

Звіт підготовлений для:

Звіт підготували:

**ПРОГРАМА ФІНАНСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ
(ПРОГРАМА USELF)**

**Технічний звіт з оцінки потенціалу
відновлюваної енергетики в Україні:**

Енергія вітру

Один з п'яти технічних звітів з питань розвитку відновлюваної енергетики, підготовлений в рамках Стратегічного екологічного аналізу Програми USELF

ПРОЕКТНІ СЦЕНАРІЇ ДЛЯ ПРОГРАМИ ФІНАНСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ: ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

ЗМІСТ

1.	ВСТУПНА ЧАСТИНА.....	4
2.	РЕСУРСИ І ПОТЕНЦІАЛ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	4
2.1	Запропоновані проекти розвитку вітрової енергетики	4
2.2	Райони концентрації ресурсів вітрової енергії і підключення до єдиної енергомережі.....	5
3.	ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЙ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	8
3.1	Складові елементи і конфігурація вітрових електростанцій.....	8
3.2	Експлуатація і технічне обслуговування.....	21
3.3	Огляд технологій вітрової енергетики.....	21
3.4	Питання вибору майданчика	24
3.5	Будівельні роботи	25

Таблиці

Таблиця 2-1. Сумарна потужність вітрової енергетики по областях згідно з отриманими заявками на підключення.....	5
Таблиця 2-2. Максимальний розрахунковий потенціал розвитку вітрової енергетики.....	6
Таблиця 3-1. Конфігурація вітрових електростанцій.....	8
Таблиця 3-2. Середні рівні потреби в земельних площах для розміщення ВЕС.....	12
Таблиця 3-3. Експлуатаційні показники і рівні витрат на будівництво/експлуатацію вітрових електростанцій.....	22

Рисунки

Рисунок 3-1. Типова схема устрою вітрової турбіни	9
Рисунок 3-2. Будівництво типової розширеної до низу основи.....	10
Рисунок 3-3. Типовий устрій системи збору вітрової енергії.....	11
Рисунок 3-6. Приклад конфігурації рівнинної ВЕС потужністю 20 МВт.....	15
Рисунок 3-7. Приклад конфігурації рівнинної ВЕС потужністю 50 МВт.....	16
Рисунок 3-8. Приклад конфігурації рівнинної ВЕС потужністю 150 МВт.....	17
Рисунок 3-9. Приклад конфігурації ВЕС потужністю 20 МВт на гірському хребті	18
Рисунок 3-10. Приклад конфігурації ВЕС потужністю 50 МВт на гірському хребті	19
Рисунок 3-11. Приклад конфігурації ВЕС потужністю 150 МВт на гірському хребті	20
Рисунок 2-3-12. Мапа розташування ресурсів вітрової енергії і енергопостачальних ліній.....	28

Інформація щодо процесу розробки та розгляду документу:

№ версії	Підготували:	Розглянули:	Затвердили до подання:	Дата подання:	Статус подання:
v1	Мон Хонг (список буде доповнений)	Мон Хонг	Джей Ебботт	11 травня 2011	Проект звіту для ЄБРР
v2	Мон Хонг	Мон Хонг	Джей Ебботт	1 вересня 2011	Проект звіту для ЄБРР
v3					

№ проекту за системою B&V 167767

№ проекту за системою замовника TCS ID 29098

Примітка:

Цей звіт призначений виключно для ЄБРР. Якість наведеної в ньому інформації, висновків та оцінок відповідає зусиллям, витраченим спеціалістами компанії BV на його підготовку, а сам звіт базується на: i) інформації, наявній на час підготовки звіту, ii) даних, отриманих із зовнішніх джерел, та iii) припущеннях, умовах та оцінках, наведених в його тексті. Цей звіт призначений для потреб ЄБРР і має використовуватись у відповідності до умов, визначених контрактом між Банком і компанією BV. Використання цього документу або посилання на нього третіми сторонами в будь-яких інших цілях є питанням власного ризику цих сторін.

ПРОЕКТНІ СЦЕНАРІЇ ДЛЯ ПРОГРАМИ ФІНАНСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ: ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

1. ВСТУПНА ЧАСТИНА

Метою цього технічного звіту є забезпечення Групи з підготовки Стратегічного екологічного аналізу (СЕА) Програми USELF інформацією про типовий сценарій розвитку вітрової енергетики в процесі її роботи над підготовкою Звіту з СЕА. В цьому звіті розглядаються потенційні місця розташування, варіанти технологій та умови експлуатації об'єктів, передбачених сценарієм розвитку вітрової енергетики. Особлива увага приділяється обмеженням технічного характеру, пов'язаним з наявністю відповідних ресурсів і технологій для використання енергії вітру. В той же час, обмеження екологічного і соціально-економічного характеру не розглядалися в рамках цього звіту, оскільки вони вивчатимуться окремо в матеріалах Звіту з СЕА. Цей звіт жодною мірою не має на меті обмежити або виключити можливості майбутнього розвитку та використання інших технологій, які лишилися поза його рамками.

Цей документ містить два наступні розділи:

- Ресурси і потенціал використання енергії вітру
- Характеристики технологій вітрової енергетики

Розділ 2 (Ресурси і потенціал використання енергії вітру) містить корисну для розробників СЕА інформацію щодо наявності та кількості ресурсів енергії вітру по всій країні, а також про ті її райони, які характеризуються найбільшими обсягами цих ресурсів.

Розділ 3 (Характеристики технологій вітрової енергетики) присвячений технологіям використання енергії вітру для виробництва електроенергії. В ньому розглядаються ключові експлуатаційні показники, особливості під'єднання установок до енергосистеми, їхньої експлуатації та обслуговування, а також питання наявності відповідного технологічного обладнання в Україні. В цьому розділі також розглядаються найтипівіші питання, пов'язані з вибором майданчиків та будівництвом вітрових установок, які також є дотичними до процесу СЕА.

2. РЕСУРСИ І ПОТЕНЦІАЛ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Ресурси вітрової енергії в Україні, разом з існуючою енергопостачальною інфраструктурою і потребою в енергії, створюють достатнє підґрунтя для розвитку вітрової енергетики. В цьому розділі визначаються райони зі значними обсягами ресурсів вітрової енергії і постачальними потужностями, в яких реалізація проектів будівництва і експлуатації вітрових електростанцій вважається більш доцільною з технічної і економічної точок зору.

2.1 Запропоновані проекти розвитку вітрової енергетики

За даними Укренерго як оператора національної енергомережі України, були отримані пропозиції щодо будівництва вітрових електростанцій загальною потужністю більше 14,000 МВт, причому об'єкти потужністю 1,150 МВт були запропоновані у відповідності до технічних вимог Укренерго. В наступній таблиці (Таблиця 2-1) наведений перелік областей, в яких були отримані заявки на підключення вітрових електростанцій до національної енергомережі. Слід очікувати, що на практиці не всі запропоновані проекти будуть доведені до

завершення, оскільки деякі з них можуть зіштовхнутись з різними проблемами, що можуть стосуватись підключення або постачання енергії до енергомережі, а також місця розташування, проходження дозвільних процедур і розробки проектною документації.

Таблиця 2-1. Сумарна потужність вітрової енергетики по областях згідно з отриманими заявками на підключення

Регіональна електромережа	Область	МВт
Крим	Крим	5,279
Придніпров'я	Запорізька	3,045
Південь	Херсонська	400
	Одеська	900
	Миколаївська	2,500
Донбас	Донецька	1,620
	Луганська	250
Центр	Київська	100
	Всього	14,094
<i>Джерело: Укренерго, Проект планування розвитку регіональної енергосистеми в Причорноморському регіоні, 2010 рік</i>		

2.2 Райони концентрації ресурсів вітрової енергії і підключення до єдиної енергомережі

В цьому розділі узагальнюється інформація про ті райони країни, які володіють значними ресурсами вітрової енергії (які характеризуються за допомогою середньої щільності вітрової енергії), а також про можливі проблеми з підключенням до єдиної енергомережі, які можуть обмежити розвиток вітрової енергетики в кожному регіоні. Крім того, райони з гірською місцевістю і схилами крутизною більше 20 градусів вважаються технічно складними для розвитку вітрової енергетики. Ці райони виділені на мапі темно-сірим кольором і розташовані переважно в Карпатських горах на заході України і в Кримських горах на сході України. Як видно на мапі, найякісніші ресурси вітрової енергії в Україні зосереджені в Карпатах, Криму і на Південному узбережжі країни, на Донбасі і вздовж русла Дніпра в Центральній Україні.

В процесі оцінки районів України за потенціалом розвитку вітрової енергетики були визначені ті райони, в яких розрахунковий рівень щільності вітрової енергії становить більше 300 Вт на м² на відрізьку довжиною 80 метрів. Такий підхід дає можливість визначити ті об'єкти, які можуть рентабельно працювати за існуючими ставками Зеленого тарифу. Величина потенціалу потужності по кожній області була відповідним чином відкоригована з урахуванням класу вітру. Райони з рейтингом 300-350 (Вт/м²) вважаються придатними для розвитку вітрової енергетики на 25%, а райони з рейтингом >350 (Вт/м²) – на 50%. Таким чином, рівні розвитку вітрової енергетики можуть бути набагато вищими, ніж наведені у наступній таблиці (Таблиця 2-2), але зазначені обмеження були встановлені для цілей СЕА.

