потужність українських вітроелектростанцій (без тимчасово окупованих територій Донбасу та Криму) складала 1,67 ГВт – фактично як два атомні енергоблоки [4].

Оскільки більшість вітрових станцій розташовані на півдні України, де є для цього відповідні кліматичні умови – передусім необхідна швидкість вітру, то з початком війни, майже всі вітряні електростанції Херсонської, Запорізької та Миколаївської областей із перших днів опинилися у фронтовій чи окупованій зоні. 80% вітрової генерації сьогодні виведено з ладу чи захоплено. Як наслідок, вся вітрова генерація є втраченою [5].

За попередніми оцінками, втрати від знищеного, пошкодженого або викраденого обладнання вітропарків становить більше 50 млн євро. Ще понад 500 млн євро втрачено від вимушеного простою. Нові проекти з будівництва 11 наземних вітропарків загальною потужністю майже 1 ГВт через війну поставлено на паузу [4].



Рис. 6. Вітрові станції України станом на кінець 2021 р. [10]

В Україні сьогодні набирає обертів використання вітряків малої потужності, які встановлюються домогосподарствами для власних потреб. Невеликі вітроенергетичні установки (від 200 Вт до 20 кВт) привабливі тим, що їх можна достатньо швидко встановити та вони оптимально підходять там, де немає інших джерел енергії, або коли підключення до існуючих мереж занадто дорого. Й що важливо – вітроустановки потужністю до 20 кВт не вимагають ніяких дозвільних документів та ліцензій на застосування.

Електроенергія, що потрібна для живлення середнього будинку, становить 35 кВт на добу, вітряна установка подібної потужності коштує від 30 тис. гривень залежно від виробника та комплектації [14].

Першочерговим завданням, яке постає при розробці вітрової енергетичної інфраструктури, є визначення оптимального місцеположення ВЕС. Для цього процесу необхідно врахувати низку факторів та особливостей, які впливають на нього. Таким чином, було побудовано логічну модель яка демонструє дані та необхідні дії з ними для визначення перспективних місць розташування ВЕС (рис. 7).

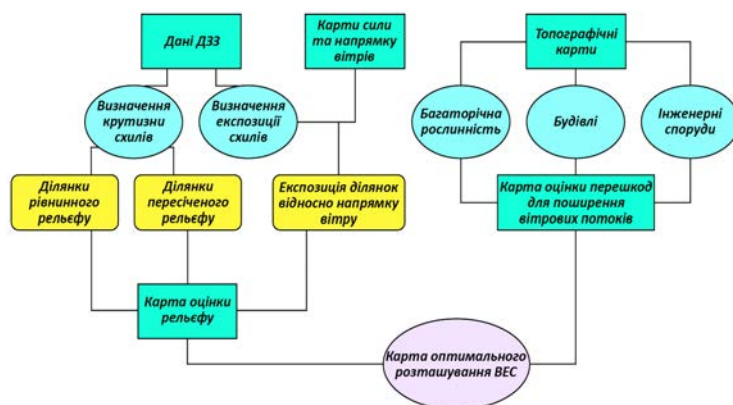


Рис. 7. Логічна модель розташування вітрових електростанцій

Як видно з моделі, вже на початковому етапі планування майбутньої вітрової електростанції неможливо обійтися без технологій дистанційного зондування Землі та ГІС, які дають змогу проаналізувати та візуалізувати отримані дані, а також необхідні для створення системи прогнозування.

Прогнозування в енергетичній галузі, в контексті вироблення електроенергії, необхідне для передбачення майбутнього попиту на електроенергію та оптимізації процесів виробництва. Метою є забезпечення достатньої кількості електроенергії для задоволення потреб споживачів, уникнути перевантаження енергетичних систем та забезпечити ефективне використання ресурсів [6].

Підсистема прогнозування включає в себе такі етапи:

- збір даних: дані про споживання електроенергії, кліматичні умови, економічні показники та інші фактори, що можуть впливати на попит;
- аналіз даних: виявлення залежностей та трендів у вхідних даних;
- розробка моделей прогнозування: математичні моделі, які дають змогу передбачати майбутній попит на електроенергію;
- прогнозування та оптимізація: за отриманими результатами проводиться прогноз майбутнього попиту на електроенергію. Це дає змогу енергетичним компаніям забезпечити достатню кількість електроенергії, запланувати роботу електростанцій та забезпечити ефективне використання ресурсів.

