

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування
та інфраструктури
Кафедра економічної експертизи та землепорядкування

КРІЛЬ Максим Юрійович
Геоінформаційний моніторинг розвитку відновлюваної
енергетики в Україні / Geoinformation monitoring of
renewable energy development in Ukraine
спеціальність: 193 – Геодезія та землеустрій
освітньо-професійна програма - Експертна оцінка землі та нерухомого
майна

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи
ГЕОЗ-41 М. Ю. Кріль

Науковий керівник:
к.т.н., О. М. Лопушанський

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«___»_____20___ р.

Завідувач кафедри

_____ Б. О. Язлюк

ТЕРНОПІЛЬ – 2025

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Теоретико-правові засади ведення геоінформаційного моніторингу в сучасних умовах	6
1.1. Поняття, загальні принципи та методи геоінформаційного моніторингу	6
1.2. Основи ведення геоінформаційного моніторингу різних об'єктів і середовищ на різних рівнях	12
Висновки до розділу 1	19
 Розділ 2. Практичні аспекти проведення геоінформаційного моніторингу розвитку відновлюваної енергетики в Україні	 20
2.1. Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі	20
2.2. Інструменти моніторингу стану та розвитку відновлюваної енергетики в Україні	28
2.3. Застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу територій	35
Висновки до розділу 2	43
 Розділ 3. Перспективи комплексного використання вітроенергетичних установок на рівні західного регіону України	 44
3.1. Геоінформаційний аналіз чинників розвитку вітрової енергетики в Львівській області	44
3.2. Перспективи розвитку вітрової енергетики в Тернопільській області	60
Висновки до розділу 3	67
 Висновки	 68
Список використаних джерел	71

ВСТУП

Актуальність теми обумовлена низкою сучасних викликів та стратегічних потреб, що стоять перед державою. В умовах триваючої військової агресії та значного пошкодження енергетичної інфраструктури, особливо об'єктів централізованого енергопостачання, Україна стикається з необхідністю переосмислення принципів функціонування енергетичного сектору. У цьому контексті особливого значення набуває розвиток відновлюваних джерел енергії, які здатні забезпечити децентралізацію енергопостачання, підвищити енергетичну безпеку та сприяти зниженню залежності від імпортованих викопних ресурсів.

Крім того, Україна взяла на себе міжнародні зобов'язання щодо зменшення викидів парникових газів і переходу до екологічно чистої енергетики відповідно до положень Паризької кліматичної угоди. У зв'язку з цим впровадження відновлюваної енергетики є не лише вимогою часу, а й важливою складовою екологічної політики держави. Проте ефективний розвиток цієї галузі вимагає сучасних підходів до просторового планування, аналізу природних ресурсів і моніторингу територій, що можуть бути використані для встановлення об'єктів відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

Саме тут ключову роль відіграють геоінформаційні системи. ГІС-технології дають змогу комплексно аналізувати просторові, кліматичні, економічні та інфраструктурні чинники, що впливають на доцільність і ефективність розміщення об'єктів відновлюваної енергетики. За допомогою геоінформаційного моніторингу можна здійснювати постійне спостереження за станом енергетичних об'єктів, прогнозувати енергогенеруючий потенціал у різних регіонах, а також ухвалювати науково обґрунтовані управлінські рішення.

Питання здійснення геоінформаційного моніторингу розвитку відновлюваної енергетики загалом досліджували багато українських та

зарубіжні науковців та практиків: О. Акименко, М. Білявський, О. Лутчин, І. Колб, Л. Лазоренко, М. Лопушанська, О. Лопушанський, І. Патракеєв, І. Приходько та ін.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробці та обґрунтуванні ефективного підходу до моніторингу і планування розвитку відновлюваної енергетики в Україні з використанням геоінформаційних технологій. Це включає аналіз просторових, природно-кліматичних і соціально-економічних чинників для визначення оптимальних територій розміщення об'єктів ВДЕ, оцінку потенціалу різних джерел відновлюваної енергії, а також створення інструментів для візуалізації, прогнозування і підтримки прийняття управлінських рішень у сфері енергетичного планування.

Для досягнення мети дослідження нами було визначено такі завдання:

- розкрити сутність геоінформаційного моніторингу;
- з'ясувати особливості ведення геоінформаційного моніторингу різних об'єктів і середовищ на різних рівнях;
- здійснити аналіз тенденцій розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі;
- оцінити рівень застосування інструментів моніторингу стану та розвитку відновлюваної енергетики в Україні;
- розкрити практичні аспекти застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу територій;
- окреслити перспективи комплексного використання вітроенергетичних установок на рівні західного регіону України.

Об'єкт дослідження – процес розвитку відновлюваної енергетики в Україні як складова національної енергетичної політики та просторового планування.

Предмет дослідження – геоінформаційні методи та засоби моніторингу, аналізу і підтримки прийняття рішень щодо розміщення та

розвитку об'єктів відновлюваної енергетики з урахуванням просторових, природних і соціально-економічних чинників.

Методологія дослідження базується на використанні сучасних геоінформаційних технологій, методів просторового аналізу, картографування, дистанційного зондування Землі, статистичного аналізу, моделювання потенціалу відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової, біоенергетики), а також систем підтримки прийняття рішень. Для збору і обробки даних використовуються відкриті геопросторові бази, супутникові знімки, тематичні карти, енергетична та кліматична статистика.

Інформаційна база дослідження включає сукупність джерел, даних і матеріалів, що використовуються для аналізу, моделювання та геоінформаційного моніторингу розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Вона складається з наступних компонентів: картографічні та геопросторові дані, статистичні та аналітичні дані, дані геоінформаційних систем, нормативно-правові акти, наукові публікації та аналітичні огляди.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні та впровадженні інтегрованого підходу до моніторингу і планування розвитку відновлюваної енергетики в Україні на основі використання геоінформаційних технологій. У межах дослідження запропоновано нові підходи до просторового аналізу потенціалу відновлюваних джерел енергії з урахуванням природно-кліматичних, техногенних та соціально-економічних факторів.

Практичне значення дослідження полягає в можливості використання його результатів для підвищення ефективності планування, розміщення та розвитку об'єктів відновлюваної енергетики в Україні на основі сучасних геоінформаційних технологій.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ВЕДЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

1.1. Поняття, загальні принципи та методи геоінформаційного моніторингу

Посилення техногенного впливу на природне середовище обумовлює потребу у підвищенні рівня екологічної безпеки шляхом створення та підтримки постійно діючих систем моніторингу за його складовими. Дані про екологічний стан і динаміку його змін є основою для розробки природоохоронних заходів, слугують важливим джерелом інформації для національної інфраструктури геопросторових даних, ведення державних кадастрів, здійснення землеустрою, грошової оцінки земель і загалом – для стратегічного планування економічного розвитку.

Вирішення екологічних проблем, аналіз кількісних та якісних показників впливу на довкілля, розробка систем комплексної оцінки, моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища сьогодні є неможливими без застосування сучасних комп'ютерних технологій, зокрема геоінформаційних систем (ГІС).

У загальному розумінні моніторинг – це процес спостереження за змінами різних процесів та явищ. Сам термін походить від латинського *monito*, що означає «той, хто попереджає, нагадує». Він набув широкого вжитку після впровадження програм ЮНЕСКО «Людина і біосфера» (МАН) та ООН «Захист навколишнього середовища», які передбачали створення системи регулярного довготривалого спостереження у просторі та часі з метою отримання інформації про стан довкілля. Ці ініціативи обговорювалися на конференціях ЮНЕСКО в Парижі (1968 р.) та ООН у Стокгольмі (1972 р.).

Слово «моніторинг» – одне з небагатьох іншомовних термінів, використання якого є виправданим в українській мові, адже наразі не існує повноцінного синоніма, який би точно передавав його значення та зміст.

Моніторингові системи класифікують насамперед за середовищами спостереження, серед яких виділяють атмосферу (повітря), гідросферу (поверхневі та підземні води), літосферу (грунти й надра), кріосферу, а також біоту – рослинний і тваринний світ. Крім цього, такі системи поділяють за методами збору й обробки даних, за територіальним охопленням, за джерелами та чинниками впливу, періодичністю спостережень, особливостями виявлення процесів, рівнем системного підходу та їх цільовим призначенням.

Основну інформацію для екологічного моніторингу отримують як за допомогою дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), так і шляхом використання контактних методів – фізичних, хімічних, біологічних і геодезичних досліджень, а також шляхом аналізу даних, зібраних у процесі інвентаризацій, перевірок, обстежень та контрольно-ревізійної роботи.

Для оброблення зібраної інформації застосовують низку методів. Геоінформаційні технології дозволяють ефективно збирати, зберігати, аналізувати та редагувати просторові й атрибутивні дані про стан довкілля, що сприяє вирішенню екологічних завдань. Балансовий підхід забезпечує зіставлення наявних природних ресурсів із рівнем їх використання, а порівняльний метод дає змогу досліджувати об'єкти через їхнє співставлення. Картографічні методи базуються на використанні карт як засобу візуалізації просторових даних і переходу від опису до аналітичних висновків. Статистичні методи допомагають опрацьовувати числові дані, аналізувати варіаційні ряди, розраховувати математичне очікування, дисперсію, середнє квадратичне відхилення та визначати інтенсивні й екстенсивні показники.

Особливе місце займає метод дистанційного зондування, що дозволяє безконтактно отримувати інформацію про природні об'єкти й процеси на

поверхні Землі, в її надрах та атмосфері шляхом реєстрації електромагнітного випромінювання. Такі дані фіксуються за допомогою апаратури, встановленої на авіаційних або космічних носіях. Перевагами ДЗЗ є велике охоплення територій, регулярність спостережень, можливість швидко отримувати інформацію про важкодоступні регіони, а також формування цілісної картини розподілу показників. Ці якості особливо важливі для глобального моніторингу планети та національних систем спостереження в країнах із великою територією. Разом з тим, методи дистанційного зондування є ефективними і в регіональному масштабі, де вони доповнюють або іноді навіть перевершують контактні методи за інформативністю.

Моніторингові системи найчастіше класифікують за середовищами, які підлягають спостереженню, зокрема це атмосферне повітря, поверхневі й підземні води, ґрунти та надра, крижана оболонка планети, а також живі організми – флора і фауна. Окрім цього, поділ може здійснюватися за критеріями збору й аналізу інформації, масштабом охоплення територій, чинниками впливу, частотою спостережень, характером процесів, що фіксуються, ступенем системності підходу та функціональним призначенням.

Необхідні дані для здійснення екологічного моніторингу отримують як завдяки технологіям дистанційного зондування Землі, так і через контактні методи дослідження, до яких належать фізичні, хімічні, біологічні та геодезичні вимірювання. Важливим джерелом інформації також виступають результати інвентаризації земель, перевірок, обстежень і ревізій.

Для обробки зібраних даних застосовують різні підходи. Геоінформаційні системи забезпечують збереження, аналіз і редагування екологічної інформації з метою прийняття ефективних рішень. Балансовий метод дає змогу оцінити співвідношення між наявними природними ресурсами та рівнем їх використання. Порівняльний метод використовується для аналізу об'єктів шляхом зіставлення. Картографічний метод дозволяє здійснювати просторову інтерпретацію явищ, тоді як статистичний підхід

допомагає опрацювати числові дані, аналізувати варіації та обчислювати ключові статистичні показники, що дають змогу проводити точні порівняння.

Серед усіх методів особливо важливим є дистанційне зондування, яке дає змогу безконтактно отримувати інформацію про стан природних систем на поверхні, в атмосфері та в надрах Землі за допомогою фіксації електромагнітного випромінювання. Збирання даних здійснюється за допомогою спеціального обладнання, розміщеного на літальних апаратах і супутниках. Перевагами цього підходу є широке територіальне охоплення, оперативність, можливість регулярного спостереження, а також доступ до віддалених або важкодоступних територій. Такі можливості особливо цінні для реалізації глобальних моніторингових програм, а також для національного рівня країн із великою площею. Водночас, методи дистанційного зондування ефективно використовуються і на регіональному рівні, часто доповнюючи або навіть перевершуючи традиційні контактні методи за точністю та обсягом отриманої інформації.

Онтологічна модель геоінформаційного моніторингу розкриває сутнісні характеристики моніторингових геоінформаційних систем і окреслює шляхи їх подальшого розвитку, зокрема у напрямку інтелектуалізації процесів, а також удосконалення методів планування та реалізації моніторингових заходів.

Безперечно, сфера баз геопросторових даних є однією з найдинамічніших у межах сучасних інформаційних технологій, зокрема в галузі баз даних та ГІС. Це зумовлено, насамперед, стрімким розвитком геоінформаційних технологій та їхнім широким впровадженням у моніторингові системи різного призначення та масштабу. Такий розвиток супроводжується інтенсивним накопиченням геопросторових даних, що створює потребу у надійних засобах зберігання, оновлення та колективного використання цієї інформації в системах, які підтримують прийняття рішень у сфері охорони довкілля та сталого використання природних ресурсів.

Застосування баз геопросторових даних у геоінформаційному моніторингу формує нову парадигму моніторингової діяльності, що полягає у створенні формалізованих систем географічних і картографічних знань. Це, у свою чергу, відкриває можливість інтегрувати результати моніторингу довкілля в глобальний інформаційний простір, зробивши їх доступними для мільйонів користувачів. Крім того, такий підхід забезпечує високу незалежність інформаційних і програмних рішень від конкретних форматів даних та середовищ реалізації інструментальних ГІС.

Класичні геоінформаційні системи – це програмно-технічні комплекси, призначені для збору, зберігання, обробки, аналізу та візуалізації просторових (географічних) даних. ГІС дозволяють поєднувати географічну інформацію з описовими (атрибутивними) даними, що дає можливість глибше аналізувати просторові явища та процеси. У таких системах працюють із двома основними типами даних: просторовими (векторними і растровими) та атрибутивними (таблична інформація, пов'язана з об'єктами на карті). Просторові дані можуть відображати об'єкти у вигляді точок (наприклад, населені пункти), ліній (дороги, річки) або полігонів (ліси, озера, межі територій). Растрові дані представлені у вигляді зображень, що складаються з пікселів, як-от супутникові знімки чи скановані карти. Атрибутивні дані містять додаткову інформацію про просторові об'єкти, наприклад, назву, тип, площу чи стан.

Класичні ГІС мають інструменти для просторового аналізу: це може бути буферизація (створення зон навколо об'єктів), накладання шарів, побудова маршрутів, визначення зон ризику, моделювання природних чи соціальних процесів. Важливою функцією є візуалізація – створення цифрових карт, тематичних шарів, графіків і навіть 3D-моделей. Дані в ГІС зазвичай організовані у бази даних, що дозволяє ефективно ними управляти, фільтрувати, оновлювати та об'єднувати (табл. 1.1).

Приклади класичних ГІС-платформ

Назва	Опис
ArcGIS (Esri)	Найбільш потужна комерційна платформа, використовується в урядових та дослідницьких установах.
QGIS (Quantum GIS)	Безкоштовна, відкрита альтернатива ArcGIS з широкими можливостями.
MapInfo	Комерційна ГІС, популярна серед бізнес-користувачів.
GRASS GIS	Потужна, але складна у використанні відкрита система з науковим ухилом.
IDRISI	Орієнтована на аналіз навколишнього середовища, особливо в наукових дослідженнях.

Серед найбільш відомих прикладів класичних ГІС слід назвати ArcGIS – потужну комерційну систему, широко використовувану в державному управлінні та наукових дослідженнях. QGIS є безкоштовною та відкритою альтернативою з великим набором функцій, популярною в освіті та серед фахівців із невеликим бюджетом. MapInfo – ще одна комерційна ГІС, що застосовується у сфері бізнесу. GRASS GIS має відкритий код і надає розширені можливості аналізу, хоч і вимагає глибших технічних знань. Також існує система IDRISI, яка орієнтована переважно на екологічні й природоохоронні дослідження.

ГІС є потужним інструментом для роботи з просторовими даними. Вони дозволяють поєднувати географічну інформацію з описовими даними для аналізу і прийняття обґрунтованих рішень у різних галузях. ГІС використовуються у екології, геології, містобудуванні, сільському господарстві, транспортному плануванні, обороні, лісовому господарстві та інших. Вони допомагають приймати рішення на основі просторової інформації, моделювати ситуації, виявляти закономірності та представляти складні дані у зручному для сприйняття вигляді. Таким чином, класичні ГІС є незамінними інструментами для роботи з географічною інформацією в сучасному світі.

1.2. Основи ведення геоінформаційного моніторингу різних об'єктів і середовищ на різних рівнях

Забезпечення охорони навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів та підтримання екологічної безпеки життєдіяльності населення є ключовими умовами сталого соціально-економічного розвитку України. У зв'язку з цим в державі реалізується екологічна політика, спрямована на збереження сприятливого природного середовища для життя людини та природи, мінімізацію впливу забруднень на здоров'я населення, досягнення екологічної рівноваги між суспільством і довкіллям, а також на охорону, раціональне використання і відновлення природних ресурсів.

Першими важливими кроками в цій сфері стали проголошення території України зоною екологічного лиха у 1991 році, ухвалення Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», створення Міністерства охорони навколишнього природного середовища, а також розроблення Національною академією наук України концепції єдиної системи екологічного моніторингу (СЕМ «Україна»). Ці заходи стали підґрунтям для формування нормативної та організаційної основи екологічної політики.

Правове регулювання моніторингу навколишнього природного середовища в Україні здійснюється через низку нормативно-правових актів, серед яких Земельний, Водний, Лісовий кодекси України та Кодекс про надра, Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» [25], «Про природно-заповідний фонд України» [26], «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» [29], «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних» [24], а також підзаконні акти, зокрема Постанова КМУ «Про затвердження Положення про державний моніторинг навколишнього природного середовища» [22] та Розпорядження КМУ Про схвалення Концепції Державної цільової екологічної програми

моніторингу довкілля [28]. Ці документи визначають правові та організаційні засади функціонування системи екологічного моніторингу в Україні.

