

УДК 528.92

І. З. КОЛБ

Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. Карпінського 6, Львів, Україна, 79013, тел. +38(032)2582616, ел. пошта i_kolb@ukr.net

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ В АНАЛІЗІ ПРОЕКТІВ РОЗВИТКУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ПРИКАРПАТТІ

Мета. Серед інвестиційних проектів, пов’язаних з розвитком економіки в регіонах, особливу увагу привертають проекти, які передбачають відведення значної кількості земель, цінних з огляду на їхній екологічний стан, високий рекреаційний ресурс чи інші обставини. Саме до таких типів проектів належать програми розвитку вітрової енергетики. Актуальною є проблема оцінювання якості проектування вітрових парків з урахуванням існуючих ландшафтно-кліматичних умов. **Методика.** Для вирішення означеної проблеми пропонується застосувати методи геоінформаційного моделювання та аналізу. Обґрунтуванням параметрів, з якими застосовуються програмні інструменти має бути аналіз літературних джерел, описано вплив на людину і довкілля вітрових енергетичних установок (ВЕУ), а також умови виникнення так званого “промислового вітру”, необхідного для їхньої роботи. **Результати.** Наведені результати дослідження вказують на можливість ефективного, науково обґрунтованого застосування ГІС для аналізу проектів розміщення вітропарків. Подання результатів просторового аналізу в вигляді карт наглядно демонструє всі переваги та недоліки проектів. На прикладі проекту вітрового парку в Турківському районі Львівської області показано можливість виявлення проблем у просторовому розташуванні вітрових енергетичних установок (ВЕУ). **Наукова новизна.** Вперше з погляду геоінформатики проаналізовано комплекс вимог до просторового розташування ВЕУ як у відношенні до використання місцевих кліматичних умов, розміщення вітрових енергетичних установок щодо елементів ландшафту, так і у дотриманні санітарно-гігієнічних рекомендацій щодо відстаней до місць постійного перебування людей. Виконано геоінформаційне дослідження проекту вітропарку великої потужності в конкретних кліматичних і ландшафтних умовах Прикарпаття. **Практична значущість.** Отримані результати дослідження можуть мати важливе значення під час презентування проектів як громадськості, так і фахівцям для прийняття інвестиційних рішень. Подані у статті методи аналізу можна застосувати щодо проектів регіональних і місцевих програм розвитку вітрової енергетики.

Ключові слова: вітрова енергетика, вітрова енергетична установка (ВЕУ), розташування вітрових енергетичних установок, геоінформаційна система (ГІС), ГІС-технології, ArcGIS.

Вступ

Геоінформаційні технології широко застосовуються в галузі просторового моделювання та аналізу стану територій. Крім вже традиційних завдань картографування, сучасні програмні засоби геоінформаційних систем (ГІС) роблять можливим ефективне вирішення задач комплексної оцінки факторів екологічного ризику, моніторингу небезпечних явищ, оцінювання і прогнозування антропогенного навантаження на екосистеми різного рівня локалізації, формування моделей для еколого-економічного менеджменту територій.

Особливо важливим є застосування створюваних у ГІС цифрових моделей територій для оцінки потенційного впливу на стан ландшафту проектованих об’єктів інфраструктури та еконо-

міки, які мають просторове поширення і займають значущі площини. Такі оцінки добре відображаються у вигляді карт, схем і легко сприймаються глядачами. Це важливо, бо законодавством здебільшого передбачено попереднє ознайомлення громадськості з потенційними перевагами та ризиками впровадження того чи іншого інвестиційного проекту на території адміністративних одиниць різного порядку. Особливу увагу привертають проекти, які передбачають відведення значної кількості земель, що можуть мати цінність з огляду на їхній екологічний стан, високий рекреаційний ресурс чи інші обставини.

Мета

У цій статті наведено деякі результати застосування методів геоінформаційного аналізу для

вивчення умов та прогнозування можливих наслідків впровадження великого інвестиційного проекту в гірських районах Львівщини, який передбачає будівництво вітрових енергопарків великої потужності. Складність такого завдання полягає у відсутності чітких рекомендацій (наприклад, сформульованих у вигляді вимог нормативних документів) щодо оптимального розміщення вітрових енергетичних установок (ВЕУ) на території. В літературі великую увагу відведено на оцінку метеорологічних умов виникнення і ефективного використання так званого "промислового вітру". Натомість, немає методик просторового аналізу факторів впливу ВЕУ на екосистему (зокрема, на місця постійного перебування людей), принципи формування оцінок проектів розбудови вітропарків з погляду відведення земель.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Використання ГІС для відбору майданчиків для будівництва ВЕУ

Відомі приклади ГІС, які спеціалізуються на наданні прогнозу ефективності того чи іншого проекту вітропарків і оперують з топографічними, кліматичними та економічними даними [A. Lopez, B. Roberts, D. Heimiller, 2012; Wind GIS Data Layer, 2014; Solar and Wind Resource Map, 2011; Wind Energy and Landscape, 1997]. Ці системи працюють з цифровими моделями територій різного охоплення та даними різного просторового та тематичного розрізнення. В Україні, як і в інших країнах, постійно досліджають та уточнюють кількісні параметри енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії. Результати подають у вигляді картографічної інформації та атрибутивної бази даних [Renewable Energy Atlas of Vermont, 2014; Атлас енергетичного потенціалу, 2007; Макеєва, Костенко, Кольчик., 2006; Шкляев, Шкляева, Баскевич, 2001; Эристави, Геловани, Лобжанидзе и др., 2005; Атлас ветров России, 2000].

Проте, оцінка локальних ділянок місцевості, ґрунтуючись на генералізованих кліматичних картах національного чи регіонального охоплення (побудованих на основі показів метеостанцій, значно віддалених від досліджуваної

ділянки), безперечно призведе до наближених висновків. Для уточнення цих оцінок необхідне врахування особливостей рельєфу та топографії місцевості в околі кількох кілометрів від оцінюваної ділянки. Тільки так можна оцінити можливості формування місцевих повітряних потоків, що діють на невеликих висотах. Отже, для обґрунтованої оцінки процесів просування вітрових потоків над земною поверхнею необхідно мати доволі детальні (високого розрізнення) картографічні матеріали. Робочим інструментом для прийняття рішень може і повинна бути геоінформаційна система, а основним інформаційним ресурсом – цифрова топографічна карта великого масштабу та дані вітрової розвідки.

