

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

М. Жу-

УДК 502.17:621.548 (477.8)

МОСКАЛЬЧУК НАТАЛІЯ МИХАЙЛІВНА

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ
ВИКОРИСТАННІ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Адаменко Ярослав Олегович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, завідувач кафедри екології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Волошкіна Олена Семенівна,
Київський національний університет будівництва і
архітектури, завідувач кафедри охорони праці
та навколишнього середовища

кандидат технічних наук, доцент
Радомська Маргарита Мирославівна,
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри екології

Захист відбудеться «12» грудня 2019 року о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 та на сайті університету: <http://nung.edu.ua/department/210601> — екологічна-безпека-технічні-науки/захист-дисертацій.

Автореферат розісланий « » листопада 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05,

д.т.н., професор



Л. М. Архипова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зменшення негативних впливів від об'єктів традиційної енергетики можливе шляхом зниження енергоємності економіки та переходу на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), які дають змогу скорочення викидів шкідливих речовин, зменшення імпорту традиційних видів палива та підвищення енергонезалежності держави. Необхідність даних дій зумовлене міжнародними зобов'язаннями України та підтверджуються імплементацією європейських норм в національне законодавство, державною та регіональною політикою. Зміни в енергетичній політиці ведуть до реформування енергетичного сектору, серед них і збільшення частки відновлювальної енергетики (ВЕ). Згідно з прогнозними оцінками найбільше виробництво електроенергії з ВДЕ припадатиме на вітроенергетику. Українські Карпати є одними з кращих в країні регіоном за показниками енергії вітру, однак ще не достатньо охопленим вітроенергетичним розвитком.

У даний час значної уваги приділяють завданням вивчення і розробки технічних особливостей використання ВДЕ. Водночас не досить глибоко досліджені питання екологічної безпеки ВЕ. Впровадження нових об'єктів, зокрема вітроелектростанцій (ВЕС), вимагає комплексу передінвестиційних досліджень, які повинні складатись з оцінки вітроенергетичного потенціалу території, геопросторового планування з врахуванням обмежень, проведення процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД).

Актуальність проблеми викликана стрімким будівництвом об'єктів ВЕ без наукового обґрунтування їх екологічної безпечності, що у сукупності може викликати призупинення інвестиційних проєктів через відмову чи видачу негативного висновку з ОВД у зв'язку з наявністю значних впливів, спротивом громадськості, невідповідністю цільовим програмам розвитку територій. Тому дослідження спрямовані на удосконалення окремих етапів процедури ОВД та геопросторового планування території для вітроенергетичних проєктів є актуальними і важливими для підвищення рівня екологічної безпеки при використанні енергії вітру у Карпатському регіоні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає завданням «Стратегії сталого розвитку «Україна–2020», «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року», «Національному плану дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року», «Стратегії регіонального розвитку Івано-Франківської області на період до 2020 року». Дисертаційні дослідження виконано в рамках науково-дослідних держбюджетних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за темами: Д-5-15-Ф «Методологія екологічно безпечного використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону» (№ 0115U002280, 2015–2017 рр.) та «Технології захисту навколишнього середовища шляхом контролю, моделювання та прогнозування стану довкілля» (№ 0118U006601, 2017-2020 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки при реалізації проєктів вітрової енергетики для Карпатського регіону шляхом удосконалення окремих етапів процедури оцінки впливу на довкілля та геопросторового планування території проєктованої діяльності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

1. Дослідити особливості проведення ОВД та запропонувати методику оцінки значущості впливів як складової процедури ОВД проєктів відновлювальної енергетики з подальшою її реалізацією на прикладі ВЕС, що проєктується.

2. Розробити технічні рішення зменшення впливів на довкілля від реалізації вітроенергетичних проєктів.

3. Оцінити вітроенергетичний потенціал Карпатського регіону: встановити можливі сучасні зміни вітрових характеристик, виділити перспективні території для вітроенергетичних проєктів та спрогнозувати показники виробітку електроенергії конкретних ВЕУ з врахуванням величини заміщення викопних джерел палива.

4. Обґрунтувати складові екологічно безпечного геопросторового планування території при виборі перспективних майданчиків розташування ВЕС та практично застосувати алгоритм вибору майданчика.

Об'єктом дослідження є впливи на довкілля від використання енергії вітру у Карпатському регіоні.

Предметом дослідження є окремі етапи процедури ОВД вітроенергетичних проєктів та геопросторове планування території на основі оцінки вітроенергетичного потенціалу і врахування обмежень.

Методи досліджень: під час виконання роботи використовувались методи порівняння багатокритеріальних змінних (табличний або матричний, бальний, графічного накладання), математичної статистики, теорії вітроенергетики, методи геоінформаційних систем (ГІС), дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Обробку даних та моделювання виконувалось з використанням програмних продуктів Microsoft Office, Surfer, Mapinfo, Google Earth, Google Maps, Tablecurve 2D.

Наукова новизна отриманих результатів. В результаті виконання завдань дисертаційної роботи отримано нові науково обґрунтовані підходи до підвищення рівня екологічної безпеки при використанні енергії вітру:

1. Вперше для оцінки значущості впливів від реалізації проєктів відновлювальної енергетики як складової процедури ОВД запропоновано використання багатокритеріального аналізу шляхом поєднання бального методу при визначенні параметрів ймовірності, просторового масштабу, тривалості та інтенсивності й методу таблиць та матриць при порівнянні впливів, етапів діяльності та альтернатив.

2. Набули подальшого розвитку наукові підходи щодо зменшення впливів вітроенергетичних установок на орнітофауну шляхом застосування генераторів тороїдальних вихорів на майданчиках ВЕС.

3. Набули подальшого розвитку дослідження вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону шляхом встановлення сучасних змін показників вітрових характеристик, виділення перспективних територій та прогнозування показників виробітку електроенергії конкретних ВЕУ, що дає змогу підвищити рівень екологічної безпеки регіону завдяки заміщенню викопних джерел палива та зменшенню негативних впливів на довкілля.

4. Удосконалено методи вибору майданчика розташування ВЕС шляхом врахування науково обґрунтованих геопросторових обмежень, використання ДЗЗ та ГІС, що дає змогу запобігти впливам на довкілля від реалізації вітроенергетичних проєктів.

5. Отримано функціональні залежності між рівнем звуку від ВЕУ Nordex N43 600 та відстанню на основі обробки експериментальних даних та врахування звукової потужності.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Проведено оцінку вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону.

2. Удосконалено алгоритм вибору майданчика розташування ВЕС шляхом використання ГІС та ДЗЗ при геоплануванні території, який базується на врахуванні вітроенергетичного потенціалу території, а також орографічних, технічних та екологічних обмежень, та застосовано на прикладі Івано-Франківської області.

3. Проведено оцінку значущості впливів на довкілля ВЕС «Шевченкове-1» з метою обґрунтування рішення про впровадження проєкту.

4. Запропоновано спосіб відлякування птахів від вітрових турбін вітроелектростанцій, захищений патентом на корисну модель № 104389.

Матеріали дисертаційних досліджень впроваджено:

– в діяльність управління екології та природних ресурсів Івано-Франківської обласної державної адміністрації – оцінка вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону України та визначення перспективних майданчиків розташування вітроелектростанцій на території Івано-Франківської області (Акт впровадження від 18.02.2019 р.).

– в навчальний процес в Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисциплін «Оцінка впливів на довкілля», «Комп'ютерна обробка екологічної інформації», «Екологічна безпека», «Геоінформаційні системи в екології» (Акт впровадження від 21.12.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертаційної роботи отримано автором особисто. З робіт, опублікованих у співавторстві, в дисертації представлені лише власні ідеї та результати.