Державна система моніторингу довкілля України являє собою інтегровану систему спостереження, збору, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища. Основними її функціями є прогнозування змін стану довкілля та формулювання науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень з метою запобігання негативним екологічним змінам та забезпечення дотримання вимог екологічної безпеки.

Система моніторингу є «складовою частиною національної інформаційної інфраструктури та забезпечує сумісність з аналогічними системами інших країн, що сприяє її інтеграції у глобальні екологічні інформаційні простори. Зокрема, державний моніторинг стану поверхневих, підземних та морських вод здійснюється відповідно до Порядку, затвердженого Кабінетом Міністрів України» [13, с. 7]. Аналогічно, моніторинг стану атмосферного повітря реалізується згідно з постановою КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827.

Державна система моніторингу є відкритою інформаційною системою, в основі якої лежать такі ключові пріоритети, як забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини, збереження природних екосистем, попередження кризових екологічних змін та запобігання виникненню надзвичайних ситуацій природного характеру.

Головним суб'єктом у сфері екологічного моніторингу в Україні виступає держава. Функціонування системи моніторингу базується на принципах: «узгодженості нормативно-правового, організаційного та методологічного забезпечення, а також технічної, інформаційної та програмної сумісності її елементів; систематичності спостережень за станом довкілля та джерелами антропогенного впливу; своєчасності збору, комплексності оброблення та ефективного використання екологічної інформації; об'єктивності первинної, аналітичної та прогнозовної інформації, а

також оперативності її надання органам влади, місцевому самоврядуванню, громадським організаціям, ЗМІ, населенню, міжнародним установам і світовій спільноті» [13, с. 7].

Моніторинг стану довкілля в Україні здійснюється широким колом державних органів, до яких належать «Міністерство аграрної політики та продовольства України, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державне агентство України з управління зоною відчуження (за винятком моніторингу водних ресурсів), Державна служба геології та надр України, Міністерство інфраструктури України, Державне космічне агентство України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Державне агентство лісових ресурсів України, Державне агентство водних ресурсів України, Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру, а також їхні територіальні органи, підвідомчі підприємства, установи й організації. До процесу також залучаються обласні державні адміністрації, а також органи виконавчої влади з питань охорони довкілля» [13, с. 8].

Основна мета функціонування державної системи моніторингу довкілля полягає у «забезпеченні високого рівня обізнаності щодо стану природного середовища, підвищенні оперативності та достовірності екологічної інформації, вдосконаленні механізмів прийняття природоохоронних рішень, а також у сприянні розвитку міжнародної співпраці в галузі охорони навколишнього природного середовища, сталого використання природних ресурсів і гарантування екологічної безпеки» [13, с. 8].

До основних завдань суб'єктів системи моніторингу належать: організація довгострокових, систематичних спостережень за станом довкілля; проведення аналітичного оцінювання та прогнозування змін екологічного стану; забезпечення інформаційно-аналітичного супроводу процесів прийняття рішень у сфері охорони навколишнього середовища, сталого використання природних ресурсів та екологічної безпеки; надання

екологічної інформації органам державної влади, органам місцевого самоврядування, громадськості та міжнародним інституціям.

Суб'єкти системи моніторингу довкілля (центральні органи виконавчої влади) здійснюють погодження розроблених ними проєктів нормативно-правових актів та інших нормативних документів, що стосуються проведення моніторингу стану довкілля, з Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. Утримувачі моніторингової інформації, такі як мережі контрольних пунктів для спостереження за поверхневими водами, станом атмосферного повітря, контрольних ділянок та місць відбору проб для ґрунтів, складають основу опорної мережі спостережень системи моніторингу.

Завдяки багатосуб'єктному характеру моніторингу довкілля, а також різному рівню інформаційно-технологічного забезпечення у відомствах, виникають певні проблеми. До основних з них належать: відсутність єдиних форматів і стандартів даних про стан навколишнього природного середовища, несумісність і дублювання інформації внаслідок її накопичення на паперових носіях або в різних базах даних в окремих відомствах. Впровадження геоінформаційних систем (ГІС), моделей та методів геопросторового аналізу допоможе вирішити проблему уніфікації даних, інтеграції різноманітної інформації моніторингу природних комплексів, що суттєво підвищить ефективність функціонування системи спостережень.

Взаємовідносини суб'єктів системи моніторингу, згідно з Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» [22], ґрунтуються на таких принципах: «взаємній інформаційній підтримці у прийнятті рішень у галузі охорони довкілля, сталого використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки; координації дій під час планування, організації та проведення спільних заходів щодо екологічного моніторингу, реагування на надзвичайні екологічні ситуації та ліквідації їх наслідків; ефективному використанні наявних організаційних структур, технічних засобів

спостережень за об'єктами довкілля та комп'ютеризації процесів; сприяння досягненню найбільш ефективних результатів у розв'язанні спільних завдань моніторингу довкілля та забезпечення екологічної безпеки; відповідальності за повноту, своєчасність і достовірність переданої інформації; колективному використанні інформаційних ресурсів та комунікаційних засобів; безкоштовному обміну інформацією» [22].

Міністерство охорони навколишнього природного середовища України (Міндовкілля) разом з Державною службою з надзвичайних ситуацій України (ДСНС), їх органами та іншими суб'єктами системи моніторингу визначають спеціальні регламенти спостережень за екологічно небезпечними об'єктами, а також критерії для визначення необхідності втручання у випадку виникнення або загрози виникнення надзвичайних екологічних ситуацій.

Центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадяни, які мають об'єктивну інформацію про виникнення або загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру, повинні невідкладно передавати її Міндовкіллю, ДСНС та її територіальним органам, а також обласним державним адміністраціям, Київській та Севастопольській міським держадміністраціям, або органам виконавчої влади Автономної Республіки Крим у разі виникнення такої ситуації на території Криму.

Попередження про загрозу виникнення небезпечних метеорологічних і гідрологічних явищ та оцінка їх розвитку покладаються на ДСНС. Функції з попередження про виникнення або загрозу виникнення екзогенних та ендемогенних геологічних процесів та оцінка їх розвитку покладаються на Держгеонадра.

Оцінка впливу забруднення довкілля на стан здоров'я населення доручається Міністерству охорони здоров'я України (МОЗ) та його територіальним органам (у разі їх утворення), які зобов'язані своєчасно інформувати органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування

про негативні тенденції або кризові зміни у стані здоров'я населення, зумовлені погіршенням екологічної ситуації.

Застосування геоінформаційних систем (ГІС) у моніторингу природних комплексів та поширенні екологічних знань через Інтернет є одним із найперспективніших напрямів розвитку новітніх технологій. Ці технології створюються на основі розвитку інфраструктури геопросторових даних та застосування міжнародних стандартів, таких як ISO 19100 «Географічна інформація / Геоматика», OGC, а також специфікацій INSPIRE, що забезпечують високий рівень стандартизації і сумісності даних в екологічному моніторингу на міжнародному рівні.

Нормативно-правове забезпечення геоінформаційних систем Україні становить сукупність законів, постанов, стандартів та нормативних актів, які регулюють створення, використання, зберігання, обмін і поширення геопросторових даних. Ці нормативні документи визначають правові засади функціонування ГІС у сфері державного управління, землеустрою, картографії, екології, містобудування та інших галузях.

Основу правового регулювання становлять такі ключові документи:

Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» [24] – це базовий закон, який визначає принципи функціонування національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), порядок створення, використання і доступу до геопросторової інформації, а також відповідальних суб'єктів. Закон передбачає відкритість даних, інтероперабельність, стандартизацію та інтеграцію даних на різних рівнях влади.

Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [29] – регулює організацію та здійснення топографо-геодезичних робіт, створення картографічної продукції, визначає повноваження органів влади у цій сфері. Закон встановлює вимоги до точності, оновлення та використання просторових даних.

Земельний кодекс України та Закон України «Про Державний земельний кадастр» [21] – визначають правила ведення кадастрової інформації, яка є частиною ГІС, а також порядок її інтеграції з іншими базами даних. Дані про межі земельних ділянок, форму власності, цільове призначення та інші характеристики є важливою складовою просторової інформації.

Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [27] – встановлює вимоги до створення містобудівного кадастру, який є частиною загальної геоінформаційної системи. Він регулює питання просторового планування, зонування територій та інтеграції геопросторових даних у містобудівні процеси.

Постанова Кабінету Міністрів України № 835 від 21.10.2015 р. «Про затвердження Положення про набори даних, які підлягають оприлюдненню у формі відкритих даних» [23] – визначає перелік відкритих даних, серед яких є просторові дані. Постанова забезпечує принцип доступності геоінформації для громадськості та бізнесу.

Державні стандарти (ДСТУ) – низка національних стандартів (наприклад, ДСТУ ISO 19115, ДСТУ ISO 19107 тощо), гармонізованих з міжнародними, які регламентують структуру, опис, обмін, якість та метадані геопросторових даних. Їх застосування сприяє сумісності українських ГІС із міжнародними системами.

Важливу роль у реалізації нормативної бази відіграють державні установи, зокрема: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр), Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України.

Таким чином, нормативно-правова база ГІС в Україні активно розвивається. Її основні напрямки – цифровізація, відкритість даних, інтеграція геопросторової інформації, забезпечення точності та достовірності

даних, підтримка прийняття управлінських рішень на основі просторового аналізу.

Висновки до розділу 1

Геоінформаційний моніторинг є сучасним інструментом просторового аналізу динамічних процесів у довкіллі та суспільстві. Завдяки поєднанню цифрових технологій, ГІС і супутникових даних, він забезпечує ефективну підтримку для прийняття управлінських, екологічних і соціально-економічних рішень на різних рівнях.

Основи ведення геоінформаційного моніторингу різних об'єктів і середовищ на різних рівнях полягають у комплексному підході до спостереження, фіксації, аналізу та візуалізації змін у навколишньому середовищі, інфраструктурі, територіях та інших об'єктах за допомогою ГІС. Такий моніторинг дозволяє отримувати актуальні дані про стан об'єктів у просторі та часі, виявляти закономірності їх змін і приймати обґрунтовані рішення в управлінні. Його ведення забезпечує ефективне управління територіями, запобігання ризикам, охорону довкілля та сталий розвиток. Застосування сучасних ГІС-технологій і супутникових даних робить моніторинг більш точним, оперативним та доступним.

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

2.1. Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі

Останнім часом альтернативні джерела енергії стають важливим фактором економічного зростання багатьох розвинутих країн. Впровадження "зелених" технологій отримання енергії є необхідною реакцією на незворотні зміни клімату та інтенсивне використання природних ресурсів планети. Світовий досвід застосування новітніх екологічних методів генерації енергії підтверджує позитивні результати, демонструючи значне зниження викидів парникових газів, а також забезпечення більш стійкого розвитку енергетичних систем на основі відновлювальних джерел енергії. Цей процес не тільки сприяє охороні навколишнього середовища, але й створює нові можливості для економічного розвитку через інноваційні технології та робочі місця.

Відновлювана енергія – це енергія, отримана за допомогою природних ресурсів, які швидко відновлюються через природні процеси, що не припиняються. Це важливий елемент у боротьбі зі змінами клімату, адже вона не тільки зменшує викиди парникових газів, але й створює нові можливості для економічного розвитку.

З економічної точки зору, відновлювані джерела енергії можуть бути ефективним стимулом для розвитку інновацій, створення нових робочих місць та збільшення надходжень від імпорту обладнання. Вони стають важливим фактором національних економік, де кожен новий проєкт у галузі «зелених» технологій може мати суттєвий економічний ефект.

Класифікація відновлюваних джерел енергії за ООН та Міжнародною енергетичною агенцією включає: сонячна та вітрова енергія; геотермальна

енергія; енергія падаючої води, зокрема ГЕС потужністю менше ніж 1 МВт; енергія від використання торфу та біомаси, включаючи відходи сільського, лісового, промислового й комунального секторів; хвильова енергія, що охоплює енергію течій, припливів і відливів, а також енергію температурних перепадів океану; енергія залишкового тепла землі (низькопотенціальна енергія).

Альтернативна енергетика має на меті забезпечити енергетичні потреби без шкоди довкіллю та здоров'ю людей. Найпопулярнішими й найрозвиненішими сьогодні є сонячна, вітрова, гідро та біоенергетика. Вони вже активно впроваджуються у багатьох країнах, і з кожним роком технології стають доступнішими й ефективнішими, що сприяє їх подальшому розвитку та використанню в якості основних джерел енергії.

Згідно з прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), «до 2025 року світове споживання електроенергії досягне 26 трлн кВт/год, а встановлена потужність електростанцій складе 5500 ГВт. До 2035 року споживання електроенергії збільшиться до 32 трлн кВт/год, а потужність електростанцій досягне 5900 ГВт. Важливу роль у досягненні цих параметрів відіграють відновлювані джерела енергії, які, за оцінками, складатимуть близько 44% загального виробництва електроенергії, оскільки традиційні способи вироблення електрики мають обмежений ресурс і завдають шкоди навколишньому середовищу» [35].

Частка відновлюваних джерел у виробництві електроенергії в світі на 2022 рік складала 29%. За прогнозами, «до 2028 року ця частка повинна досягти 42%. Проте ситуація у сфері енергетики дещо гірша: частка відновлюваних джерел електроенергії у енергетичній сфері у 2022 році складала лише 12%, а до 2028 року цей показник може знизитися до 10%. Однак, згідно з даними організації Енердата, на 2022 рік частка відновлюваних джерел в енергетичній сфері становила 29,8%, а частка невідновлюваних джерел – 70,2%» [32].

Ці дані також підтверджує статистичний щорічник по Світовій енергетиці та клімату за 2023 рік, згідно з яким у 2022 році частка відновлюваних джерел енергії в світовому балансі електроенергії зросла до 30%, що на 10% більше порівняно з 2010 роком. Це вказує на позитивну тенденцію до зростання використання відновлюваних джерел енергії, хоча, попри це, ще залишаються значні виклики в їх інтеграції у глобальну енергетичну систему (рис. 2.1).

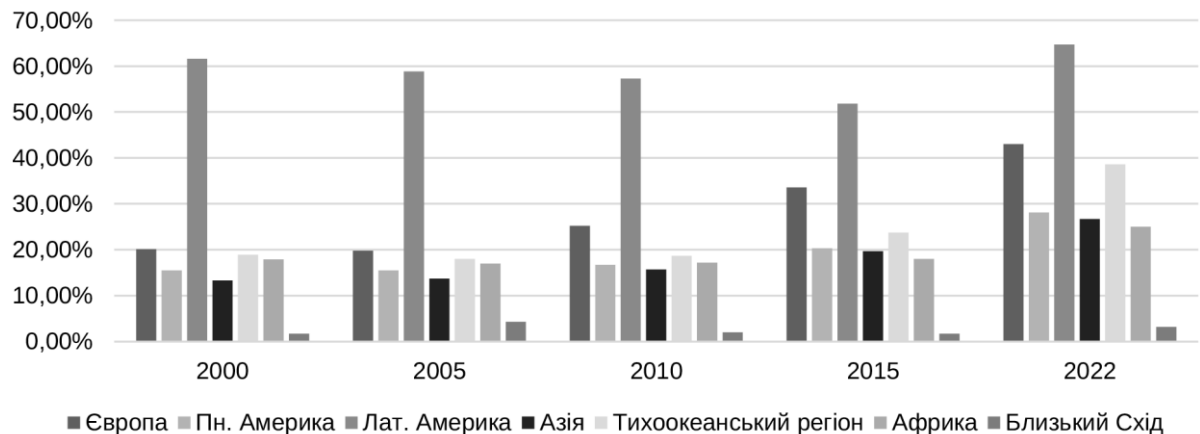


Рис. 2.1. Частка відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі світу (1990–2022 рр.) [32]

Частка відновлюваних джерел енергії в структурі електроенергії значно варіюється залежно від країни, при цьому країни з великими гідроенергетичними ресурсами, як Бразилія, Колумбія, Канада, Нова Зеландія, Швеція і Норвегія, мають високу частку відновлюваних джерел у своїй енергетиці, що складає понад 2/3 виробленої електроенергії. Ці країни здебільшого використовують гідроелектростанції як основне джерело електрики.

У Японії активно розвиваються електричні автомобілі, включаючи транспорт на водневому паливі, що також сприяє зниженню викидів і популяризації відновлюваних джерел енергії. Німеччина, в свою чергу, стимулює використання електрокарів через податкові пільги та державні програми, що заохочують використання відновлюваних джерел енергії, а також забезпечують щедрі тарифні пільги для відновлювальних джерел

енергії. Завдяки закону про відновлювану енергетику, прийнятому в Німеччині 20 років тому, країна стала лідером у розвитку вітрової, сонячної та біоенергетики.

У результаті таких заходів, частка відновлюваних джерел у виробництві електроенергії в Європі зросла на 18% з 2010 року до 43%, що було забезпечено завдяки значним інвестиціям у вітрові і сонячні технології, а також зниженню вартості виробництва електрики з цих джерел. Зокрема, Великобританія, Нідерланди, Німеччина та Туреччина досягли значного зростання частки відновлюваних джерел – до 43%, 40%, 44% та 42% відповідно.

Частка відновлюваних джерел енергії зросла також у інших країнах, таких як Австралія (31%), Чилі (55%), США (22%), Китай (31%), Японія (22%) та Таїланд (18%). Основну частину цієї частки становлять вітрова та сонячна енергія, що продовжують домінувати серед відновлювальних джерел енергії, сприяючи зниженню залежності від традиційних невідновлюваних джерел.

Ці тенденції свідчать про значний поступ у розвитку відновлюваної енергетики по всьому світу, зокрема завдяки політикам підтримки, інноваціям у технологіях та міжнародним зобов'язанням щодо зменшення викидів CO₂. (рис. 2.2).