В рамках цієї оцінки розглядалися елементи постачальної мережі з рівнями напруги 220 кВ або вище. Включення елементів з нижчими рівнями напруги може створювати додаткові обмеження в плані можливості транспортування виробленої

енергії до місцевих центрів споживання, але це не обов'язково призведе до змін в режимах постачання енергії з одного регіону до іншого. На Рисунку 2.1 показаний розподіл ресурсів вітрової енергії по території України, а також існуюча енергопостачальна інфраструктура. Більш детальна інформація в розрізі регіонів міститься у Додатку В.

В рамках СЕА прийнятий такий сценарій розвитку вітрової енергетики, який передбачає максимальне використання потенціалу вітрової енергії в кожній області. При цьому будівництво нових великих ліній енергопостачання не передбачається. В цілому, рівень цього потенціалу дуже близький до сумарної потужності вітрових електростанцій, які запропоновані до будівництва. Як можна побачити з наступної таблиці (Таблиця 2-2), рівні потужності, передбачені в рамках сценарію регіонального розвитку вітрової енергетики, зазвичай є нижчими за рівні сумарного потенціалу використання вітрової енергії, що обумовлене наявністю додаткових обмежень, пов'язаних з існуючою інфраструктурою постачання і споживання електроенергії в кожному регіоні. В більшості областей України існують надмірні потужності з виробництва електроенергії, які дозволяють постачати енергію до суміжних регіонів, і величезні можливості з перекидання енергії між областями. Для областей, які володіють значними ресурсами вітрової енергії і можливостями для перекидання енергії, головним обмеженням може бути відсутність попиту на енергію на регіональних ринках. В інших регіонах обмежуючим фактором для розвитку вітрової енергетики може бути наявність якісних ділянок для використання вітрової енергії або стан існуючих постачальних мереж.

Таблиця 2-2. Максимальний розрахунковий потенціал розвитку вітрової енергетики

Регіональна енергомережа	Область	Потенціал розвитку вітрової енергетики в області (МВт)	Регіональний сценарій розвитку вітрової енергетики (тільки вітрова енергетика), МВт	Регіональний сценарій розвитку вітрової енергетики (вітрова енергетика в комбінації з сонячною енергетикою), МВт
Центр	Черкаська	813	1,229	922
	Чернігівська	0		
	Київська	333		
	Житомирська	83		
Крим	Крим	2,839	2,839	2,129
Придніпров'я	Дніпропетровська	229	2,979	2,234
	Кіровоградська	646		
	Запорізька	2,104		
Донбас	Донецька	1,521	3,526	3,526
	Луганська	2,292		
Північ	Харківська	0	229	229
	Полтавська	229		
	Сумська	0		
Південь	Херсонська	1,979	1,281	961
	Миколаївська	63		
	Одеська	833		

Південний захід	Чернівецька	396	894	894
	Хмельницька	250		
	Тернопільська	3,149		
	Вінницька	0		
Захід	Івано-Франківськ	3,878	1,408	1,408
	Львівська	12,083		
	Рівненська	2,438		
	Волинська	0		
	Закарпатська	0		
Всього			14,386	12,303

Джерело: Аналіз спеціалістів компанії Black & Veatch.

Враховуючи те, що в деяких регіонах вітрова енергетика конкуруватиме з сонячною енергетикою, в попередній таблиці (Таблиця 2-2) також показані рівні потенціального розвитку вітрової енергетики в комбінації з сонячною енергетикою. Вважається, що в таких випадках можливостей для розвитку буде менше, оскільки два види ресурси конкуруватимуть між собою за доступ до постачальних мереж і центрів споживання енергії.

Крим вважається регіоном з найбільш обмеженими умовами постачання енергії через віддаленість його постачальної мережі. Маючи лише біля 2,500 МВт експортно-імпортних потужностей, Крим має не обмежені ресурси, а обмежені можливості постачальної мережі. Такі ж самі обмеження в плані потужностей постачальної мережі існують в Миколаївській і Херсонській областях, але вони більшою мірою обумовлені розташуванням існуючих підстанцій підключення, а не пропускну здатністю самої мережі. Якщо б була можливість транспортувати електроенергію на великі відстані до головних підстанцій з нижчими рівнями напруги, тоді пропускна потужність існуючої енергомережі вважалась би достатньою для транспортування виробленої енергії. Але такий підхід буде пов'язаний зі значними втратами енергії в розподільчій мережі.

Що стосується західних, центральних і східних регіонів України, то всі вони мають дуже добре розвинені постачальні мережі і численні можливості для підключення вітрових електростанцій в районах з достатніми ресурсами вітрової енергії. Основним обмеженням є регіональна потреба в електроенергії, яка може поглинути весь обсяг енергії, виробленої з використанням енергії вітру. Можливості для розвитку вітрової енергетики на півночі України вважаються дуже обмеженими.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЙ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

У Звіті з визначення обсягів та складу робіт з СЕА розглядались три типи вітрових електростанцій. Передбачається, що всі вони використовуватимуть сучасні вітрові турбіни потужністю 2 – 3 МВт і матимуть наступний вигляд: малі вітрові установки потужністю до 20 МВт, середні вітрові електростанції потужністю від 20 МВт до 100 МВт і великі вітрові електростанції потужністю більше 100 МВт.

В цьому розділі звіту розглядаються ключові складові кожного з цих трьох типів станцій, конфігурація цих складових, експлуатаційні показники, умови експлуатації і технічного обслуговування, типові розміри і рівні витрат, питання наявності відповідного обладнання в Україні, а також вимоги щодо підключення до енергомережі.

3.1 Складові елементи і конфігурація вітрових електростанцій

В цьому розділі описані окремі складові елементи і конфігурація типових вітрових установок. Оскільки всі ці установки зазвичай складаються з таких самих елементів, як і інші, і при цьому мають аналогічну конфігурацію, більш детальний опис цих елементів базується на прикладі малих вітрових установок, а обговорення принципів і умов роботи середніх і великих електростанцій зосереджене на додаткових елементах, необхідних для належного функціонування цих об'єктів.

Типовими складовими елементами вітрової електростанції є наступні: турбіна, вежа, система збору, системи підключення і під'їзні дороги. Сучасні вітрові турбіни промислового типу, які зараз встановлюються повсюди, мають потужність в діапазоні від 1.6 МВт до 3.0 МВт на турбіну. В рамках СЕА розглядаються турбіни з верхньої частини цього діапазону – від 2.0 МВт до 3.0 МВт.

Таблиця 3-1. Конфігурація вітрових електростанцій

	Мала ВЕС	Середня ВЕС	Велика ВЕС
Розмір станції			
Потужність (МВт)	< 20	20 – 100	> 100
Кількість турбін	7-10	7-50	50+

- **Тимчасові/стаціонарні метеорологічні вежі:** Одразу після вибору майданчика станції на його території часто встановлюються тимчасові метеорологічні (метео) вежі для забезпечення збору необхідних метеорологічних даних, які характеризують саме цей майданчик (швидкість і напрям вітру, зсув вітру, температура і вологість повітря) і дають можливість підтвердити доцільність його використання для будівництва вітрової електростанції. Збір даних зазвичай триває протягом 1 – 3 років до початку будівництва.

Точна кількість метеовеж залежить від розміру проектного майданчика і складності рельєфу, але в цілому для збору необхідних даних потрібно 10 або менше веж. Для перевезення цих веж на територію майданчика зазвичай використовуються повнопривідні вантажівки малої вантажопідйомності. Висота веж становить принаймні 50 метрів, і для їхнього встановлення зазвичай не потрібні заглиблені підмурки, але необхідні тросові відтяжки. У випадку використання більш високих веж вітряків встановлюються вищі метеовежі, які дають можливість охарактеризувати вітер на більших висотах, і для них можуть

бути потрібні заглиблені підмурки. Існують інші типи метеовеж, які можуть використовуватись для оцінки швидкостей вітру на більших висотах, але ці вежі в багатьох випадках є мобільними і можуть бути орендовані.

На діючих вітрових електростанціях для потреб моніторингу зазвичай встановлюються стаціонарні вежі. Вимірювальні пристрої на цих вежах охоплюють висоту, яка принаймні дорівнює висоті маточини робочих турбін, і тому ці вежі мусять встановлюватись на підмурках. Стаціонарні метеовежі також використовуються для оцінки ефективності роботи вітрових турбін.

В деяких випадках виникає необхідність у створенні елементарних під'їзних шляхів до місця встановлення турбін; в цих випадках тимчасові під'їзні шляхи пізніше облаштовуються належним чином для того, щоб забезпечити постійний доступ на майданчик для потреб будівництва, експлуатації і технічного обслуговування об'єктів станції.

- **Вітрові турбіни:** Більшість сучасних моделей турбін промислового масштабу, які випускаються визнаними виробниками турбінного обладнання, базуються на класичній датській концепції – конструкції з трьома лопатями і ротором, які розташовані з тієї сторони вежі, з якої дме вітер, а також з механізмом рискання, який повертає турбіну проти вітру. Однак деякі виробники турбін – наприклад, компанія Nordic – випускають турбіни дволопатевої конструкції. Така конструкція дає можливість зменшити вартість турбін за рахунок використання меншої кількості лопатей, але вони потребують більшої кількості додаткового обладнання і створюють більш високі рівні шуму в процесі роботи.