Апробація матеріалів дисертації. Результати досліджень доповідалися та були опубліковані у матеріалах всеукраїнських, міжнародних та закордонних конференцій: міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчук, 2015 р.), міжнародній науково-

практичній конференції «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (Харків, 2015 р.), закордонній міжнародній конференції «Innovative Ideas in Science 2015 (Бая Маре, Румунія, 2015 р.), всеукраїнській конференції молодих вчених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення (Київ 2016 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації» (Івано-Франківськ, 2017 р.), закордонній міжнародній конференції «Innovative Ideas in Science 2017» (Банья Лука, Боснія і Герцеговина 2017 р.), всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві (Суми, 2018 р.), закордонній міжнародній конференції «Innovative Ideas in Science 2018»: International conference, (Бая Маре, Румунія, 2018 р.), міжнародній конференції «Нафтогазова енергетика – 2019», (м. Івано-Франківськ, 2019 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 20 наукових праць, зокрема 2 колективні монографії, 2 статті у закордонних наукових періодичних виданнях, 6 статей у фахових виданнях України, 8 тез у матеріалах конференцій, 2 патенти.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел – 187 найменування. Обсяг основного тексту становить 150 сторінок, серед них 48 рисунків, 46 таблиць, додатки – 29 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження, методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок автора.

У **першому розділі** проведено детальний аналіз літературних джерел, що стосуються обраної тематики. Дослідження використання енергії вітру в Україні включало аналіз складу основних генеруючих потужностей об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, прогнози щодо виробництва енергії з ВДЕ, динаміку розвитку вітроенергетичного сектору, територіальне розміщення ВЕС. Вивчення процесу ОВД, дослідження поняття «значущість» впливів, методів її оцінки знайшли своє відображення у національних та закордонних методичних рекомендаціях з проведення ОВД та стратегічної екологічної оцінки (СЕО), працях Адаменка Я. О., Волошкіної О. С., Pastakia С., Leopold L., Josimovic В. та ін. Необхідність оцінки в процесі ОВД ключових впливів ВЕС (на ландшафт та візуальний вплив, на птахів та кажанів, шум, мерехтіння тіні, електромагнітне випромінювання, розкидання льоду) зазначається у ряді закордонних настанов для вітроенергетичних проєктів, а їх аналіз подано в роботах Запорожця О.І., Stevenson R., Hötker H., Zielinski P, McCunney R. J., McCallum L. С. та ін. Застосування пом'якшувальних заходів для зменшення негативних впливів від ВЕС,

зокрема способів та пристроїв для відлякування орнітофауни, пропонуються Дідковським В. та Kreithen M. Вагомий внесок у оцінку вітроенергетичного потенціалу України та Карпатського регіону зробили у своїх наукових працях Адаменко О. М., Адаменко Я. О., Архипова Л.М., Будзяк В. М., Величко С. А., Габрель М.С., Головка В. М., Дмитренко Л.В., Кузнецов М. П., Мандрик О. М., Михайлів М. І., Некос А. Н., Осадчий В. В., Рамазанова З. У., Радомська М. М., Точений В. А. та ін. Просторове планування вітроенергетичних проєктів з використанням ГІС-технологій пропонується виконувати українськими вченими Волковою О. О., Молоданом Я. Є., Рамазановою З. У. та закордонними Aydin N., Baban S., Pamučar D., Miller A., Sliz-Szkliniarz B., van Haaren R. та ін.

Нарощення виробництва електроенергії з ВДЕ в Україні, особливо в екологічно чутливому Карпатському регіоні; недостатність досвіду з ОВД проєктів ВЕ та відсутність національних рекомендацій щодо окремих складових ОВД; неповнота вивчення вітроенергетичних ресурсів Карпатського регіону та їх сучасні зміни; відсутність законодавчо визначених СЗЗ для ВЕС та відмінності при врахуванні обмежень у відомих дослідженнях показали необхідність і актуальність підвищення рівня екологічної безпеки при використанні енергії вітру в Карпатському регіоні, що дозволило обґрунтувати мету і завдання дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** запропоновано методикку оцінки значущості впливів від реалізації проєктів ВЕ на довкілля як складової процедури ОВД шляхом поєднання бального методу при визначенні параметрів впливу (ймовірності, просторового масштабу, тривалості та інтенсивності) й методу таблиць та матриць при порівнянні впливів, етапів планованої діяльності та альтернатив, що дає змогу виявити рівень впливів для прийняття рішень про необхідність застосування додаткових заходів, вибір альтернативи та прийнятність реалізації проєктів. ОВД запропоновано проводити у такій послідовності:

- визначення сфери, джерел та видів можливого впливу на довкілля (попередня екологічна оцінка);
- розробка комплексу заходів з запобігання чи пом'якшення (зменшення) впливів;
- оцінка величини та значення (значущість) впливів;
- прийняття рішення.

Оцінку природного середовища рекомендовано проводити за такими складовими як кліматичні фактори, атмосферне повітря, геологічне середовище, ґрунтовий покрив, водне середовище, флора, фауна та біорізноманіття; соціально-економічного середовища – ландшафт, здоров'я населення, соціально-економічна ситуація (зайнятість, комунальна інфраструктура, транспорт, використання ресурсів, в тому числі земельних), історико-культурна спадщина. Кожен компонент довкілля може складатись з декількох об'єктів впливу. Детальна структура кожного компонента може відрізнятись залежно від виду ВДЕ та бути представлена у вигляді матриць.

З метою зменшення негативного впливу від ВЕС, зокрема для уникнення зіткнення з рухомими лопатями ВЕУ, запропоновано використання способу відлякування птахів від ВЕС із застосуванням генераторів тороїдальних вихорів, що підтверджено патентом на корисну модель. Даний спосіб відлякування раніше на майданчиках ВЕС не застосовувався, не є технічно складним та вартісними, оскільки передбачає використання достатньо простих в конструкції та експлуатації пристроїв, та не чинить негативного впливу на довкілля. Завдяки тому, що тороїдальний потік вихору здатен рухатися на велику відстань з відносно невеликою втратою маси і кінетичної енергії та невеликою зміною розміру або форми, є можливість направляти вихрові кільця у небезпечну для птахів зону ВЕС, створюючи в цьому просторі ударні хвилі, які є неприродним ефектом для птахів, що сприятиме зміні напрямку їх руху. Вихрові кільця можуть бути невидимими або димовими, що додаватиме до механічної дії оптичну. Оскільки генератори працюють вузько направлено, їх можна переміщувати чи встановлювати декілька, щоб перекрити «мертві» зони (рис.1).

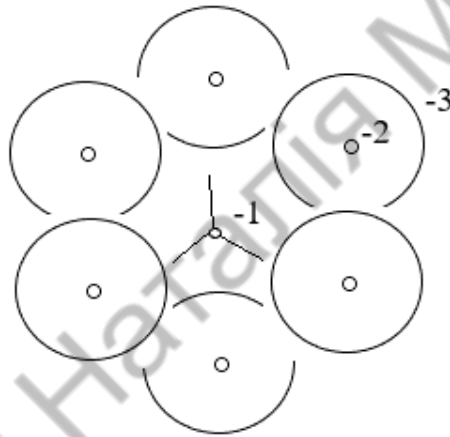


Рис. 1. Схема одночасного застосування декількох генераторів тороїдальних вихорів: 1-ВЕУ, 2- генератор, 3-вихор на висоті роботи ВЕУ

Даний спосіб відлякування птахів може використовуватись для територій ВЕС, які впроваджені в експлуатацію без достатнього геопросторового планування, зокрема якими проходять міграційні коридори.

Запропоновано порядок визначення значущості негативних впливів на природне середовище та негативних і позитивних впливів на соціально-економічне середовище на основі визначення чотирьох параметрів впливу: ймовірності, просторового масштабу, тривалості та інтенсивності за спеціальними шкалами. Для кожного з параметрів впливу згідно з запропонованими критеріями визначається бал від 1 до 4.

Значущість впливу (виду діяльності) на i -й компонент середовища розраховується як:

$$Q_i = Q_i^p \cdot Q_i^s \cdot Q_i^t \cdot Q_i^j \quad , \quad (1)$$

де: Q_i^p – бал ймовірності впливу на i -й компонент довкілля;

Q_i^s – бал просторового масштабу впливу на i -й компонент довкілля;

Q_i^t – бал тривалості впливу на i -й компонент довкілля;

Q_i^j – бал інтенсивності впливу на i -й компонент довкілля.

Рівень значущості характеризується інтервалом значень залежно від балу, отриманого при обчисленні, як показано в табл. 1. Рівні значущості встановлюються для всіх компонентів довкілля, є однаковими та можуть порівнюватись для визначення компонента довкілля, який зазнає найбільшого впливу.

