

СУЧАСНИЙ ЕТАП І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В ОФШОРНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ

У статті розглянуто сучасний стан альтернативної енергетики України, зокрема її вітрової галузі. Визначено перспективи вітрової енергетики в Україні та світі, а також проаналізовано доцільність і рентабельність будівництва офшорних вітрових електростанцій в акваторії Чорного та Азовського морів.

Ключові слова: альтернативна енергетика, вітрова електростанція, офшорна вітро-електростанція.

В статье рассмотрено современное состояние альтернативной энергетики Украины, в частности её ветровая отрасль. Определены перспективы ветровой энергетики в Украине и мире, а также проанализирована целесообразность и рентабельность постройки офшорных ветровых электростанций в акватории Чёрного и Азовского морей.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ветровая энергетика, офшорная ветро-электростанция.

The article reviews the current state of alternative energy in Ukraine, including its wind industry. It analyzes the prospects of wind energy in Ukraine and abroad the feasibility and profitability of the construction of offshore wind farms in the Black and Azov Seas.

Key words: alternative energy, wind power, offshore wind power station.

Постановка проблеми. Альтернативна енергетика – сукупність перспективних способів отримання, передачі і використання енергії, які використовуються не так широко, як традиційні, проте є вигідними для використання і через низький ризик заподіяння шкоди навколишньому середовищу.

Україна володіє великим потенціалом у даній галузі енергетики, зокрема у використанні таких альтернативних джерел, як вітряні електростанції. Крім того, завдяки виходу до Чорного і Азовського моря, наша країна може будувати вітрову електростанцію (ВЕС) в офшорних зонах (на морському шельфі). Але це пов'язано з цілою низкою економічних (державне субсидювання, кредитування та інвестування, зокрема закордонне), екологічних та політичних проблем. Розглянемо економічні аспекти, а саме, рентабельність таких проектів і майбутні перспективи України у цій галузі.

При вивченні цього питання потрібно також враховувати світовий досвід у будівництві та експлуатації ВЕС.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Питання наземної і офшорної вітрової енергетики досліджується у працях багатьох науковців: Michael Grubb, Neils Meyer, Бордюгов В., Гайдаш А. М., Петрович З. І., Подгуренко В. С., Русев І. Т., Яковлев М. В. Однак більшість праць належить до початку 2000-х років та аналізу ситуації в 1994-2000 роках, тому деяка інформація потребує оновлення, і при вивченні питання потрібно спиратися на сучасну статистику.

Мета дослідження: визначити перспективи розвитку в Україні такої галузі альтернативної енергетики, як вітроенергетика та офшорна вітроенергетика.

Завданням даного дослідження є:

- 1) проаналізувати поточний стан вітрової енергетики в Україні: кількість встановлених джерел на території країни, їх потужність, продуктивність тощо;
- 2) визначити перспективність та рентабельність встановлення вітрових електростанцій на офшорних зонах України.

Виклад основного матеріалу. Раціональне використання відновлювальних джерел енергії: вітру, сонячного випромінювання, геотермальної енергії та біомаси є одним з істотних компонентів сталого розвитку, що приносить значущі екологічно-енергетичні ефекти. Зростання участі відновлюваних джерел енергії в паливно-енергетичному балансі світу сприяє поліпшенню ефективності використання і економії запасів енергетичної сировини, поліпшення стану навколишнього середовища, через зменшення забруднень до атмосфери і води, а також зменшення кількості відходів виробництва і життєдіяльності людства. У зв'язку з цим підтримка розвитку альтернативної енергетики стає з кожним днем все більш актуальним завданням для майже всіх країн світу. Значне зростання зацікавленості відновлювальними джерелами енергії почалося в 90-х роках. Підсумком такої зацікавленості стало те, що від 1990 року всесвітнє використання енергії сонячного випромінювання

зросло в 4 рази, а енергії вітру – у 8 [2]. Тенденція до зростання динаміки розвитку відновлювальних джерел енергії її найближчими роками, сподіваємося, буде зберігатися. Для цього є багато причин. Окрім економії традиційних енергоресурсів, це і зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище, збільшення рівня енергетичної безпеки, створення нових робочих місць, пропаганда регіонального розвитку. Не менш важливим є й те, що Польща та Україна мають міжнародні зобов'язання перед країнами ООН, передбачені Договором Енергетичної Харгії, Кіотським протоколом, численними двосторонніми міжнародними договорами, що виникають з Кліматичної Конвенції. У грудні 2008 року в Брюсселі ці зобов'язання були підтверджені та розширені керівниками держав ЄС.