Основні елементи стандартної трьохлопатевої турбінної установки промислового типу показані на наступному рисунку (Рисунок 3-1). Гондола містить вузол приводу, до складу якого зазвичай входить тихохідний вал, що поєднує ротор з двоступеневою або трьохступеневою коробкою швидкостей, а також швидкохідний вал, який поєднує коробку швидкостей з генератором. Кожна турбіна устаткована трансформатором, що підвищує напругу струму, утвореного генератором, до рівня, на якому працює локальна система збору. В залежності від моделі вітрової турбіни, трансформатор може встановлюватись або в гондолі, або на бетонній подушці біля основи вежі.

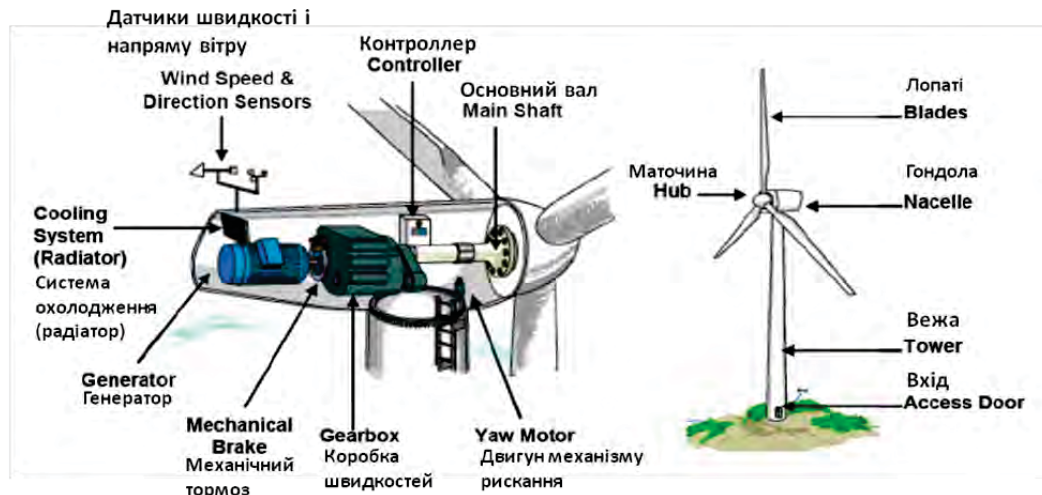


Рисунок 3-1. Типова схема устрою вітрової турбіни

- Вежа:** Стандартні сучасні вежі вітрових турбін виготовляються на заводі і мають трубчасту форму. Як з естетичних, так і з практичних міркувань, вежі трубчастої форми вважаються більш привабливими, ніж сталеві решітчасті конструкції, оскільки в першому варіанті забезпечується безпечніший і зручніший доступ до гондоли за допомогою східців, встановлених всередині вежі, а нижня частина трубчастої вежі використовується для розміщення розподільного пристрою і контрольного обладнання. Однак максимальна висота трубчастої вежі обмежується діаметром її основи. Більшість сучасних вітряних турбін встановлюється на вежах висотою від 80 до 100 м, але висота веж збільшується відповідно до збільшення розміру турбін.
- Лопаті:** Лопаті і ротор призначені для того, щоб перетворювати кінетичну енергію вітру в механічну енергію обертального руху, яка, в свою чергу, може бути перетворена в електричну енергію. Загальною метою удосконалення конструкції лопатей і ротора є максимальне підвищення аеродинамічної ефективності (забезпечення виробництва енергії) при одночасному якнайбільшому скороченні навантаження на конструкцію лопатей і турбіни. Діаметр ротора становить біля 100 м, а площа, що обмітається лопатями, дорівнює 8,000 м². За таких розмірів турбіни максимальна висота вежі від основи до вінця лопаті становить від 130 до 150 м. Загальна робоча висота, на якій обертаються лопаті, часто обмежується вимогами щодо забезпечення безпеки руху авіатранспорту.
- Основа:** Основа турбіни повинна бути настільки міцною, щоб утримувати всю вагу турбіни і виключати можливість перевертання турбіни через високі рівні осьового навантаження від ротору. Конструкція основи завжди обумовлюється особливостями геологічної будови майданчика. Найчастіше для облаштування сучасних вітрових турбін використовуються основи, виконані із залізобетону. Зазвичай основа турбіни має 18-19 метрів в своєму діаметрі і заглиблена на 3-4 метри. Діаметр базової секції вежі, яка встановлюється на основу, становить від 4 до 6 метрів. Розширена до низу основа має форму перевернутої літери “Т” і подушку великого діаметру, яка забезпечує розподіл навантаження по всій великій площі (дивіться Рисунок 3-2). В деяких випадках необхідно використовувати пальові або опорні конструкції – така необхідність виникає тоді, коли основа не може бути укладена на поверхні через відсутність придатного матеріалу. В таких випадках основа створюється таким чином, щоб спиратись на придатний матеріал, що лежить нижче поверхні.



Рисунок 3-2. Будівництво типової розширеної до низу основи

- Система збору і підключення:** Стандартні турбіни промислового типу оснащені підвищувальним трансформатором, який підвищує напругу до рівня, на якому працює локальна система збору або найближча підстанція розподільчої мережі. Локальна система збору зазвичай працює на середніх рівнях напруги (від 25 до 35 кВ). Система збору енергії вітрової електростанції включає низку підземних кабельних ліній середньої напруги, які з'єднують кожен окрему турбіну з підстанцією, розташованою на території станції або поряд з нею. Ці системи збору можуть мати замкнену конфігурацію, до складу якої входять однорядні або багаторядні кабельні лінії. На майданчиках станцій великої потужності, які мають власну підстанцію, остання з'єднується з місцевою розподільчою або постачальною системою за допомогою надземної лінії електропередачі. На наступному рисунку (Рисунок 3-3) наводиться приклад типової конфігурації турбінної установки, в якій система збору енергії включає як підземні, так і надземні кабельні лінії.

На великих вітрових електростанціях зібрана енергія надходить до великої колекторної підстанції з розподільчим пристроєм. За допомогою розподільчого пристрою живильні лінії середньої напруги (приблизно вісім ліній на розподільчий пристрій закритого розташування) подають енергію до одного або кількох підвищувальних трансформаторів. Після цього енергія подається надземними лініями до підстанції підключення або до існуючої підстанції, на майданчику якої є місце для облаштування зовнішнього шинного господарства з метою подальшого розширення. Цей процес зазвичай передбачає необхідність змінення конфігурації існуючої підстанції шляхом включення кільцевої шини або полуторної схеми.

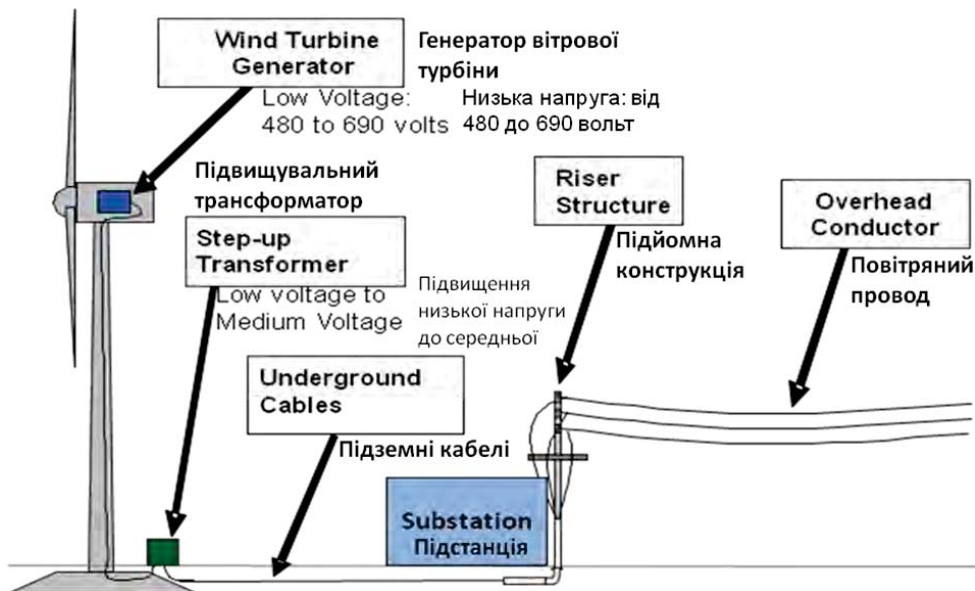


Рисунок 3-3. Типовий устрій системи збору вітрової енергії

- Конфігурація турбіни і площа майданчика вітрової електростанції:** Загальна площа земельної ділянки, яку може займати вітрова електростанція, може змінюватись в широких межах залежно від особливостей майданчика, але типовий інтервал між турбінами є кратним діаметру турбіни і становить від 3 до 10 діаметрів. Відповідно до розрахунків Національної лабораторії США з питань розвитку відновлюваної енергетики (NREL), загальна потреба в земельних площах для виробництва електроенергії з використанням енергії

вітру в середньому може становити від 18 до 48 гектарів на мегават¹. Нижча частина цього діапазону стосується вкритих лісом ділянок, а вища – полів просапних культур. Типові рівні потреби в земельних площах для вітрових електростанцій наводяться в наступній таблиці (Таблиця 3-2).