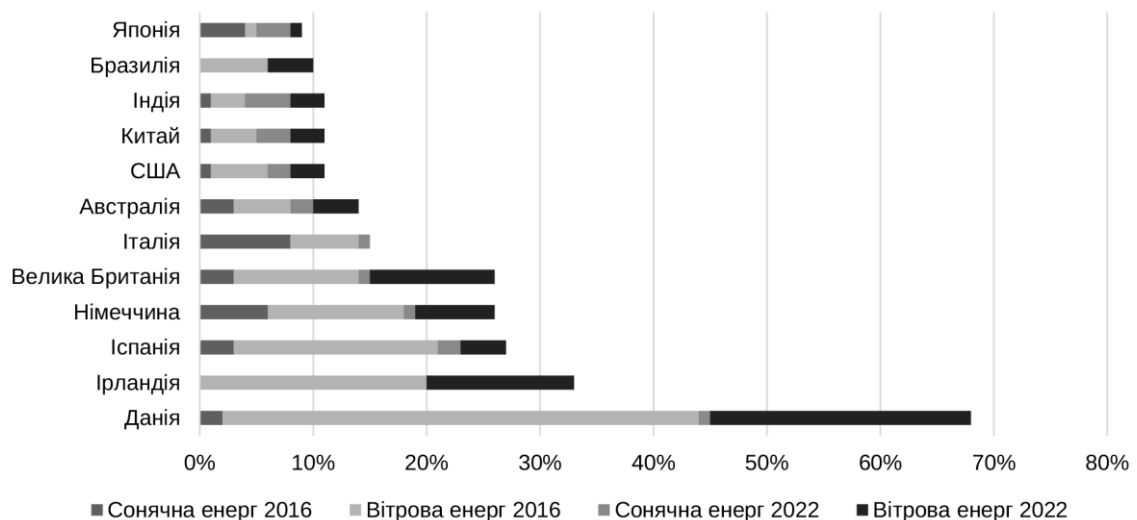


Рис. 2.2. Частка відновлюваної енергії у певних країнах у 2016-2022 рр.

Прогноз щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії до 2028 року, що складе понад 42% світового виробництва, підтверджує зростаючий тренд у глобальному енергетичному секторі. Вибір на користь екологічно чистої енергетики стає ключовим елементом сталого розвитку в високотехнологічних країнах і відіграє важливу роль у боротьбі з глобальним потеплінням та зниженні викидів вуглецю.

Ключові напрямки екологічно чистої енергетики майбутнього включають:

1. Інноваційні принципи виробництва відновлюваної енергії – ці технології не лише сприяють ефективному використанню відновлюваних ресурсів, але й мають значний позитивний вплив на охорону навколишнього середовища, забезпечуючи надійне енергопостачання та підвищуючи конкурентоспроможність економік країн, що їх впроваджують.

2. Енергозбереження – з огляду на тривалу потребу у викопному паливі, зокрема у найближчі десятиліття, ключовим є розвиток технологій, спрямованих на зменшення шкоди для екології при використанні традиційних джерел енергії.

3. Стимулювання науково-дослідних розробок – підтримка інновацій в енергетичних технологіях є важливою для впровадження екологічно чистих джерел енергії, а також для досягнення необхідних результатів у боротьбі з кліматичними змінами.

4. Фінансування відновлюваних джерел енергії – вдосконалення ринкових механізмів, включаючи податкові стимули, може значно покращити фінансування інфраструктури для відновлюваних джерел енергії та сприяти їх інтеграції у національні енергетичні системи.

5. Зм'якшення наслідків кліматичних змін – для країн, що розвиваються, критично важливо забезпечити доступність технологій «чистої» енергетики. Це включає в себе не лише технологічну підтримку, а й створення сприятливих умов для розвитку відповідних ринків.

Таким чином, екологічно чиста енергетика стає не лише важливим аспектом боротьби з кліматичними змінами, але й важливим фактором економічного розвитку, що відкриває нові можливості для інвестицій, створення робочих місць та підвищення енергетичної безпеки на глобальному рівні.

Використання відновлюваної енергетики має багато переваг, серед яких можна виокремити зменшення викидів вуглецю та інших забруднювачів, зниження залежності від викопних енергоносіїв, підтримку сталого розвитку та екологічного балансу, а також створення нових робочих місць. Вона також сприяє ефективному використанню природних ресурсів, що в свою чергу підтримує інновації в енергетичних технологіях.

Однак є і низка недоліків. По-перше, високі початкові витрати на обладнання для генерації енергії, необхідність великої кількості площ для розміщення систем, а також висока собівартість енергії на початкових етапах реалізації таких проектів. Крім того, відновлювана енергетика має проблему нестабільності постачання через зміни погодних умов, таких як відсутність сонця або нестабільність вітру, що обмежує її ефективність у забезпеченні безперервного енергопостачання.

Незважаючи на це, відновлювана енергетика має великі перспективи. Очікується зростання попиту на «зелену» енергетику через зменшення негативних наслідків зміни клімату, розвиток технологій зберігання енергії, які покращують ефективність використання відновлюваних джерел, а також збільшення доступу до фінансування та інвестицій. Крім того, уряди багатьох країн підтримують розвиток цієї галузі через програми субсидій та податкові пільги.

Проте, відновлювана енергетика також має свої загрози, зокрема високі витрати на дослідження та розробки нових технологій, залежність від змін кліматичних умов і можливі економічні та політичні бар'єри, які можуть обмежувати впровадження альтернативних джерел енергії. Крім того, існує конкуренція з традиційними джерелами енергії, які можуть бути дешевшими

в короткостроковій перспективі, а також проблема недостатньої інфраструктури для інтеграції відновлюваних джерел у вже існуючі енергетичні мережі.

Проведемо SWOT-аналіз використання відновлюваної енергетики (табл. 2.1) для визначення переваг та недоліків «зелених» технологій генерації енергії.

Таблиця 2.1

SWOT-аналіз використання відновлюваної енергетики

Сильні сторони	Слабкі сторони
- високий потенціал енергозбереження; - екологічно чистий вид енергії; - невичерпність джерел енергії; - мінімальне технічне обслуговування; - тривалий термін служби засобів виробництва; - установка поза межами населених пунктів (безшумність);	- застарілі засоби виробництва, що потребують суттєвої модернізації; - зменшення притоку прямих іноземних інвестицій у цю сферу через війну в Україні; - високий рівень споживання/дефіциту внаслідок знищення енергетичної інфраструктури під час російсько-української війни; - нестача фінансових можливостей для впровадження на практиці альтернативної генерації енергії; - низький рівень енергоменеджменту на державному рівні; - залежність продукування альтернативної енергії через причину сезонності; - значні початкові затрати на закупівлю/впровадження/встановлення обладнання;
Можливості	Загрози
- залучення інвестицій міжнародних організацій; - використання «зеленого» тарифу у господарській діяльності; - приведення українських стандартів у сфері енергетики до європейських; - енергозаощадження; - зниження залежності української економіки від імпорту енергоресурсів; - покращення якості навколишнього середовища внаслідок запровадження шкідливих методів генерації енергії;	- недосконале державне регулювання функціонування засобів генерування альтернативної енергетики; - енергетична залежність держави від традиційних джерел енергії; - залежність кількості виробленої енергії з альтернативних джерел від кліматичних та погодних умов; - певні види установок для ВДЕ не підходять до геолокації району; - складна процедура отримання дозволів та ліцензій.

Як показав аналіз, незважаючи на численні переваги використання генеруючих систем відновлювальної енергетики, існують і деякі недоліки. Зокрема, важливо відзначити, що більшість видів відновлюваної енергетики потребують значних капіталовкладень, що робить їх реалізацію дорогими. Тому для стимулювання розвитку цієї сфери необхідно активніше залучати як внутрішні, так і зовнішні інвестиції. Це можуть бути як приватні, так і

державні інвестиції через програми підтримки, а також ефективні заходи з боку уряду.

На державному рівні важливо впровадити пільгові або так звані «зелені» тарифи для енергії, виробленої з відновлювальних джерел, а також забезпечити можливість укладення довгострокових контрактів на закупівлю електроенергії. Не менш важливим є використання досвіду інших країн у цій сфері, зокрема через пільгове оподаткування для виробників «зеленої» електроенергії та фінансування проектів альтернативної енергетики. Крім того, варто впровадити сертифікацію енергетики з відновлювальних джерел, квотування на виробництво або споживання такої енергії, а також систему штрафів за невиконання зобов'язань у рамках договорів купівлі-продажу «зеленої» енергії.

Таким чином, реалізація цих заходів дозволить не лише збільшити частку відновлювальних джерел енергії в енергетичному балансі, а й сприятиме сталому еколого-економічному розвитку.

У своєму дослідженні О. Акименко та І. Костюченко [1] визначають кілька основних переваг інвестування в альтернативну енергетику:

1. Перспективність – інвестори очікують отримання значного прибутку в майбутньому, оскільки галузь відновлювальних джерел енергії є перспективною та важливою для енергетичної незалежності країни.

2. Формування високого іміджу – інвестування в альтернативну енергетику допомагає формувати позитивний імідж як для окремих компаній, так і для держави в цілому, адже це сприяє сталому розвитку та екологічно чистим технологіям.

3. Невичерпність альтернативних джерел енергії – інвестори можуть бути впевнені, що вкладені кошти не зазнають збитків, оскільки альтернативні джерела енергії (сонце, вітер, біомаса тощо) є відновлювальними і невичерпними.

Одним із успішних прикладів інвестування в альтернативну енергетику є так званий «Договір купівлі електроенергії» (Power Purchase Agreement),

який укладається в країнах ЄС та США. Цей договір гарантує обом сторонам умови постачання «зеленої» електричної енергії, що забезпечує стабільність і передбачуваність для інвесторів.

Україні безумовно варто перейти на альтернативну енергетику, що є важливим стратегічним кроком, особливо в умовах відновлення після повномасштабної російсько-української війни. Для цього необхідно переглянути і удосконалити Енергетичну стратегію, визначивши чіткі орієнтири для ефективного та швидкого впровадження альтернативної енергетики на практиці. Також важливо підвищити рівень обізнаності серед громадян і бізнесу про переваги використання енергії з нетрадиційних джерел, що дозволить залучити більше учасників до цього процесу. Крім того, Україні слід впроваджувати міжнародний досвід щодо підтримки «чистих» енергетичних технологій, залучаючи державну підтримку та фінансування. Останнім, але не менш важливим аспектом є підвищення енергетичної безпеки та модернізація енергетичної інфраструктури за європейськими стандартами, що допоможе Україні зменшити залежність від традиційних джерел енергії та сприятиме інтеграції в європейську енергетичну мережу.

2.2. Інструменти моніторингу стану та розвитку відновлювальної енергетики в Україні

В Україні відновлювана енергетика стає дедалі важливішою в контексті сталого розвитку та диверсифікації енергетичного сектору. Проте для ефективного моніторингу та оцінки її стану необхідно застосовувати належний статистичний інструментарій. Наразі спостерігається дефіцит комплексного і системного підходу до статистичного моніторингу відновлюваної енергетики в країні, що ускладнює оцінку її ефективності та розвитку, а також прийняття обґрунтованих рішень щодо її подальшого впровадження та підтримки.

Проблеми методології та організації статистичного забезпечення оцінки та аналізу розвитку відновлювальної енергетики досліджено в низці науково-практичних праць як вітчизняних, так і іноземних авторів. Однією з таких є доповідь Міжнародного агентства з атомної енергії «Індикатори енергії для сталого розвитку: інструкції та методології», що надає основні індикатори для оцінки стану відновлювальної енергетики. Євростат у своєму «Посібнику зі статистики енергетики» також запропонував індикатори для оцінки енергетики, розподіливши їх за категоріями та сферами застосування. Однак ці праці орієнтовані на країни ЄС, і для України необхідна адаптація європейських індикаторів до місцевих умов. Важливим джерелом для імплементації кращих європейських практик є доповідь Федерального Міністерства Німеччини з питань економіки та клімату «Моніторинг енергетичного переходу», яка описує процес збору даних щодо відновлювальної енергетики в Німеччині. Серед вітчизняних досліджень варте уваги дослідження Максима Білявського з Центру Разумкова, де він пропонує математичну модель для стратегічного розвитку альтернативної енергетики України до 2030 року, але зазначена праця не уточнює набір статистичних показників, необхідних для стабільного функціонування цієї моделі.

Відновлювана енергетика стала важливою галуззю для багатьох країн, зокрема для України, оскільки вона сприяє зменшенню залежності від імпортованих нафтопродуктів та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Цей сектор використовує відновлювані джерела енергії, які є практично невичерпними або швидко відновлюються, такі як сонячна, вітрова та гідроенергія. Відновлювана енергетика має численні переваги, оскільки дозволяє здійснювати більш екологічну діяльність і потенційно зменшити витрати на видобуток енергетичних ресурсів. З точки зору економічної ефективності, вартість обслуговування відновлюваних джерел енергії значно нижча порівняно з традиційними джерелами, такими як електростанції, що працюють на викопних паливних ресурсах. Це веде до

економії фінансів. Крім того, якщо держава підтримує розвиток зеленої енергетики, вартість виробництва значно знижується, що сприяє підвищенню загальної ефективності цієї сфери (рис. 2.3).

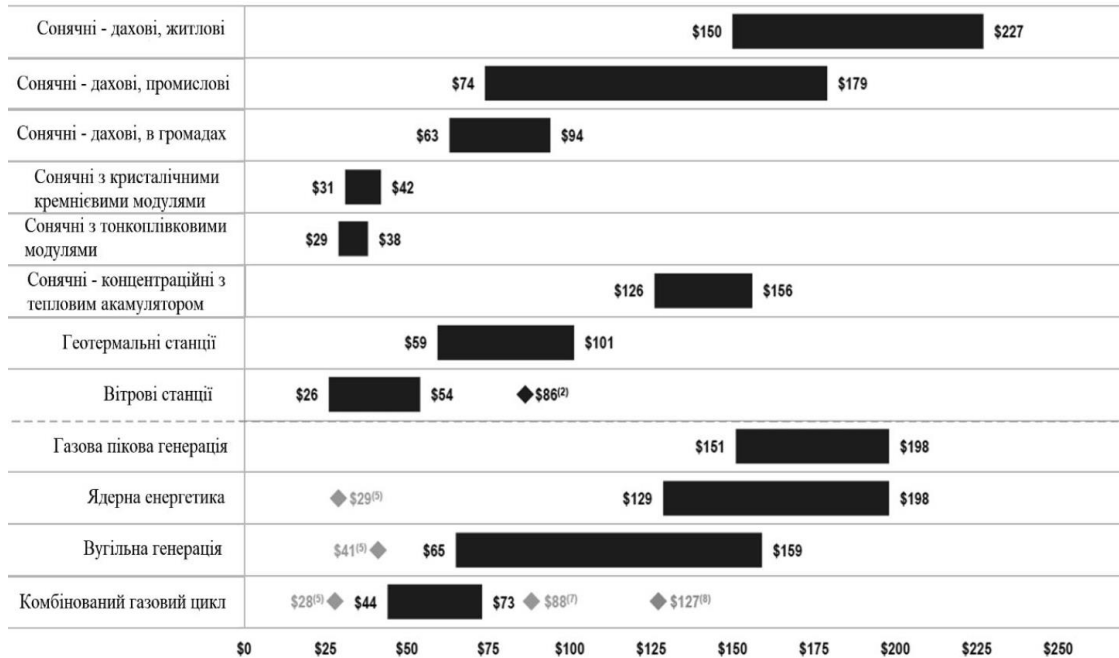


Рис. 2.3. Порівняння вартості енергії у 2020 році [18]

В Україні вже прийняті стратегічні рішення щодо підтримки розвитку відновлюваної енергетики, але для оцінки їх ефективності, аналізу поточного стану та прогнозування розвитку цього сектора необхідно проводити регулярний моніторинг показників, що характеризують стан і динаміку цього виду енергетики. Це включає використання відповідних статистичних інструментів.

Згідно з методологією Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), показники стану та розвитку відновлюваної енергетики можна поділити на три основні групи:

1. Непрямі рушійні сили, такі як валовий внутрішній продукт (ВВП), чисельність населення, площа на одну особу, частки різних секторів економіки у ВВП тощо.

2. Прямі рушійні сили, до яких відносяться споживання енергії на одиницю ВВП, витрати на енергетику, частка наявного доходу, витрачена на паливо, а також кількість викидів парникових газів.

3. Стан, який характеризується такими показниками, як залежність від чистого імпорту енергії, споживання енергії на одну особу, обсяги накопичених твердих відходів, що підлягають утилізації, та інші фактори.

Цей статистичний інструментарій дозволяє отримати комплексну картину стану відновлювальної енергетики в країні та сприяє прийняттю обґрунтованих рішень для подальшого розвитку галузі.

Класифікацію показників стану та розвитку відновлюваної енергетики можна здійснити за кількома вимірами, такими як соціальний, економічний та екологічний.

1. Соціальний вимір включає теми, пов'язані зі справедливістю, рівністю та здоров'ям.

2. Економічний вимір охоплює моделі використання та виробництва енергії, а також безпеку енергетичних ресурсів.

3. Екологічний вимір фокусується на впливі на атмосферу, гідросферу та земельні ресурси.

Щодо моніторингу відновлювальної енергетики в Україні, серед міжнародних показників використовуються такі індикатори:

1) Непрямі рушійні сили. Державна служба статистики України надає доступ до таких показників: «населення: загальна кількість та міське населення; ВВП на одну особу; ціни на кінцеве споживання енергії; діяльність вантажного транспорту; площа на одну особу; виробнича додана вартість в енергоємних галузях; енергоємність різних секторів (виробництво, транспорт, сільське господарство тощо; енергетичний баланс, зокрема виробництво електроенергії та первинне енергопостачання)» [16].