Умови зміни швидкості вітру залежно від типу рельєфу і підстильної поверхні наведено в багатьох працях, зокрема в роботі [Швець, 2006] приводяться емпірично отримані коефіцієнти гальмування чи прискорення вітрового потоку на рівнях як мезо-, так і мікрорельєфу. Дослідження умов розміщення вітroteхніки наведено в працях [A. Lopez, B. Roberts, D. Heimiller, 2012; Wind GIS Data Layer, 2014; Solar and Wind Resource Map, 2011; Wind Energy and Landscape, 1997; Атлас, 2007; Макеєва Д. А., Костенко В. К., Кольчик А. Е., 2006; Клімат Львова, 1998]. Комплексний підхід для обґрунтування місця спорудження ВЕУ зосереджує увагу на якості оцінки локальних особливостей території (рельєфу та топографії насамперед), які можуть сприяти великій швидкості та сталості напрямку вітру, а отже, і збільшенню його потенційної енергії. Наявні методики оцінки вітрової енергії побудовано на таких положеннях:

- 1) енергія вітру залежить від шорсткості поверхні землі, тобто наявності в певній близькості будівель, високої рослинності, інженерних споруд;

- 2) енергія вітру залежить від локальних форм рельєфу, які викликають гальмування або пришвидшення вітрового потоку.

Тому, потенційно найвдалішими для розташування ВЕУ є території з такими характеристиками:

- велика середньорічна швидкість вітру;
- відсутність високих перешкод з підвітряного боку;

- пласка вершина нагір'я з відлогими схилами на рівнині, мілководді чи острові;
- гірська тунелеподібна ущелина.

Зазначимо приклад, наведений у роботі де Мерса [M. De Mers, 1999], в якій запропоновано виконати пошук плоских територій, або територій з ухилем, просторово зорістованих за напрямком вітрового потоку за умови відсутності в певному околі перешкод (будівель чи дерев) [M. Pasqualetti, P. Gipe, R. Righter, 2002].

Аналіз згаданих вище і низки інших публікацій, проте, демонструє деяку схильність дослідників до деталізації метеорологічних параметрів та надмірного узагальнення оцінок, які стосуються рельєфу та топографії територій. Так, параметр “шорсткість підстилаючої поверхні” пропонується оцінювати добором коефіцієнта в діапазоні значень від 0 до 1, з урахуванням топографії району. Деталізований підхід передбачає розрахунок зон затінення вітру конкретними об'єктами місцевості та буферних зон, що обмежують зони можливої турбулентності повітря.

Ми раніше спробували побудувати алгоритм застосування цифрової карти місцевості та інструментів просторового моделювання для визначення оптимальних за топографією місцевості ділянок для детальнішого метеорологічного вивчення, і прийняття рішення про спорудження ВЕУ в середовищі інструментальної ГІС [Колб, Процик, Андріюк, Ворон, 2009].

Важливим етапом у проектуванні місць розташування ВЕУ є відстежування та врахування прояву так званих “місцевих” вітрів, особливо в гірських районах, де відбувається часто зміна моделей погоди.

Вітровий енергетичний потенціал у гірських районах Карпат на Львівщині вважається доволі високим для промислового використання, хоч оцінка на основі метеорологічних даних є неоднозначною. Напрямок вітру на цих територіях визначається загальною орієнтацією хребтів Карпат і простяганням річкових долин. Тому для гірських районів характерні “орографічні” рози вітрів. Вплив долин проявляється в переважанні одного чи двох протилежних напрямків. Добовий хід швидкості вітру відзначається чітко вираженою сезонністю і значною амплітудою. В літні місяці протягом доби

спостерігається різниця швидкості вітру в 5–10 разів (смт Славське, м. Самбір). В холодний період року різниця в швидкостях вітру в різні години доби не перевищує 1,5–2 рази. Сильні вітри із швидкістю 15 м/с спостерігаються від 2 в смт. Славське, 12 – в м. Турка, 21 – в м. Дрогобич, і до 45 (смт Мостицька) разів у рік. Важливе значення мають дані про повторюваність штилів (безвітряної погоди) та про періоди із швидкостями вітру меншими, ніж мінімальна швидкість, за якої можлива робота двигуна (вітрове затишня). Так, на метеостанції Славське, що розміщена в вузькій поперечній долині, повторюваність штилів дуже висока – 40–50 %. Усереднена характеристика швидкості вітру в Прикарпатті і в Карпатах 7,4 м/с взимку та і 4,6 м/с влітку. Для визначення швидкості вітру в Карпатах використовують тільки дані станцій Пожижевського, Полонина і Плай. Дані метеостанцій, які знаходяться в долинах або у міжгірському пониженні, показують дуже великий процент слабких вітрів з швидкістю до 5 м/с (Турка і Славське – відповідно 85,9 і 93,8 %), тоді як для рівнини – до 75 % (Мостицька) [Атлас енергетичного потенціалу, 2007; Сила вітру Львівської області, 2012]. Загалом подані дані свідчать про наявність промислового вітру для Турківського, Старо-Самбірського, Сколівського та Дрогобицького районів.

Самі вітрові турбіни відхиляють і розсіюють потік повітря під час проходження його через вітрове колесо. Отже, наступну башту можна ставити на певний, інколи доволі значний відстані від попередньої, і бажано не в створі вітрового потоку. Це суттєво збільшує розмір ділянки вітрового парку і призводить до нерационального використання земель. Як правило, в вітропарках турбіни розташовують між 5 і 9 діаметрами ротора один від одного в напрямку переважаючого вітру, і від 3 до 5 діаметрів один від одного в напрямку, перпендикулярному до панівного вітру. В Швеції проведені випробування в аеродинамічній трубі для визначення мінімально допустимої відстані між вітровими колесами ВЕУ, необхідної для усунення їхнього взаємного затінення. Встановлено, що така відстань повинна становити від 6 до 12 діаметрів вітрового колеса. Для розрахунку швидкості вітру за наявності

перешкод у мережі Інтернет доступні кілька варіантів програм. За заданої сили вітрового потоку, типу, висоти та лінійного розміру перешкод вони розраховують і відображають на карті зону, в межах якої відбувається затінення вітру. Це такі ресурси, як <http://newenergy.org.cn/english/guide/calculat.htm> та <http://www.awstruepower.com>.

Вплив вітрових електростанцій на довкілля. Вітрові установки виробляють електроенергію практично без хімічного забруднення довкілля, але вплив на нього мають: відведення під будівництво значних територій та зміна ландшафту, шумові ефекти, радіоперешкоди тощо. Нижче наведено основні фактори впливу вітрових установок на навколошнє середовище та середовище перебування людей.

Перш за все, робота ВЕУ несприятливо впливає на *роботу радіо- та телемереж*. За наявними даними, вітрова енергетична установка потужністю 0,1 МВт може спотворювати телевізійні сигнали на відстані до 0,5 км.