Таблиця 3-2. Середні рівні потреби в земельних площах для розміщення ВЕС

	Загальна потреба земельних площ (га/МВт)	Зона постійного впливу		Зона тимчасового впливу	
		(га/МВт)	(%)	(га/МВт)	(%)
Ліс	18.3 ± 12.6	0.36 ± 0.22	2%	1.11 ± 1.14	6%
Поля хлібних злаків	24.5 ± 7.7	0.31 ± 0.52	1%	0.50 ± 0.17	2%
Чагарник	26.3 ± 12.8	0.22 ± 0.12	1%	0.63 ± 0.50	2%
Пасовища / сінокісні угіддя	27.4 ± 15.4	0.24 ± 0.15	1%	0.59 ± 0.66	2%
Луки / ділянки, вкриті трав'янистою рослинністю	35.7 ± 16.7	0.41 ± 0.22	1%	0.37 ± 0.11	1%
Поля просапних культур	47.6 ± 25.1	0.24 ± 0.28	1%	0.87 ± 0.65	2%

Джерело: Національна лабораторія США з питань розвитку відновлюваної енергетики (2009).

Суттєва частина визначених площ необхідна для розміщення турбін з відповідним інтервалом і не зазнає фізичного впливу; частка площ, які зазнають фізичного впливу, є дуже малою і становить від двох до восьми відсотків. В розрахунках NREL розрізняються зони постійного впливу і зони тимчасового впливу. Зони постійного впливу включають ділянки, на яких облаштовуються основи вітрових турбін, під'їзні дороги, підстанції, службові споруди і інші елементи інфраструктури, які розташовуються або безпосередньо на земельній ділянці, або на непроникній поверхні. Інші види прямого впливу стосуються будівництва вітрових електростанцій на вкритих лісом ділянках, де лісовий покрив має бути видалений в місці розташування кожної турбіни. Зона прямого впливу на території майданчика вітрової електростанції становить від одного до двох відсотків. Зона тимчасового впливу пов'язана з облаштуванням тимчасових доріг для потреб будівництва і місць зберігання будівельних матеріалів і обладнання, які займають від 1 до 6 відсотків площі відведеної земельної ділянки. Слід зазначити, що для розміщення вітрових електростанцій на вкритих лісом ділянках, які часто простягаються вздовж гірських хребтів, потрібно найменше земельних площ, але в таких районах зона прямого впливу будівництва ВЕС в перерахунку на мегават енергії зазвичай є найбільшою у порівнянні з іншими видами земельних ділянок (за виключенням ділянок лучної/трав'янистої рослинності). Тимчасові впливи так само можуть бути значнішими для станцій, які розміщуються на вкритих лісом ділянках і вздовж гірських хребтів, що обумовлене обмеженнями, пов'язаними з пошуком придатних місць для розташування турбінних установок і облаштуванням під'їзних шляхів в місцевості з крутими схилами. Ті ділянки майданчиків ВЕС, які залишились поза впливом будівництва, можуть використовуватись для інших потреб – наприклад, для вирощування сільськогосподарських культур або для випасу тварин.

Вітровий режим місцевості змінюється в залежності від різних форм рельєфу. Наприклад, в гірській місцевості тільки вершини гірських хребтів є практично

¹ Денхолм П. та ін. «Потреби в земельних ділянках для сучасних вітрових електростанцій в США». Національна лабораторія з питань розвитку відновлюваної енергетики, серпень 2009 року (Denholm, P. et al, "Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States." National Renewable Energy Lab NREL/TP-6A2-45834, August 2009).

придатними для встановлення вітрових турбін у зв'язку з тим, що ці ділянки є абсолютно відкритими для впливу вітру, тоді як на рівнинних ділянках вітровий режим буде більш однорідним по всій їхній площі. На наступних рисунках показані стандартні схеми розташування турбін для станцій двох типів – рівнинного і гірського.



Рисунок 3-4 Рівнинна ВЕС в Іспанії



Рисунок 3-5. Гірська ВЕС в Іспанії

Для цілей СЕА прийняті наступні припущення: нижчий рівень потреби в земельних площах (18 гектарів на МВт для вкритих лісом ділянок) відображає потребу в землі для вітрових електростанцій, що розміщуються вздовж гірських хребтів, а середній для всіх інших видів ділянок рівень (30 гектарів на МВт) відображає потребу в землі для рівнинних ВЕС.

- **Додаткові елементи:** На середніх або великих станціях можуть бути присутні певні додаткові споруди, використання яких на малих станціях може бути недоцільним з економічної точки зору. В залежності від розміру станції, до її складу можуть входити центральна диспетчерська, пристосування для роботи в теплу/холодну погоду, місце для зберігання запасних частин і ремонтний цех, які також можуть бути об'єднані в одному приміщенні .