2) Прямі рушійні сили. Державна служба статистики України надає інформацію про такі показники: «споживання енергії на одиницю ВВП; витрати на енергетичний сектор (інвестиції, екологічний контроль, НДДКР

тощо); кількість викидів забруднювачів повітря (SO_2 , NO_x , тверді частинки, CO , VOC); кількість викидів парникових газів; утворення твердих побутових відходів (ТПВ); утворення радіоактивних відходів» [16].

3) Стан відновлення енергетики. Для оцінки стану галузі збираються такі показники: «споживання енергії на одну особу; чиста енергозалежність від імпорту; концентрація забруднюючих речовин у містах (SO_2 , NO_x , тверді частинки, CO , озон); території з підкисленням, яке перевищує критичне навантаження; накопичення твердих відходів, що підлягають утилізації; кількість накопичених радіоактивних відходів» [16].

Цей набір індикаторів дозволяє оцінити ефективність розвитку відновлювальної енергетики в Україні та визначити напрямки для подальшого вдосконалення галузі.

Для збору необхідної інформації про енергетичний сектор України органи державної статистики використовують низку форм статистичної звітності, зокрема:

1. Звіт про використання та запаси палива (4-мтп, місячна та річна);
2. Звіт про постачання та використання енергії (11-мтп, річна);
3. Звіт про вартість природного газу, який постачається споживачам (1-газ, піврічна);
4. Звіт про вартість електроенергії, яка постачається споживачам (1-електроенергія, піврічна);
5. Звіт про роботу електростанції (6-тп (ес), річна);
6. Звіт про економічні показники короткострокової статистики промисловості (1-ПЕ, місячна);
7. Звіт про виробництво та реалізацію промислової продукції (1П-НПП, річна);
8. Звіт про ціни виробників промислової продукції (1-ціни (пром), місячна);
9. Звіт про ціни виробників послуг (1-ціни (послуги), квартальна).

Ці дані публікуються відповідно до законів та постанов, таких як «Про офіційну статистику», «Про інформацію», а також на основі наказів Державного комітету статистики (Державної служби статистики) щодо реєстрації юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців, а також структури плану статистичного спостереження.

Стандарти формування інформаційних збірників базуються на європейських підходах до енергетичної статистики, зокрема керівництвах Міжнародного агентства з атомної енергії та Міжнародного енергетичного агентства (МЕА).

Незважаючи на те, що більшість необхідної інформації про енергетичну галузь України доступна на офіційному сайті Держстату, для повноти оцінки стану відновлювальної енергетики важливо запровадити додаткові статистичні спостереження. Це необхідно, оскільки нинішня офіційна статистика в основному зосереджена на економічних і частково екологічних аспектах відновлювальної енергетики, не приділяючи достатньої уваги соціальному аспекту, зокрема впливу відновлюваних джерел енергії на громадське здоров'я. Таким чином, доцільно запровадити нові форми звітності або розширити існуючі.

Згідно з рекомендаціями Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), доцільно ввести наступні показники в українську статистику в сфері відновлювальної енергетики:

1. Частка домогосподарств, які сильно залежать від некомерційної енергії або не мають доступу до електрики.
2. Співвідношення щоденного наявного доходу/приватного споживання на одну особу щодо 20% найбіднішого населення і цін на електроенергію та основні побутові види палива.
3. Частка наявного доходу, витраченого на паливо.
4. Стан впровадження технологій зменшення забруднення, включаючи ступінь використання та середню продуктивність.
5. Радіонукліди в атмосферних радіоактивних викидах.

6. Викиди у водойми: стічні та зливові води, радіонукліди, нафта в прибережні води.

7. Площа земель, зайнята енергетичними об'єктами та інфраструктурою.

8. Доведені видобувні запаси викопного палива.

9. Розвідані запаси урану.

10. Інтенсивність використання лісових ресурсів як палива.

11. Термін служби підтверджених запасів викопного палива.

12. Термін експлуатації розвіданих запасів урану.

13. Швидкість вирубки лісів.

Проаналізовані показники стану та розвитку відновлюваної енергетики в Україні, відповідно до методології Міжнародного енергетичного агентства (МЕА). Виявлено, що Державна служба статистики України надає доступ до інформації за рядом показників, що відносяться до трьох основних секцій: непрямих рушійних сил, прямих рушійних сил та стану відновлюваної енергетики. Статистичний інструментарій, наданий Держстатом, включає різноманітні форми звітності, такі як «Звіт про використання та запаси палива», «Звіт про постачання та використання енергії» тощо, що забезпечує основу для оцінки та аналізу енергетичного сектору України.

Незважаючи на це, для більш глибокого оцінювання та аналізу ролі відновлюваної енергетики в Україні, необхідно розробити більш комплексний інструментарій, що охоплює додаткові аспекти та застосовує різні методи збору і аналізу даних. Такий інструментарій дозволить сформувати більш точне та об'єктивне уявлення про стан відновлюваної енергетики в Україні і сприятиме прийняттю обґрунтованих рішень щодо її подальшого розвитку.

Для подальших досліджень варто розширити статистичний інструментарій, зокрема, включивши дані про ефективність використання ресурсів, соціальні та екологічні наслідки відновлювальної енергетики, а також аналіз політичних, економічних і правових чинників, які впливають на

розвиток цього сектору. Крім того, важливо розробити і впровадити єдину методологію та стандарти для збору і обробки даних, що дозволить забезпечити порівнянність і цілісність інформації.

Удосконалення статистичного інструментарію для моніторингу стану та розвитку відновлюваної енергетики є важливим кроком для органів влади, науковців, експертів та інших зацікавлених осіб. Якісне збирання, аналіз та використання статистичних даних допоможе приймати обґрунтовані рішення, формулювати політику та стратегії для розвитку відновлювальної енергетики в Україні, а також створить базу для подальших досліджень і вдосконалення інформаційного забезпечення сталого розвитку цього сектору.

2.3. Застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу територій

Події останніх років в енергетичній сфері України дійсно створюють нові можливості та виклики, що спонукають країну до диверсифікації енергопостачання. На цьому фоні важливою складовою енергетичної політики стає розвиток відновлювальних джерел енергії, зокрема вітрової енергетики.

Законодавча підтримка цієї ініціативи проявляється у вигляді кількох ключових актів, серед яких постанова Кабінету Міністрів України від 28.03.2007 р. № 557 та указ Президента України № 159/96. Ці документи спрямовані на розвиток потужних вітрових електростанцій (ВЕС), що можуть істотно вплинути на енергетичний баланс країни. Важливим аспектом є науково обґрунтована оцінка енергетичного потенціалу вітру та інших відновлювальних джерел енергії, що здійснюється шляхом регулярного моніторингу та оновлення картографічної інформації, зокрема карт потенціалу відновлювальних джерел енергії по всій території України.

Незважаючи на це, великий потенціал для розвитку має так звана мала вітроенергетика – дешеві, невеликої потужності вітрові енергетичні установки (ВЕУ). Такі установки можуть забезпечувати не лише електричну

енергію, але й виконувати механічну роботу, наприклад, для помолу зерна, перекачки води тощо. Однак для того, щоб забезпечити точнішу оцінку потенціалу вітрової енергії в конкретному регіоні, важливо враховувати не лише загальні кліматичні карти, а й деталі рельєфу та топографії місцевості. Топографічні особливості можуть суттєво впливати на формування місцевих повітряних потоків, що на малих висотах можуть мати значний вплив на ефективність роботи вітрових установок.

Загалом, розвиток малої вітроенергетики може стати важливим кроком для забезпечення енергетичної незалежності в окремих регіонах України, покращити локальну економіку та підтримати сталий розвиток через використання екологічно чистих джерел енергії.

Важливість більш точної оцінки енергії вітру для ефективного використання вітрової енергетики справді є ключовою темою вітчизняних і закордонних досліджень. Як зазначено у цитованій роботі, розробка критеріїв для оцінки енергії вітру є набагато важливішою, ніж лише обґрунтування доцільності її використання. Це пов'язано з тим, що для забезпечення максимальної ефективності вітрових електростанцій (ВЕУ) необхідно точно визначати потенціал вітрової енергії на конкретних ділянках, що, в свою чергу, залежить від багатьох факторів, таких як метеорологічні умови, рельєф та особливості ландшафту.

Згідно з існуючими методиками оцінки вітрової енергії, враховуються кілька важливих аспектів:

1. Шорсткість поверхні землі. Вона може мати значний вплив на характеристики вітрового потоку. Наявність великих будівель, високих дерев або інших інженерних споруд може значно змінювати швидкість і напрямок вітру.

2. Локальні форми рельєфу, що можуть спричиняти "підтискання" або пришвидшення вітрового потоку. Це стосується таких утворень, як вузькі долини чи плоскі вершини височин.

Щодо вибору ділянок для встановлення ВЕУ, ідеальними є території з такими характеристиками:

- Висока середньорічна швидкість вітру.
- Відсутність великих перешкод на підвітряній стороні.
- Плоскі вершини нагір'їв з відлогими схилами, розташовані на рівнині або мілководдях.
- Гірські ущелини тунелеподібної форми, які можуть сприяти природному прискоренню вітрового потоку.

Дослідження, проведене вченими ДонНТУ, також є цікавим, оскільки воно показало потенціал використання відпрацьованих відвалів гірських порід для розміщення ВЕУ. Розподіл вітрової швидкості на схилах відбувається по трьох зонах, кожна з яких має свої закономірності. Це відкриває нові можливості для встановлення ВЕУ в гірських та горбистих територіях, де традиційно було б важко оцінити вітровий потенціал за допомогою стандартних методик.

У першій зоні (від 0 до 30% висоти схилу) швидкість вітрового потоку поступово зростає, що можна пояснити впливом приземного пограничного шару повітря. У міських ландшафтах цей шар значно вищий, що також впливає на поведінку вітрових потоків. Тому для точнішої оцінки необхідно враховувати не тільки загальні метеорологічні дані, але й специфіку ландшафтів на місцевому рівні, що дозволить більш ефективно планувати встановлення вітрових установок (рис. 2.4).

У другій зоні (від 30 до 75% висоти схилу) спостерігається суттєве збільшення швидкості вітру, що пояснюється концентрацією енергії поверхнею відвалу. Це збільшення швидкості відбувається через те, що поверхня відвалу виступає як своєрідний канал, який сприяє прискоренню вітрового потоку. Саме в цій зоні досягається максимальна швидкість вітру, що робить її найбільш підходящою для встановлення вітроенергетичних установок (ВЕУ). Врахування цієї зони є важливим при виборі місця для

розташування ВЕУ, оскільки саме тут можна отримати найбільшу кількість енергії.

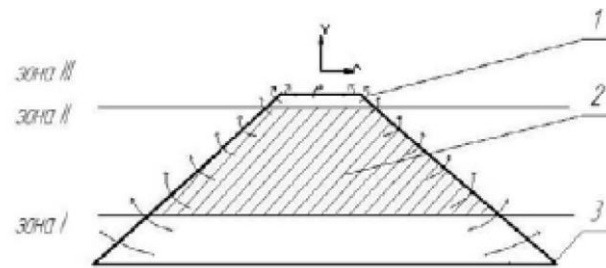


Рис. 2.4. Схема розподілу енергії вітрового потоку на поверхні породного відвалу: 1 - вітровий потік, огинаючий породний відвал; 2 - зона максимального вітрового навантаження (заштриховано); 3 - контур породного відвалу

У третій зоні (від 75 до 100% висоти відвалу) швидкість вітру знижується через обтікання вітровим потоком вершини відвалу та бокових поверхонь. Цей процес призводить до розсіювання енергії та зниження ефективності роботи ВЕУ. Зниження швидкості вітру в цій зоні робить її менш ефективною для розташування вітрових установок.

Цікавою є згадка про застосування геоінформаційних систем (ГІС) для визначення оптимальних місць для встановлення вітрогенераторів. В одному з прикладів, представлених у роботі М. де Мерса, пропонується методика виділення плоских територій або територій з ухилом, які спрямовані по напрямку вітрового потоку. Для цього важливо, щоб на обраних ділянках не було перешкод, таких як будівлі чи дерева, які можуть впливати на ефективність використання вітрової енергії.

Застосування ГІС дозволяє значно підвищити точність оцінки потенціалу вітрової енергії на конкретних ділянках, враховуючи рельєф, наявність перешкод та інші важливі фактори. Таким чином, геоінформаційні системи є корисним інструментом для точного планування розташування вітрових установок і для оптимізації їх ефективності.

Для більш точного визначення потенційних місць для розташування вітрових енергетичних установок необхідно враховувати локальні особливості території, зокрема рельєф та топографію, які можуть сприяти високій швидкості та сталості напрямку вітру, а отже й збільшенню потенційної енергії вітру. Одним із ефективних інструментів для цього є ГІС, де основним джерелом інформації можуть бути цифрові топографічні карти середнього чи великого масштабу.

Аналіз наявних публікацій показує, що дослідники часто надмірно узагальнюють параметри, що стосуються рельєфу та топографії території. Наприклад, для оцінки шорсткості підстилаючої поверхні часто використовують діапазон від 0 до 1, орієнтуючись лише на загальну топографію. Проте, якщо мова йде про використання невисоких опор для вітрових установок, більш точним є розрахунок зон затінення вітру конкретними об'єктами місцевості та визначення буферних зон, які можуть обмежувати турбулентність повітря і знижувати швидкість вітру.

Урахування цих аспектів дозволяє більш точно оцінити можливості для встановлення ВЕУ, зокрема визначити ділянки з високим потенціалом вітрової енергії. Тому важливо формувати блок-схему дослідження в середовищі ГІС, де будуть враховані всі ці фактори для прийняття обґрунтованих рішень щодо місць для розташування вітрових електростанцій (рис. 2.5).

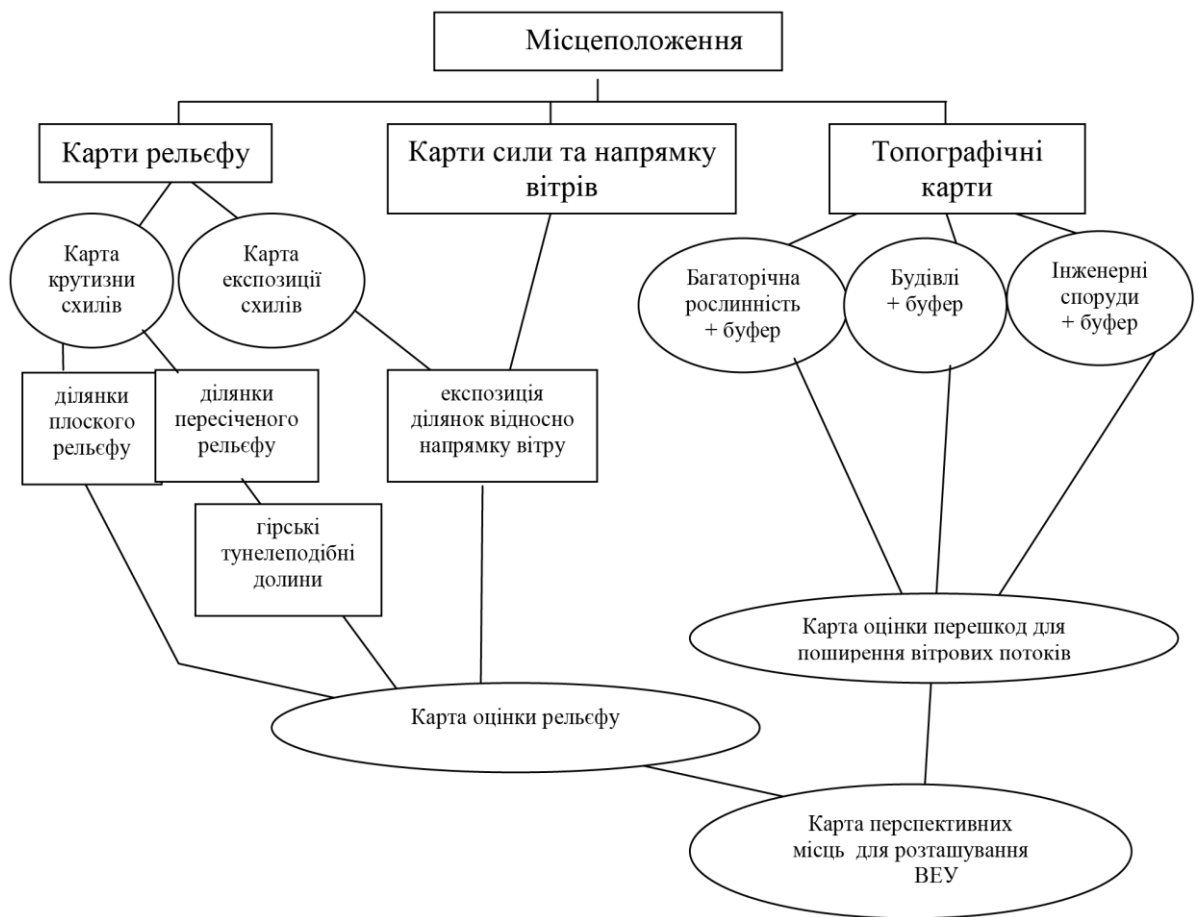


Рис.2.5. Блок-схема процесу вибору місць розташування ВЕУ [11]

Дослідження проводилось на території селища Східниця Львівської області, яке є курортно-рекреаційною зоною, відомою своїми чудовими краєвидами та сприятливою екологією. В околицях селища розташований вітроенергетичний парк, що складається з семи вітрових електростанцій, кожна з яких має номінальну потужність 107 кВт. У рамках міжнародного проекту за програмою INTERREG III В – CADSES була розроблена геоінформаційна система, яка об'єднує муніципальну та туристичну інформаційно-довідкову системи. Для функціонування цієї ГІС створена електронна карта, що містить кілька тематичних шарів, що можуть бути використані для оцінки потенційних місць для розташування вітрових електростанцій. Це включає дані про рельєф, будівлі та інженерні споруди, а також про рослинність, зокрема ліси, культурні насадження і чагарники. Геометрична точність картографії в межах селища становить 0,5 м, а поза

межами – 5 м. Матриця рельєфу має розмір комірки 2х2 м, з точністю визначення відміток 0,5 м. Для візуальної оцінки території була створена 3D модель місцевості, що базується на цій електронній карті (рис. 2.6).