Найбільшу кількість повідомлень у пресі та спеціальній літературі під час оцінювання роботи ВЕУ мають дослідження генерованого ними *шуму*. Причому шуми поділяють на інфразвук та шум, який безпосередньо сприймає людина та інші живі істоти. Американські та французькі дослідники однозначно вказують, що ВЕУ є джерелом досить інтенсивного інфразвукового шуму, що несприятливо діє на організми людей і тварин, птахів і комах. Результати інших досліджень заперечують негативний вплив на життя людей та існування тварин створюваного вітровими електростанціями шуму, зокрема й інфразвукових хвиль. Цей факт стверджується Асоціацією точної механіки й електроніки на запит Федеральної служби здоров'я у Німеччині, яка підняла питання про вплив інфразвуку на людей. Під час вимірювань сили звуків низької частоти (до 20 Гц) за швидкості вітру 7–8 м/с на відстані 600 м до вітрової електростанції ENERCON E-40 не було зареєстровано жодних випромінюваних електростанцією інфразвуків.

Проблема зменшення шумів розв'язується шляхом розташування вітроустановок на значних відстанях (допустимих за рівнем шуму – 40–50 дБ) від житла. У літературі наївводять

узагальнені рекомендації, що відстань від вітроагрегату до житла чи інших місць три-валого перебування людей має становити 250 м. Данська асоціація виробників вітрової енергії (www.Windpower.org) вказує на дотримання відстані не менше ніж 7 діаметрів ротора або 300 м (1000 футів). На сайті цієї Асоціації є спеціальна програма для розрахунку рівня шуму від вітряка на різних дистанціях. Результат подається як растроva карта.

Вітрові турбіни і навколошній пейзаж.

Вітрові турбіни завжди є найвищими елементами у ландшафті. Вони створюють певний рисунок, який спотворює природний вигляд. Передовсім це стосується будування вітрових парків з регулярною структурою розміщення вітряків. Такий геометричний візерунок легко сприймається глядачем в урбанізованому, а не в природному ландшафті. Крім того, використання сірої фарби контрастує з зеленими відтінками природи і явно не асоціюється як місце рекреації. З естетичного погляду великі вітрові турбіни мають певну перевагу в ландшафтному плануванні, оскільки вони зазвичай мають нижчі швидкості обертання турбіни і тому не притягають погляд спостерігача на відміну від швидко рухомих об'єктів.

Сприйняття людьми вітрових турбін у пейзажі значною мірою є справою особистого смаку. Численні дослідження в Данії, Великобританії, Німеччині та Нідерландах показали, що люди, які живуть поблизу вітряних турбін, як правило, більше сприймають їх, ніж міські жителі. Можна знайти детальнішу інформацію про такого роду дослідження в джерелах [Wind Energy and Landscape, 1997; M. Pasqualetti, P. Gipe, R. Righter, 2002; Ставлення суспільства до енергії вітру, 2006–2013; Presentations by Paul Gipe, 2011–2013].

Фактором, який може спричинити негативний вплив на людей, що перебувають біля ВЕС, є також мерехтіння (коливання яскравості світла), що створюється відбиттям сонячних променів від рухомих лопатей вітрового колеса. За частоти спалахів 5–10 Гц зорова реакція може проявлятись у вигляді кольорових плям, рухомих фігур (стробоскопічний ефект), що є небезпечною для здоров'я людини загалом, і особливо – під час виконання роботи, яка

потребує зосередженості. Ці ефекти спостерігаються на відстані до кількох кілометрів від ВЕУ.

Сьогодні нормативними документами санітарного законодавства не визначено санітарно-захисні зони або безпечні відстані для ВЕС. На підставі досліджень українськими вченими обґрунтовано встановлення захисної зони розміром 700 м для ВЕУ потужністю 2–3 МВт [Кірсєва І. С. та інші, 2012].

Проте, головний недолік цього способу добування енергії – *це низька інтенсивність використання земель*. За повідомленнями в літературі слідує, що оптимальним для вітрового колеса є діаметр 100 м. За таких геометричних розмірів і щільноті енергії на одиницю площині вітрового колеса 500 Вт/м² (швидкість вітру 9,2 м/с) з вітрового потоку можна отримати електричну потужність близьку до 1 МВт. На площині 1 км² можна розмістити 2–3 установки вказаної потужності з урахуванням того, що вони повинні знаходитися одна від іншої на відстані, що дорівнює трьом їхнім висотам, аби не знижувати ефективності своєї роботи. З території площею 1 км² можна зняти 3 МВт електричної потужності. Це означає, що для розміщення вітрової станції електричною потужністю 1 ГВт потрібна площа 330 км², що на 2 порядки перевищує площину, займану АЕС такої самої потужності.

Перспективи розбудови вітрових електростанцій у Прикарпатському регіоні

Курс на розвиток альтернативної енергетики підтверджують чинні в Україні закони та постанови уряду [Закон України “Про альтернативні джерела енергії”, 2003; Енергетична стратегія України на період до 2030 р., Про Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики, 1997; Про Комплексну програму будівництва вітрових електростанцій, 1997], а також регіональні програми розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Нині на території Львівської, Закарпатської, Івано-Франківської областей діє низка ініціатив, метою яких є використання власних енергносіїв, підготовка конкретних інвестиційних пропозицій щодо встановлення вітрових елект-

ростанцій. Розвиток вітрових електростанцій у Карпатському регіоні визначається низкою Програм із залученням приватних інвестицій. У цей час ці Програми проходять експертну оцінку у визначених законодавством України інстанціях та громадське обговорення. У 2012–2013 роках французькі компанії Бетен Інтернешнл та Валорем презентували інвестиційний проект будівництва сучасної вітрової електростанції потужністю 10 МВт на території Дрогобицького району. У майбутньому такі станції планують збудувати на території кількох районів Львівщини та Івано-Франківщини [Програма розвитку вітрової енергетики на території Турківського району Львівської області на 2012–2018 роки, 2011; Про затвердження районної програми розвитку вітрової енергетики на території Рожнятівського району на 2012–2015 роки, 2012; Програма розвитку вітрових електростанцій на території Тлумацького району на 2011–2015 роки, 2011].

Діє Програма розвитку вітрової енергетики на території Турківського району на 2011–2018 роки [Програма..., 2011], мета якої – реалізація комплексу заходів з дослідження вітрового потенціалу, проектування та будівництва мережі промислових вітрових електростанцій.

Проект “Карпатська ВЕС”, планована потужність 30 МВт. Ділянка ВЕС розташована на південь від м. Турка за межами сіл Мельничне, Завадівка, Ільник, смт Бориня. Це гірський масив загальною площею 185 га в межах земель запасу Турківського району. Планується розмістити 12 вітрових турбін потужністю 2,5 МВт кожна.