На основі даних ДЗЗ також може бути розрахована потужність вітрових електростанцій: за допомогою спеціальних алгоритмів визначається швидкість вітру, його частота та інші параметри, що дають змогу оцінити потужність вітрових електростанцій у конкретній місцевості [17].

Так, Британська компанія Earth-i у січні 2018 р. запустила супутник VividX2. Це перший із 15 апаратів, який дозволяє побачити об'єкти розміром до 60 см зі швидкістю до 50 кадрів на секунду. Цього цілком вистачає, щоб бачити автомобілі на шосе й навіть людей. Зображення можуть бути використані для контролю точної кількості автомобілів на автомагістралях, підрахунку кількості людей, що перетинають державний кордон та обчислення потужності вітрової електростанції у режимі реального часу. Інформацію з космосу одержують за допомогою знімальної апаратури, яка встановлюється на космічних літальних апаратах, що поділяються на: штучні супутники Землі (ШСЗ); пілотовані космічні кораблі (ПКК); пілотовані орбітальні станції (ПОС); автоматичні міжпланетні станції (АМС) [11].

Загалом, ГІС використовується для інтеграції, аналізу та візуалізації великого обсягу геопросторових даних, що допомагає забезпечити ефективне та стабільне виробництво електроенергії, прогнозувати попит та забезпечити оптимальне використання ресурсів [7].

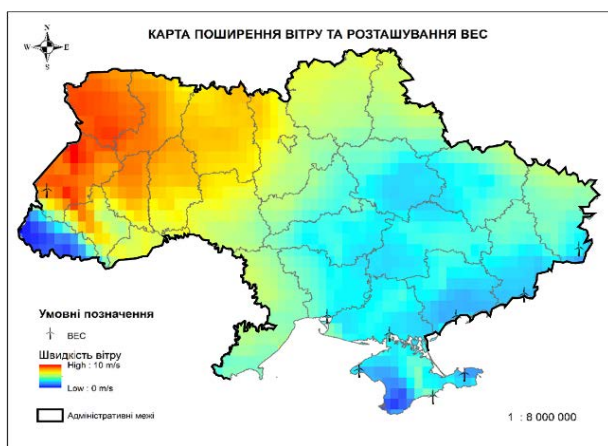


Рис. 8. Карта швидкості вітру та розташування ВЕС на території України, виконана за даними ERA5. Дата звернення: 01.03.2024

Використовуючи дані дистанційного зондування Землі, а саме загальнодоступний набір даних ERA5 – реаналіз ECMWF п'ятого покоління глобального клімату та погоди за останні 8 десятиліть [14], та геоінформаційні системи, було створено карту середньої швидкості вітру в січні та позначено наявні ВЕС на території України рис. 8.

З наведеної карти видно, що більшість вітрових електростанцій України знаходяться на узбережжях морів, одна також розташована в низинах Прикарпаття, де щорічно спостерігаються достатньо сильні вітри.

Таким чином, за допомогою ДЗЗ було проаналізовано середньомісячну швидкість вітру та розташування ВЕС. На основі отриманих даних також можна запропонувати нові перспективні місця для розвитку нової інфраструктури вітрових електростанцій.

Керуючись логічною моделлю (рис. 7) було виконано алгоритм дій для аналізу розташування однієї з українських ВЕС із метою пошуку нових оптимальних та перспективних місць для створення вітрової енергетичної структури.

Розглядаючи карту швидкості вітрів, було помічено високі значення в західній частині України, так було проаналізовано та оцінено ресурси Львівської області, а саме територію Старосамбірського району, де з 2015 року працює перша ВЕС на західній Україні (рис. 9).

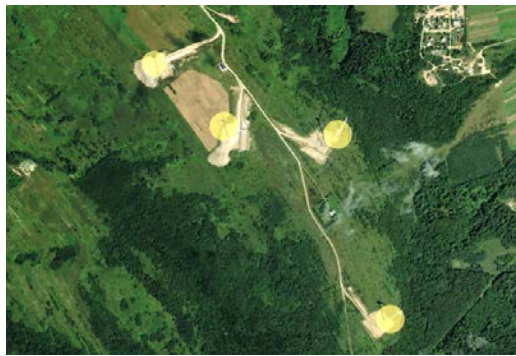


Рис. 9. Знімок ВЕС Старий Самбір – 1 01.08.2017, за даними МАХАР

Таким чином було обрано територію для подальшого дослідження.