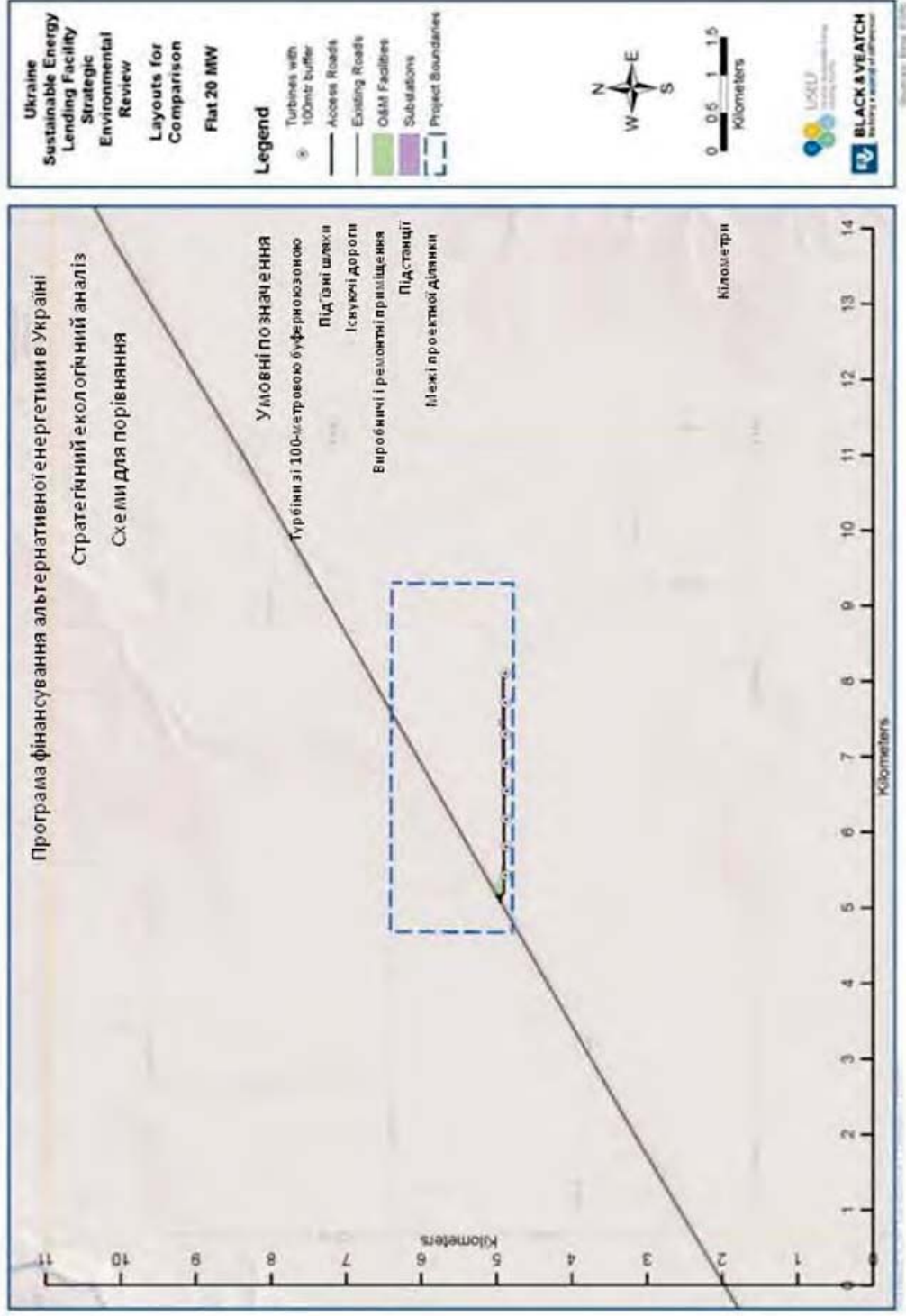


Рисунок 3-6. Приклад конфігурації рівнинної ВЕС потужністю 20 МВт

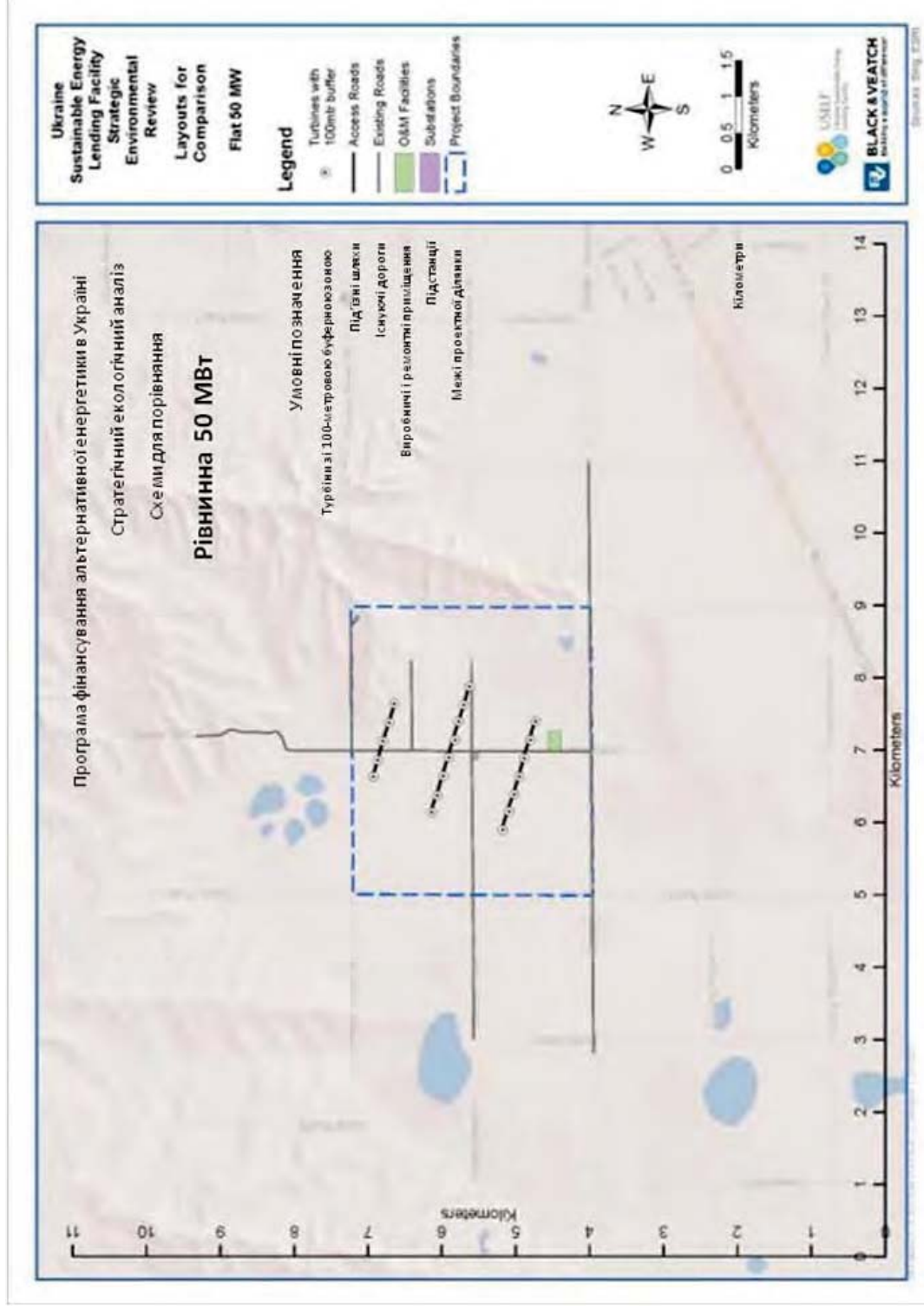


Рисунок 3-7. Приклад конфігурації рівнинної ВЕС потужністю 50 MW

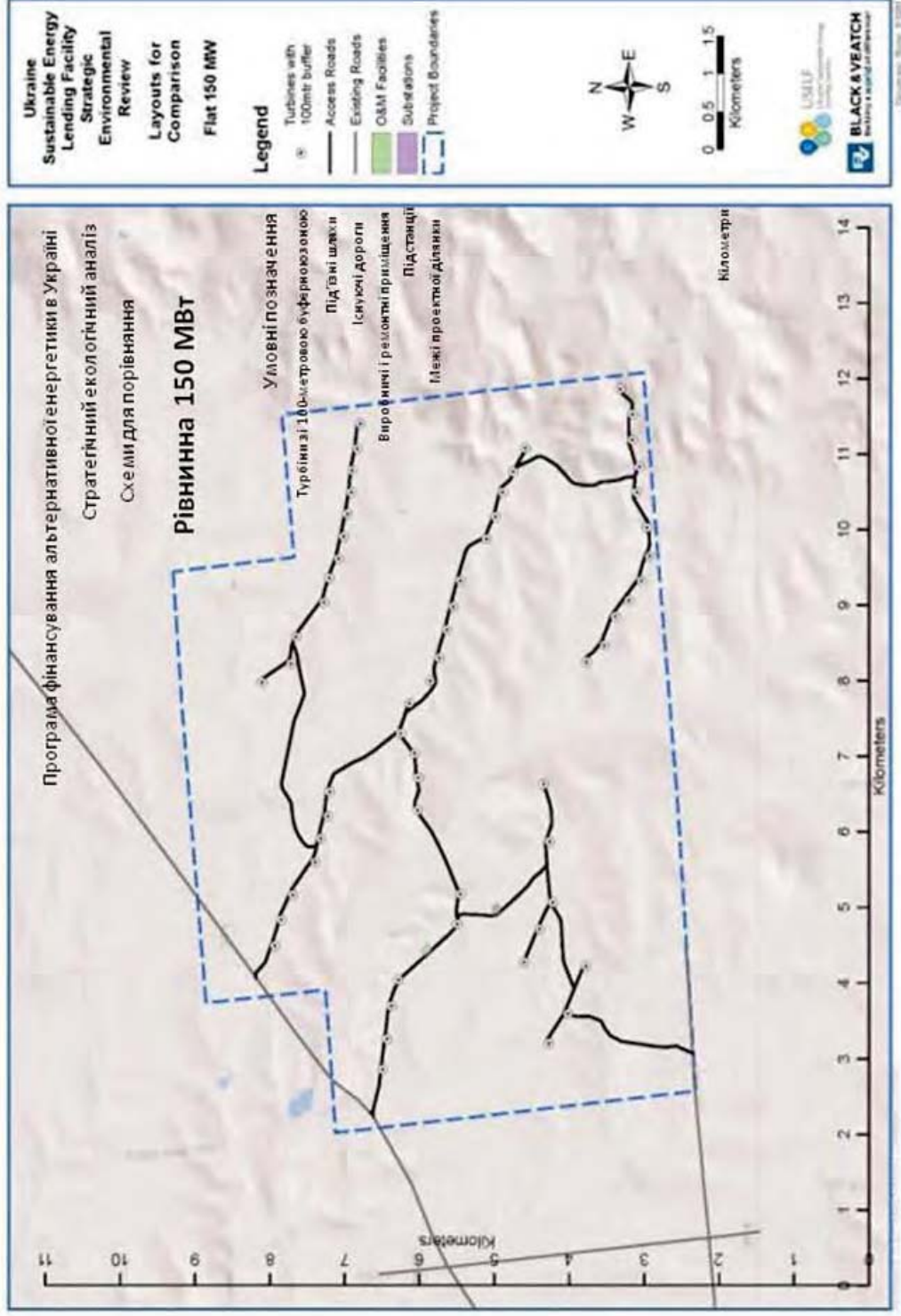


Рисунок 3-8. Приклад конфігурації рівнинної ВЕС потужністю 150 МВт



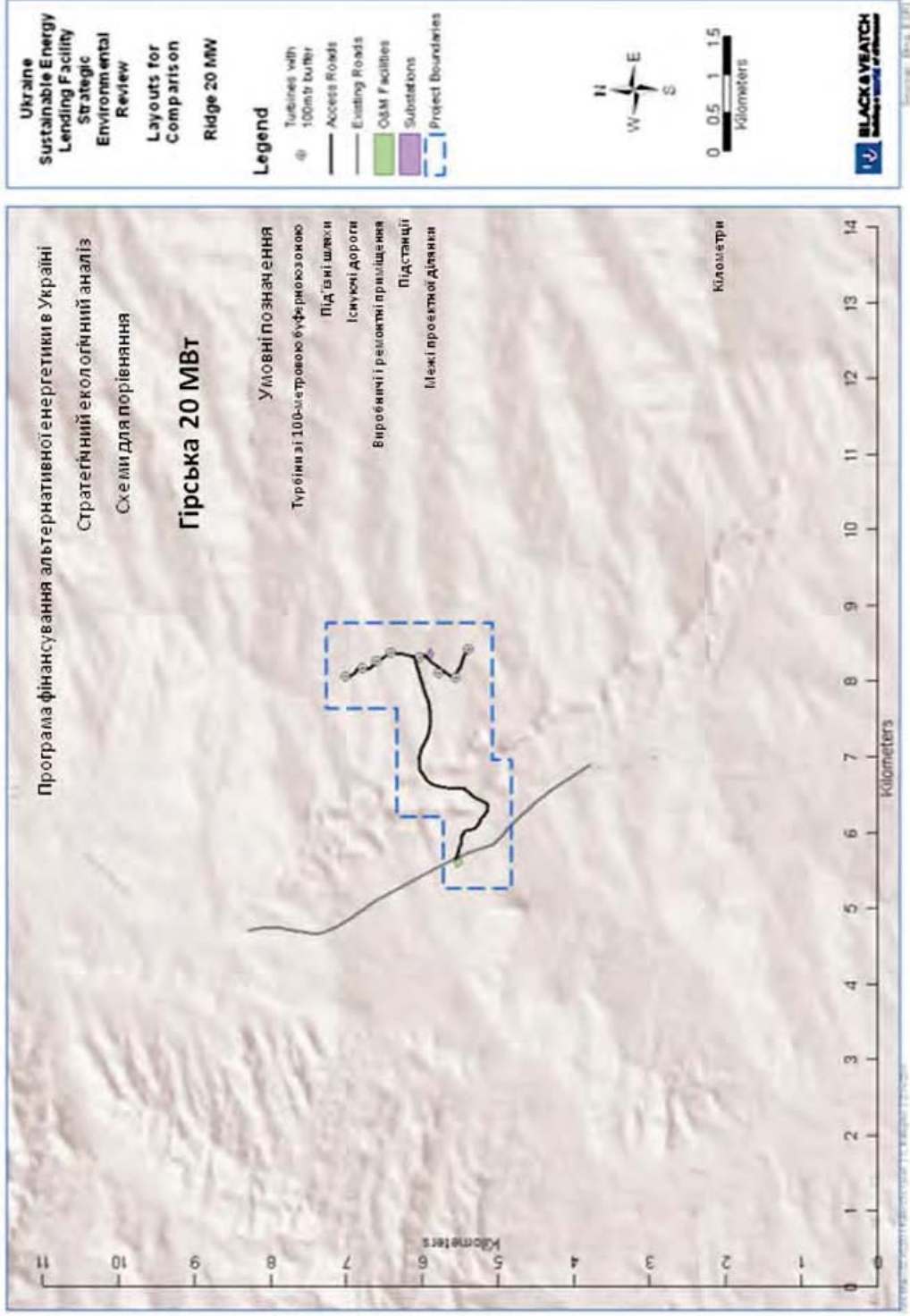


Рисунок 3-9. Приклад конфігурації ВЕС потужністю 20 МВт на гірському хребті



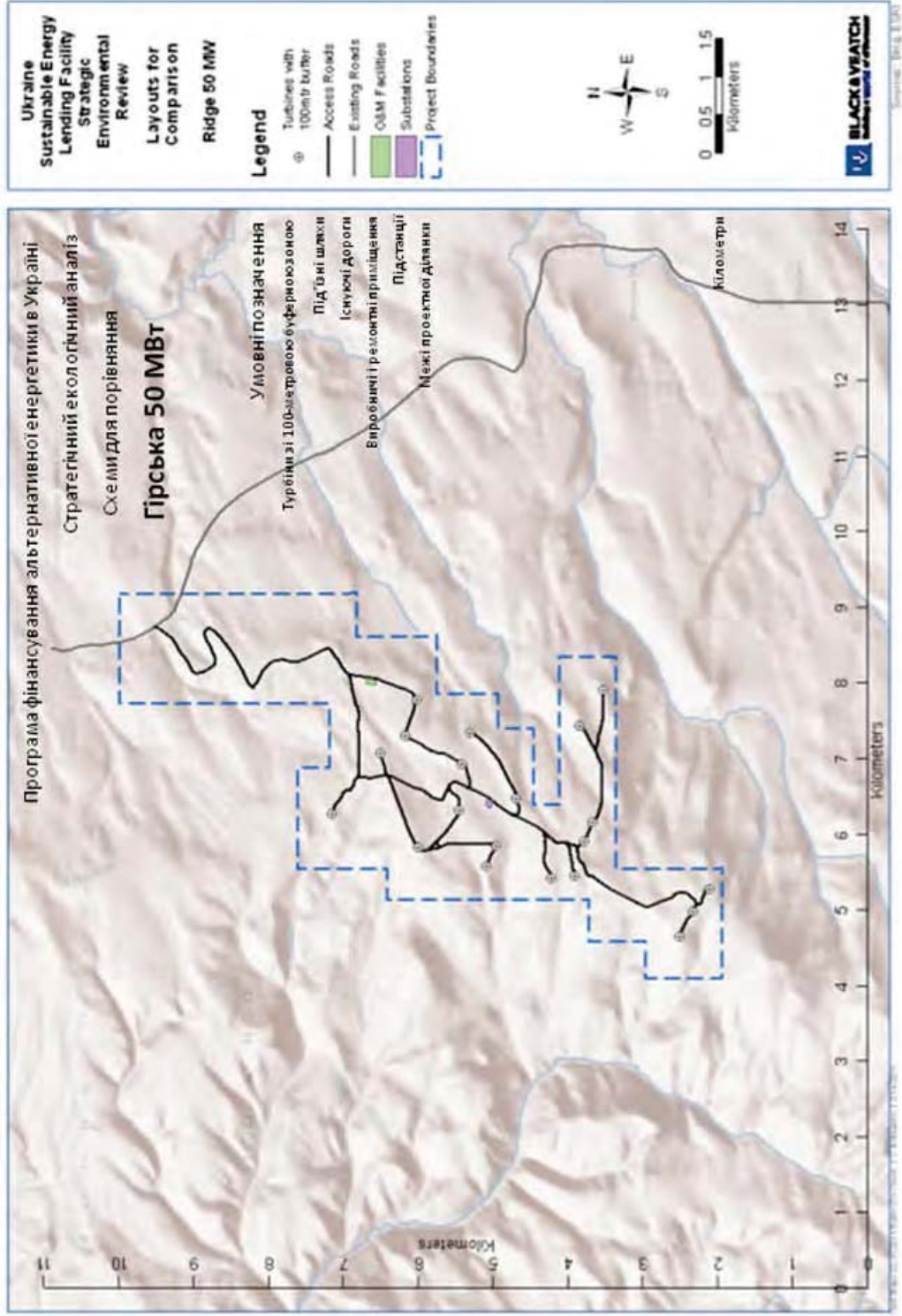


Рисунок 3-10. Приклад конфігурації ВЕС потужністю 50 МВт на гірському хребті



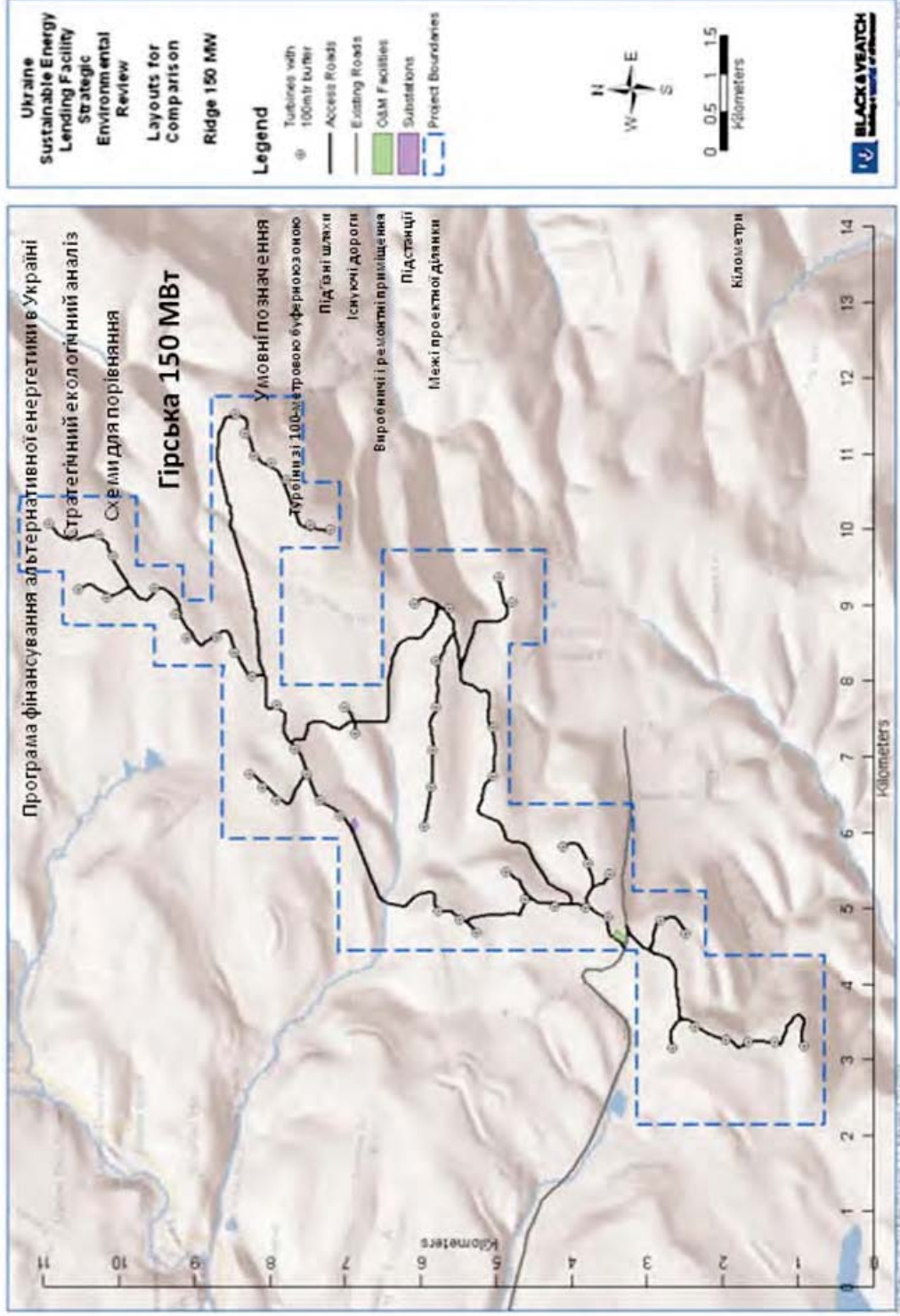


Рисунок 3-11. Приклад конфігурації ВЕС потужністю 150 MW на гірському хребті

3.2 Експлуатація і технічне обслуговування

Всі ключові елементи вітрових турбін мусять проходити планове технічне обслуговування. Такі планові заходи передбачають використання невеликих кількостей масел, мастил, фарб та/або протикорозійних покриттів. Основними видами відходів, що утворюються в процесі технічного обслуговування елементів турбін, зазвичай є невеликі кількості трансмісійного масла і мастил від приводних механізмів системи рискання, або охолоджувачів трансмісійного масла на основі гликолю від трансмісій, оснащених системою охолодження з примусовою циркуляцією води в радіаторі.