Проект “Вовчанська ВЕС”. Майданчик № 1: планована потужність 40 МВт, за межами с. Вовче та с. Шумяч. Майданчик № 2: планована потужність 40 МВт, за межами сіл Вовче, Жукотин, Лімна. Ділянка ВЕС розташована на північний захід від м. Турка. Це гірський масив загальною площею 120 га. Ділянка визначена в межах земель запасу Турківського району і розміщена на гірському хребті завдовжки 12 км. Ділянка із заходу та півдня обмежена с. Вовче, з півночі територіями Розлучської та Явірської сільрад. Загальна площа ділянки становить 120 га і дає можливість розмістити 16 вітрових турбін потужністю 2,5 МВт кожна.

Проект “Ільницька ВЕС” планованою потужністю 30 МВт. Ділянка ВЕС розташована на південний схід від м. Турка в гірському масиві площею 78,5 га за межами сіл Ільник, Радич та Ясінка Степ'євого. Це землі запасу сіл Турківського району. Ділянка із заходу обмежена с. Лосинець, а з півдня шосейною дорогою в селі Радич, з південного сходу р. Стрий. Загальна площа ділянки, виділеної для проектування та будівництва ВЕС плановою потужністю 30 МВт, становить 78,5 Га і дає можливість розмістити 12 вітрових турбін потужністю 2,5 МВт кожна.

ТОВ “Еко-Оптіма” відібрано три майданчики для будівництва вітроелектростанцій. ВЕС “Старий Самбір-1” пропонується розмістити в східній частині міської території на гірському плато. ВЕС “Старий Самбір-2” буде розміщена в західній частині міської території і частково на землях селищної ради с. Стрільбище. Майданчик “Сколівська ВЕС” розташований на горі Орів, поблизу села Орів. На двох будівельних майданчиках у м. Старий Самбір планується встановлення 12 вітроагрегатів типу N100/2500 виробництва німецької компанії NORDEX, а на майданчику Сколівської ВЕС – 15 вітрових турбін аналогічного типу.

У Дрогобицькому та Турківському районах на Львівщині реалізується проект, який передбачає будівництво вітрових електростанцій загальною потужністю 50 МВт. Інвестором проекту є ТзОВ “Дрогобич Енерджі”, засновниками якого є компанії “Бетен Енженієрі” та “Валорем”. Загальний обсяг інвестицій становить близько 75 млн євро.

Методика

На основі викладеного вище аналізу літератури ми сформулювали завдання: оцінити якість одного з проектів вітропарку засобами геоінформаційних технологій. Для цього необхідно створити геоінформаційну модель території і зіставити з нею проектні дані вітропарку. Для проведення експерименту ми обрали вітропарк, що його згідно з програмою [Програма розвитку вітрової енергетики на території Турківського району Львівської області на 2012–2018 роки, 2011] планують спорудити в районі сіл Ільник та Радич у Турківському районі.

Для збору картографічних даних використано відкриті, загальнодоступні джерела. Безпосередньо моделювання виконувалось засобами програмного забезпечення ArcGIS. Об’єктивну оцінку сучасного стану досліджуваної території можуть дати космічні знімки високого просторового розрізнення. Ми використали знімки, які мають просторове розрізнення 1,6 м на місцевості. Для цифрового моделювання рельєфу території ми використали глобальне покриття висот земної поверхні DLR SRTM, яке поширюється в мережі Інтернет на порталі німецького аерокосмічного агентства DLR. Дані поширяються у вигляді наборів растрівських структур розміром 10 на 10 градусів по довготі і широті. Кожен растр у наборі має лінійні розміри 15 на 15 кутових мінут по довготі і широті.

Нами в програмі ArcMAP оцифровано карту вітрової розвідки (дані компанії “Валорем” 2012 року). Карта має оцінче значення і показана на рис. 1. Лініями рівня тут показано середньорічну швидкість вітру. За даними Турківської районної ради на карту нанесено райони, в яких будуть розміщуватись вітропарки. Всього їх запроектовано 5 (рис. 2).

Як видно з карти, три з запроектованих районів будівництва ВЕС розташовані у зоні порівняно сильних вітрів – 8,5–9,5 м/с, а інші два райони – в зоні вітрів 7–8 м/с.

Користуючись даними попереднього проекту розміщення ВЕУ, ми створили картографічний точковий шар розташування установок у районі сіл Ільник, Радич, Лосинець. Всього таких установок запроектовано 24 (рис. 3).

Дослідження просторових характеристик цього вітропарку передбачає оцінювання просторового розташування ВЕУ відносно таких елементів ландшафту, як рельєф, контури населених пунктів (місця, де перебування людей є постійним), а також лісових масивів, які створюють умовні перешкоди для поширення вітрового потоку.

Оцінка відносно рельєфу показує, що вітропарк розташовано на двох локальних гірських хребтах, уздовж вододільних ліній яких запроектовано будівництво ВЕУ. Ширина долини, розділяючої ці два хребти 900–1000 метрів. Глибина врізу – 110 метрів (рис. 4).

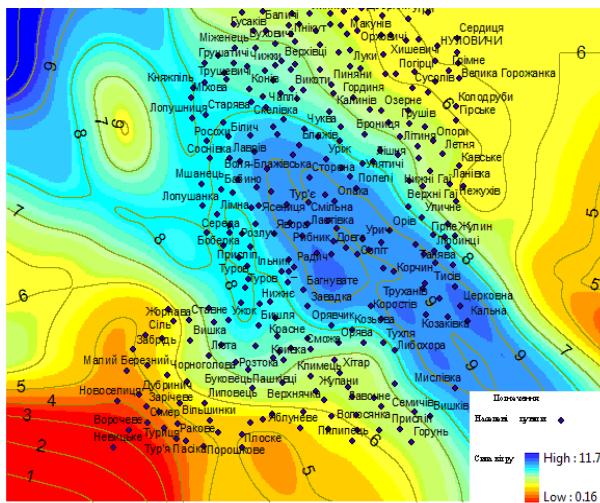


Рис. 1. Карта сили вітру в районі м. Турка–Сколе
Fig. 1. Map of wind power in the area Turkta-Skole

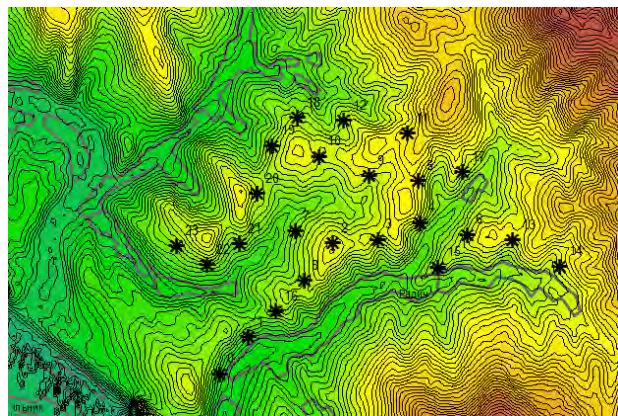


Рис. 4. Рельєф території вітрового парку.
Перетин горизонталями через 10 метрів
Fig. 4. Relief of the wind park territory.
The intersection contour 10 meters