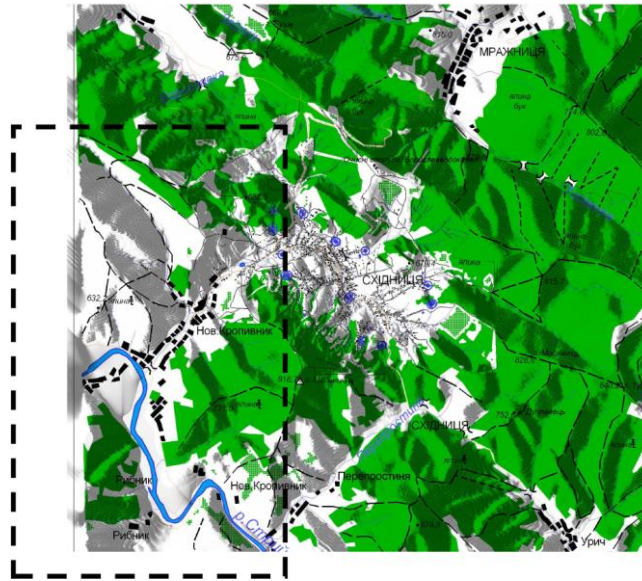


Рис. 2.6. Комп'ютерна реконструкція території с. Східниця.

Прямокутником виділено досліджувану ділянку

Селище Східниця розташоване в долині річки Східничанка, оточений гірськими хребтами, висота яких досягає 400-500 м над рівнем річки. Вітрова електростанція знаходиться на північному хребті. Загальний напрям долини – південний схід – північний захід, але на західній околиці селища цей напрямок змінюється на південний захід, де схили стають більш пологими і менш покритими високою рослинністю. На заході та півдні, в районах сіл Новий Кропивник, Рибник і Перепростія, є кілька перспективних для розташування вітрових електростанцій долин та гірських хребтів. Ці території характеризуються невеликим залісненням, рідкою забудовою та значними перепадами висот рельєфу.

Згідно з блок-схемою дослідження (рис. 2.5), у середовищі інструментальної ГІС ArcGIS була створена модель обробки геоданих. Ця модель передбачає виконання таких операцій, як перекласифікація растрів, побудова буферних зон, створення карт експозиції та крутизни схилів, а також об'єднання даних. Метеорологічні дані були отримані з джерела [2]. У

процесі моделювання використовувалися різні комбінації напрямку та сили вітру, а також різні висоти осі вітрового колеса (рис. 2.7).

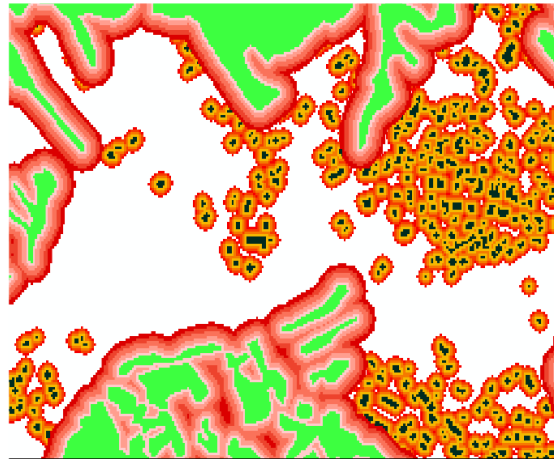
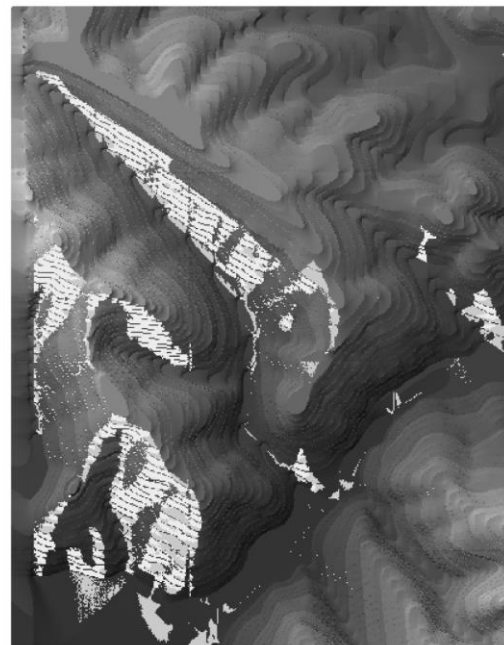
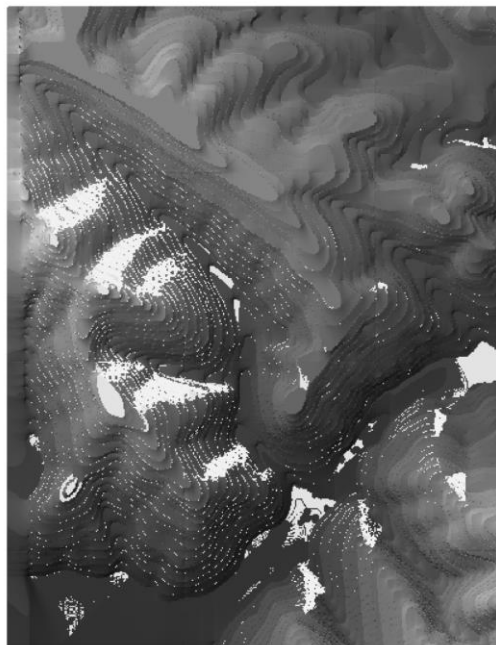


Рис. 2.7. Результат накладання буферних зон (тіней вітру) для лісів та штучних споруд

На рис. 2.8 показано результати моделювання (висота осі вітрового колеса 10 м). Світлі полігони – ділянки, що задовольняють умовам по критерію затіненості вітру від дерев та споруд, схили не перевищують крутизни 30°, та зорієнтовані на підвітряну сторону.



А) Напрямок вітру Півн. Півн.Сх. (0°-45°)

Б) Напрямок вітру Півд. Півд.Зах. (180°-225°)

Рис. 2.8 Результати моделювання – пошук та виділення ділянок для розташування ВЕУ за топографічною інформацією

Запропоновано методику використання цифрової картографічної інформації та інструментів геоінформаційної системи для визначення оптимальних ділянок для спорудження вітрових енергетичних установок, враховуючи топографічні особливості місцевості. За цією методикою можна виділяти ділянки, що є найбільш підходящими для розташування ВЕУ, що стане основою для організації метеорологічних спостережень на цих територіях, а також для прийняття остаточних рішень щодо їх будівництва. Такий підхід був реалізований на прикладі селища Східниця, що є курортною зоною. Результати дослідження передано органам місцевої влади селища для подальшого використання.

Висновки до розділу 2

Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі обумовлюються поєднанням глобальних кліматичних викликів, технологічного прогресу, політичної волі та економічних можливостей окремих країн. Перехід до «зеленої» енергетики став одним із пріоритетів світової спільноти, зокрема в межах боротьби зі зміною клімату, зниженням залежності від викопного палива та забезпеченням енергетичної безпеки.

Інструменти моніторингу стану та розвитку відновлюваної енергетики в Україні охоплюють сукупність цифрових платформ, баз даних, ГІС, нормативно-інформаційних ресурсів, а також аналітичних і статистичних звітів, які забезпечують відстеження динаміки розвитку галузі, ефективність роботи об'єктів ВДЕ та прийняття стратегічних рішень.

Застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу територій є важливим етапом у процесі планування та розвитку вітрової енергетики. Використання ГІС дозволяє ефективно оцінити можливості для встановлення вітрових електростанцій, враховуючи природні умови, географічні особливості та економічні фактори.

РОЗДІЛ 3

ПЕРСПЕКТИВИ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА РІВНІ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

3.1. Геоінформаційний аналіз чинників розвитку вітрової енергетики в Львівській області

Геоінформаційні технології активно використовуються для просторового моделювання та аналізу стану територій. Сучасне програмне забезпечення ГІС не лише виконує традиційні функції картографування, а й дає змогу ефективно вирішувати завдання комплексної оцінки екологічних ризиків, моніторингу небезпечних процесів, аналізу та прогнозування антропогенного впливу на екосистеми різного рівня, а також створення моделей для еколого-економічного управління територіями.

Особливо важливою є можливість використання цифрових моделей місцевості, створених у середовищі ГІС, для оцінки потенційного впливу запланованих інфраструктурних або економічних об'єктів на ландшафт. Такі проєкти зазвичай охоплюють великі площі, і результати їх аналізу доцільно подавати у формі карт та схем, які є зручними для візуального сприйняття. Це має вагоме значення, оскільки законодавство вимагає інформування громадськості про можливі переваги та ризики реалізації інвестиційних проєктів у межах різних адміністративних одиниць. Особливу увагу приділяють тим ініціативам, що потребують вилучення значних земельних ділянок, які можуть мати екологічну, рекреаційну або іншу цінність.

Існують спеціалізовані ГІС, які надають прогнозну оцінку ефективності реалізації проєктів, наприклад, вітрових електростанцій. Такі системи працюють із топографічними, кліматичними та економічними даними, використовуючи цифрові моделі місцевості з різними рівнями охоплення та деталізації. В Україні, як і в інших країнах, тривають дослідження щодо уточнення параметрів енергетичного потенціалу відновлюваних джерел

енергії. Отримані дані подають у вигляді картографічних матеріалів і супровідних баз даних.

Оцінка окремих локальних ділянок, що базується виключно на узагальнених кліматичних картах національного або регіонального масштабу (які створені за даними метеостанцій, часто розташованих на значній відстані від цільової території), неминуче веде до неточних або наближених результатів. Для підвищення точності таких оцінок необхідно враховувати топографічні та рельєфні особливості в межах кількох кілометрів від досліджуваної місцевості. Лише таким чином можна оцінити формування локальних повітряних потоків, що циркулюють на малих висотах. Відповідно, для обґрунтованого аналізу руху вітру над поверхнею землі потрібні детальні картографічні матеріали з високим рівнем просторового розрізнення.

Ефективним інструментом для ухвалення таких рішень є геоінформаційна система, а ключовим джерелом даних – великомасштабна цифрова топографічна карта та результати вітрових досліджень.

Комплексний підхід до вибору місця для розміщення вітроелектроустановок передбачає детальну оцінку локальних умов, зокрема рельєфу й топографії, які можуть сприяти підвищенню швидкості вітру та стабільності його напрямку, а отже, збільшенню потенційної енергії вітрового потоку.

Сучасні методики оцінювання вітрового потенціалу ґрунтуються на таких принципах:

1. кількість енергії вітру залежить від шорсткості земної поверхні – наявності поблизу будівель, високої рослинності або інших інженерних споруд;

2. локальні форми рельєфу можуть або гальмувати, або пришвидшувати рух повітряних мас.

Таким чином, оптимальними для встановлення ВЕУ вважаються території з такими характеристиками: висока середньорічна швидкість вітру;

відсутність значних перешкод у підвітряному напрямку; плоскі вершини височин із плавними схилами на рівнинній місцевості, мілководдях чи островах; гірські ущелини з тунелеподібною формою, які сприяють прискоренню повітряного потоку.

Аналіз наукових публікацій свідчить про певну тенденцію дослідників до глибокої деталізації метеорологічних параметрів і водночас до надмірного узагальнення при оцінці рельєфу та топографії місцевості. Наприклад, характеристику "шорсткість підстилаючої поверхні" часто визначають за допомогою коефіцієнта в межах від 0 до 1, з урахуванням загальної топографії району. Удосконалені підходи включають моделювання зон затінення повітряного потоку об'єктами рельєфу та створення буферних зон, де можуть виникати турбулентні явища.

Раніше нами було здійснено спробу розробити алгоритм застосування цифрових топографічних карт і засобів просторового аналізу для виявлення територій із найбільш придатними топографічними умовами, де доцільно проводити детальні метеорологічні дослідження та приймати рішення щодо будівництва вітроелектроустановок (ВЕУ) за допомогою інструментальної геоінформаційної системи.

Одним із важливих аспектів при виборі локацій для ВЕУ є облік так званих "місцевих" вітрів, особливо в гірських регіонах, де спостерігається часта зміна погодних умов.

Карпатські регіони Львівської області характеризуються доволі високим вітроенергетичним потенціалом, придатним для промислового використання, хоча оцінка на основі метеоданих залишається суперечливою. Напрямок вітру в цій місцевості визначається орієнтацією гірських хребтів і напрямком річкових долин, що обумовлює формування орографічних роз вітрів. У таких умовах переважають один або два основні напрямки руху повітряних мас.

Протягом року спостерігається виражена сезонність у коливаннях швидкості вітру. У літній період добові коливання можуть досягати 5-10

разів (наприклад, у смт Славське або м. Самбір), тоді як у холодну пору року ці відмінності становлять лише 1,5-2 рази. Частота сильних вітрів зі швидкістю понад 15 м/с варіюється – від 2 разів на рік у Славському до 45 у Мостиськах (12 у Турці, 21 у Дрогобичі).

Також важливо враховувати показники повторюваності штилів (періоди безвітряної погоди) та тривалості вітрових затиш. Наприклад, у Славському, що розташоване у вузькій поперечній долині, частота штилів становить 40–50 %. Середня швидкість вітру у Прикарпатті та Карпатах складає 7,4 м/с узимку і 4,6 м/с улітку. Оцінка вітрової ситуації базується переважно на даних метеостанцій Пожижевської, Полонина і Плай. Водночас метеостанції, розташовані в долинах або міжгірських пониженнях (Турка, Славське), фіксують переважання слабких вітрів до 5 м/с (85,9 % і 93,8 % відповідно), тоді як на рівнинних територіях цей показник становить до 75 % (наприклад, у Мостиськах).

У підсумку, на основі аналізу метеоданих та рельєфно-топографічних особливостей можна стверджувати про наявність сприятливих умов для розвитку вітроенергетики в Турківському, Старосамбірському, Сколівському та Дрогобицькому районах Львівської області.

Вітрові турбіни змінюють напрямок та структуру повітряного потоку під час його проходження крізь вітроколесо, викликаючи розсіювання та відхилення потоку. Це зумовлює необхідність встановлення наступних веж на певній, іноді досить значній, відстані від попередніх, бажано поза основним напрямком руху вітру. Такий підхід значно збільшує площу, необхідну для облаштування вітропарку, що, в свою чергу, знижує ефективність використання земельних ресурсів.

У практиці проектування вітрових парків прийнято дотримуватись таких відстаней між турбінами: від 5 до 9 діаметрів ротора у напрямку переважаючого вітру та від 3 до 5 діаметрів у напрямку, перпендикулярному до нього. За результатами аеродинамічних досліджень, проведених у Швеції, було визначено мінімально допустимі відстані між вітровими колесами, які

запобігають взаємному затіненню турбін. Ці відстані повинні становити від 6 до 12 діаметрів ротора.

Для врахування впливу об'єктів, що перешкоджають вільному руху повітряних мас, існують програмні засоби, доступні в мережі Інтернет. Вони дозволяють моделювати зони затінення повітряного потоку, виходячи з параметрів: швидкість вітру, тип і висота перешкоди, а також її лінійні розміри. Результати подаються у вигляді графічної карти із зазначенням зони впливу.

Попри те, що вітрові електроустановки виробляють електроенергію без значного хімічного забруднення довкілля, їхній вплив на навколишнє середовище не є повністю нейтральним. До екологічних чинників, що потребують врахування, належать: вилучення значних територій під будівництво, зміна ландшафтів, шумове навантаження, а також створення радіоперешкод.

Особливо важливим є вплив ВЕУ на якість радіо- та телевізійного сигналу. Наприклад, установка потужністю лише 0,1 МВт може спричиняти спотворення телевізійного сигналу на відстані до 0,5 км від джерела.

Найбільшу увагу у публікаціях преси та спеціалізованій літературі, присвяченій оцінці роботи вітрових електроустановок (ВЕУ), привертає проблема шумового впливу, який вони спричиняють. Шум, який генерують ВЕУ, зазвичай класифікують на інфразвук та звукові коливання, що безпосередньо сприймаються людиною та іншими живими організмами.

Згідно з дослідженнями американських та французьких учених, ВЕУ є джерелами доволі інтенсивного інфразвукового випромінювання, що може негативно впливати на фізіологічний стан людей, тварин, птахів та комах. Водночас інші наукові джерела не підтверджують суттєвого впливу інфразвуку, зокрема в межах допустимих санітарних норм. Так, згідно з офіційним висновком Асоціації точної механіки й електроніки (ФРН), зробленим на запит Федеральної служби охорони здоров'я Німеччини, результати вимірювань звукових хвиль з частотою до 20 Гц на відстані 600 м

від вітроелектростанції ENERCON E-40 за швидкості вітру 7–8 м/с не виявили наявності випромінюваного інфразвуку.

Зниження негативного впливу шумів досягається за рахунок раціонального розміщення ВЕУ на безпечній відстані від житлових будинків та місць тривалого перебування людей. Згідно з літературними джерелами, рекомендована відстань становить не менше 250 м, а Данська асоціація виробників вітроенергії наполягає на дотриманні мінімального просторового інтервалу в 7 діаметрів ротора або приблизно 300 м. На офіційному вебсайті цієї асоціації також доступне програмне забезпечення для моделювання рівнів шумового забруднення на різних відстанях, результати якого подаються у вигляді растрової карти.