Таблиця 1 – Рівні значущості впливів на довкілля

Бал	Значущість впливу
від +1 до +16	Незначний позитивний вплив
від +17 до +81	Помірний позитивний вплив
від +82 до +256	Значний позитивний вплив
0	Вплив відсутній
від -1 до -16	Незначний негативний вплив
від -17 до -81	Помірний негативний вплив
від -82 до -256	Значний негативний вплив

Якщо на один компонент довкілля впливають різні джерела (види діяльності), то аналіз впливів на компоненти проводиться за допомогою запропонованих типових оцінювальних матриць визначення впливу проєктів ВЕ. Для встановлення значущості впливу на окремий компонент довкілля використовується інтегральна (середня) оцінка, яка матиме вигляд:

$$Q_{integr} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_{ki}}{n}, \quad (2)$$

де Q_{ki} – комплексний бал k -го впливу (виду діяльності) на i -й компонент довкілля;

n – кількість впливів (видів діяльності) на i -й компонент довкілля.

Результати, отримані за допомогою даної методики пропонується використовувати для прийняття рішень про прийнятність потенційних та фактичних негативних впливів на навколишнє природне середовище, а також позитивних і негативних впливів на соціально-економічне середовище від проєктів ВЕ.

У третьому розділі проведено оцінку вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону, яка базувалася на обробці даних спостережень за вітровими характеристиками на метеостанціях за багаторічний період від початку спостережень та за період 2005-2015 рр. Встановлено, що середні швидкості вітру за останні 10 років зменшилися майже по всіх метеостанціях.

Проаналізовано річний хід середньої швидкості вітру та виявлено зсув максимальних показників у 2005-2015 рр. Побудовано карти середньої та середньомісячної швидкості вітру у січні та липні у Карпатському регіоні України на висоті 10 м за багаторічний період.

Запропоновано класифікацію перспективності швидкостей вітру для цілей вітроенергетики, яка базується на показниках стартової та розрахункової швидкості ВЕУ трьох класів (малої, середньої та великої потужності):

- V до 2 м/с – безперспективні для будь-яких типів ВЕУ;
- $2 \leq V < 3$ м/с малоперспективні для малих ВЕУ;
- $3 \leq V < 4$ м/с перспективні для малих ВЕУ;
- $4 \leq V < 5,5$ м/с перспективні для ВЕУ малої та середньої потужності;
- V понад 5,5 м/с – перспективні для будь-яких ВЕУ.

Зважаючи на необхідність встановлення швидкості вітру на висоті роботи ВЕУ, розраховано середні швидкості вітру на висоті 30, 50, 70, 100 м за багаторічний період, використовуючи логарифмічний та степеневий вертикальні профілі вітру, та побудовано карти середньої швидкості вітру на заданих висотах (рис. 2).

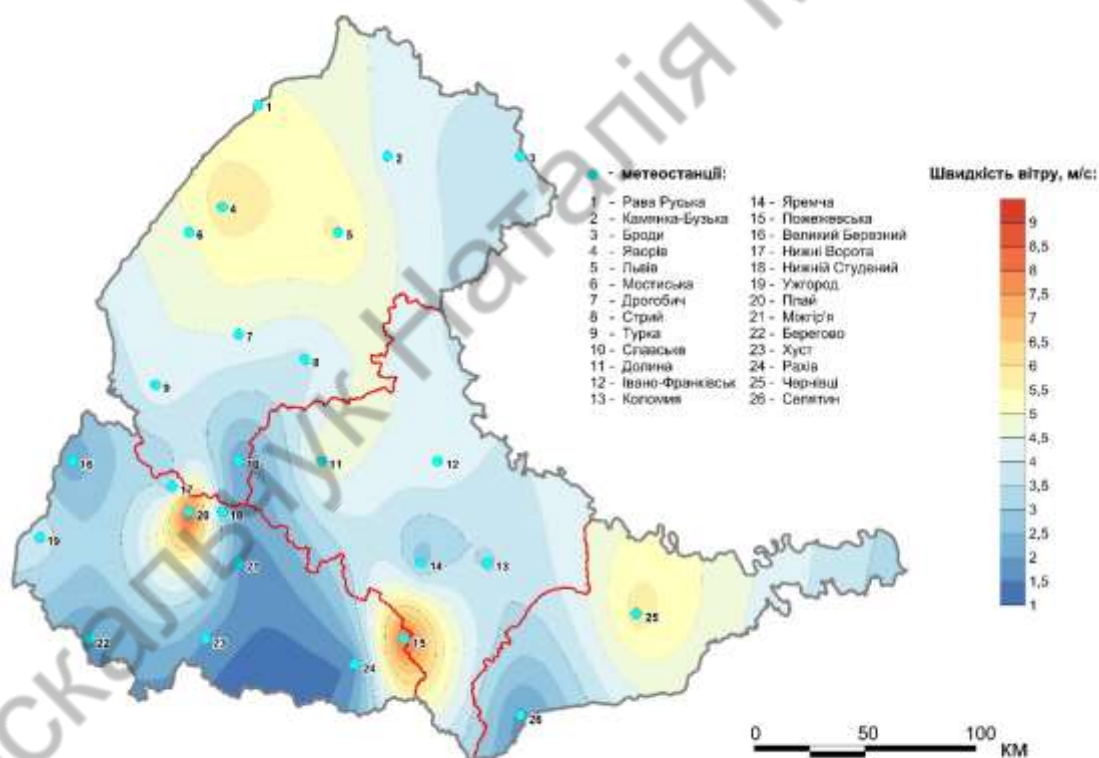


Рис. 2. Карта середньої швидкості вітру у Карпатському регіоні на висоті 100 м.

Визначено абсолютні максимуми та повторюваність максимальних швидкостей вітру. З'ясовано, що низька повторюваність швидкості вітру вище 25 м/с не впливатиме на показники виробітки електроенергії ВЕС.

За даними 2005-2015 рр. обчислено середню повторюваність напрямку вітру та штилю, побудовано рози вітрів. Виявлено закономірності переважання вітрів певних напрямів: для передгірних районів характерне переважання вітрів західних та східних румбів; у гірських районах переважають вітри різних напрямів; для Закарпатської низовини характерні вітри південних та північних румбів.

Розраховано повторюваність швидкостей вітру по градаціях на метеостанціях Карпатського регіону України на висоті 10 м за даними 2005-2015 рр. На основі запропонованої класифікації визначено повторюваності перспективних для роботи ВЕУ швидкостей на метеостанціях (рис.3).