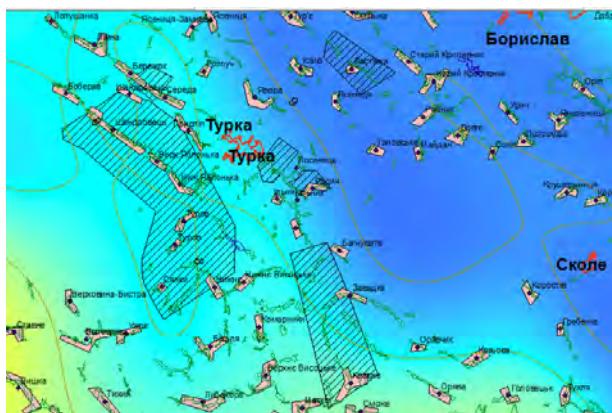


Рис. 2. Зони розміщення вітропарків
у Турківському районі
Fig. 2. Areas of placing wind farms in Turkva district

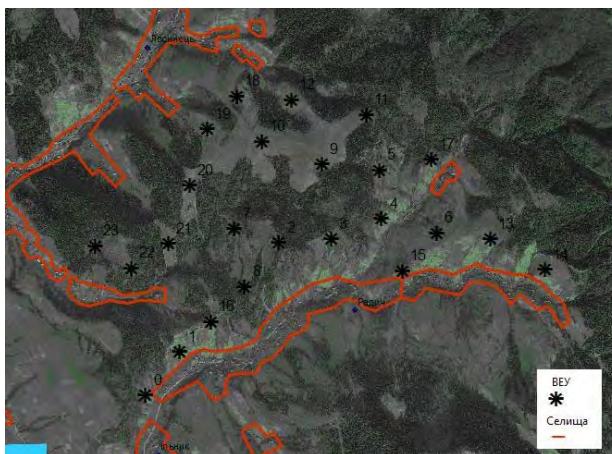


Рис. 3. Проект розташування ВЕУ в районі сіл
Ільник – Радич – Лосинець
Fig. 3. Project location of wind turbines near the
villages Ilnyk – Radych – Losynets

Ми створили карту експозицій схилів до панівних у цьому районі Північно-Західних вітрів. Навітряними будуть вважатись схили з експозицією 270–360 градусів. Враховуючи складність рельєфу, його високий спепінь пересченості (згідно з чинними положеннями Держкомзему – найвища, V категорія складності – гірська місцевість з ділянками неправильної форми, з криволінійними і нечітко вираженими в натурі межами), наявність з навітряного боку від ВЕУ лісових масивів сильно фрагментованих, неправильної форми, можна стверджувати, що ця ділянка не є сприятливою для рівномірного поширення вітрових потоків, на ній висока ймовірність виникнення турбулентності.

Аналіз розташування ВЕУ по експозиції показує, що деякі установки заплановано побудувати на закритих підвітряних схилах. Найбільше це стосується веж № 4, 10, 13, 22, 25 (рис. 5). Компенсувати таке невдале розташування веж можливо тільки збільшенням їхньої висоти, що значно спотворюватиме ландшафт.

Згідно з викладеним вище вимогами оцінка впливу шуму від працюючих ВЕУ високої потужності виконувалась шляхом побудови в ГІС мультибуферної зони.

Вплив шуму вважається несуттєвим за мінімальної відстані від установки 250 м.

Рекомендована відстань від вітрової установки великої потужності до ділянок з постійним перебуванням людей – 350 м. Гігієнічна зона, що визначає дію несприятливих умов для

людини – 700 м. Буферні зони відносно ВЕУ, побудовані за цими відстанями, показано на рис. 6.

Детальний аналіз цієї карти вказує на існування суттєвих недоліків у розташуванні ВЕУ і практично невідповідність проекту до гігієнічних норм, що висуваються. Більша частина житлових будинків у с. Радич потрапляє в зону прямого акустичного впливу ВЕУ (рис. 7). Бачимо, що розміщення більшості ВЕУ не відповідають навіть мінімальним рекомендаціям щодо їх розміщення відносно місць постійного перебування людей. Ситуація абсолютно неприйнятна, бо село Радич розташоване з навітряного боку від вітропарку, а це підсилює негативний вплив шуму.

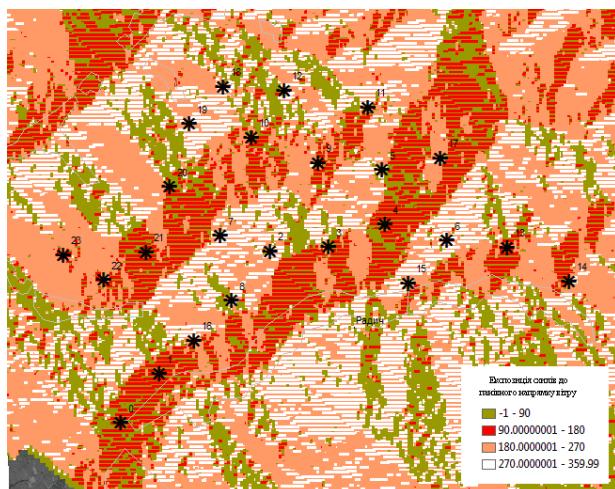


Рис. 5. Розташування ВЕУ на схилах різної експозиції до панівних Північно-Західних вітрів

Fig. 5. Location of wind turbines on the slopes of varying exposure to the prevailing north-westerly winds

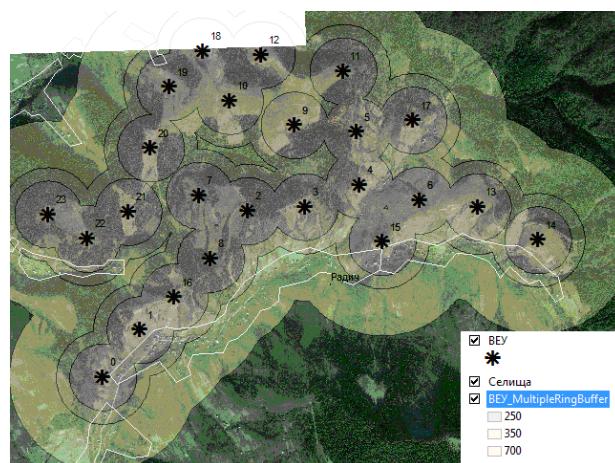


Рис. 6. Оцінка впливу шуму від ВЕУ

Розглянемо фактор взаємного розташування веж ВЕУ. Приймаючи діаметр вітрового колеса 50 м, сформуємо множинний буфер, що відповідає трьом, п'ятьом та дев'ятьом діаметрам вітрового колеса (150, 250 та 450 метрів відповідно, рис. 8).