Вітроенергетика – галузь енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері в електричну, механічну, теплову або в будь-яку іншу форму енергії, зручну для використання в народному господарстві. Таке перетворення може здійснюватися такими агрегатами, як вітрогенератор (для отримання електричної енергії), вітряк (для перетворення в механічну енергію), вітрило (для використання в транспорті) та іншими.

У світі було зроблено кілька досліджень з оцінки ресурсів вітрової енергетики та найдетальніше з них – для Європи. Ці дослідження підтверджують, що вітрові ресурси величезні і рівномірно розподілені практично по всіх регіонах і країнах. Недостатня сила вітру навряд чи може стати стримуючим чинником розвитку вітрової енергетики у світі. Аналізи ресурсів, зроблені для окремих країн і регіонів, часто вказували на більш високий потенціал, ніж той, що давали глобальні дослідження.

Згідно з доповіддю «Відновлювані джерела енергії: отримання палива та електроенергії» [1], світовий потенціал вітрової енергетики достатній для виробництва 53 000 ТВт·год електроенергії на рік. Це в три рази перевищує світове споживання електроенергії – 13 663 ТВт·год на рік (за даними Міжнародного енергетичного агентства, 2003 р.)

Ресурси енергії вітру є невичерпними, оскільки виникнення вітрів постійно підтримується сонячною енергією. Для використання енергії вітрів у відкритому морі там, де дозволяє глибина, встановлюють вітрові електростанції, енергетична потужність яких оцінюється у 20 ТВт.

З точки зору можливості використання вітру в енергетичних цілях для його характеристики аналізують дві величини: швидкість і повторюваність. Оскільки швидкість вітру найменша поблизу землі і зростає зі збільшенням висоти, вітрогенератори розміщують на висоті від кількох десятків до близько 100 м. Оптимальна середня швидкість вітру для енергетичного використання становить 4–25 м/с [2]. При швидкості вітру нижче мінімального порогу аеродинамічна сила вітру не створює необхідного обертового моменту турбіни, в той час як при перевищенні максимальної швидкості вітру створюється обертовий момент, що може спричинити механічно пошкодження вітрової енергетичної установки (ВЕУ).

Повторюваність – це сума годин за рік, протягом яких вітер дме з визначеною швидкістю. Від цього показника залежить доцільність побудови вітрових електростанцій. При повторюваності приблизно 2000 год/рік та більше спорудження ВЕУ вважають рентабельним [2].

Для обчислення енергетичних запасів вітру необхідні докладні багатолітні метеорологічні спостереження. На першому етапі оцінюються регіональні ресурси (макропоказники). Для розрахунку кожної конкретної вітроелектростанції необхідно врахувати ще багато факторів, які можуть впливати на ефективність установки.

Інвестори, які бажають будувати електростанцію або вітрову ферму і планують отримати до фінансування з фондів Євросоюзу для вищезгаданої установки, повинні обов'язково представити річні результати вимірів вітру на території, де необхідно встановити вітрову установку.

Станом на 2010 рік Україна посідала 25-е місце у світі та 14-е Європі за обсягами виробництва вітрової електроенергії і вважається лідером не лише серед країн СНД, а й Східної Європи [3]. Україна має досвід використання вітрової енергетики ще з 30-х років двадцятого сторіччя. З 1997 року розпочато новий етап освоєння вітроенергетики в Україні. Тоді урядом затверджено Комплексну програму будівництва ВЕС, координатором її виконання стало Державне науково-промислове підприємство «Укренергомаш». У реалізації програми спочатку були задіяні більш як півсотні найбільших вітчизняних підприємств військово-промислового комплексу, які на той момент перебували у глибокій депресії через відсутність попиту на їх продукцію оборонного призначення.

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, який забезпечує продуктивну роботу не лише автономних вузлів живлення, але й потужних вітроелектростанцій. Вважається, що досяжна встановлена потужність вітро-електричних станцій (ВЕС) в складі централізованої енергосистеми України може складати до 16 000 МВт, а досягне виробництво електричної енергії може становити 25–30 ТВт·год/рік. Цю величину часто приймають як потенціал вітроенергетики. Необхідна площа під спорудження ВЕС становить 2500–3000 км², що досить реально з урахуванням мілководної частини Азовського та Чорного морів. За іншими оцінками в Україні можна використати 7000 км² земель для будівництва ВЕС сумарною потужністю 35 000 МВт, що дозволить забезпечити біля 2,5 % від загального річного енергоспоживання в Україні [4].