Варто зазначити й візуальний вплив ВЕУ на ландшафт. Вітрові турбіни, як правило, є найвищими штучними об'єктами на території встановлення, тому вони істотно змінюють візуальне сприйняття місцевості. Особливо це помітно у випадках регулярного, геометрично впорядкованого розміщення вітряків у складі вітропарків, що створює штучний, ритмічний візерунок, притаманний урбанізованому, а не природним ландшафтам. Крім того, використання світло-сірої кольорової гами для покриття конструкцій турбін контрастує з природними відтінками довкілля та не сприяє сприйняттю таких територій як зон відпочинку.

З погляду ландшафтної естетики, великогабаритні вітрові турбіни мають певні переваги. Їхні низькі швидкості обертання зменшують динамічне навантаження на зорове поле спостерігача, що дозволяє мінімізувати психологічний дискомфорт, викликаний візуально активними об'єктами.

Сприйняття вітрових турбін у ландшафті значною мірою залежить від суб'єктивних уподобань. Результати численних соціологічних досліджень, проведених у Данії, Великій Британії, Німеччині та Нідерландах, свідчать про те, що мешканці, які проживають поблизу вітрових електростанцій

(ВЕС), як правило, мають вищий рівень толерантності до візуальної присутності турбін у пейзажі, ніж жителі міських агломерацій.

Одним з потенційних чинників негативного впливу на людину є світлове мерехтіння, яке виникає внаслідок періодичного відбиття сонячного світла від рухомих лопатей турбіни. При частоті спалахів у межах 5–10 Гц може спостерігатися так званий стробоскопічний ефект, що проявляється у вигляді кольорових плям або рухомих фігур у полі зору. Такий ефект становить потенційну небезпеку, особливо під час виконання завдань, що потребують концентрації уваги. Подібні зорові спотворення можуть проявлятися на відстані до кількох кілометрів від ВЕС.

Наразі чинним санітарним законодавством України не визначено нормативів щодо санітарно-захисних зон навколо ВЕС.

Найбільш суттєвим обмеженням у використанні вітрової енергетики є низька щільність використання території. Згідно з даними літературних джерел, оптимальний діаметр ротора вітрової турбіни становить приблизно 100 м. За умов середньої швидкості вітру 9,2 м/с та питомої енергетичної щільності потоку 500 Вт/м², з такої установки можливо генерувати близько 1 МВт електричної потужності. При цьому, з урахуванням необхідності дотримання міжтурбінних відстаней (не менше трьох висот установки для уникнення аеродинамічного затінення), на площі 1 км² доцільно розміщувати лише 2–3 турбіни такої потужності. Відповідно, для отримання електричної потужності у 1 ГВт потрібно щонайменше 330 км² території, що у 100 разів перевищує площу, необхідну для розміщення атомної електростанції аналогічної потужності.

Значну роль відіграють регіональні програми, що спрямовані на розвиток нетрадиційної енергетики відповідно до особливостей конкретних територій.

У межах Львівської, Закарпатської та Івано-Франківської областей наразі реалізується низка ініціатив, спрямованих на використання місцевих енергетичних ресурсів та підготовку інвестиційних проектів з будівництва

вітрових електростанцій. Особлива увага приділяється залученню приватних інвестицій для реалізації таких проектів у Карпатському регіоні. Вказані ініціативи перебувають на стадії експертного аналізу у відповідних державних органах, а також проходять процедури громадського обговорення згідно з чинним законодавством України.

У 2012–2013 роках французькі компанії Beten International та Valorem презентували інвестиційний проєкт зі спорудження вітрової електростанції потужністю 10 МВт на території Дрогобицького району Львівської області. У подальшому аналогічні електростанції передбачається будувати й у низці інших районів Львівщини та Івано-Франківщини. Зокрема, реалізувалися такі регіональні програми, як:

- «Програма розвитку вітрової енергетики на території Турківського району Львівської області на 2012–2018 роки (2011),
- Програма розвитку вітрової енергетики на території Рожнятівського району Івано-Франківської області на 2012–2015 роки (2012),
- Програма розвитку вітрових електростанцій на території Тлумацького району на 2011–2015 роки (2011)» [10].

Зокрема, Програма розвитку вітрової енергетики у Турківському районі має на меті реалізацію комплексу заходів з дослідження вітрового потенціалу території, проектування та будівництва мережі промислових вітрових електростанцій.

У Львівській області триває реалізація низки інвестиційних проєктів зі спорудження вітрових електростанцій у межах гірських територій Карпатського регіону. Вони передбачають ефективне використання земель запасу Турківського району та спрямовані на розвиток регіональної енергетичної інфраструктури.

Проєкт «Карпатська ВЕС» передбачає встановлення 12 вітрових турбін потужністю по 2,5 МВт із загальною проєктною потужністю 30 МВт. Ділянка для розміщення електростанції розташована на південь від м. Турка, за межами населених пунктів Мельничне, Завадівка, Ільник та смт Бориня. Це

гірський масив загальною площею 185 га в межах земель запасу Турківського району.

Проект «Вовчанська ВЕС» складається з двох майданчиків, кожен з яких має заплановану потужність 40 МВт.

- Майданчик № 1 розташований за межами сіл Вовче та Шумяч.
- Майданчик № 2 – за межами сіл Вовче, Жукотин та Лімна.

Обидва майданчики знаходяться на північний захід від м. Турка на гірському хребті довжиною 12 км. Загальна площа проєктної території становить 120 га. У межах цієї території планується встановлення 16 вітрових турбін потужністю 2,5 МВт кожна. Ділянка обмежена:

- із заходу та півдня – селом Вовче,
- з півночі – територіями Розлучської та Явірської сільських рад.

Проект «Ільницька ВЕС» також передбачає встановлення 12 турбін потужністю по 2,5 МВт із загальною проєктною потужністю 30 МВт. Об'єкт розташований на південний схід від м. Турка у гірському масиві площею 78,5 га, за межами сіл Ільник, Радич та Ясінка Стецьова. Ділянка обмежена:

- із заходу – селом Лосинець,
- з півдня – шосейною дорогою поблизу с. Радич,
- з південного сходу – річкою Стрий.

Крім зазначених проєктів, у Дрогобицькому та Турківському районах реалізується ще один масштабний проєкт, що передбачає будівництво вітрових електростанцій загальною потужністю 50 МВт.

На основі проведеного аналізу літературних джерел було сформульовано основне завдання дослідження: оцінити якість одного з проєктів вітропарку із застосуванням геоінформаційних технологій. Для реалізації цього завдання передбачено створення геоінформаційної моделі досліджуваної території з подальшим накладанням на неї проєктних даних.

Об'єктом дослідження було обрано вітропарк, запланований до спорудження в межах сіл Ільник та Радич Турківського району відповідно

до Програми розвитку вітрової енергетики на території Турківського району Львівської області.

Для збору та обробки просторової інформації використано відкриті загальнодоступні джерела картографічних даних. Основні етапи геоінформаційного моделювання виконано за допомогою програмного забезпечення ArcGIS.

Об'єктивну оцінку сучасного стану території забезпечено використанням супутникових знімків високого просторового розрізнення (1,6 м), що дозволяють виявити особливості ландшафту, наявну інфраструктуру та зміни в землекористуванні.

Для цифрового моделювання рельєфу використано глобальне покриття висот земної поверхні DLR SRTM, надане Німецьким аерокосмічним агентством (DLR). Ці дані представлені у вигляді растрових структур з просторовим покриттям $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ (широта $\times$ довгота), при цьому кожен растр охоплює ділянку розміром $15' \times 15'$ (кутових хвилин).

В межах дослідження в середовищі ArcMap було проведено оцифрування карти вітрової розвідки, наданої компанією “Велорем”. Карта містить оцінку середньорічної швидкості вітру, відображену у вигляді ізоліній (рис. 3.1).

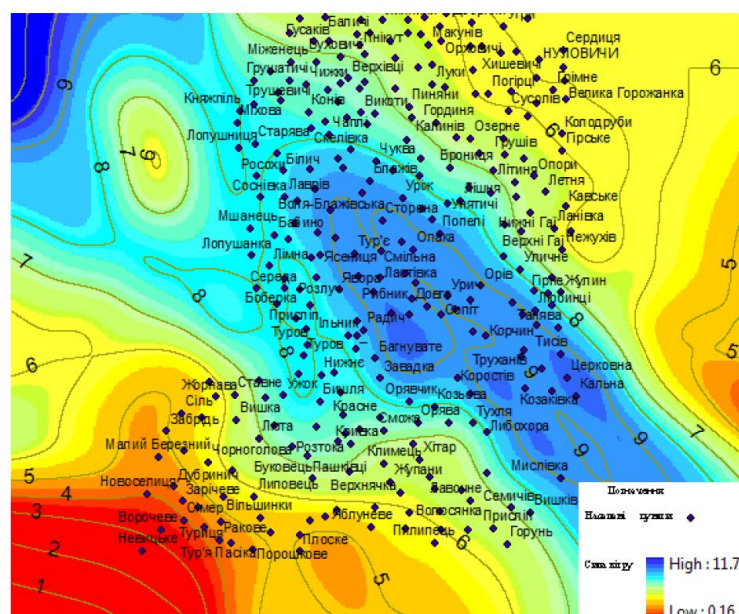


Рис. 3.1. Карта сили вітру в районі м. Турка-Сколе

На основі даних, наданих Турківською районною радою, на карту було нанесено проєктні ділянки розміщення п'яти вітропарків у регіоні (рис. 3.2).

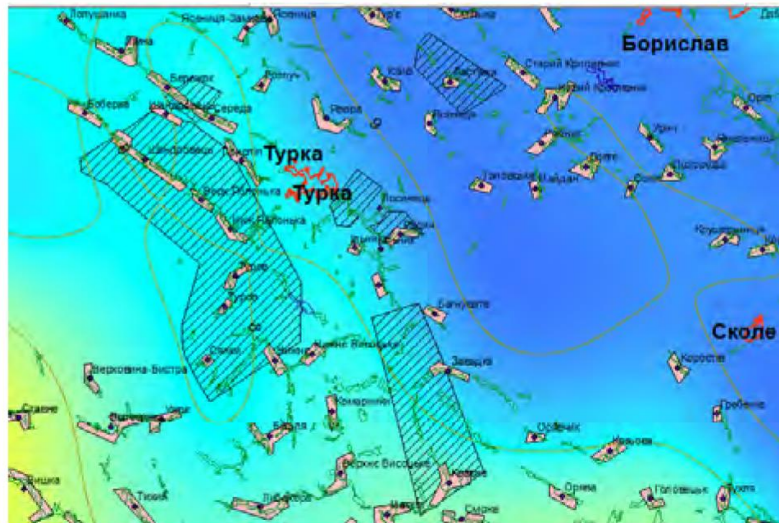


Рис. 3.2. Зони розміщення вітропарків у Турківському районі

Ці дані слугували базою для аналізу відповідності розміщення турбін вітрового парку до сприятливих умов щодо швидкості вітру, рельєфу, відстані до населених пунктів та наявних обмежень землекористування.

Як видно з карти, три з п'яти запроєктованих районів для будівництва вітрових електростанцій (ВЕС) розташовані в зоні порівняно сильних вітрів, з середньою швидкістю 8,5-9,5 м/с, що є сприятливим для ефективної роботи вітрових турбін. Інші два райони мають середню швидкість вітру в межах 7-8 м/с, що також є придатним, але менш оптимальним для максимального використання енергії вітру.

На основі даних попереднього проєкту розміщення ВЕС, було створено картографічний точковий шар для розміщення вітрових установок в районах сіл Ільник, Радич і Лосинець. Усього запроєктовано 24 вітрові установки (рис. 3.3), що мають бути розміщені з урахуванням рельєфу, вітрових умов та відповідних обмежень.

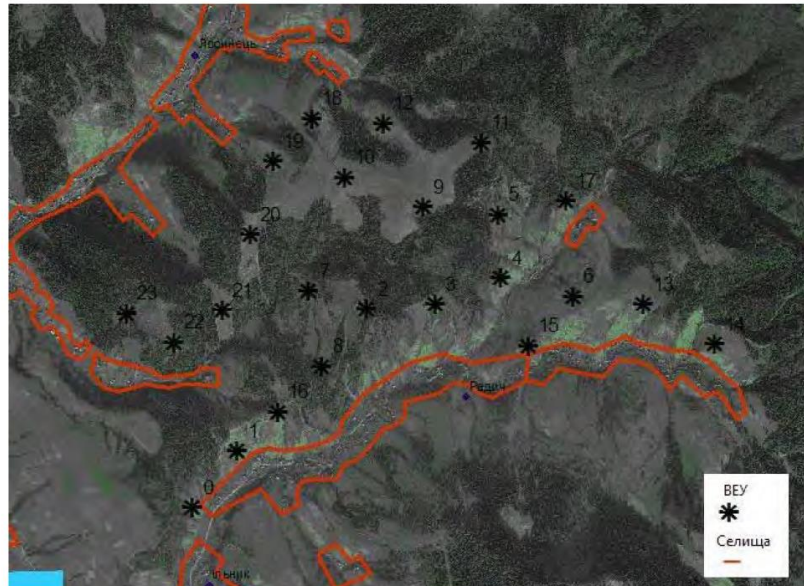


Рис. 3.3. Проект розташування ВЕУ в районі сіл Ільник - Радич - Лосинець

Зважаючи на характеристики вітрового потенціалу у різних районах, можна оцінити ефективність роботи турбін залежно від швидкості вітру в кожному районі. Оцінка цих факторів дозволить визначити оптимальне місце для розміщення турбін, зокрема з огляду на їх відстань від населених пунктів та максимальне використання потенціалу території.

Дослідження просторових характеристик вітропарку з точки зору розташування його елементів щодо основних природних та антропогенних об'єктів є важливим для забезпечення ефективної роботи вітрових турбін і мінімізації їхнього негативного впливу на навколишнє середовище.

1. Рельєф та його вплив. Вітропарк розташовано на двох локальних гірських хребтах, що є важливим фактором для оцінки енергії, яку можна отримати від вітру. Вітрові турбіни, як правило, повинні бути розміщені на відкритих ділянках з високими рельєфними характеристиками, щоб максимізувати ефективність використання вітрової енергії.

- Ширина долини, що розділяє ці два хребти, становить 900-1000 метрів, що дозволяє забезпечити достатньо простору для установки вітрових турбін.

- Глибина врізу долини - 110 метрів. Це значення дає уявлення про потенційний вплив рельєфу на швидкість вітру, оскільки гірські хребти можуть посилювати або ослаблювати вітровий потік залежно від напрямку та інтенсивності вітру.

2. Контури населених пунктів. Оцінка відносно контурів населених пунктів є важливою для мінімізації шумового забруднення та забезпечення безпеки мешканців. Вітрові установки повинні бути розміщені на оптимальних відстанях від населених пунктів для зниження ризиків негативного впливу на здоров'я людей, таких як шум або мерехтіння від сонячних променів.

3. Лісові масиви. Лісові масиви створюють природні перешкоди для поширення вітрового потоку. Розташування вітрових турбін в межах лісових зон потребує ретельної оцінки їхнього впливу на ефективність вітрових установок. Ліси можуть зменшувати швидкість вітру, що впливає на вироблення електричної енергії. Важливо також враховувати потенційні екологічні наслідки, такі як руйнування природних середовищ існування тварин (рис. 3.4).

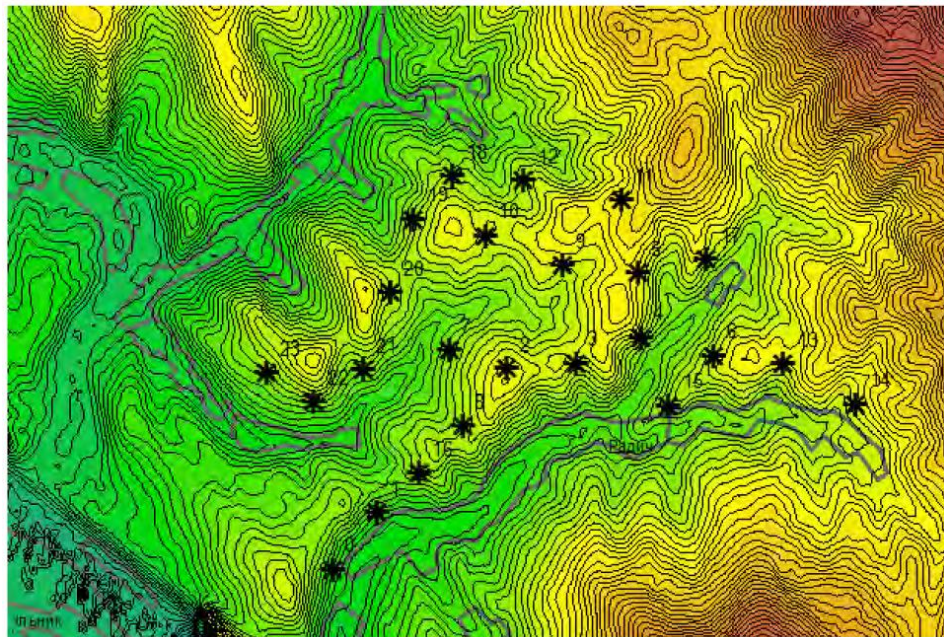


Рис. 3.4. Рельєф території вітрового парку. Перетин горизонталями через 10 метрів

У дослідженні оцінюється розташування вітрових установок з урахуванням експозиції схилів до панівних Північно-Західних вітрів. Найсприятливіші для установки турбін є навітряні схили з експозицією 270-360 градусів, оскільки це дозволяє забезпечити оптимальне поширення вітрових потоків. Проте територія, де планується будівництво вітропарку, має складний гірський рельєф, що значно ускладнює рівномірний розподіл вітрових потоків. Місцевість характеризується високою пересіченістю і неправильною формою, що може призвести до утворення турбулентних зон, де ефективність вітрових турбін буде знижена.