Рис. 7. Оцінка впливу шуму від ВЕУ

на територію с. Радич

Fig. 7. Assessing the impact of noise from wind turbines to the territory of the village Radych

Як видно з рисунку, більшість ВЕУ за розташуванням відповідають тільки мінімальним вимогам. У багатьох випадках таке розташування буде неефективним – вітряки заважатимуть один одному, кидаючи вітрову тінь чи створюючи турбулентні потоки вітру.

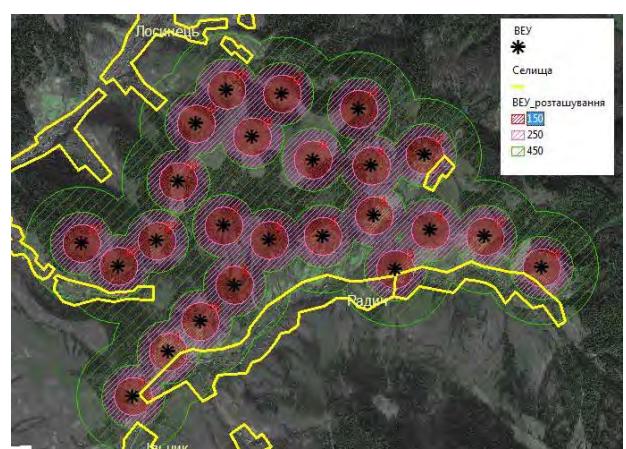


Рис. 8. Оцінка взаємного розташування ВЕУ

Fig. 8. Evaluation of the relative position
of wind turbines

Результати

Наведені результати дослідження вказують на можливість ефективного, науково обґрунтованого застосування ГІС для аналізу проектів розміщення вітропарків. Подання результатів просторового аналізу у вигляді карт наглядно демонструє всі переваги і недоліки особливості проектів. На прикладі проекту вітрового парку в Турківському районі Львівської області показано можливість виявлення проблем у просторовому розташуванні вітрових енергетичних установок.

Наукова новизна і практична значущість

Вперше проаналізовано комплекс вимог до просторового розташування ВЕУ як відносно використання місцевих кліматичних умов, розміщення вітрових енергетичних установок щодо елементів ландшафту, так і у дотриманні санітарно-гігієнічних рекомендацій щодо відстаней до місць постійного перебування людей. Виконано геоінформаційне дослідження проекту вітропарку великої потужності в конкретних кліматичних і ландшафтних умовах Прикарпаття. Отримані результати дослідження можуть бути важливішими під час представлення проектів як громадськості, так і фахівцям для прийняття інвестиційних рішень. Подані у статті методи аналізу можна застосувати щодо проектів регіональних програм з розвитку вітрової енергетики.

Висновки

Виконані нами дослідження вказують на можливість ефективного застосування ГІС для аналізу проектів розміщення вітропарків. Подання результатів просторового аналізу у вигляді карт наглядно демонструє всі переваги і недоліки проектів і може бути вирішальним під час представлення як громадськості, так і фахівцям для прийняття інвестиційних рішень.

Виявлено, що проект вітрового парку в районі сіл Радич–Лосинець має явно виражені проблеми у просторовому розташуванні як відносно використання місцевих кліматичних умов, розміщення вітрових енергетичних установок щодо елементів ландшафту, так і у дотриманні санітарно-гігієнічних рекомендацій щодо відстаней до місць постійного перебування людей. Тому, на нашу думку, цей проект потребує детальнішого опрацювання.

Наведені у статті методи аналізу можуть бути застосовані й до інших проектів регіональних програм з розвитку вітрової енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Ветроенергетика / Под ред. Д. де Рензо; пер. с англ. – М., Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
- A. Lopez, B. Roberts, D. Heimiller, N. Blair, G. Porro. U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis. Technical Report. July 2012, [web-сайт]. – Режим доступу: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>
- Wind GIS Data Layer. Designed for: Engineer, Consultant, Developer & Government Agency. [web-сайт]. – Режим доступу: http://www.3tier.com/en/package_detail/wind-gis-data-layer/
- Solar and Wind Resource Map. [web-сайт]. – Режим доступу: <https://www.awstruepower.com/knowledge-center/maps/>
- Wind Energy and Landscape: Proceedings of the international workshop WEL, Genova, Italy, 26–27 June 1997.
- Renewable Energy Atlas of Vermont. [web-сайт]. – Режим доступу: <http://www.vtenergyatlas.com/>
- Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії України: Енергія вітру, сонячна енергія, енергія малих рік, енергія біомаси, геотермальна енергія, енергія довкілля, енергія скідного енерготехнологічного потенціалу, енергія нетрадиційного палива / Інститут відновлюваної енергетики Національної Академії наук України. – К., 2007.
- Макеєва Д. А., Костенко В. К., Кольчик А. Е. Перспективы развития ветроэнергетики в промышленных регионах Украины / Геотехнологии и управление в производством XXI столетия: монография: в 2-х т. Редакционно-издательский центр ДонНТУ. – Донецьк, 2006. – Т. 2. – С. 232–237.
- Шкляєв В. А., Шкляєва Л. С., Баскевич И. А. Оценка влияния местных условий на ветровой режим Пермской области. [web-сайт]. – Режим доступу: www.psu.ru/pub/meteo/29.rtf
- Эристави В. В., Геловани М. С., Лобжанидзе Н. Г. и др. Ветроэнергетический атлас Грузии (Региональные оценки). // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAE. – 2005. – № 11(31). – Р. 55–57.
- Атлас ветров России (Russian Wind Atlas) / А. Н. Старков, Л. Ландберг, П. П. Безрукых, М. М. Борисенко. – М.: Можайск-Терра, 2000. – 551 с.
- Тупикин С. Н., Орлова Н. С. Ветроэнергетические ресурсы Калининградской области: учеб. посо-