Вітроенергетичний потенціал різних територій України характеризується середньорічними швидкостями вітру на рівні 7,0–8,5 м/с (на континенті – на висотах близько 100 м, а на акваторіях – близько 50 м [2]), що дозволяє використовувати віротехніку мегаватного класу потужності з річним коефіцієнтом використання потужності на рівні 0,3–0,4, тобто досить ефективно. Найбільш придатними регіонами для будівництва вітро-електричних станцій великої потужності є Крим, Карпати узбережжя Чорного і Азовського морів, Донбас. Експлуатація тихохідних багатолопатеких

вітроустановок з підвищеним обертаючим моментом для виконання механічної роботи (помолу зерна, підняття та перекачки води і т. п.) є ефективною практично на всій території України.

Україна має територіальні можливості для будівництва рентабельних ВЕС як на суші, так і на морських акваторіях в межах територіальних вод (іншими словами – офшорні ВЕС).

З 1991 року, починаючи від першої офшорної вітростанції, в п'яти країнах світу – Швеції, Данії, Ірландії, Нідерландах та Об'єднаному Королівстві – сумарна потужність офшорного вітроенергетичного парку збільшилася до 770 МВт. Сьогодні можна констатувати початок нового етапу в розвитку галузі, що передбачає впровадження тисяч мегават офшорних вітроенергетичних потужностей. І хоча води Північного моря як і раніше залишаються в центрі офшорної вітроенергетичної активності, можливість реалізації «морських» проєктів розглядається багатьма країнами світу.

З перших днів вітроенергетичної галузі офшорна (морського базування) вітроенергетика розглядалася як логічно наступний крок її розвитку, що має величезний потенціал. По-перше, морські вітри більш сильні й тривалі порівняно з вітрами, що дують на суші. По-друге, густонаселеній Європі і Південно-Східної Азії море «пропонує» набагато більше простору, ніж суша, і у зв'язку з цим більше можливостей для мультигігаватної вітроенергетичної

експансії. Однак, незважаючи на очевидні переваги, розвиток офшорної вітроенергетики відбувався набагато повільніше наземної. Таке відставання можна пояснити низкою причин, до яких належить і складність проведення робіт у морських умовах, і висока ціна на «морські» вітротурбіни, а також відсутність чіткої урядової підтримки і великі витрати з підключення офшорних вітропарків до енергомережі.

На даному етапі розвитку України такі проєкти знаходяться у стадії вивчення та розробки й ще дуже далекі від реалізації. Але навіть вивчення є дуже важливим сьогодні.

С початку потрібно визначитися з тим, з чого складається ціна та рентабельність збудування ВЕС.

Отже, економічний етап, який складається з:

- калькуляції закупівель або оплат, пов'язаних з:
- будівництвом ВЕС (у т. ч. будівельний нагляд, геодезія тощо);
- обслуговуванням та підготовкою працівників щодо правил техніки безпеки;
- сертифікацією та технічним ухваленням;
- кредитуванням будівництва;
- виконанням бізнес-плану;
- визначенням ефективності інвестицій, а потім, за аналізом результатів, продовженням чи припиненням будівництва.

Частково ці витрати може проілюструвати таблиця побудови наземної ВЕС (дані станом на 2009 р.) [4]:

Таблиця 1

Вартість побудування наземної вітроустановки

Статті витрат	Сума, грн., без ПДВ	У т. ч. за складовими	
		Експортна	Українська
Вартість 1 вітроустановки	38 437 022,00	38 437 022,00	0,00
Вартість фундаменту	2 300 117,43	221 752,05	2 078 365,38
Вартість монтажу	1 219 680,00	0,00	1 219 680,00
Вартість доріг, майданчиків та під'їзних шляхів з розрахунку на одну вітроустановку	617 368,86	0,00	617 368,86
Проектні роботи, отримання дозвільних документів, організація будови, пусконаладжувальні роботи, послуги та ін.	2 265 556,88	479 958,22	1 785 598,65
Разом, грн.:	44 839 745,17	39 138 732,27	5 701 012,89
Разом, %	100	87,3	12,7

Станом на 2000 рік за підрахунками Подгуренко В. С [5], окупність ВЕС становила близько 42 років з використанням турбін USW 56-100. Нині існують більш сучасні турбіни, за допомогою яких можна отримати більше енергії (наприклад, Fuhrlander FL 2500/100) з меншими остаточними витратами. Також дуже важливим є те, що концерн Fuhrlander AG (Німеччина) запустив виробництво сучасних вітрогенераторів одиничною потужністю 2,5 МВт на базі раніше придбаних потужностей ВАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» (Краматорськ, Донецька обл.). Це також допоможе Україні отримувати вітрогенератори за нижчою вартістю.