Окрім того, на підвітряних схилах, де плануються деякі вітрові установки, можуть виникати додаткові перешкоди для розповсюдження вітру. Вітрові турбіни, розташовані на таких ділянках, зокрема турбіни № 4, 10, 13, 22 та 25, матимуть знижений ефект від вітрових потоків, що може негативно вплинути на їх продуктивність. Збільшення висоти вітрових турбін може частково вирішити проблему, проте це призведе до змін у ландшафті та потребуватиме додаткових ресурсів.

Оптимальним рішенням для підвищення ефективності цього вітропарку є коригування місць розташування вітрових турбін, щоб уникнути підвітряних схилів. Також важливо провести додаткові дослідження з використанням геоінформаційних технологій для більш точного моделювання руху вітрових потоків і вибору найбільш сприятливих для розташування установок місць. Це дозволить покращити продуктивність вітрових турбін і знизити вплив на ландшафт (рис. 3.5).

Оцінка впливу шуму від працюючих вітрових електростанцій високої потужності проводилась за допомогою мультибуферної зони в геоінформаційній системі (ГІС). Згідно з встановленими вимогами, вплив шуму вважається несуттєвим, якщо відстань від установки до об'єкта не менше 250 м.

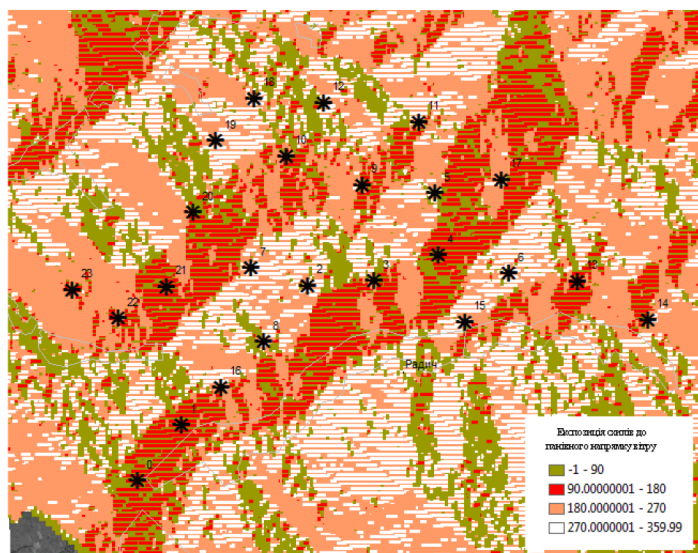


Рис. 3.5. Розташування ВЕУ на схилах різної експозиції до панівних Північно-Західних вітрів

Рекомендована відстань від вітрової установки великої потужності до зон з постійним перебуванням людей становить 350 м. Гігієнічна зона, що визначає межу, на якій починаються несприятливі умови для людини, складає 700 м. Буферні зони, які були побудовані відповідно до цих відстаней, наведені на відповідній карті (рис. 3.6).

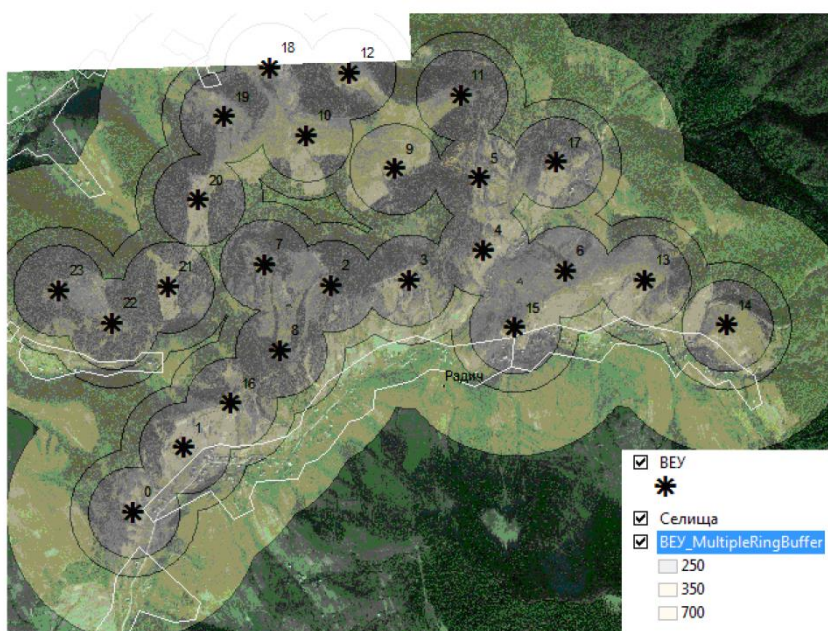


Рис. 3.6. Оцінка впливу шуму від ВЕУ

Детальний аналіз карти вказує на значні недоліки в розташуванні вітрових електростанцій та їх практичну невідповідність гігієнічним нормам. Більшість житлових будинків у селі Радич потрапляють в зону прямого акустичного впливу від працюючих вітрових установок. Більшість вітрових електростанцій розташовані таким чином, що не відповідають навіть мінімальним рекомендаціям щодо відстані від місць постійного перебування людей. Така ситуація є неприпустимою, оскільки село Радич знаходиться з навітряного боку від вітропарку, що тільки посилює негативний вплив шуму (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Оцінка впливу шуму від ВЕУ на територію с. Радич

Розглядаючи фактор взаємного розташування вітрових установок, ми визначаємо множинний буфер, який відповідає трьом, п'яти та дев'яти діаметрам вітрового колеса (150, 250 та 450 метрів відповідно). Як показано на рисунку, більшість вітрових установок відповідають лише мінімальним вимогам розташування. В багатьох випадках це призводить до неефективного використання території, оскільки вітрові установки заважають одна одній, створюючи вітрову тінь чи турбулентні потоки, що знижують ефективність роботи кожної окремої турбіни (див. рис. 3.8).

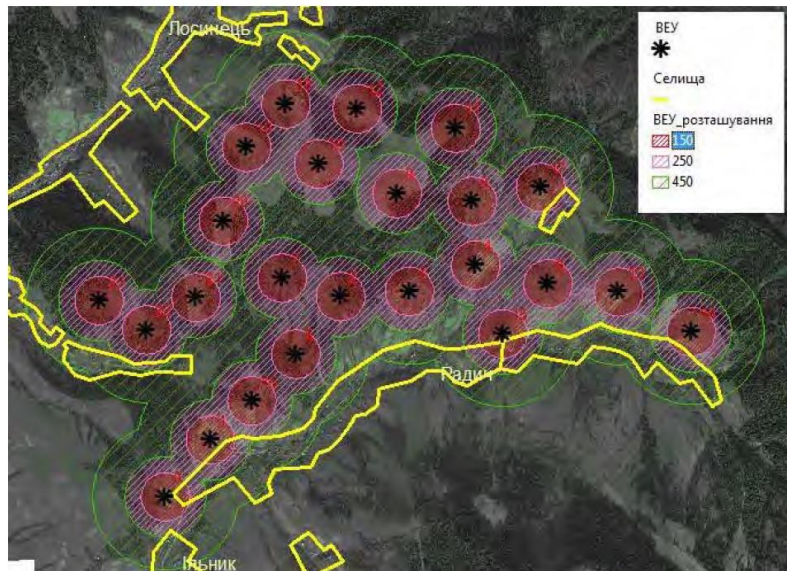


Рис. 3.8. Оцінка взаємного розташування ВЕУ

Результати дослідження свідчать про можливість ефективного та науково обґрунтованого використання геоінформаційних систем (ГІС) для аналізу проектів розміщення вітропарків. Візуалізація результатів просторового аналізу у вигляді карт дозволяє наочно побачити всі переваги та недоліки проектів, що є важливим аспектом при їх оцінці. На прикладі проекту вітрового парку в Турківському районі Львівської області продемонстровано, як можна виявити проблеми в розташуванні вітрових установок.

Висновки з проведених досліджень підтверджують, що ГІС є потужним інструментом для аналізу та оптимізації проектів вітрової енергетики. Це може мати важливе значення для прийняття інвестиційних рішень як для громадськості, так і для фахівців у галузі енергетики та земельного управління.

3.2. Перспективи розвитку вітрової енергетики в Тернопільській області

З кожним роком зростає увага до вивчення природних передумов для розвитку відновлюваної енергетики. Багато науковців у своїх дослідженнях розглядають потенційні впливи діяльності та можливості будівництва нових

об'єктів, враховуючи різні географічні чинники. Вперше термін «географічний чинник» у контексті відновлюваної енергетики використала М. Лопушанська [14], під яким розуміються чинники, що зумовлені географічним розташуванням об'єкта і впливають на розвиток відновлюваних джерел енергії. Вона запропонувала класифікацію географічних чинників, до яких відносяться геофізичні, геологічні, кліматичні, гідрологічні, агрогрунтові, суспільні (соціально-економічні) та екосистемні послуги.

Для розвитку вітрової енергетики ключовим чинником є кліматичний, зокрема середньорічна швидкість вітру. Тернопільська область має сприятливі умови для розвитку вітрової енергетики, особливо в північній частині. Картування кліматичних чинників є важливим етапом для планування майбутніх вітрових станцій. Крім того, необхідно враховувати екологічні обмеження при здійсненні діяльності.

На формування клімату в Тернопільській області впливає низка факторів, серед яких найзначніші – географічне положення, циркуляція атмосферних повітряних мас, висота місцевості над рівнем моря та рельєф. Вся територія області розташована в межах помірного кліматичного поясу. Завдяки видовженій формі області з півночі на південь, її нагрівання відбувається нерівномірно, з більшими показниками нагрівання в південній частині.

Циркуляційні процеси, пов'язані з океанічними та континентальними повітряними масами, суттєво впливають на клімат області, зокрема, на формування західних та північно-західних вітрів. Тернопільська область поділяється на три кліматичні райони: північний, центральний та південний.

Згідно з дослідженнями науковців Інституту відновлюваної енергетики НАН України, «розподіл швидкості вітру на висоті 10 м в Тернопільській області змінюється з південного заходу на північний схід. У південно-західній частині швидкість вітру складає 2,9-3,3 м/с, в центральній частині - 3,3-3,7 м/с, а на північному сході - 3,7-4,1 м/с» [15].

Статистичні показники багаторічного вітрового режиму в Тернопільській області за період 1981–2010 років для чотирьох станцій є такими. «Мінімальна швидкість вітру спостерігається на станції Бережани (1,92 м/с), максимальна – на станції Тернопіль (3,83 м/с). Вітри в північно-східній частині області більш інтенсивні та змінні, ніж у південно-західній. Максимальні значення швидкості вітру, за даними багаторічних показників, досягають 24 м/с на станції Чортків і 20 м/с на станції Тернопіль. Переважаючими вітрами є північно-західні» [17].

Для геоінформаційного аналізу кліматичних чинників розвитку вітрової енергетики в області були використані дані з відкритого онлайн-ресурсу Global Wind Atlas за допомогою ГІС-системи QGIS 3.34.3. Для розвитку промислових вітрових електростанцій було розглянуто середньорічну швидкість вітру на висоті 50 м та 100 м. У межах Подільської височини на висоті 50 м середньорічна швидкість вітру варіюється від 5,3 м/с у долинах річок Дністер, Серет, Золота Липа, Стрипа, Коропець та Нічлава до 6,1 м/с на підвищеннях. Для Авратинської височини, Тернопільського плато та Кременецьких гір цей показник становить від 6,1 до 6,6 м/с (рис. 3.1, рис. 3.2).

На висоті 100 м спостерігається збільшення середньорічної швидкості вітру. Так, в межах долин річок цей показник варіюється від 5,3 до 6,1 м/с. Для південної частини Подільської височини середньорічна швидкість вітру становить від 6,6 до 7,7 м/с, тоді як для Авратинської височини, Тернопільського плато та Кременецьких гір цей показник коливається в межах 6,1–6,6 м/с. В межах Вороняків середньорічна швидкість вітру на висоті 100 м перевищує 7 м/с.

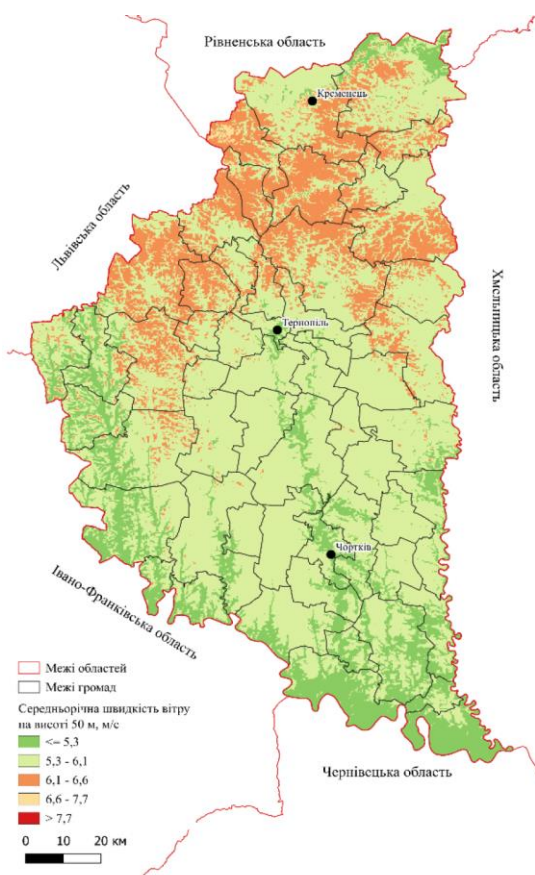


Рис. 3.1. Середньорічна швидкість вітру на висоті 50 м у межах Тернопільської області [15]

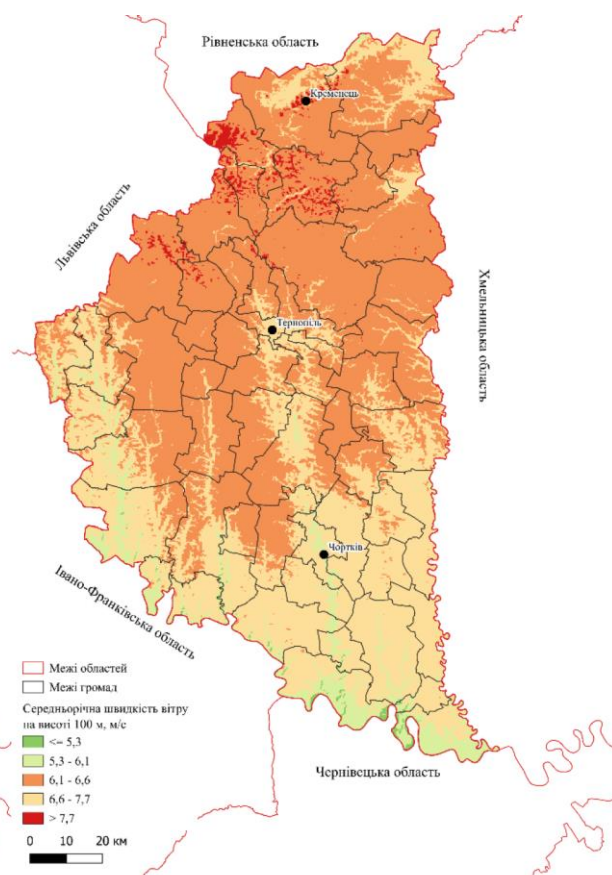


Рис. 3.2. Середньорічна швидкість вітру на висоті 100 м у межах Тернопільської області [15]

Не менш важливим показником для визначення потенційних ділянок для розвитку вітрової енергетики є вітроенергетичний потенціал, або питома потужність вітру (Mean Wind Power Density). За даними Global Wind Atlas, для Тернопільської області значення вітроенергетичного потенціалу для більшості територій знаходяться в межах 200–500 Вт/м². Найвищі показники спостерігаються в Кременецьких горах та Гологорах, що знаходяться на північному заході області (рис. 3.3).

У своїх дослідженнях колектив авторів Осадчий В., Скрипник О. та Ошурок О. застосували метеорологічний препроцесор CALMET, який рекомендований Державною агенцією США з охорони навколишнього середовища (US EPA).

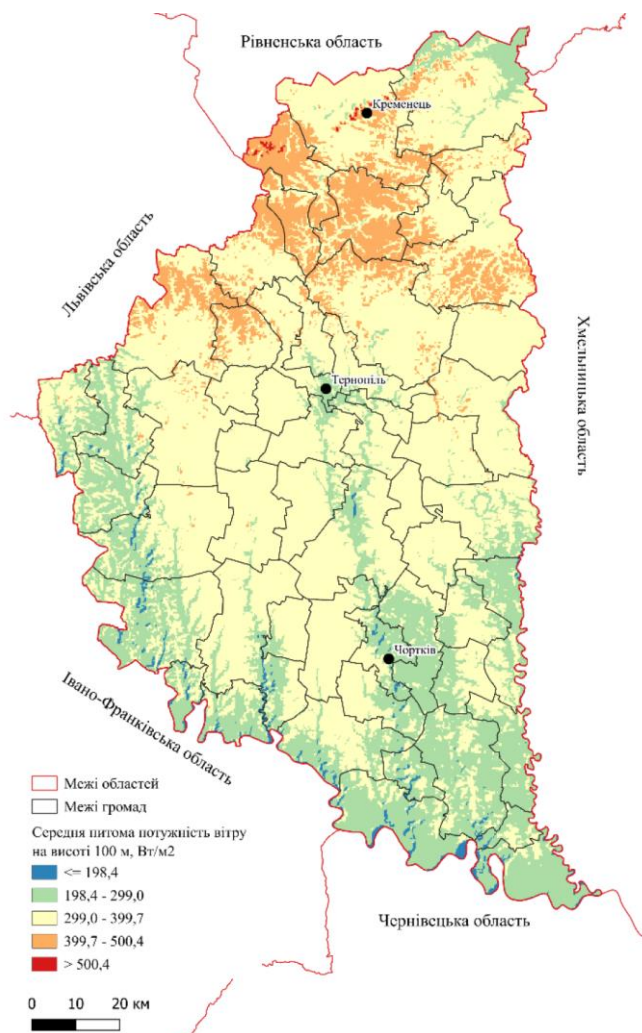


Рис. 3.3. Вітроенергетичний потенціал (середня питома потужність вітру) на висоті 100 м у межах Тернопільської області [15, с. 272]

За результатами їхніх досліджень на найвищі показники вітроенергетичного потенціалу на висоті 90 та 110 м припадають на північно-західну частину області, зокрема Кременецькі гори та Гологори, де значення перевищують 220 Вт/м², із середніми даними за період 1981-2010 років.