Першим кроком став аналіз моделі рельєфу, а саме визначення абсолютних висот та переважаючих категорій схилів.

З побудованих карт, представлених на рис. 10, видно, що Старосамбірська ВЕС, яка має потужність у 13,2 МВт, генерує 18 млн кВт год електроенергії, знаходиться на висоті приблизно 500 м над рівнем моря. Усі вітряки знаходяться на схилах у межах 2–4 категорій, які можуть характеризуватися труднощами під час планування та забудови території (табл. 1) [8].

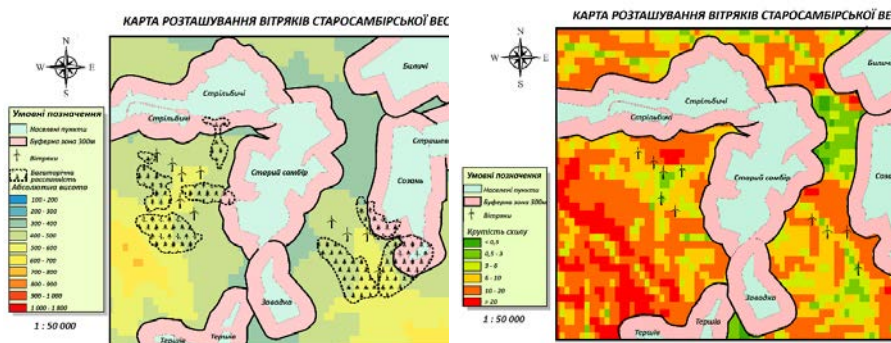


Рис. 10. Карти розташування вітряків у Старосамбірському районі Львівської області, виконано за даними SRTM, власна розробка. Дата звернення: 01.03.2024

Оцінка території залежно від крутості поверхні представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Оцінка території залежно від крутості поверхні

Категорія	Крутість (ухил), %	Містобудівна оцінка рельєфу
1	Менше 0,5	Придатний для забудови, трасування вулиць і доріг; зовсім непридатний для організації стоку поверхневих вод та прокладання самопливних мереж
2	0,5-3	Придатний і задовольняє вимогам забудови, прокладання вулиць та доріг, організації водовідведення та ін. Вертикальне планування не потребує складних заходів
3	3-6	Придатний для планування та забудови, але викликає труднощі при розташуванні будинків, плануванні міських майданів і трасуванні вулиць. Потребує великих обсягів робіт для перетворення рельєфу
4	6-10	Створює значні труднощі під час планування та забудови території, при трасуванні вулиць і прокладанні підземних комунікацій. Потребує складних і значних за обсягом робіт з перетворення рельєфу
5	10-20	Непридатний для забудови - потребує улаштування терас. Створює труднощі при прокладанні вулиць, доріг, підземних комунікацій. Потребує складних і великих обсягів роботи з улаштування майданчиків, при будівництві споруд - улаштування терас, укосів, підпірних стінок
6	Більше 20	Дуже непридатний і складний для планування, забудови благоустрою, трасування вулиць, прокладання підземних комунікацій. Викликає значні труднощі при вертикальному плануванні. Освоюють при особливій необхідності

Іншою важливою характеристикою є відстань між вітряками та житловими будинками, яка зазвичай встановлюється з метою забезпечення безпеки мешканців та мінімізації впливу шуму та тіней, а також для збереження естетичного вигляду місцевості. Так вона може варіюватися залежно від законодавства та рекомендацій місцевих органів влади, а також від конкретних умов місцевості та типу вітряної установки.

Зазвичай рекомендована мінімальна відстань може бути від 300 метрів до кількох кілометрів, проте ці значення можуть змінюватися залежно від законодавства конкретної країни.

Виходячи з цього, було побудовано буферні зони навколо населених пунктів Старосамбірського району (рис. 12). Так усі вітряки знаходяться на допустимих відстанях та не шкодять населенню прилеглих територій.

Важливою також є багаторічна рослинність, яка може змінювати режим вітру, перешкоджати роботі ВЕС тощо. Так вітряки Старосамбірської ВЕС знаходяться неподалік від невеликих скупчень дерев (рис. 10, ліворуч).