За 12 років ціна виготовлення і будівництва впала приблизно в 6 разів. Сучасні експерти (наприклад, І. Степанець, економіст на Очаківському Вітровому Парку) стверджують, що окупність наземних ВЕС на

сьогодні становить приблизно 7 років. Таке зниження терміну окупності також можна пояснити «Зеленим тарифом» [6], який забезпечує вихід ВЕС на енергетичний ринок з підвищеними тарифами. Як приклад, ціна 1 кВт/год. Для міського населення зі споживанням електроенергії 150-800 кВт/год в місяць становить 36,48 коп./кВт-год [7], а ціна закупівлі електроенергії з ВЕС – 122,77 коп./кВт-год [6]. Це призводить до дефіциту грошей у енергепостачальників, які забор'язані купувати цю енергію.

Але роботи по будівництву офшорних ВЕС вимагають більше витрат до зведення фундаменту на шельфі, прокладання підводних електромереж тощо. Це, звичайно, підвищує остаточну ціну побудови офшорної ВЕС.

Як було згадано вище, Україна має великий потенціал у будівництві офшорних вітрових електро-

станцій, але за відсутності збудованих офшорних ВЕС та даних по ним нам доведеться звернутися до іноземних джерел інформації.

Отже, для підрахування гіпотетичної ціни будівництва офшорної ВЕС ми будемо враховувати західний досвід. Як приклад, розглянемо станцію Greater Gabbard, яка належить Англії. Початок її будівництва – 2009 рік, початок експлуатації – 2011 рік.

Головні характеристики [8]: кількість турбін: 140; вартість: \$ 1.05млрд; розташування: на морі, в 23 км (14 миль) від Sizewell на Внутрішньої Gabbard і Gallorpe міліни; глибина води: 20 м – 32 м.

З цього можна зробити висновок, що приблизна ціна однієї турбіни (з урахуванням встановлення та проведення електромереж) становить:

$$\frac{\$1050000000}{140} = \$7500000$$

У 2009 році курс долара вже становив близько 8 гривень. За таблицею 1 будівництво однієї турбіни наземної ВЕС становить 44839745,17 грн. Це становить:

$$\frac{44839745.17}{8} = \$5604968,14625.$$

За цими даними різниця побудови наземної і офшорної станції становить \$ 1895031,85375. Звичайно, ці цифри є дуже приблизними і реальна різниця у побудові в Україні може бути зовсім іншою.

Вже давно відомо, що Україна володіє перспективним Чорноморським регіоном видобутку нафти та газу з шельфу. Тому перед тим, як будувати ВЕС, потрібно дуже ретельно вивчити підводні родовища. Це можна пояснити тим, що майбутні вітряки, можливо, будуть заважати видобувати корисні копалини. А Україна не може позбавитися таких стратегічно важливих енергетичних ресурсів.

Також окупність можна роздивитися з точки зору електроенергії, яку ми будемо отримувати, і електроенергії, яку нам потрібно витратити для будівництва.

Вітряк, спроектований для установки на суші, $\frac{2}{3}$ енергії, яка витрачається при його $\frac{2}{3}$ виробництві і спорудженні знаходяться в співвідношенні 2:1, тобто $\frac{2}{3}$ від загальних фінансових витрат йде на виготовлення рухомих деталей у вигляді лопатей і генератора, а ще третина витрачається на зведення вежі та фундаментного моноліту. Зіставляючи кількість енергії, яка витрачається на все це, і кількість енергії, яку виробляє вітряна електростанція за 30 років експлуатації (середня тривалість ресурсу), ми отримуємо співвідношення 40:1 [9].

Зводити вежу на морському шельфі потрібно більш високою, оскільки її «коріння» міцно заглиблені в морське дно. Використовувані при спорудженні офшорних вітряків фундаменти мають досить значні обсяги і розміри внаслідок того, що штормові навантаження з впливом хвиль незрівнянно вище навантажень від вітрових атак на суші. Вага відповідних для офшорного вітряка сталевих та залізобетонних конструкцій вчетверо більше, в порівнянні з вітряком порівнянної потужності наземного базування. Враховуючи енергосміність споруди офшорних вітряків можна підрахувати, що за весь експлуатаційний період співвідношення між кількістю виробленої вітряком енергії та енерговитратами при його створенні складає всього лише 15:1 [9].