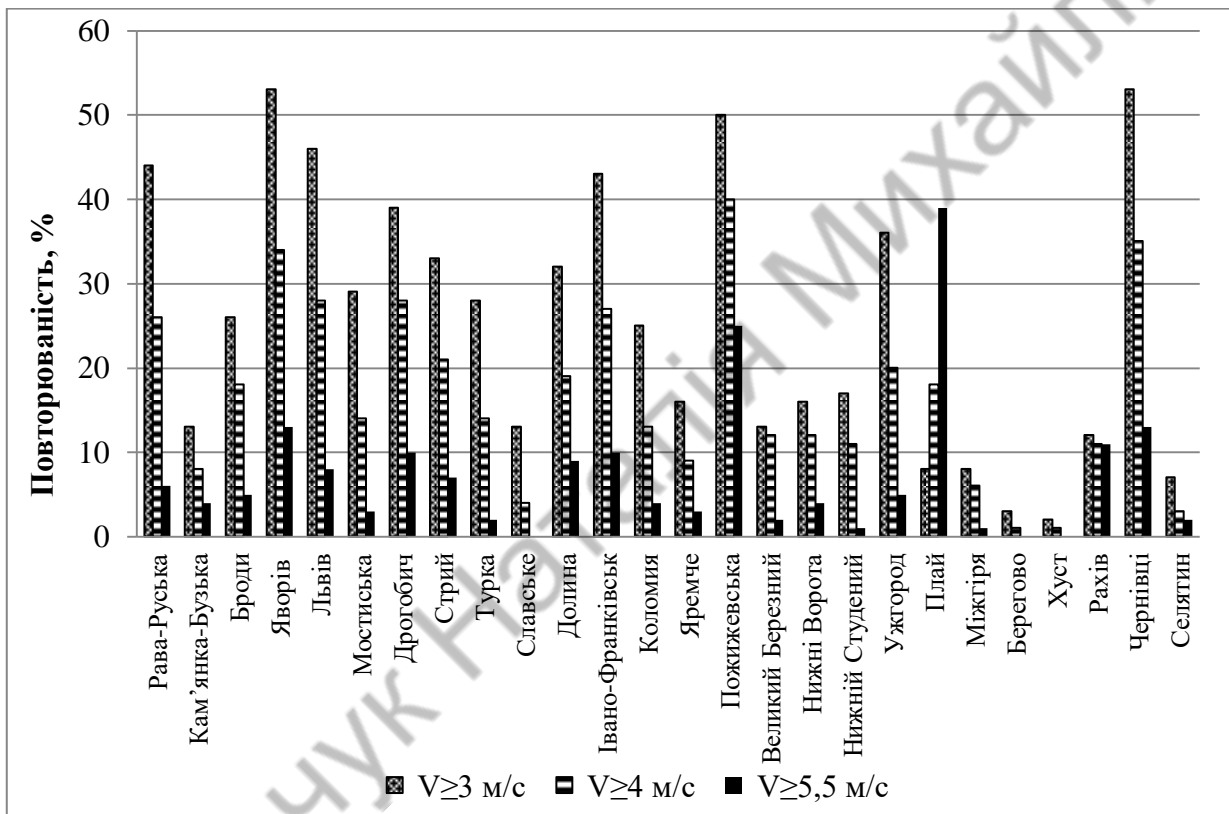


Рис. 3. Повторюваність перспективних швидкостей на висоті 10 м на метеостанціях Карпатського регіону за 2005-2015 рр.

Базуючись на класифікації швидкостей вітру для цілей вітроенергетики запропоновано класифікацію територій за вітроенергетичним потенціалом. Розраховано питому потужність вітру у Карпатському регіоні на висоті 10, 30, 50, 70 і 100 м. Розраховано питомий вітроенергетичний потенціал на висоті 10 м. Встановлено, що найсприятливіші кліматичні умови для промислової вітроенергетики є у гірських районах Українських Карпат на території Івано-Франківської та Закарпатської областей, на Розточчі у Львівській області, Хотинській височині у Чернівецькій області. ВЕУ середньої потужності доцільно розташовувати також у Львівській та Івано-Франківській областях на Опіллі, Подільській височині. Для малих ВЕУ сприятливими вітровими умовами характеризується переважна частина Львівської області (особливо

північно-західні та центральні райони), Івано-Франківської (особливо північні, південно-західні райони), центральна частина Чернівецької області, гірська частина Закарпатської. Неприятливими є глибокі річкові долини, захищені горами, переважна частина Закарпатської області. Проте при проектуванні ВЕС на конкретній ділянці є потреба у додаткових польових спостереженнях за показниками вітрових характеристик, оскільки отримані дані з найближчих метеостанцій можуть відрізнятися через місцеві орографічні особливості.

Розраховано технічний вітроенергетичний потенціал на метеостанціях для трьох категорій ВЕУ – малої, середньої та великої потужності. Обчислення виконувались для метеостанцій, які характеризувалися перспективними параметрами вітру на заданих висотах. Річний вітроенергетичний потенціал на найперспективніших територіях Карпатського регіону (Яворів, Пожижевська, Плай, Чернівці), які можуть використовуватись для великих ВЕУ, від однієї турбіни Vestas V112-3.3MW складає від 4,7 до 10 млн кВт·год/рік або від 579 до 1225 т у. п.; для середніх ВЕУ від Nordex N43-600-125 43.0 – від 256 до 382 тис кВт·год/рік або від 31,5 до 47 т у. п. (Рава-Руська, Львів, Долина, Івано-Франківськ); для малих ВЕУ від Flamingo Aero-6.7 – 3,2-4,3 тис кВт·год/рік (Дрогобич, Стрий, Ужгород). Аналізуючи результати для ВЕУ середньої та малої потужності, слід зауважити, що перспективними для вітроенергетики меншої потужності є не тільки території тих метеостанцій, для яких проводились розрахунки, а й ті, на яких було запропоновано розташування ВЕУ вищого класу. Показники річного вітроенергетичного потенціалу для них були б суттєво вищими.

У четвертому розділі удосконалено алгоритм вибору майданчика розташування ВЕС шляхом застосування ГІС та ДЗЗ, який включає, по-перше, вибір досліджуваної території зі сприятливими кліматичними умовами за результатами оцінки вітроенергетичного потенціалу: розрахунку середньої швидкості вітру на заданій висоті, визначення перспективних швидкостей вітру, графічного представлення у вигляді карт середньої швидкості вітру та карт перспективних швидкостей вітру на заданій висоті; по-друге, врахування геопросторових обмежень на досліджуваній території шляхом збору даних, їх аналізу та побудови карт компонентів довкілля, які можуть впливати чи зазнавати впливу від ВЕС, встановлення критеріїв геопросторових обмежень та їх графічного представлення у вигляді покомпонентних та комплексної карти геопросторових обмежень; по-третє, виділення перспективних майданчиків розташування ВЕС шляхом накладання карт перспективних швидкостей вітру на заданій висоті та карти геопросторових обмежень (рис.4).

Теоретично обґрунтовано врахування трьох типів обмежень: орографічних, технічних (дорожньої мережі та енергомережі) та екологічних – природних (ПЗФ, водні об'єкти, ліси) і соціально-економічних (населені пункти, аеродроми) шляхом встановлення геопросторових виключень та екологічно безпечних відстаней.