Більшість виробників турбін випускають турбіни модульної конструкції, що дає можливість у разі необхідності відключати тільки одну турбіну, залишаючи в робочому стані всі інші турбіни. Таким чином, можна очікувати, що в більшості випадків значний ремонт елементів турбінного обладнання передбачатиме вивіз відповідного елемента за межі майданчика ВЕС на спеціалізоване ремонтне підприємство. Якщо виходить зі строю генератор або коробка швидкостей (або навіть такі невеликі елементи як приводний механізм системи рискання), зазвичай необхідно викликати на майданчик автокран. У більшості моделей турбін конструкція не передбачає можливості самостійного підйому/спуску окремих елементів.

Робота вітрової електростанції може контролюватись і регулюватись дистанційно. На невеликих станціях обслуговуючий персонал може дистанційно стежити за роботою обладнання і викликатись на майданчик тільки для проведення ремонту. Станції більшого розміру в робочі години можуть обслуговуватись невеликою бригадою у складі не більше шести осіб.

За умови належного обслуговування, передбачений експлуатаційний вік вітрових турбін становить 20-25 років. У міру розвитку технологій оператори можуть з часом прийняти рішення щодо переоснащення всієї або частини станції шляхом заміни існуючих турбін на найсучасніші моделі, або на більші і ефективніші моделі. Таке переоснащення може включати заміну певного регулюючого і стабілізуючого обладнання.

3.3 Огляд технологій вітрової енергетики

В наступній таблиці (Таблиця 3-3) наводяться ключові експлуатаційні показники і рівні витрат на будівництво і експлуатацію вітрових станцій трьох типів, що розглядаються в цьому звіті.

Таблиця 3-3. Експлуатаційні показники і рівні витрат на будівництво/експлуатацію вітрових електростанцій

	Мала станція	Середня станція	Велика станція
Розмір станції			
Потужність (МВт)	< 20	20 – 100	> 100
Кількість турбін	7-10	7-50	50+
Рівнинна			
Площа земельної ділянки (гектарів)	<600	600-3000	>3,000
Зона постійного впливу (гектарів)*	<6	6-30	>30
Гірська			
Площа земельної ділянки (гектарів)	<360	360-1,800	>1,800
Зона постійного впливу (гектарів)*	<7.2	7.2-36	>36
Стандартна висота маточини (м)	80-100	80-100	80-100
Стандартний діаметр ротору (м)	100	100	100
Ефективність роботи			
Коефіцієнт використання потужності (%)	25 – 40	25 – 40	25 - 40
Викиди**			
NO _x (г/декатерм)	0	0	0
SO _x	0	0	0
ТЧ	0	0	0
CO ₂	0	0	0
Типові рівні витрат			
Вартість встановленої потужності (\$/кВт)	2,300 – 2,700	2,000 – 2,500	1,900 – 2,300
Витрати на експлуатацію і обслуговування (\$/кВт)	50 - 60	40-50	40 - 50
Примітки:			
*Зона прямого впливу прийнята такою, що становить 1% для рівнинних ВЕС і 2% для гірських ВЕС.			
**Не включені викиди, що утворюються в процесі будівництва і технічного обслуговування.			

(а) Підключення до енергомережі

Вітрові турбіни є індукційними генераторами реактивної потужності – це означає, що в залежності від рівня вихідної потужності і компенсації коефіцієнта потужності може виникати таке явище як самозбудження генератора, яке приводить до зростання вмісту вищих гармонік в струмі. Це, в свою чергу, може впливати на стабільність підключення до енергомережі, особливо у випадку енергетичних

систем меншої потужності (наприклад, радіальних розподільчих мереж). Існують різні моделі трансформаторів на бетонній подушці, які також можуть впливати на зростання або скорочення рівнів струму пошкодження в системі, і тому дуже важливо спроектувати таку систему, яка буде здатна утримувати опір нульової послідовності на мінімальному рівні і при цьому мати певну ємність відносно землі (для того, щоб уникнути стрибків напруги). Для збільшення опору нульової послідовності до з'єднань нейтралі мережі можуть бути підключені реактори нейтралі або резистори, які зменшуватимуть рівень струму пошкодження. Особливості підключення вітрових електростанцій різної потужності до енергомережі розглядаються далі.

Вважається, що станції меншої потужності (< 20 МВт) доцільніше підключати до енергомережі нижчої напруги через необхідність будівництва підстанції підключення для вітрової електростанції. Найоптимальнішим варіантом підключення вітрових станцій є підключення на тому рівні напруги, який існує в розподільчих мережах. Ще одна причина, яка обґрунтовує такий підхід, полягає в тому, що вітрові установки малої потужності частіше використовуються для забезпечення локальних потреб в електроенергії, ніж для її транспортування постачальними мережами на значні відстані. Єдине застереження полягає в тому, що джерела періодичного надходження ресурсів не повинні підключатись до радіальних розподільчих мереж через те, що вони можуть негативно впливати на стабільність роботи останніх.

Вітрові станції малої потужності зазвичай можуть подавати енергію до підстанції підключення через одну підземну живильну лінію середньої напруги. Кожна окрема вітрова турбіна має бути з'єднана з підвищувальним трансформатором, який перетворюватиме низьку напругу на середню напругу, але вже зараз існують нові моделі турбін з вбудованим трансформатором, який розміщується в гондолі. Якщо з першого підвищувального трансформатора до живильних ліній струм подається з таким рівнем напруги, який існує в розподільчих мережах, встановлення ще одного вихідного підвищувального трансформатора на бетонній подушці може стати необов'язковим. Існують різні коди підключення до розподільчих мереж, які мають використовуватись для визначення конкретних вимог до підключення в кожному окремому випадку.

Станції середньої потужності (20-100 МВт) доцільніше підключати до постачальних мереж середньої напруги (наприклад, 220 кВ та 330 кВ). Для таких станцій потрібні підстанції підключення з більш потужним обладнанням. Такі вітрові станції можуть використовуватись для забезпечення локальних потреб в електроенергії, але також можуть подавати електроенергію до ключових постачальних підстанцій для підвищення рівня напруги. Оптимальним рішенням було б передбачити підстанції з великою кількістю каналів виводу для того, щоб уникнути скорочення обсягів подачі електроенергії і забезпечити її проходження.

Вітрові станції середньої потужності зазвичай потребують від двох до чотирьох живильних ліній, якими струм надходить до розподільного пристрою, розташованого на майданчику станції в приміщенні нової колекторної підстанції, яка, в свою чергу, з'єднується з підстанцією підключення за допомогою надземної лінії електропередач. Розподільний пристрій також може бути розташований в приміщенні існуючої підстанції і підключений до зовнішньої шини електростанції, розміщеної на огороженому майданчику. Станції великої потужності (> 100 MW) зазвичай підключаються до підстанцій вищої напруги з великою кількістю ліній виводу. Це робиться з метою розосередження всього обсягу енергії, що подається, між кількома постачальними лініями для того, щоб уникнути скорочення обсягів подачі електроенергії.

(b) Наявність необхідного обладнання в Україні

Для того, щоб мати право на застосування «Зеленого тарифу» починаючи з 2012 року і далі, об'єкти використання відновлюваної енергії повинні використовувати принаймні 30% сировини, матеріалів, основних фондів, робіт і послуг українського походження (або «положення про питому вагу сировини і матеріалів українського походження») від загальної вартості будівництва. Починаючи з 2014 року, частка сировини і матеріалів українського походження повинна зрости до 50%.

За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), спільне підприємство Windenergo, утворене в 1994 році у співпраці з американською компанією Wind Power, випустило (за ліцензією компанії Wind Power) приблизно 750 турбін потужністю 107 кВт². Вартість цих турбін в перерахунку на кіловат є набагато нижчою у порівнянні з відповідним обладнанням іноземного виробництва завдяки меншій вартості робочої сили і матеріалів в Україні. Але турбіни цього типу є дуже неефективними і тому рентабельність виробництва енергії в перерахунку на одиницю обсягу є невисокою. За даними Української вітроенергетичної асоціації, зараз виробництвом складових елементів і вузлів для турбін такого типу займаються двадцять три підприємства, які раніше належали до оборонно-промислового сектору, а самі турбіни збираються на Південному машинобудівному заводі в Дніпропетровську, який є провідним підприємством ракетно-космічної галузі³.

В 2003 році дніпропетровський завод «Південмаш» придбав ще одну ліцензію у бельгійської компанії Turbowinds і розпочав виробництво турбін потужністю 600 кВт. Завод виробляє верхні і нижні секції веж для турбін двох типів (WM-100 та WM-600). Вежі для турбінних установок виробляються з катаної сталі.

За даними МЕА, існують плани щодо виробництва турбін нового покоління потужністю 2.5 і 3 МВт, хоча реальні темпи просування в цьому напрямі потребують уточнення. Необхідно збільшити потужності українських виробників обладнання і вузлів для вітрових електростанцій для того, щоб забезпечити дотримання вимоги Зеленого тарифу щодо питомої ваги обладнання українського походження і задовольнити попит на турбіни великої потужності (2-3 МВт), які зараз в країні не виробляються.

Що стосується веж, основ і під'їзних доріг, то для їхнього будівництва потрібні елементарні будівельні матеріали і трудові ресурси, які можуть бути залучені з місцевих джерел.