Як було зазначено раніше, напрям схилу також важливий аналізу, оскільки в сукупності з розою вітрів може надати цінну інформацію про найкраще місцезонашування нового вітряка. Таким чином було побудовано карту експозиції схилів, на яких знаходяться вітряки Старосамбірської ВЕС (рис. 11). З карти бачимо, що майже всі вітряки побудовані на схилах орієнтованих на південний захід. У сукупності з переважаючими східними вітрами у цьому регіоні, можна зрозуміти причину такого рішення.

Детально розглянувши приклад та умови розташування однієї з ефективних та успішних українських ВЕС, було виділено перспективні території для подальшого розвитку вітрової енергетичної інфраструктури. Було виділено місця, які мають необхідні характеристики для розташування вітряків у цьому районі рис. 12.

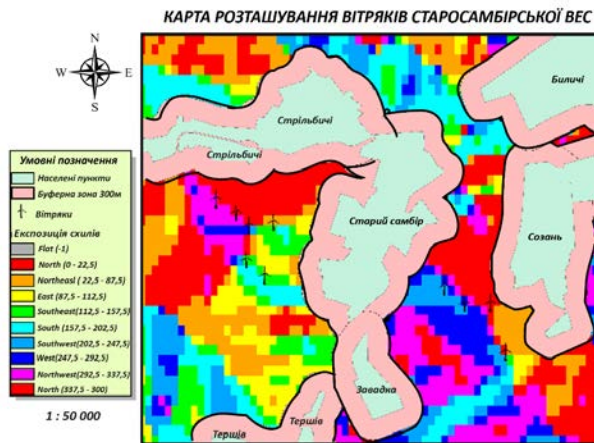


Рис. 11. Карта експозиції схилів у Старосамбірському районі, Львівської області, виконана за даними SRTM, власна розробка. Дата звернення: 01.03.2024

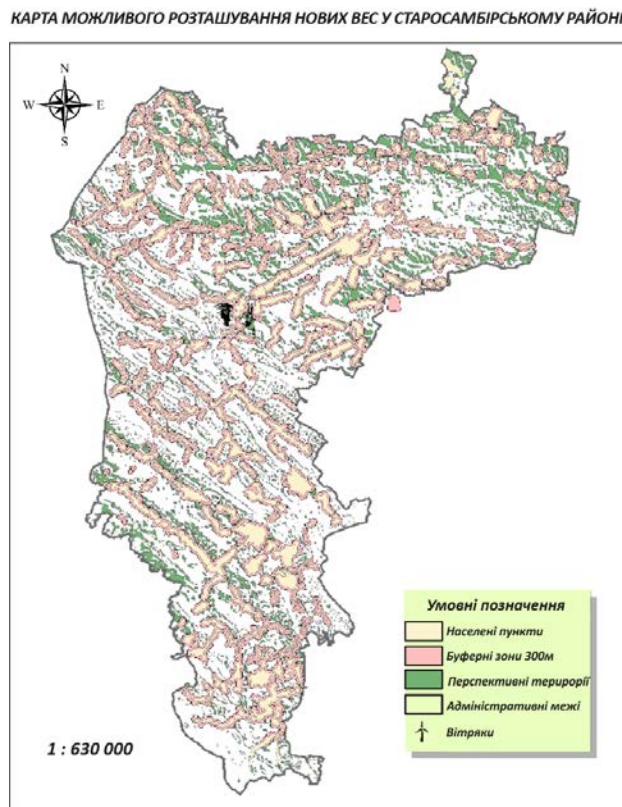


Рис. 12. Карта оптимального розташування ВЕС у Старосамбірському районі, власна розробка

Висновки. Оцінивши сучасний стан української вітрової енергетики, поширення вітрів та розглянувши успішний приклад ВЕС за допомогою технологій ДЗЗ та ГІС, було виділено низку необхідних характеристик місцевості для спорудження вітряків у Старосамбірському районі Львівської області та запропоновані перспективні території для подальшого розвитку даної енергетичної інфраструктури у цьому регіоні.

Основними характеристиками слугували:

- категорія схилів (1–4 категорія);
- експозиція схилів (південний захід);

– мінімальна відстань від населених пунктів (300 метрів).

Території, які мають розглянуті характеристики, можуть бути перспективними для майбутнього розвитку ВЕС на заході України.

Розглянутий алгоритм можна також застосовувати для пошуку перспективних територій для розвитку ВЕС на іншій місцевості.