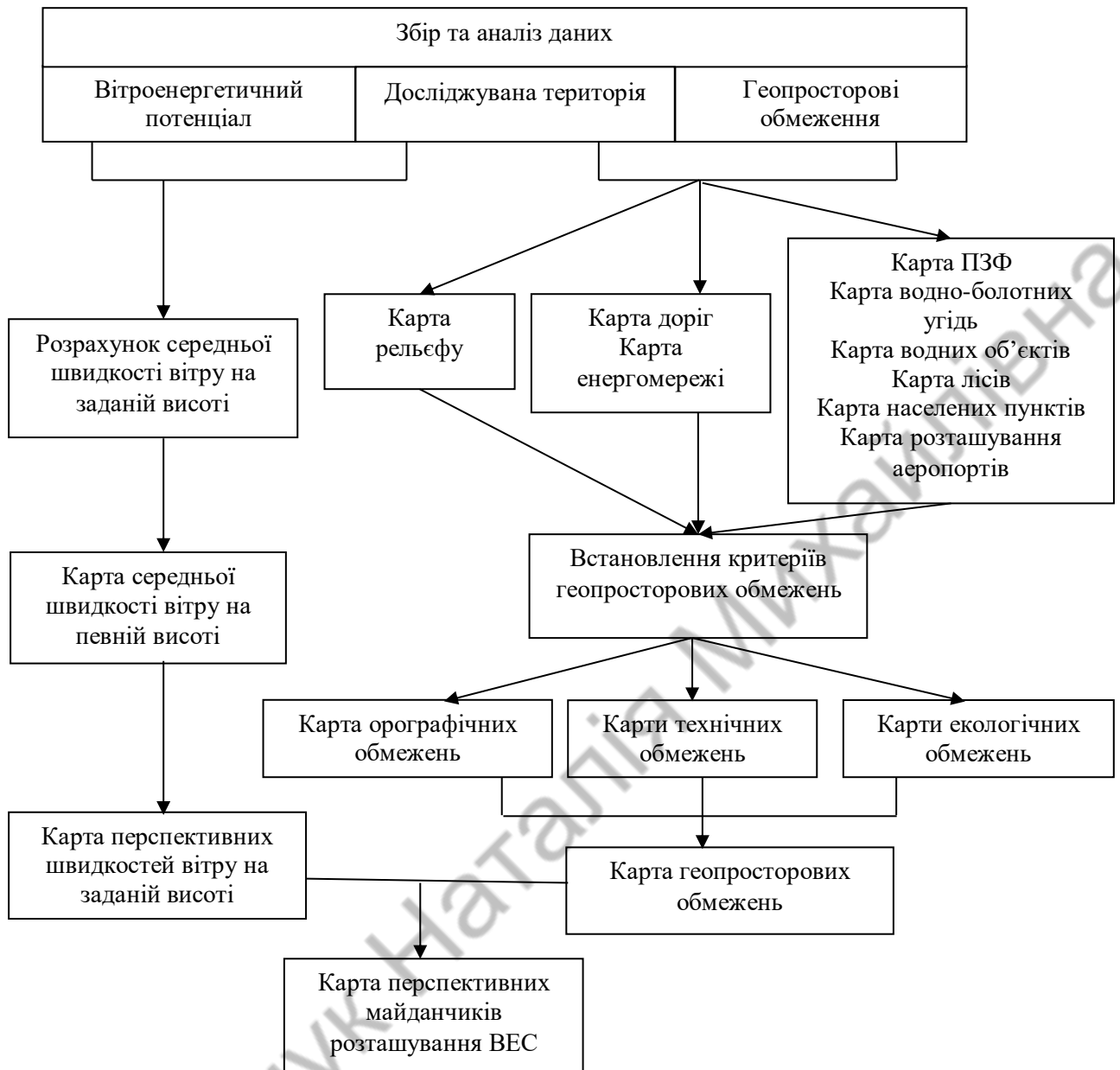


Рис. 4. Алгоритм вибору майданчика розташування ВЕС

Запропоновано виключати території, які мають:

- ухил більше 25%;
- відстань до дорожньої мережі більше 3 км;
- відстань до енергомережі більше 5 км;
- відстань до заповідників менше 1000 м,
- інших територій та об'єктів ПЗФ менше 400 м;
- відстань до водно-болотних угідь менше 1000 м;
- відстань до великих та середніх річок, озер, водосховищ, ставків від 3 га менше 400 м;
- відстань до лісів менше 400 м;
- відстань до сельбищних та рекреаційних територій населених пунктів менше 1000 м;
- відстань до аеродромів менше 10 км.

Після врахування показників вітроенергетичного потенціалу та критеріїв геопросторових обмежень в межах Івано-Франківської області для практичної реалізації алгоритму геопросторового планування майданчика розташування ВЕС на місцевому рівні досліджуваною територією вибрано північно-західну частину області, побудовано покомпонентні та сумарну карти геопросторових обмежень (рис.5).

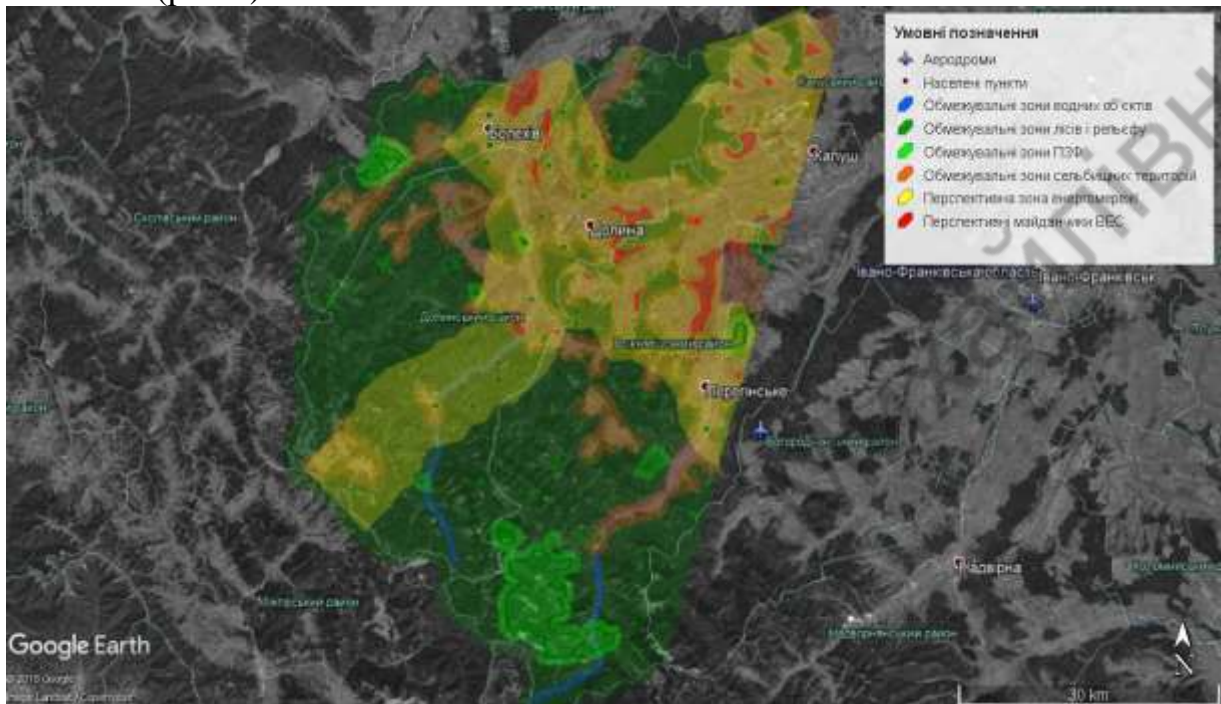


Рис. 5. Карта геопросторових обмежень досліджуваної території

Побудовано карту перспективних майданчиків розташування ВЕС (рис.6). Виділено 24 безпечні перспективні майданчики загальною площею 4514,22 га в межах досліджуваної території.

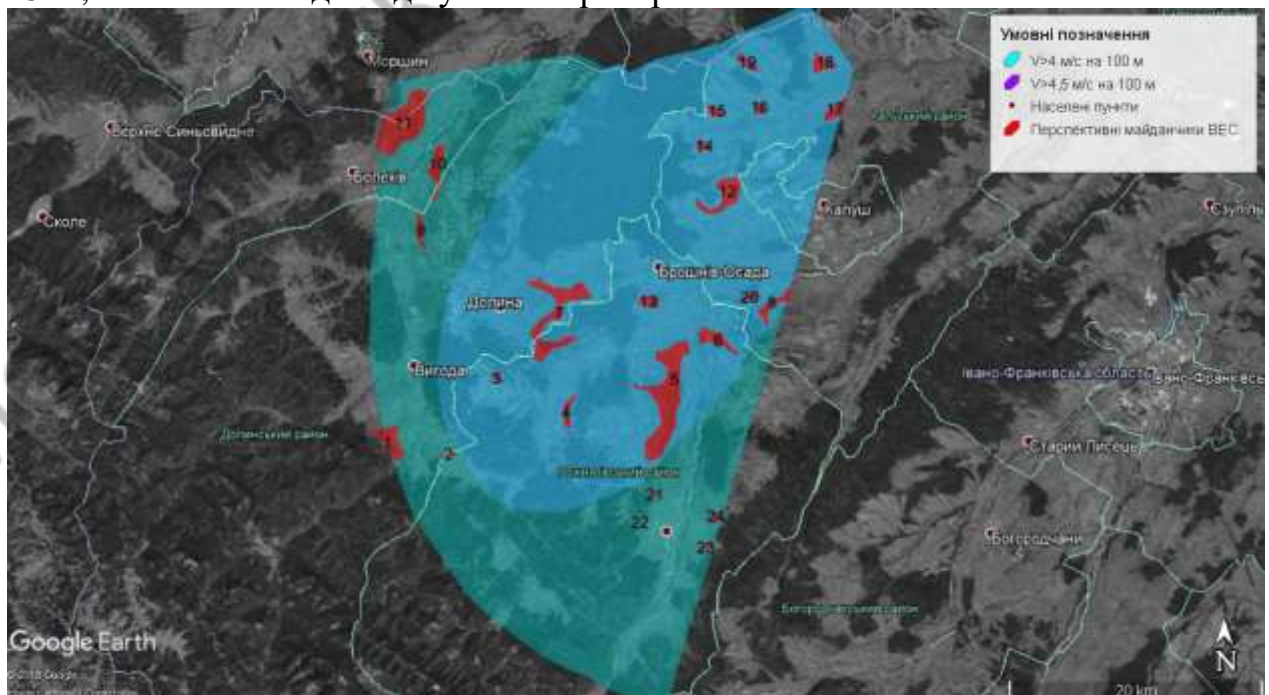


Рис. 6. Карта геопросторових обмежень досліджуваної території

На прикладі ВЕУ Vestas V112 3.3 МВт розраховано можливу потужність ВЕС на перспективних майданчиках, яка для 88 ВЕУ склала 290,4 МВт.