Аналіз двох ресурсів (Global Wind Atlas та CALMET) показує, що територіально найвищі показники вітроенергетичного потенціалу зосереджені на північному заході області. Використання даних Global Wind Atlas дозволяє більш детально диференціювати території з кращими чи гіршими характеристиками для визначення потенційних ділянок для будівництва майбутніх проектів вітрової енергетики.

За даними досліджень науковців Інституту відновлюваної енергетики НАН України, потенціал потужності ВЕС у межах Тернопільської області становить 6983 МВт, що є більшим показником порівняно з Закарпатською, Волинською, Івано-Франківською та Чернівецькою областями. Однак цей показник у 6 разів менший, ніж для Дніпропетровської області. Середньорічний виробіток електроенергії ВЕС для Тернопільської області складе 18963 млн кВт·год/рік, що становить 0,87% від загального потенціалу середньорічного виробітку в Україні.

Додатково для вибору потенційних ділянок можна використовувати ресурси RE Data Explorer та The New European Wind Atlas. Згідно з даними RE Data Explorer, середня швидкість вітру на висоті 100 м для Тернопільської області варіюється від 6 до 8 м/с.

Відповідно до даних ресурсу The New European Wind Atlas [34], для міста Тернопіль сформовано вертикальний профіль вітру, згідно з яким на різних висотах середньорічна швидкість вітру така: на висоті 50 м – 5,33 м/с ($\pm 1,47$ м/с), на висоті 75 м – 5,88 м/с ($\pm 1,63$ м/с), а на висоті 100 м – 6,33 м/с ($\pm 1,79$ м/с) (рис. 3.4).

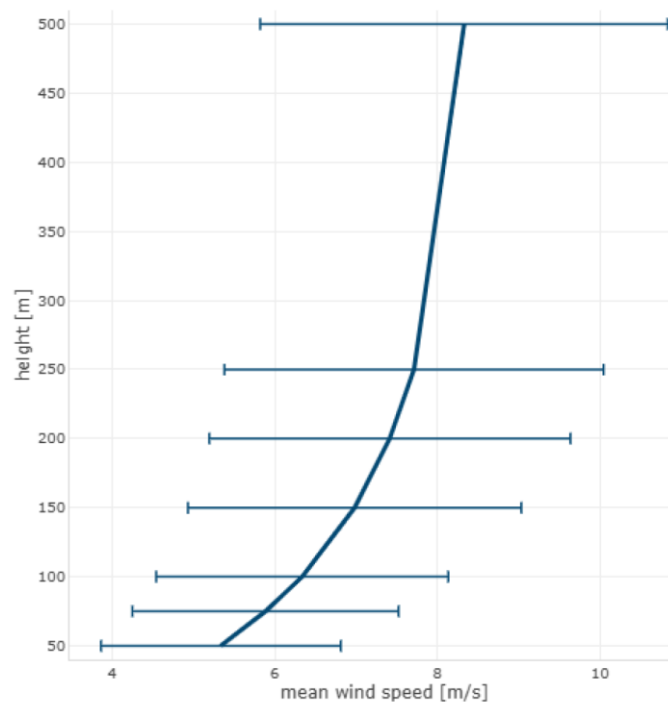


Рис. 3.4. Вертикальний профіль вітру для м. Тернопіль [34]

Під час планування інвестиційних проєктів з вітрової енергетики важливо враховувати не лише вітрові ресурси, а й екологічні обмеження, що можуть вплинути на реалізацію проєкту. Зокрема, при виборі ділянок для вітрових електростанцій потрібно проводити точні заміри показників вітру на конкретних ділянках, оскільки дані з відкритих ресурсів можуть бути лише початковим етапом для оцінки потенціалу ділянки.

Крім того, необхідно враховувати наявність природно-заповідних територій, об'єктів Смарагдової мережі, прибережних захисних смуг та житлової забудови поблизу майбутніх вітрових електростанцій. У разі наявності таких обмежень може бути необхідно адаптувати проєкт чи обрати інші ділянки для будівництва.

Згідно з даними на 1 січня 2023 року, показник заповідності в межах Тернопільської області становив 8,95%. Для більш детальної оцінки природно-заповідних територій в області була розроблена інтерактивна карта природно-заповідного фонду, яка надає дані щодо характеристик мережі об'єктів природно-заповідного фонду у розрізі територіальних громад області. Це дозволяє більш точно планувати розташування вітрових електростанцій, мінімізуючи їхній вплив на охоронювані природні території.

З межами об'єктів Смарагдової мережі можна ознайомитись на сайті Emerald Network – General Viewer. Зокрема, до об'єктів Смарагдової мережі в Тернопільській області відносяться: «Dnistrovskyi Kanion National Nature Park (SiteCode: UA0000122), Lower Seret river valley (SiteCode: UA0000355), Berezhanske Opillia (SiteCode: UA0000190), Pidhaietskyi Regional Landscape Park (SiteCode: UA0000188), Seretskyi (SiteCode: UA0000189), Ikva river valley in Ternopil region (SiteCode: UA0000344), Kremenetski Hory National Nature Park (SiteCode: UA0000159), Surazka Dacha (SiteCode: UA0000250), Borsuky (SiteCode: UA0000231)» [15, с. 272].

Також слід враховувати відстань до житлової забудови. Рекомендовано, щоб було не менше 700 м [15].

Тернопільська область дійсно має сприятливі умови для розвитку відновлюваної енергетики, зокрема вітрової енергетики. Північна частина області є найбільш перспективною для будівництва вітрових електростанцій завдяки сприятливим кліматичним умовам, зокрема високій середньорічній швидкості вітру. Оцінка вітрових ресурсів та картування кліматичних чинників допомагає визначити найкращі ділянки для встановлення вітрових турбін, що є важливим етапом у плануванні таких проєктів.

Однак, при плануванні вітрових електростанцій необхідно враховувати не тільки кліматичні чинники, але й екологічні обмеження. Це включає наявність природно-заповідних територій, охоронюваних екосистем, а також близькість до житлових зон. Врахування цих факторів дозволяє зменшити вплив на навколишнє середовище і уникнути негативних наслідків для природи та людей.

Висновки до розділу 3

Перспективи комплексного використання вітроенергетичних установок на рівні західного регіону України є надзвичайно актуальними, оскільки цей регіон має значний потенціал для розвитку відновлюваної енергетики, зокрема вітрової енергетики.

Львівська та Тернопільська області мають реальні передумови для впровадження комплексних рішень у сфері вітроенергетики, як на рівні великих проєктів, так і для локального використання. Головними перевагами є природний ресурс, інфраструктура, децентралізація управління та соціальний запит на енергетичну незалежність. За умов стратегічного планування, підтримки інвесторів і врахування екологічних факторів, ці області можуть стати прикладом ефективної реалізації потенціалу вітрової енергетики в Україні. Оцінка вітроенергетичного потенціалу та можливостей для інтеграції вітрових установок у енергетичну систему регіону може сприяти забезпеченню енергетичної безпеки, розвитку місцевої економіки, зниженню екологічних ризиків.

ВИСНОВКИ

Геоінформаційний моніторинг є потужним інструментом для комплексного спостереження та аналізу змін у різних середовищах і на різних рівнях. Його ведення забезпечує ефективне управління територіями, запобігання ризикам, охорону довкілля та сталий розвиток. Такий моніторинг дозволяє отримувати актуальні дані про стан об'єктів у просторі та часі, виявляти закономірності їх змін і приймати обґрунтовані рішення в управлінні. Застосування сучасних ГІС-технологій і супутникових даних робить моніторинг більш точним, оперативним та доступним.

Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі обумовлюються поєднанням глобальних кліматичних викликів, технологічного прогресу, політичної волі та економічних можливостей окремих країн. У світі відновлювана енергетика активно зростає, особливо в останні десятиліття. Основними джерелами ВДЕ є сонячна, вітрова, гідроенергія, біоенергетика та геотермальна енергія. Перехід до «зеленої» енергетики став одним із пріоритетів світової спільноти, зокрема в межах боротьби зі зміною клімату, зниженням залежності від викопного палива та забезпеченням енергетичної безпеки. У світовому масштабі ВДЕ перетворюються на основу майбутньої енергосистеми, яка має бути сталою, безпечною і вуглецево нейтральною.

Україна має значний потенціал для розвитку ВДЕ завдяки природно-кліматичним умовам, географічному положенню та наявності земельних ресурсів. Проте розвиток ВДЕ в країні має як позитивні здобутки, так і системні виклики. В Україні, попри кризові явища та виклики війни, галузь має великий потенціал для відновлення й розвитку, особливо в напрямі децентралізації, зеленої модернізації та інтеграції в європейський енергетичний простір.

Інструменти моніторингу стану та розвитку відновлюваної енергетики в Україні охоплюють сукупність цифрових платформ, баз даних,

геоінформаційних систем, нормативно-інформаційних ресурсів, а також аналітичних і статистичних звітів, які забезпечують відстеження динаміки розвитку галузі, ефективність роботи об'єктів ВДЕ та прийняття стратегічних рішень.

Інструменти моніторингу ВДЕ в Україні охоплюють як державні платформи, так і незалежні ресурси, що дозволяють відстежувати динаміку розвитку відновлюваної енергетики на різних рівнях. Важливою тенденцією є цифровізація та відкритість даних, інтеграція ГІС і супутникового моніторингу, що робить енергетичну сферу більш прозорою, керованою та орієнтованою на стале зростання.

Застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу територій є важливим етапом у процесі планування та розвитку вітрової енергетики. Використання ГІС дозволяє ефективно оцінити можливості для встановлення вітрових електростанцій, враховуючи природні умови, географічні особливості та економічні фактори. Завдяки геоінформаційним технологіям можна отримати точні дані для вибору найкращих місць для розташування вітрових турбін, що сприяє оптимізації інвестицій та підвищенню ефективності використання ресурсів. Застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу є ключовим інструментом для ефективного використання вітрових ресурсів на різних територіях. ГІС дозволяють не лише оцінити потенціал території, а й оптимізувати проектування та розвиток вітрових електростанцій, знижуючи ризики та максимізуючи ефективність. Застосування таких технологій дозволяє Україні та інших країн забезпечити стале та економічно вигідне використання відновлюваних джерел енергії.

Перспективи комплексного використання вітроенергетичних установок на рівні західного регіону України є надзвичайно актуальними, оскільки цей регіон має значний потенціал для розвитку відновлюваної енергетики, зокрема вітрової енергетики.

Зокрема, Львівська та Тернопільська області мають потенціал для впровадження вітроенергетики як на рівні великих проєктів, так і для локального децентралізованого енергозабезпечення. Львівська область має сприятливі вітрові умови, особливо в її південно-західній частині (передгір'я та Карпати). Середньорічна швидкість вітру тут може досягати 5,5-7 м/с на висоті 100 м, що є економічно доцільним для встановлення сучасних вітрових турбін. Тернопільська область, розташована на Подільській височині, має менш інтенсивні, але стабільні вітрові потоки (в межах 4,5-6 м/с), що підходить для малих і середніх вітроенергетичних установок, зокрема для аграрних господарств, кооперативів та територіальних громад.

Львівська та Тернопільська області мають реальні передумови для впровадження комплексних рішень у сфері вітроенергетики, як на рівні великих проєктів, так і для локального використання. Головними перевагами є природний ресурс, інфраструктура, децентралізація управління та соціальний запит на енергетичну незалежність. За умов стратегічного планування, підтримки інвесторів і врахування екологічних факторів, ці області можуть стати прикладом ефективної реалізації потенціалу вітрової енергетики в Україні.

Однак для реалізації цих перспектив необхідно вирішити низку проблем, зокрема політичну стабільність, технічні питання підключення до енергосистеми, екологічні обмеження та соціальні аспекти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акименко О., Костюченко І. Перспективи впровадження альтернативних джерел енергії як крок до міжнародного співробітництва. *Проблеми та перспективи економіки та управління*. 2020. Вип. 4(24). С. 43-50.
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
3. Барна І. М., Софінська О. Регіональні тренди глобальної зміни клімату на території Тернопільської області. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. 2022. №1 (52). С. 43-50.
4. Беліков А. С., Колесник І. О., Тищенко О. М., Смирнов Є. Д. Застосування нетрадиційних джерел енергії для забезпечення безпеки життєдіяльності об'єктів України. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2025. № 1(025). С. 25-30.
5. Білявський М.Л. Орієнтири розвитку альтернативної енергетики до 2030 року. Центр Разумкова, 2020. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/oriientyry-rozvytku-alternatyvnoi-energetyky-ukrainy-do-2030r>
6. Географія Тернопільської області : монографія : в 2-х т. Т. 1. Природні умови та ресурси. 2-е вид., перероблене і доповнене. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка : Осадца Ю. В., 2020. 520 с.
7. Донченко М. В., Коваленко І. І. Геоінформаційні системи: навч. посібник. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 132 с.
8. Земельний кодекс України : Кодекс України від 25.10.2001 р. № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#n1833>
9. Капустян В., Параніч А. Моделювання енергетичного розвитку в умовах післявоєнного відновлення. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 44. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1810/1746>

10. Колб І. З. ГІС-технології в аналізі проектів розвитку вітрової енергетики на Прикарпатті. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2014. Вип. 80. С. 79-90.
11. Колб І., Процик М., Андріюк В., Ворон Н. Про застосування геоінформаційних технологій при оцінці вітроенергетичного потенціалу. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2009. Вип. 71. С. 180-185.
12. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії: підручник / С. М. Бойко, І. О. Сінчук, О. А. Жуков, О. І. Савицький; під ред. доктора технічних наук, професора О. М. Сінчука. Кривий Ріг: ПП Щербатих О. В., 2021. 204 с.
13. Лазоренко Н. Ю., Кінь Д. О. Геоінформаційний моніторинг: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2024. 87 с.
14. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А., Лопушанська Ю. Р., Циганок Л. В., Башинська Ю. І., Вижва А. М., Доманський А. С. Географічні чинники розвитку відновлюваної енергетики у Львівській області. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: матеріали Дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції (7-11 жовтня 2024 р., м. Львів)*. Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). Київ: ДКЗ, 2024. С. 625-630.
15. Лопушанська М. Р., Лопушанський О. М., Циганок Л. В., Башинська Ю. І., Доманський А. С., Лук'яненко Ю. О. Геоінформаційний аналіз кліматичних чинників розвитку вітрової енергетики в Тернопільській області. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Том 9. № 4. С. 269-273.
16. Лутчин О., Осташова А. Статистичний інструментарій моніторингу стану та розвитку відновлюваної енергетики в Україні. *Вісник Львівського університету. Серія економічна*. 2023. Вип. 65. С. 1-8.
17. Осадчий В. І., Скриник О. Я., Ошурок Д. О., Скриник О. А. Вітрові ресурси Тернопільської області. *Геоінформатика*. 2017. № 4. С. 50-61.

18. Офіційний сайт компанії LAZARD. Levelized Cost of Energy+. 2020.
URL: <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus/>
19. Патракеєв І. М., Денисюк Б. І. Теоретико-множинний підхід до формалізації основних елементів геоінформаційного моніторингу. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. Вип. 70. С. 465-480.
20. Приходько І., Ігнатишин В., Приходько Ю. Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 62. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3936>
21. Про Державний земельний кадастр : Закон України від 07 липня 2011 р. № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>
22. Про затвердження Положення про державний моніторинг навколишнього природного середовища: Постанова КМУ від 30.03.1998 р. №391. URL: https://ips.ligazakon.net/document/kp980391?ed=2006_05_25
23. Про затвердження Положення про набори даних, які підлягають оприлюдненню у формі відкритих даних: Постанова КМУ від 21.10.2015 р. № 835. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP150835>
24. Про Національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13.04.2020 р. № 554-IX. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T200554>
25. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T126400>
26. Про природно-заповідний фонд України: Закон України від 16.06.1992 р. № 2456-XII. URL: https://ips.ligazakon.net/document/t245600?ed=2021_07_15
27. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 17.02.2011 р. № 3038-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>

28. Про схвалення Концепції Державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля: Розпорядження КМУ від 07.07.2023 р. №610-р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MN027070>
29. Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність: Закон України від 23.12.1998 р. № 353-XIV. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T980353>
30. Свинко Й. М. Нарис про природу Тернопільської області: геологічне минуле, сучасний стан. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2007. 192 с.
31. Управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної державної адміністрації. URL: <https://ecology.te.gov.ua/prirodno-zapovidnij-fond/opisovi-harakteristiki-pzf/#l-opisovi-harakteristiki-pzf>
32. Enerdata. URL: <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
33. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/vre-share-in-annualelectricity-generation-in-selected-countries-2016-2022>
34. The New European Wind Atlas. URL: <https://map.neweuropeanwindatlas.eu/>
35. Tugcu C., Ozturk I., Alper A. Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: Evidence from G7 countries. *Energy Economics*. 2012. Volume 34. Issue 6. P. 19-42.