Альтернативою масивним і енергетично мало-ефективним офшорним вітрякам може служити вітряна електростанція з конструкцією, застосовуваної при зведенні радіощогл, а саме використання відтяжок і залізних тросів, що значно полегшує і здешевлює конструкцію (Рис. 1). Має сенс нагадати, що у тій же Ейфелевій вежі, що має 7300 тонн сталевих конструкцій, висота вдвічі менше радіощогли у Варшаві, яка важить всього 420 т. Причина полягає в розподілі навантаження відповідно з «ефектом віника».

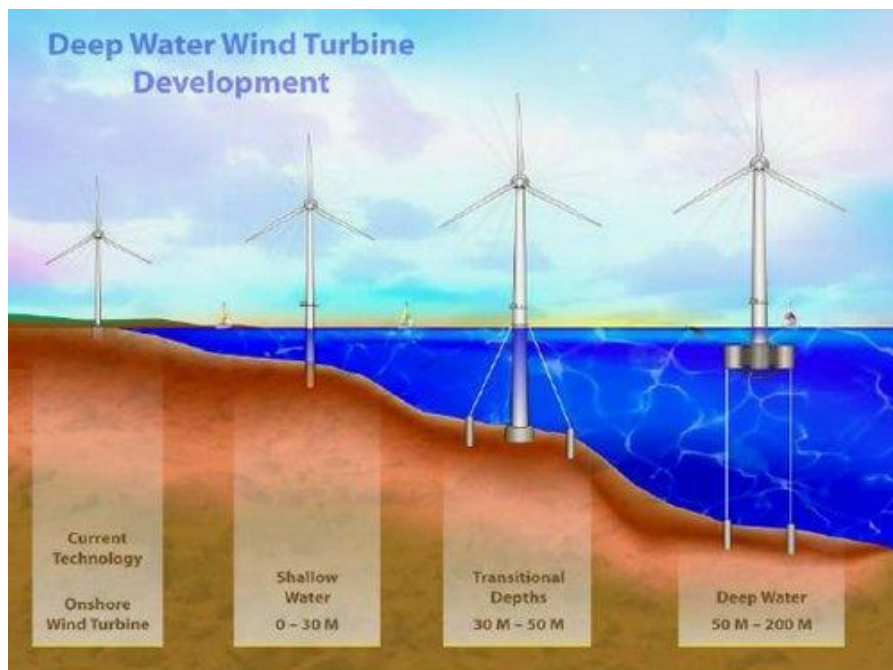


Рис. 1. Порівняння вітрових турбін з побудовою фундаменту та використанням відтяжок

Для полегшення установи а також для зменшення витрат на обслуговування можна використовувати не звичні горизонтальні вітрогенератори, а вертикальні (Рис. 2). Конструкція вертикальної турбіни передбачає три основних переваги: більш низький центр ваги турбіни, (низький центр ваги означає, поліпшення

стабільність на плаву і зниження гравітаційних навантажень втом); зниження складності конструкції системи управління вітром, (вони не потребують системи управління, щоб повернути генератори в напрямку руху вітру); і кращу масштабованість до дуже великих розмірів [10].