Достатня кількість різних за площею перспективних територій дозволить отримати раціональне впровадження як малих, так і великих вітроенергетичних проєктів з максимальною вигодою та мінімальною шкодою довкіллю.

У п'ятому розділі реалізовано методику оцінки впливів на довкілля проєктів ВЕ на прикладі ВЕС «Шевченкове-1». На основі проведеної оцінки встановлено, що дана ВЕС чинить на довкілля незначний негативний вплив.

Зважаючи на відносну близькість розташування до лісових та водно-болотних угідь помірного негативного впливу від ВЕС «Шевченкове-1» може зазнати орнітофауна: загибель птахів та кажанів, що охороняються через зіткнення з ВЕУ, витіснення видів з їх ареалів, вплив на мігруючих птахів. У зв'язку з цим, необхідними є постійні моніторингові дослідження при будівництві та експлуатації за змінами в популяціях, фіксування фактів загибелі від ВЕУ та, за необхідності, зупинки ВЕУ чи застосування заходів з попередження і відлякування птахів для зменшення ризиків у період міграції.

Помірним негативним впливом буде зменшення візуальної привабливості природної території через встановлення ВЕУ та ПЛ, що обумовлене в основному тривалістю, оскільки відбуватиметься впродовж всієї експлуатації об'єкту. Візуальний вплив буде обмежуватись рельєфом та не надто високою висотою ВЕУ (50-60 м).

Помірними позитивними впливами на соціально-економічну ситуацію будуть постачання електроенергії в мережу, економія органічного палива, доходи від орендної плати та податків.

За результатами прогнозування допустимий еквівалентний рівень шуму для територій, які прилягають до житлових приміщень, у 45 дБА (нічний час) при експлуатації всіх ВЕУ даної ВЕС та максимальній швидкості вітру буде дотримуватись на відстані 475 м. Відсутність негативного впливу на здоров'я людей в межах житлової забудови підтверджено даними експериментальних замірів рівня шуму від однієї ВЕУ Nordex N43 600, яка встановлена в першій черзі ВЕС «Шевченкове-1». Допустимі рівні забезпечуються на відстані 400 м, тоді як найближча житлова забудова – 1100 м.

На основі відомих даних про рівень звукової потужності та замірів рівнів звуку за допомогою програми Tablecurve 2D отримано функціональні залежності між рівнем звуку від однієї ВЕУ Nordex N43 600 (першої черги ВЕС «Шевченкове-1») та відстанню (рис. 7,8).

Так, при швидкості вітру 4-5 м/с на висоті 10 м рівняння зміни рівня звуку з відстанню матиме вигляд:

$$L = 86,17 - 20,39 \lg r, \quad (3)$$

де L – рівень звуку, дБА; r – відстань від джерела шуму (гондоли), м.

При швидкості вітру 6-8 м/с на висоті 10 м:

$$L = 91,21 - 17,88 \lg r. \quad (4)$$

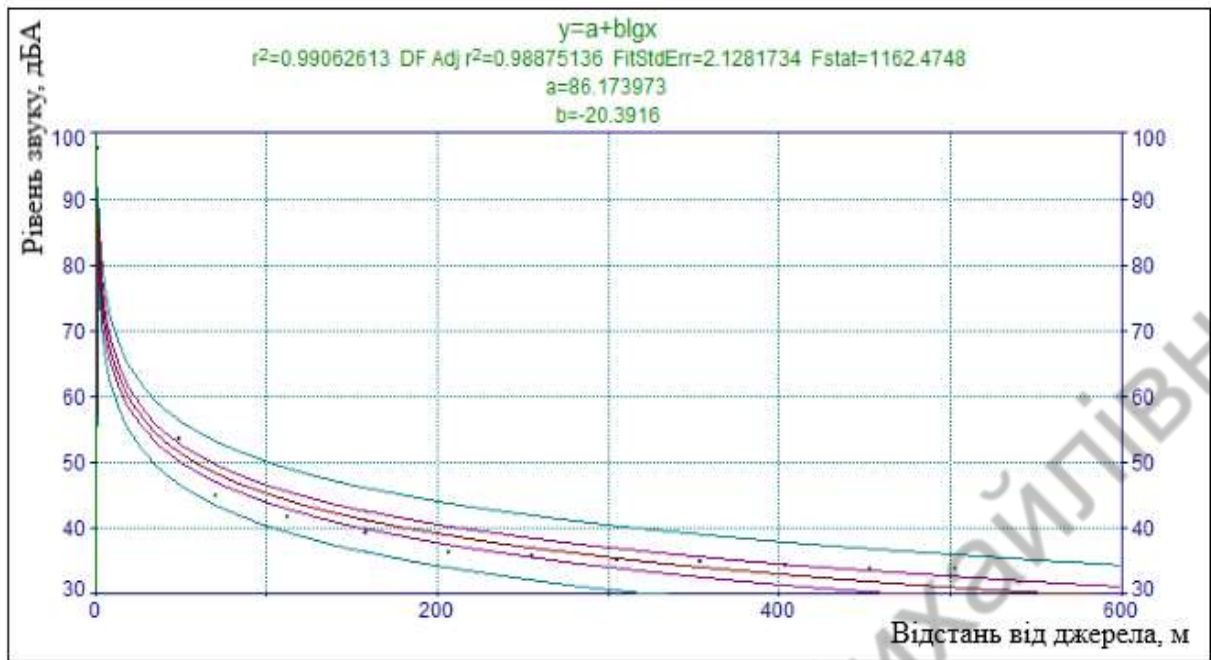


Рис. 7. Залежність між рівнем звуку від першої черги ВЕС «Шевченкове-1» та відстанню при середній швидкості вітру 4-5 м/с на висоті 10 м

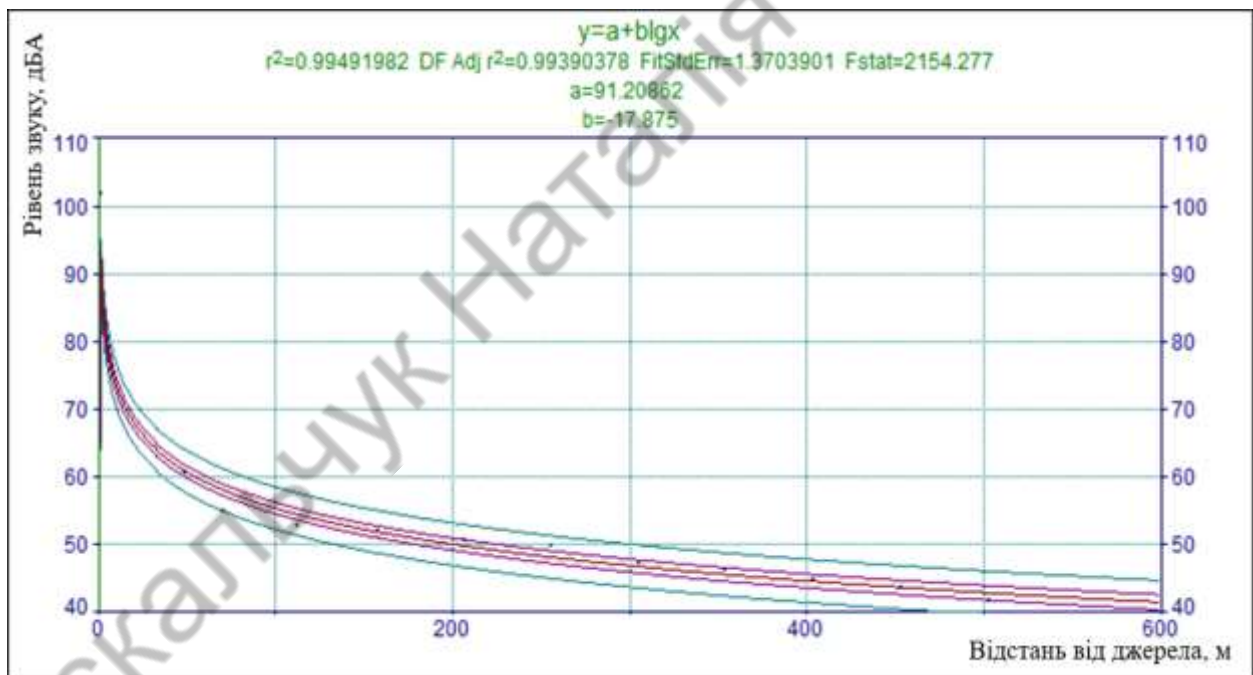


Рис. 8. Залежність між рівнем звуку від першої черги ВЕС «Шевченкове-1» та відстанню при середній швидкості вітру 6-8 м/с на висоті 10 м

Отримані закономірності характеризуються високими значеннями коефіцієнтів детермінації $R^2=0,991$, $R^2=0,995$ та скоригованих на ступені свободи коефіцієнтів детермінації $R^2_{скор}=0,989$, $R^2_{скор}=0,994$. Критерії Фішера при рівнях значущості 0,05 вище табличного значення $F=2,69$ та становлять $F=1162,48$ та $F=2154,27$ відповідно.