- бие / Калинингр. ун-т. – Калининград, 1998. – 52 с.
- Клімат Львова / Збірник за ред. В. М. Бабіченко, Ф. В. Зузука. – Луцьк, 1998. – 188 с.
- Швець Н. І. Про приведення швидкості вітру до умов відкритого рівного місця // Наук. праці УкрНДГМІ. – К., 2006. – Вип. 255. – С. 97–103.
- Martin Pasqualetti, Paul Gipe, Robert Righter. Wind Power in View: Energy Landscapes in a Crowded World. Academic Press, 2002. – P. 248.
- Michael N. DeMers. Fundamentals of geographic information systems. New Mexico State University. – 1999. – P. 300
- 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.
- Сила вітру Львівської області.[web-сайт]. – Режим доступу: <http://ecost.lviv.ua/ua/grafic/lviv.html>
- Ставлення суспільства до енергії вітру. [web-сайт] режим доступу: (www.Windpower.org)
- Presentations by Paul Gipe . [web-сайт]. – Режим доступу: <http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=557>.
- Кирсева І. С. та інші. Розвиток вітроенергетики та гігієнічні проблеми щодо розміщення, будівництва та експлуатації вітрових електростанцій в Україні // Гігієна населених місць. – 2012. – № 59. – С. 3–13.
- Закон України “Про альтернативні джерела енергії” // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 24, ст.155.[web-сайт] режим доступу: (<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/555-15>)
- Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Текст з сайту Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. [web-сайт] режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/>
- Про Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики. Кабінет Міністрів України. Постанова від 31 грудня 1997 р. № 1505. [web-сайт]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1505-97-p>
- Про Комплексну програму будівництва вітрових електростанцій. Кабінет Міністрів України; Постанова від 03.02.1997 № 137
- Програма розвитку вітрової енергетики на території Турківського району Львівської області на 2012–2018 роки. [web-сайт]. – Режим доступу: <https://docs.google.com/file/d/0B6kmznBjk076TGJ4OHpQMW9QUGc/edit?pli=1>
- Про затвердження районної програми розвитку вітрової енергетики на території Рожнятівського району на 2012–2015 роки. [web-сайт]. – Режим доступу: <http://rzhrada.if.ua/index.php?id=288>
- Програма розвитку вітрових електростанцій на території Тлумачького району на 2011–2015 роки. [web-сайт]. – Режим доступу: <http://tlumachrada.if.ua/files/8/118Dod.pdf>

I. 3. КОЛБ

Кафедра фотограмметрии и геоинформатики, Национальный университет “Львівська політехніка”, ул. Карпинского 6, Львов, Украина, 79013, тел. +38(032)2582616, эл. почта: i_kolb@ukr.net

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В АНАЛИЗЕ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ПРИКАРПАТЬЕ

Цель. Среди инвестиционных проектов, направленных на развитие экономики в регионах, особое внимание привлекают проекты, предусматривающие отвод существенного количества земель, ценных исходя из их экологического состояния, высокого уровня рекреационного ресурса или исходя из других соображений. Именно к такому типу проектов относятся программы развития ветровой энергетики. Актуальной есть проблема оценивания качества проектирования ветровых парков с учетом существующих ландшафтно-климатических условий. **Методика.** Для решения означенной проблемы предлагается использовать методы геоинформационного моделирования и анализа. Для обоснования параметров программных инструментов ГИС необходим анализ литературных источников, описывающих влияние на человека и окружающую среду ветровых энергетических установок (ВЭУ) а также условия возникновения так называемого “промышленного ветра”, необходимого для ихней работы. **Результаты.** Полученные результаты исследования указывают на возможность эффективного, научно обоснованного приложения ГИС для анализа проектов размещения ветропарков. Представление результатов пространственного анализа в виде карт наглядно демонстрирует все сильные и слабые особенности проектов. На примере проекта ветрового парка в Турковском районе Львовской области показано возможность выявления проблем в пространственном размещении ветровых энергетических установок. **Научная новизна.** Впервые с точки зрения геоинформатики проанализирован комплекс требований к пространственному размещению ВЭУ касательно к

местным климатическим условиям, размещение ВЭУ относительно элементов ландшафта и соблюдения санитарно-гигиенических рекомендаций по расстоянию к местам постоянного пребывания людей. Выполнено геоинформационное исследование проекта ветропарка большой мощности в конкретных климатических и ландшафтных условиях Прикарпатья. **Практическая значимость.** Полученные результаты исследования могут быть значимыми при представлении проектов общественности и специалистам для принятия инвестиционных решений. Представленные в работе методы анализа могут быть применимы к проектам региональных и местных программ развития ветровой энергетики.

Ключевые слова: Ветровая энергетика, ветровая энергетическая установка (ВЭУ), размещение ВЭУ, геоинформационная система (ГИС), ГИС-технологии, ArcGIS.

I. Z. KOLB

Department of photogrammetry and geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, Karpinskyy str., 6, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (032) 2582616, email i_kolb@ukr.net

GIS-TECHNOLOGIES IN THE ANALYSIS OF WIND ENERGY DEVELOPMENT PROJECTS IN THE PRECARPATHIAN REGION

Purpose. Among the investment projects related to economic development in the region, special attention is drawn to projects that involve a significant amount of land allocation, valuable because of their ecological status, high recreational resources and other circumstances. Exactly to these types of projects wind power development programs relate. The actual problem is the evaluation of the quality of wind parks design, taking into account the existing landscape and climatic conditions. **Methods.** To solve the abovementioned problem it is proposed to apply the methods of GIS modeling and analysis. An analysis of the literature describing the impact of wind power plants (WPP) on people and environment and the conditions of the so-called “industrial wind” necessary for their work shoul serve for rationale of the parameters of software tools. **Results.** The results of the study point to the possibility of effective, science-based application of GIS for analysis of projects of wind farms location. Presentation of spatial analysis in the form of maps clearly demonstrates all the strengths and weaknesses of project features. On the example of the wind park in Turka district of Lviv region it is shown the ability to detect problems in the spatial location of wind power plants (WPP). **Scientific novelty.** For the first time in terms of Geoinformatics it was analyzed the complex of requirements to spatial location of WPP in relation to the use of local climatic conditions, location of wind power plants with considering landscape elements and to compliance of hygiene recommendations concerning on the distance to the permanent stay of people. It was done the geoinformational research of the project of high power wind park in specific climatic and landscape conditions of the Precarpathians. **The practical significance.** Obtained results of the research can play an important role in presenting projects for both public and professionals to make investment decisions. Presented in the paper methods of analysis can be used for projects of regional and local wind power development programs.

Key words: wind energy, wind power plant (WPP), the location of wind power plants, Geographic Information System (GIS), GIS technology, ArcGIS.