3.4 Питання вибору майданчика

Існує багато факторів, які мають бути враховані в процесі оцінки майданчиків для будівництва вітрових електростанцій. До числа ключових факторів відносяться наступні:

- **Щільність вітрової енергії і наявність ресурсів.** Цей фактор має ключове значення для вибору потенціальних майданчиків для виробництва вітрової енергії.
- **Доступ до майданчика і його придатність для ведення будівельних робіт.** Часто ділянки з прекрасною якістю ресурсів вітрової енергії є дуже віддаленими і важкими для доступу через надто круті схили і відсутність під'їзних шляхів. На більшості майданчиків буде тією чи іншою мірою

² Огляд енергетичної політики України 2006. Міжнародне енергетичне агентство, 2006

³ http://www.uwea.com.ua/ukraine_wind.php (Дата останнього відвідування 9 лютого 2011)

необхідно облаштувати під'їзні і службові дороги, але ті майданчики, на яких потрібно виконувати великі обсяги земляних робіт або розчищати значні ділянки для розміщення турбін і будівництва доріг, можуть виявитись економічно недоцільними для використання. Неприятливі геотехнічні умови (наприклад, масиви гірських порід, які треба підривати) можуть призвести до значного збільшення вартості будівництва. Що стосується доступності майданчика, то кожен виробник турбін має власні і конкретні вимоги з цього питання, але існує стандартне емпіричне правило, яке полягає в тому, що під'їзні дороги не повинні мати ухил поверхні вище 10% або круті повороти з радіусом розвороту менше 45 м.

- **Близькість розташування до енергопостачальних ліній і центрів споживання енергії.** Майданчики, розташовані на значній відстані від центрів споживання енергії або ключових постачальних ліній, потребуватимуть більших витрат і вважаються менш придатними у порівнянні з тими майданчиками, які мають кращий доступ до цих об'єктів. При цьому великі станції – на відміну від малих станцій – можуть розташовуватись на значній відстані від ліній енергопостачання через дію ефекту масштабу і здатність великих об'єктів компенсувати більш високі витрати на постачання енергії.
- **Близькість розташування до місцевого населення.** Вітрові турбіни в процесі своєї роботи створюють шум і – в силу своєї значної висоти – певний візуальний вплив. З цієї причини місцеві жителі інколи заперечують проти будівництва вітрових електростанцій в безпосередній близькості до їхніх осель.
- **Альтернативні види землекористування.** Взагалі проекти будівництва і експлуатації вітрових не пов'язані з інтенсивним використанням або розробкою земельних ділянок, і тому майданчики вітрових електростанцій в багатьох випадках можуть мати подвійне цільове призначення і використовуватись, наприклад, для вирощування сільськогосподарської продукції. Цей фактор необхідно враховувати, але зазвичай він не є настільки значним, як інші чинники, які можуть обмежувати можливість використання того чи іншого майданчика.
- **Вплив на навколишнє середовище.** Вплив на навколишнє середовище потребує належного вивчення. Робота турбін створює певні ризики для хижих птахів і кажанів. Присутність людей на майданчику може негативно впливати на умови існування наземних тварин. В кожному окремому випадку ці впливи вимагатимуть ретельного вивчення і розробки відповідних пом'якшувальних заходів. Дуже високі турбінні вежі можуть створювати проблеми для руху авіатранспорту, особливо в нічний час, оскільки вінця турбін не мають освітлення.

3.5 Будівельні роботи

Конкретний перелік умов ведення будівельних робіт уже залежить від індивідуальних особливостей обраного майданчика. В цьому розділі робиться спроба охарактеризувати найтипівіші види будівельних робіт, які так чи інакше виконуватимуться на кожному майданчику. При цьому визначаються певні параметри цих робіт, які обумовлені унікальністю умов, що існують на кожному окремому майданчику. Будівництво вітрової електростанції найімовірніше включатиме наступні основні види діяльності – інші види робіт, виконання яких може стати необхідним на певних майданчиках (або дуже віддалених, або дуже великих), включають облаштування санітарних служб і тимчасових адміністративних приміщень, а також монтаж установки приготування бетонної суміші.

- Встановлення метеорологічних веж (для збору даних)

- Забезпечення доступу на майданчик
- Профілювання поверхні майданчика
- Облаштування допоміжних ділянок і внутрішньої мережі доріг
- Видалення рослинності з поверхні будівельних і допоміжних ділянок (насамперед з міркувань пожежної безпеки)
- Земляні роботи, пов'язані з будівництвом основ для веж
- Будівництво основ для веж
- Встановлення веж за допомогою кранів
- Встановлення гондол і роторів
- Встановлення стаціонарних метеорологічних веж (у разі необхідності)
- Будівництво центральної диспетчерської і захищеного від непогоди приміщення для зберігання вузлів і обладнання (це приміщення може розташовуватись окремо або в одній будівлі з центральною диспетчерською)
- Будівництво електричних підстанцій
- Вежі підключення, центральна диспетчерська, метеорологічні вежі і підстанції з провідними і сигнальними кабелями
- Проведення попередніх випробувань

РИСУНКИ

Рисунок 2 1. Мапа розташування ресурсів вітрової енергії і енергопостачальних ліній

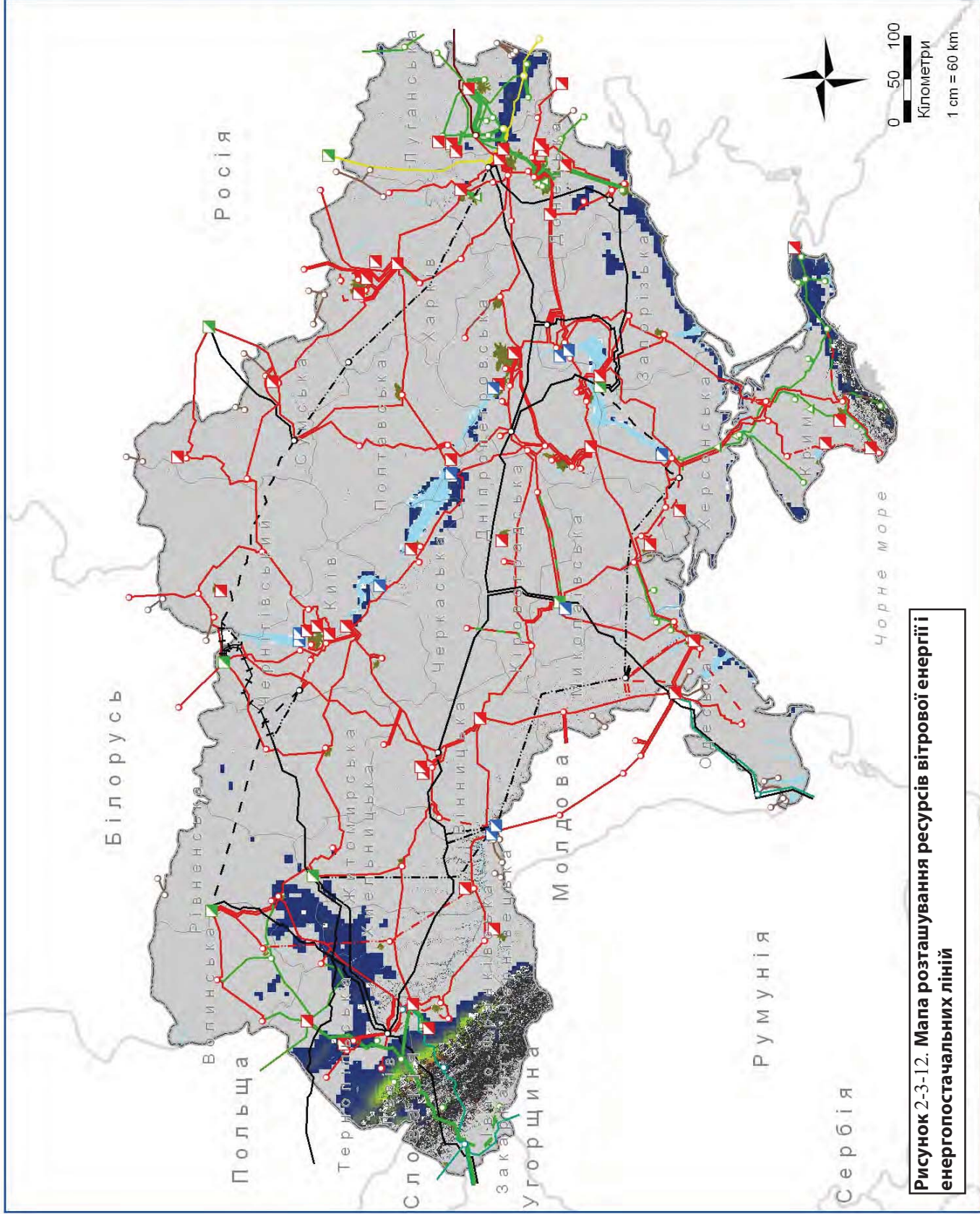


Рисунок 2-3-12. Мапа розташування ресурсів вітрової енергії енергопостачальних ліній

MapResourcesAndPotential_v2_3_12_13_14_15_16_17_18_19_20_21_22_23_24_25_26_27_28_29_30_31_32_33_34_35_36_37_38_39_40_41_42_43_44_45_46_47_48_49_50_51_52_53_54_55_56_57_58_59_60_61_62_63_64_65_66_67_68_69_70_71_72_73_74_75_76_77_78_79_80_81_82_83_84_85_86_87_88_89_90_91_92_93_94_95_96_97_98_99_100