За результатами дослідження підтверджено ефективність дистанційного зондування Землі та інструментів ГІС у питанні створення та моніторингу об'єктів вітрової енергетики.

Результати роботи можуть застосовуватися відомствами та установами, державними підприємствами, іншими організаціями та компаніями, що займаються формуванням політики у сфері енергетики.

Список використаних джерел:

1. Біла Книга 2021. Офшорна вітроенергетика та «зелений» водень: відкриття нових меж енергетичної потужності України. URL: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2_5438583199909284286.pdf (дата звернення: 14.08.2024).
2. Вітроенергетика. URL: <https://sae.gov.ua/uk/ae/windenergy> (дата звернення: 14.08.2024).
3. Громова О.М., Гетьман О.Л., Маркова Т.Д. Пропозиції щодо стимулювання використання альтернативних екологічно чистих технологій в сучасних умовах України. *Економічні інновації*. 2014. Вип. № 58. С. 85–94.
4. Демченков Я. Wind of change: які зміни несе вітрова енергетика Україні. Як вітрова енергетика може стати драйвером розвитку післявоєнної України. *Економічна правда*. 2023. 6 січня. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/6/695729/> (дата звернення: 20.08.2024).
5. Жарикова А. Потенціал вітрової генерації України – 140 ГВт. *Українська правда*. 2023. 20 вересня. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/herman-halushchenko-potentsial-vitrovoi-heneratsii-ukrainy-140-hvt> (дата звернення: 21.08.2024).
6. Зацерковний В.І., Оберемок Н.В., Пузик А.А. Геоінформаційне моделювання в задачах відновлювальної енергетики. *Вісник НТУ «ХП»*. 2018. № 9 (1285). С. 118–127. DOI:10.20998/2413-4295.2018.09.17.
7. Климанський Т.М., Ніколаєнко О.С. Застосування геоінформаційних технологій в енергетичній галузі : дипл. робота. НАУ, 2023. URL: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/60300/1/ФНСА_2023_193_Климанський%20Т.М..pdf (дата звернення: 14.08.2024).
8. Ліпнян В.А., Стародуб І.В. Інженерна підготовка і благоустрій міських територій : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2015. 293 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/9771/1/Посібник.pdf> (дата звернення: 14.08.2024).
9. Носенко Ю. Вітроенергетика – практичні аспекти і перспективи. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 1/2. С. 42–44. URL: <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2081-vitroenerhetyka-praktychni-aspekty-i-perspektyvy.html> (дата звернення: 14.08.2024).
10. Омельченко В. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. *Разумков-центр*. 2022. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sekto-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viynu> (дата звернення: 22.08.2024).
11. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування : навч. посіб. / С.О. Довгий, В.І. Лялько, С.М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О.В. Томченко, Л.Я. Юрків. К. : Ін-т обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.
12. Рівень смертності від забруднення повітря в Україні один з найвищих у світі. *Екодія*. 2016. URL: <https://ecoaction.org.ua/smertnist-vid-zabrudnennya-povitrya-v-ukraini-odna-z-vyschyh.htm/> (дата звернення: 28.09.2024).
13. Чумаченко С.М., Пісня Л.А., Черепньов І.А. Впровадження вітроенергетичного потенціалу України для середнього і малого бізнесу АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 156. С. 626–635. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_156_96 (дата звернення: 22.08.2024).
14. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. *Copernicus*, 2018. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview> (дата звернення: 14.08.2024).
15. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. *IRENA*. 2019. October. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf (дата звернення: 12.08.2024).

16. Global Wind Report 2023. URL: gwec.net/globalwindreport2023 (дата звернення: 24.08.2024).
17. Sliz-Szkliararz, Beata, Vogt, Joachim. GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*. 2011. Vol. 15(3). P. 1696–1707. URL: [https://sites.uni.edu/apetrov/wind/Fuzzy/Sliz-Szkliararz,B&JoachimVogt\(2011\).pdf](https://sites.uni.edu/apetrov/wind/Fuzzy/Sliz-Szkliararz,B&JoachimVogt(2011).pdf) (дата звернення: 20.08.2024).