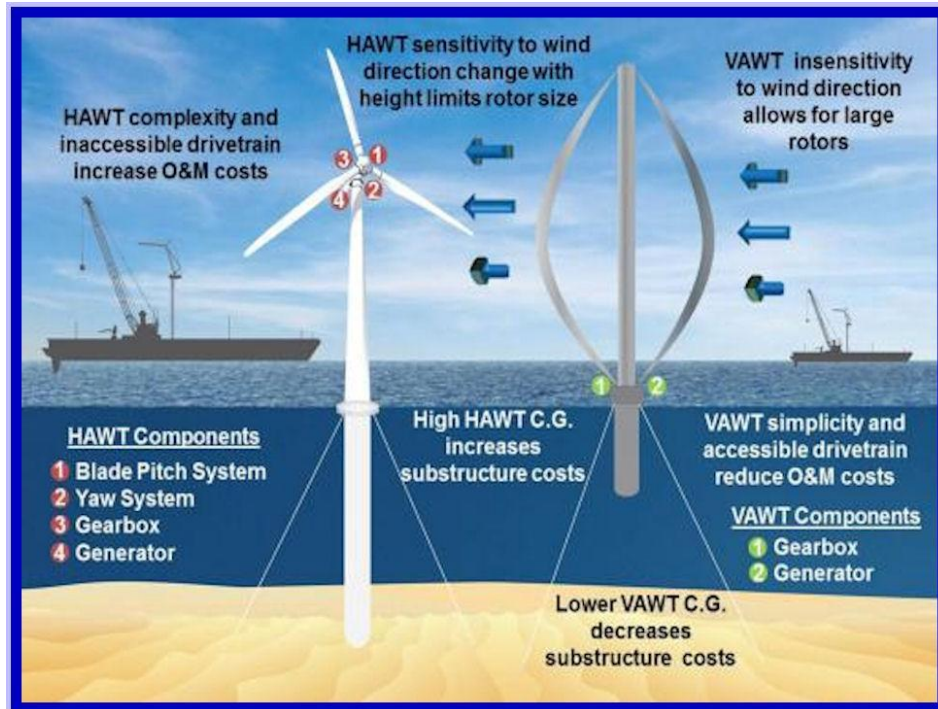


Рис. 2. Порівняння вертикальних і горизонтальних турбін

Спираючись на перераховане, можна побачити такі позитивні і негативні аспекти розвитку офшорних ВЕС в Україні:

Позитивні:

- ВЕС не займають земельні ділянки;
- можливість розташування поблизу промислового центру;
- як і вся альтернативна енергетика, вітрова енергетика не завдає шкоди екології. Але потрібно враховувати той факт, що для виробництва турбін використовуються альтернативні джерела енергії (АЕС, ТЕС), які є шкідливими. Тому ці факти взаємкомпенсуються. Екологи також вважають, що офшорні ВЕС можуть шкодити морським екосистемам [11].

Негативні:

- висока ціна побудови;
- складне обслуговування;
- значні витрати на закупівлю отриманої електроенергії;
- відсутність досвіду в побудованні офшорних ВЕС.

Висновки. У даному дослідженні були виділені головні аспекти вітрової енергетики в Україні і світі,

був проведений зв'язок між наземними ВЕС і офшорними ВЕС.

Спираючись на отримані дані і проведені попередні підрахунки, можна казати, що Україна є дуже перспективною країною для розвитку цього виду альтернативної енергетики. Один із головних факторів цього – дуже вигідне фізико-географічне положення. Наприклад, озеро Сиваш і прибережна зона Азовського моря могли б зіграти ключову роль для розвитку офшорної вітроенергетики, а значить і енергозабезпечення АР Крим та Донецької області. Досвід, набутий європейськими країнами, переконливо демонструє економічну та екологічну доцільність використання офшорних ВЕС. Як завжди питання залишається за підтримкою на законодавчому рівні. У світлі існуючих енергетичних проблем було б нерозумно упускати можливість розвитку офшорної вітроенергетики в Україні.

Але на даному етапі розвитку України офшорні ВЕС не є рентабельними з багатьох причин, які були зазначені вище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Michael Grubb. Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity, Chapter 4, «Wind Energy: Resources, Systems, and Regional Strategies» / Michael Grubb, Neils Meyer. – Washington, DC : Island Press, 1993. – pp. 159–163.
2. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава – Краків – Полтава : «OWG», 2010 р. – 533 с.
3. Офіційний сайт Interfax News Wire [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.interfax.co.uk>.
4. Офіційний сайт Української Вітроенергетичної Асоціації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.uwca.com.ua>.

5. Подгуренко В., Бордюгов В. Міфи і реалії української вітроенергетики [Електронний ресурс] / В.Подгуренко, В.Бордюгов : – Режим доступу : <http://gazeta.dt.ua>.
6. Про встановлення величин «зелених» тарифів на електричну енергію на лютий 2013 року: Постанова від 31.01.2013 № 93 Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики // Збори законодавства. – 2013. – (14 лютого). – 2 с.
7. Офіційний сайт Міністерства Фінансів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.minfin.gov.ua>.
8. Електронна бібліотека Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://en.wikipedia.org>.
9. Російський ресурс електроенергетики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://enerpost.ru>.
10. Jha, Ph.D., A.R. Wind turbine technology / Jha, Ph.D., A.R. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. – p. 286.
11. Природоохоронні аспекти використання відновлених джерел енергії в Україні: матеріали Всеукр. наук.-практ. конфер. (15-16 березня 2012 р.) / Кол. Авторів ; Чорноморський державний університет ім. Петра Могили. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2012. – 164 с.