Запропоновані залежності отримані завдяки експериментальним даним, тому дають змогу врахування фонових шумів зумовлених вітром.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано методику оцінки значущості впливів від реалізації проєктів відновлювальної енергетики як складової процедури ОВД шляхом поєднання бального методу при визначенні параметрів ймовірності, просторового масштабу, тривалості та інтенсивності й методу таблиць та матриць для порівняння впливів, етапів планованої діяльності та альтернатив, що дає змогу виявити рівень впливів для прийняття рішень про провадження проєктів. Реалізовано методику на прикладі ВЕС «Шевченкове-1» та встановлено, що вплив ВЕС на довкілля є незначним негативним, що не є перешкодою для планованої діяльності. На основі експериментальних даних та відомих показників звукової потужності ВЕУ отримано функціональні залежності між рівнем звуку від ВЕУ Nordex N43 600 та відстанню.

2. Набули подальшого розвитку наукові підходи до зменшення впливів ВЕУ на орнітофауну, що дало змогу розробити технічні рішення, а саме, спосіб відлякування птахів від вітрових турбін ВЕС, підтверджений патентом на корисну модель.

3. Проведено оцінку вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону. Встановлено зменшення середніх швидкостей вітру та зміни у річному ході швидкості вітру у сучасному періоді на всіх метеостанціях. Побудовано карти середньої швидкості вітру на висотах 10, 30, 50, 70, 100 м. Запропоновано класифікацію перспективності швидкостей вітру для цілей вітроенергетики. Встановлено, що низька повторюваність вітрів зі швидкістю понад 25 м/с, при яких не можлива робота ВЕУ, не впливатиме на показники виробітки електроенергії ВЕС. Виявлено територіальні закономірності переважання вітрів певних напрямів: для передгірних районів характерне переважання вітрів західних та східних румбів; у гірських районах переважають вітри різних напрямів; для Закарпатської низовини характерні вітри південних та північних румбів. Визначено повторюваності перспективних для роботи ВЕУ швидкостей: частка швидкостей вітру від 3 м/с в середньому складає 26%; від 4 м/с – 17%; від 5,5 м/с – 7%. Запропоновано класифікацію перспективних територій за вітроенергетичним потенціалом. Розраховано питому потужність вітру, питомий вітроенергетичний потенціал та виділено території зі сприятливими вітрокліматичними умовами. Встановлено, що річний вітроенергетичний потенціал на перспективних територіях Карпатського регіону від ВЕУ великої потужності – Vestas V112-3.3MW може складати від 4,7 до 10 млн кВт·год/рік або від 579 до 1225 т у.п.; середньої – Nordex N43-600-125 43.0 – від 256 до 382 тис кВт·год/рік або від 31,5 до 47 т у.п.; малої – Flamingo Aero-6.7 – 3,2-4,3 тис кВт·год/рік.

4. Удосконалено алгоритм вибору майданчика розташування ВЕС шляхом використання ГІС та ДЗЗ при екологічно безпечному геоплануванні території, який включає вибір досліджуваної території зі сприятливими кліматичними умовами, врахування геопросторових обмежень на досліджуваній території та виділення перспективних майданчиків

розташування ВЕС. Теоретично обґрунтовано врахування трьох типів обмежень: орографічних, технічних (дорожньої мережі та енергомережі) та екологічних – природних (ПЗФ, водні об'єкти, ліси) і соціально-економічних (населені пункти, аеродроми) шляхом встановлення геопросторових виключень та екологічно безпечних відстаней. Застосовано алгоритм вибору майданчика розташування ВЕС для Івано-Франківської області. Побудовано покомпонентні, комплексну карти геопросторових обмежень досліджуваної території та карту перспективних майданчиків розташування ВЕС. Виділено 24 екологічно безпечні перспективні майданчики розташування ВЕС загальною площею 4514,22 га. На прикладі Vestas V112 3.3 МВт розраховано можливу потужність ВЕС на перспективних майданчиках, яка для 88 ВЕУ склала 290,4 МВт.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Стратегічна оцінка використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону: Колективна монографія / за ред. Л.М. Архипової. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. 323 с. *Особистий внесок – оцінка впливу об'єктів відновлювальної енергетики на довкілля, аналіз просторових обмежень об'єктів вітрової енергетики, технології використання енергії вітру.*
2. Методологія екологічно безпечного використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону: Колективна монографія / за ред. Л.М. Архипової. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 298 с. *Особистий внесок – обґрунтування потенціалу енергії вітру на досліджуваній території, методологія екологічно безпечного впровадження ВЕС на прикладі ВЕС «Шевченкове-1», методологія екологічно безпечного впровадження СЕС на прикладі СЕС «Старі Богородчани-1».*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

3. Adamenko Ya., Moskalchuk N., Radlovska K. Features of Environmental Impact Assessment because of the Wind Energy. *Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare. Series D – Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering*. 2014. Volume XXVII No. 2. P.13-19 (індексується в ProQuest, EBSCO, ERIH PLUS). *Особистий внесок – аналіз основних впливів на довкілля від ВЕС.*
4. Integral Environmental Impact Assessment of Projects Use Wind Energy / Ya. Adamenko, L. Arkhypova, O. Mandryk, N. Moskalchuk. *Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare. Series D Seria D Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering*. 2015. Volume XXIX No. 2. P.89-93 (індексується в ProQuest, EBSCO, ERIH PLUS). *Особистий внесок – методика визначення значущості впливів на довкілля.*

Статті у наукових фахових виданнях України

5. Адаменко Я.О., Архипова Л.М., **Москальчук Н. М.** Методика екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії. *Екологічна безпека*. 2015. №2/2015 (20). С.37-42 (індексується в Ulrich's Web Global Serials Directory, Index Copernicus, Open Academic Journals Index). *Особистий внесок – оцінка значущості впливів від сонячної електростанції «Старі Богородчани-1».*
6. **Москальчук Н. М.** Вітрова енергетика – особливості оцінки впливу на навколишнє середовище. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.-техн. журнал*. 2016. № 1(13). С. 130-135.
7. **Москальчук Н. М.**, Приходько М.М. Оцінка вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. № 27.1. С. 125-128 (індексується в Index Copernicus, CrossRef, WorldCat). *Особистий внесок – класифікація перспективності територій для ВЕУ, виділення перспективних для вітроенергетики територій в Карпатському регіоні.*
8. **Москальчук Н. М.** Перспективи вітроенергетики на Прикарпатті. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.-техн. журнал*. 2017. № 1(15). С.195-204.
9. **Москальчук Н. М.** Методика оцінки впливу на довкілля об'єктів вітроенергетики та її реалізація на прикладі ВЕС Шевченкове-1. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.-техн. журнал*. 2018. №1. С. 72–85.
10. **Москальчук Н. М.**, Адаменко Я. О. Вибір майданчика розташування ВЕС на основі ГІС-підходу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. № 29 (6). С. 71-75 (індексується в Index Copernicus, CrossRef, WorldCat). *Особистий внесок – алгоритм вибору майданчика розташування ВЕС з реалізацією в межах Івано-Франківської області.*