References:

1. WhiteBook2021. Offshore wind energy and "green" hydrogen: opening new frontiers of Ukraine's energy capacity. (2021). Retrieved 14.08.2024 from https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2_5438583199909284286.pdf [In Ukrainian].
2. Wind energy. (2024). Retrieved 14.08.2024 from <https://sae.gov.ua/uk/ae/windenergy> [In Ukrainian].
3. Gromova, O.M., Hetman, O.L., & Markova, T.D. (2014). Proposals for stimulating the use of alternative environmentally friendly technologies in modern conditions of Ukraine. *Economic innovations*, 58, 85–94 [In Ukrainian].
4. Demchenkov, Ya. (2023). Wind of change: what changes wind energy brings to Ukraine. How wind energy can become a driver of development in post-war Ukraine. *Ekonomichna Pravda*, 6 January. Retrieved 20.08.2024 from <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/6/695729/> [In Ukrainian].
5. Zharykova, A. (2023). Wind generation potential of Ukraine is 140 GW. *Ukrainska Pravda*, 20 September. Retrieved 21.08.2024 from <https://www.kmu.gov.ua/news/herman-halushchenko-potential-vitrovi-heneratsii-ukrainy-140-hvt> [In Ukrainian].
6. Zatserkovnyi, V. I., Oberemok, N. V., & Puzyk, A. A. (2018). Geoinformation modeling in the tasks of renewable energy. *Bulletin of NTU "KhPI"*, 9(1285), 118–127. 10.20998/2413-4295.2018.09.17 [In Ukrainian].
7. Klymanskyi, T.M., & Nikolayenko, O.E. (2023). Application of geoinformation technologies in the energy industry: diploma thesis. NAU. Retrieved 14.08.2024 from https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/60300/1/ФНСА_2023_193_Климанский%20Т.М..pdf [In Ukrainian].
8. Lipyaniin, V.A., & Starodub, I.V. (2015). Engineering preparation and improvement of urban areas: a study guide. Rivne: NUWHP, 2015. 293. Retrieved 14.08.2024 from <https://ep3.nuwm.edu.ua/9771/1/Posibnyk.pdf> [In Ukrainian].
9. Nosenko, Yu. (2012). Wind energy – practical aspects and prospects. *Agribusiness today*, 1/2, 42–44. Retrieved 14.08.2024 from <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2081-vitroenerhetyka-praktychni-aspekty-i-perspektyvy.html> [In Ukrainian].
10. Omelchenko, V. (2022). Renewable energy sector of Ukraine before, during and after the war. *Razumkov Center*. Retrieved 22.08.2024 from <https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-dopid-chas-ta-pislya-viyny> [In Ukrainian].
11. Fundamentals of remote sensing of the Earth: history and practical application: teaching. manual. Dovgiy, S.O., Lyalko, V.I., Babiichuk, S.M., Kuchma, T.L., Tomchenko, O.V., & Yurkiv, L.Ya. (2019). Institute of the Gifted Child of the National Academy of Sciences of Ukraine, 316 [In Ukrainian].
12. The death rate from air pollution in Ukraine is one of the highest in the world. (2016). *Ecoaction*. Retrieved 24.08.2024 from <https://ecoaction.org.ua/smertnist-vid-zabrudnennya-povitrya-v-ukraini-odna-z-vyschyh.htm> [In Ukrainian].
13. Chumachenko, S.M., Pisnya, L.A., & Cherepnyov, I.A. (2015). Implementation of Ukraine's wind energy potential for medium and small agro-industrial complex businesses. *Bulletin of the Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*, 2015, 156, 626–635. Retrieved 22.08.2024 from https://file:///C:/Users/Admin/Downloads/Vkhdtusg_2015_156_96.pdf [In Ukrainian].
14. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. (2018). *Copernicus*. Retrieved 14.08.2024 from <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
15. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. *IRENA*. 2019. October. Retrieved 12.08.2024 from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf
16. Global Wind Report 2023. (2023). Retrieved 24.08.2024 from <https://gwec.net/globalwindreport2023>
17. Sliz-Szkliararz, Beata, Vogt, Joachim, (2011). GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, 15(3), 1696–1707. Retrieved 20.08.2024 from [https://sites.uni.edu/apetrov/wind/Fuzzy/Sliz-Szkliararz,B&JoachimVogt\(2011\).pdf](https://sites.uni.edu/apetrov/wind/Fuzzy/Sliz-Szkliararz,B&JoachimVogt(2011).pdf)

Стаття надійшла до редколегії
20.05.2024 р.