REFERENCES

- Vetroenerhetyka [Wind power] Editor D.deRonzo; Translation from English. Moscow, Enerhoatomzdat, 1982, 272 p.
- A. Lopez, B. Roberts, D. Heimiller, N. Blair, G. Porro. U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis, Technical Report, July 2012, Available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>
- Wind GIS Data Layer. Designed for: Engineer, Consultant, Developer & Government Agency. Available at: http://www.3tier.com/en/package_detail/wind-gis-data-layer/
- Solar and Wind Resource Map. Available at: <https://www.awstruepower.com/knowledge-center/maps/>
- Wind Energy and Landscape: Proceedings of the international workshop WEL, Genova, Italy, 26–27 June 1997.
- Renewable Energy Atlas of Vermont. Available at: <http://www.vtenergyatlas.com/>
- Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovlyuval'nykh ta netradytsiynykh dzherel enerhiyi Ukrayiny: Enerhiya vitru, sonyachna enerhiya, enerhiya malykh rik, enerhiya biomasy, heotermal'na enerhiya, enerhiya dovkillya, enerhiya skydnoho enerhotekhnolohichnogo potentsialu, enerhiya netradytsiynoho palyva [Atlas of the energy potential of renewable and alternative energy sources in Ukraine: Wind energy, solar energy, small rivers, biomass, geothermal energy, the environment, energy waste in Energy potential of unconventional energy consumption]. / Instytut vidnovlyuvanoyi enerhetyky Natsional'noyi Akademiyi nauk Ukrayiny [Renewable Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2007.

- Makeeva D.A., Kostenko V.K., Kolchik A.E. Perspektyvy razvityya vetroenerhetyky v promyshlennykh rehyonakh Ukrayny [Prospects for the development of wind energy in the industrial regions of Ukraine] / Heotekhnolohiyi i upravlinnya vyrobnytstvom XXI storichchya [Geotechnology and production management XXI century]. (Monohrafiya v 2-kh tomakh [monograph in two volumes]). Tom 2. Redaktsiyno-vydavnycha ahentsiya DonNTU. Donetsk, 2006, pp. 232–237.
- Shklyaev V.A., Shklyaeva L.S., Baskevych Y.A. Otsenka vlyyannya mestnykh uslovyy na vetrovoy rezhyem Permskoy oblasti. Available at: www.psu.ru/pub/meteo/29.rtf
- Erystavy V. V., Helovany M. S., Lobzhanydze N. H. y dr. Vetroenerhetycheskyy atlas Hruzzy (Rehyonalnye otsenky) [Wind Energy Atlas of Georgia]. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEE. 2005, No. 11(31), pp. 55–57. Available at: http://isjaee.hydrogen.ru/pdf/11_2005eristavi.pdf
- Atlas vetrov Rossyy [Russian Wind Atlas] / A. N. Starkov, L. Landberh, P. P. Bezrukikh, M. M. Borysenko. Moscow, Mozhaysk-Terra, 2000, pp. 551.
- Tupykyn S. N., Orlova N. S. Vetroenerhetycheskiye resursy Kalynynhradskoy oblasti: Uchebnoe posobye [Wind power resources of the Kaliningrad region: Tutorial]/ Kalynynhradskyy. Un-t. Kalynynhrad, 1998, pp. 52.
- Klimat Lvova [The climate of Lviv]. Zbirnyk za red. Babichenko V. M., Zuzuka F. V. Lutsk, 1998, pp. 188.
- Shven' N.I. Pro pryvedennya shvydkosti vitru do umov vidkrytoho rivnoho mistsyia [On bringing wind speed equal to the open space]. Nauk. pratsi UkrNDHMI. Kyiv, 2006, Vyp. 255, pp. 97–103.
- Martin Pasqualetti, Paul Gipe, Robert Righter. Wind Power in View: Energy Landscapes in a Crowded World. Academic Press, 2002, pp. 248.
- Michael N. DeMers. Fundamentals of geographic information systems. New Mexico State University, 1999, PP. 300.
- Kolb I., Protsyk M., Andriyuk V., Voron N. Pro zastosuvannya heoinformatsiynykh tekhnolohiy pry otsintsi vitroenerhetychnoho potentsialu [On the application of GIS in assessing the potential of wind power]// Heodeziya, kartografiya i aerofotoznimannya. Iss. 71, 2009, pp. 180–185.
- Syla vitru Lvivskoyi oblasti [Wind force in Lviv region]. Available at: <http://ecost.lviv.ua/ua/grafic/lviv.html>
- The attitude of society to wind energy. Available at: www.Windpower.org
- Presentations by Paul Gipe. Available at: <http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=557>
- Kiryeyeva I. S. ta inshi. Rozvytok vetroenerhetyky ta hiihyenichni problemy shchodo rozmishchennya, budivnytstva ta ekspluatatsiyi vitrovyykh elektrostantsiy v Ukrayini [The development of wind energy and hygienic problems concerning location, construction and operation of wind farms in Ukraine]. Hiihyena naselenykh mists', 2012, No. 59, pp. 3–13.
- Zakon Ukrayiny "Pro alternatyvni dzerela enerhiyi" // Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny, 2003, No 24, Paper 155. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/555-15>
- Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2030 r. Tekst z saytu Ministerstva enerhetyky ta vuhil'noyi promyslovosti Ukrayiny [Energy Strategy of Ukraine till 2030. Text from the website of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine]. Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/>
- Pro Prohramu derzhavnoyi pidtrymky rozvytoku netradytsiynykh ta vidnovlyuvanykh dzerel enerhiyi ta maloyi hidro- i teploenerhetyky. Kabinet Ministriv Ukrayiny. Postanova vid 31 hrudnya 1997 r. N 1505. [On the program for the development of renewable energy sources and small hydro and thermal power. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution of 31 December 1997. No 1505]. Available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1505-97-II>
- Pro Kompleksnu prohramu budivnytstva vitrovyykh elektrostantsiy. Kabinet Ministriv Ukrayiny; Postanova vid 03.02.1997 # 137[On comprehensive program to build wind farms. Cabinet of Ministers of Ukraine; Decree of 03.02.1997 № 137]. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/go/137-97-%D0%BF>
- Prohrama rozvylku vitrovoyi enerhetyky na terytoriyi Turkiv's'koho rayonu L'viv's'koyi oblasti na 2012–2018 roky [The program of wind power in the territory Turka district, Lviv region 2012–2018 years]. Available at: <https://docs.google.com/file/d/0B6kmznBjk076TGJ4OHpQMw9QUGc/edit?pli=1>
- Pro zatverdzhennya rayonnoyi prohramy rozvylku vitrovoyi enerhetyky na terytoriyi Rozhnyatov's'koho rayonu na 2012–2015 roky [On approval of the district program of wind power in the territory Rozhnyativ district for 2012–2015]. Available at: <http://rzhrada.if.ua/index.php?id=288>
- Prohrama rozvylku vitrovyykh elektrostantsiy na terytoriyi Tlumats'koho rayonu na 2011–2015 roky [Program development of wind farms in the territory Tlumach district for 2011–2015]. Available at: <http://tlumachrada.if.ua/files/8/118Dod.pdf>

Стаття рекомендована до друку д-ром техн. наук, проф. О. Л. Дорожинським (Україна)
Надійшла 03.03.2014 р.