Тези та матеріали наукових конференцій

11. Методика екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії / О. М. Мандрик, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова, **Н. М. Москальчук**. *Проблеми екологічної безпеки: збірник тез доп. XIII міжн. наук.-техн. конф., м. Кременчук, 6-8 жовтня 2015 р. Кременчук, 2015. С. 100-102. Особистий внесок – порядок визначення значущості впливів.*
12. Адаменко Я.О., **Москальчук Н. М.** Пом'якшення впливів на навколишнє середовище від вітрових електростанцій. *Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матер. міжн. наук.-практ. конф., м. Харків, 4 грудня 2015 р. Харків, 2015. С. 98-99. Особистий внесок – аналіз способів відлякування птахів від ВЕС.*
13. Adamenko Ya., **Moskalchuk N.** Avifauna – The Protection from Wind Power. *Innovative ideas in science 2015: International conference, Baia Mare, Romania, 12-13 November, 2015. URL: <http://conf.cunbm.utcluj.ro/index.php/iis/iis2015/paper/view/30/>. Особистий внесок – спосіб зменшення впливу на орнітофауну з використанням торіодальних вихорів.*

14. **Москальчук Н. М.** Вітроенергетичний потенціал Карпатського регіону. *Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення*: матер. всеукр. конф. молодих вчених, м. Київ, 16-17 листопада 2016р. Київ, 2016. С.136-139.
15. **Москальчук Н. М.** Вітроенергетичний потенціал Івано-Франківської області. *Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації*: матер. міжн. наук.-практ. конф, м. Івано-Франківськ, 22-25 березня 2017 р. Івано-Франківськ, 2017. С. 90-92.
16. Research of quantitative Indicators of the Solar Energy Potential in the Carpathian Region of Ukraine / O. Mandryk, **N. Moskalchuk**, L. Arhypova, M. Pryhodko, O. Pobugun // *Innovative Ideas in Science 2017: International conference*, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 2-3 November 2017. URL: <http://conf.cunbm.utcluj.ro/index.php/iis/iis2017/paper/view/213>. *Особистий внесок – методика оцінки впливів на довкілля від сонячних електростанцій*.
17. **Москальчук Н. М.** Вітроенергетичний потенціал м. Івано-Франківськ. *Сучасні технології у промисловому виробництві*: матер. та прогр. V всеукр. міжвуз. наук.-техн. конф., м. Суми, 17-20 квітня 2018 р. Суми, 2018. С 173-174.
18. Some aspects of environmental assessment of renewable energy sources in the Carpathian region of Ukraine / O. Mandryk, **N. Moskalchuk**, L. Arhypova, M. Pryhodko, O. Pobugun. *Innovative Ideas in Science 2018: International conference*, Baia Mare, Romania, 8-9 November 2018. URL: http://conf.cunbm.utcluj.ro/public/conferences/1/schedConfs/9/Book_of_Abstracts_2018.pdf. *Особистий внесок – методика оцінки значущості впливів на довкілля*.

Патенти

19. Спосіб відлякування птахів від вітрових турбін вітроелектростанцій: пат. на корисну модель 104389: МПК (2016.01) А01М 29/00. № у 2015 07494; заявл.27.07.2015; опубл. 25.01.2016, Бюл. №2.
20. Акустичний пристрій для відлякування риби: пат. на корисну модель 106286 МПК (2016.01) А01К 79/00 А01К 91/053 G10К 11/04. № у 2015 09380; заявл.29.09.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. №8.

АНОТАЦІЯ

Москальчук Н. М. Підвищення рівня екологічної безпеки при використанні енергії вітру в Карпатському регіоні. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2019. Спеціалізована вчена рада Д 20.052.05.

Вперше для оцінки значущості впливів від реалізації проєктів відновлювальної енергетики як складової процедури оцінки впливу на довкілля запропоновано використання багатокритеріального аналізу шляхом поєднання бального методу при визначенні параметрів ймовірності,

просторового масштабу, тривалості та інтенсивності й методу таблиць та матриць при порівнянні впливів, етапів діяльності та альтернатив. Набули подальшого розвитку наукові підходи щодо зменшення впливів вітроенергетичних установок на орнітофауну шляхом застосування генераторів тороїдальних вихорів на майданчиках ВЕС. Набули подальшого розвитку дослідження вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону шляхом встановлення сучасних змін показників вітрових характеристик, виділення перспективних територій та прогнозування показників виробітку електроенергії. Удосконалено методи вибору майданчика розташування ВЕС шляхом врахування науково обґрунтованих геопросторових обмежень, застосування ДЗЗ та ГІС. Отримано функціональні залежності між рівнем звуку від вітроенергетичної установки Nordex N43 600 та відстанню.

Ключові слова: екологічна безпека, енергія вітру, Карпатський регіон, вітроелектростанція, оцінка впливу на довкілля, значущість впливів, вітроенергетичний потенціал, геопросторові обмеження, вітроенергетична установка.

АННОТАЦІЯ

Москальчук Н. М. Повышение уровня экологической безопасности при использовании энергии ветра в Карпатском регионе. Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - экологическая безопасность. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины, Ивано-Франковск, 2019. Специализированный ученый совет Д 20.052.05.

Впервые для оценки значимости воздействий от реализации проектов возобновляемой энергетики как составляющей процедуры оценки воздействия на окружающую среду предложено использование многокритериального анализа путем объединения бального метода при определении параметров вероятности, пространственного масштаба, длительности и интенсивности и метода таблиц и матриц при сравнении воздействий, этапов деятельности и альтернатив. Получили дальнейшее развитие научные подходы по уменьшению воздействий ветроэнергетических установок на орнитофауну путем применения генераторов тороидальных вихрей на площадках ветроэлектростанций. Получили дальнейшее развитие исследования ветроэнергетического потенциала Карпатского региона путем установки современных изменений показателей ветровых характеристик, выделение перспективных территорий и прогнозирования показателей выработки электроэнергии. Усовершенствованы методы выбора площадки расположения ВЭС путем учета научно обоснованных геопространственных ограничений, применение ДЗЗ и ГИС. Получены функциональные зависимости между уровнем звука от ветроэнергетической установки Nordex N43 600 и расстоянием.

Ключевые слова: экологическая безопасность, энергия ветра, Карпатский регион, ветроэлектростанция, оценка воздействия на окружающую среду, значимость воздействий, ветроэнергетический потенциал, геопространственные ограничения, ветроэнергетическая установка.

ABSTRACT

Moskalchuk N. M. Increasing the level of ecological safety when using wind energy in the Carpathian region. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a scientific degree of candidate of technical sciences, speciality 21.06.01 - environmental safety. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2019. Specialized scientific council D 20.052.05.

The thesis deals with the actual scientific and technical task of increasing the level of environmental safety when implementing wind energy projects for the Carpathian region by improving the individual stages of the environmental impact assessment and geospatial planning of the projected activity area.

For the first time, to assess the impact significance from the implementation of renewable energy projects as a part of the environmental impact assessment procedure, it is proposed to use multi criteria analysis by combining a point method in determining the parameters of probability, spatial scale, duration and intensity, and the method of tables and matrices when comparing the impacts, activities and alternatives. The environmental impact of the wind farm “Shevchenkove-1” has been assessed to justify the decision to implement the project.

Scientific approaches have been further developed to reduce the effects of wind farms on ornithofauna through the use of vortex ring generators at wind farm sites.

The research of the Carpathian region wind energy potential has been further developed through the establishment of modern changes in wind characteristics, the allocation of promising territories and the forecasting of electricity production of specific wind turbines, which allows to increase the level of ecological safety of the region by replacing fossil fuel sources and reducing negative environmental impacts.

Methods for the wind farm site selecting have been improved by taking into account scientifically sound geospatial constraints, the use of remote sensing of the Earth and geoinformation systems, which helps to prevent environmental impacts from the implementation of wind energy projects. The algorithm of the site selection was applied using the example of Ivano-Frankivsk region.

Functional dependencies were obtained between the sound level of the wind turbine Nordex N43 600 and the distance based on the processing of experimental data and the consideration of sound power.

Keywords: ecological safety, wind energy, Carpathian region, wind farm, environmental impact assessment, impact significance, wind energy potential, geospatial constraints, wind turbine.