

Перспективи розвитку офшорної вітроенергетики у прибережній зоні Азовського моря

Наталія Попович*

к. геогр. н., старший викладач кафедри фізичної географії та картографії
e-mail: n.porovych@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4968-6296>

Дар'я Джим*

магістрант географії кафедри фізичної географії та картографії
e-mail: d.dzhim@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-1942>

Олена Агапова*

к. геогр. н., старший викладач кафедри фізичної географії та картографії
e-mail: o.agapova@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>

*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м.Харків, 61022, Україна

Вступ. Одним з найпопулярніших альтернативних джерел є енергія вітру. Морські електростанції - це ті, які використовують кінетичну енергію вітру і будуються у мілководних морях. Україна має вихід до Чорного й Азовського морів та взяла курс на активізацію використання власних джерел енергії. Тому доцільно розглянути питання розвитку офшорної вітроенергетики у її прибережних зонах.

Метою даної статті є аналіз енергетичного потенціалу прибережної зони Азовського моря для визначення перспектив розвитку морської вітроенергетики.

Основний матеріал. Економічно доцільна вітроенергетика України становить 16 ГВт, але значна частина території країни не придатна для встановлення вітроелектростанцій, тому є сенс використовувати акваторію морів. У прибережних регіонах України середня швидкість вітру перевищує 5 м/с, що робить їх ефективними в плані використання енергії вітру.

За допомогою ГІС-моделювання, заснованого на даних Глобального Атласу поновлюваних джерел енергії «IRENA», проаналізовано просторовий розподіл середньорічної швидкості вітру над Азовським морем на висотах 50, 100, 200 м. Через швидкість вітру від 6 до 9 м/с Азовське море має значний вітроенергетичний потенціал. Зафіксована швидкість вітру, яка зростає із заходу на схід. Зоною концентрації максимальної швидкості вітру є північне і північно-східне узбережжя Азовського моря. Відповідно, найбільше електроенергії можна виробляти у Таганрозькій затоці, а найменше – на західному узбережжі моря.

Розраховані дані про вироблювану енергію, яку може мати турбіна, встановлена в цих районах на різних висотах. На висоті 200 м ці показники максимальні і становлять від 9,4 до 30,3 ГВт/рік. У цілому вітрові показники, а також площа зон, придатних для установки вітроелектростанцій, збільшуються з висотою. У цьому випадку економічно вигідно встановлювати великі вітрогенератори на башті висотою 100 м.

Висновки та подальші дослідження. Морська вітроенергетика в прибережній зоні Азовського моря може розвиватися, але потребує підтримки на державному рівні. Перспективою даного дослідження є аналіз лімітуючих факторів для даної акваторії та уточнення проектних напрямів галузі.

Ключові слова: морська вітроенергетика, вітроенергетичний потенціал, морська вітроенергетична установка, геоінформаційне моделювання, Азовське море.

Наталія Попович, Дар'я Джим, Елена Агапова

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОФШОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АЗОВСКОГО МОРЯ

Введение. Одним из самых популярных альтернативных источников является энергия ветра. Морские электростанции - это те, которые используют кинетическую энергию ветра и строятся в мелководных морях. Украина имеет выход к Чёрному и Азовскому морям и взяла курс на активизацию использования собственных источников энергии. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос развития офшорной ветроэнергетики в её прибрежных зонах.

Целью данной статьи является анализ энергетического потенциала прибрежной зоны Азовского моря для определения перспектив развития морской ветроэнергетики.

Основной материал. Экономически целесообразная ветроэнергетика Украины составляет 16 ГВт, но значительная часть территории страны не пригодна для установки ветроэлектростанций, поэтому есть смысл использовать

акваторію морей. В прибережних регіонах України середня швидкість вітра перевищує 5 м/с, що робить їх ефективними в плані використання енергії вітра.

С допомогою ГІС-моделювання, заснованого на даних Глобального Атласа відновлюваних джерел енергії «IRENA», проаналізовано просторове розподілення середньорічної швидкості вітра над Азовським морем на висотах 50, 100, 200 м. Через швидкість вітра від 6 до 9 м/с Азовське море має значительний вітроенергетичний потенціал. Зафіксована швидкість вітра, що зростає з заходу на схід. Зонами концентрації максимальної швидкості вітра є північне та північно-східне узбережжя Азовського моря. Відповідно, найбільше електроенергії можна виробити в Таганрозькій затоці, а найменше – на західному узбережжі моря.

Розраховані дані про вироблювану енергію, яку може мати турбіна, встановлена в цих районах на різних висотах. На висоті 200 м ці показники максимальні і становлять від 9,4 до 30,3 ГВт/год. В цілому вітрові показники, а також площа зон, придатних для встановлення вітроелектростанцій, збільшуються з висотою. В цьому випадку економічно вигідно встановлювати великі вітрогенератори на вежі висотою 100 м.

Висновки та подальші дослідження. Морська вітроенергетика в прибережній зоні Азовського моря може розвиватися, але потребує підтримки на державному рівні. Перспективою даного дослідження є аналіз лімітуючих факторів для даної акваторії та уточнення проектних напрямків галузі.

Ключові слова: морська вітроенергетика, вітроенергетичний потенціал, морська вітроенергетична установка, геоінформаційне моделювання, Азовське море.

Nataliia Popovych, Daria Dzhym, Olena Agapova

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE WIND POWER ALONG THE COAST OF THE SEA OF AZOV

Introduction. One of the most popular alternative sources is wind energy. Offshore power stations are those which use kinetic energy of the wind and are built in shallow seas. Ukraine has access to the Black Sea and the Sea of Azov and has set the course to intensify the use of its own energy sources. It is therefore advisable to consider the development of offshore wind energy in its coastal zones.

The purpose of this article is to analyze the energy potential of the coastal zone of the Sea of Azov to determine the prospects for offshore wind energy development.

The main material. The economically feasible wind power of Ukraine is 16 GW but a significant percentage of its territory is not suitable for the installation of wind power plants, so it is advisable to use the seas area. In the coastal regions of Ukraine the average wind speed exceeds 5 m/s, which makes them effective in terms of using wind energy.

Using GIS modeling, based on the data from the Global Atlas for Renewable Energy «IRENA», the spatial distribution of the average annual wind speed over the Sea of Azov at an altitude of 50, 100, 200 m has been analyzed. Due to the wind speed from 6 to 9 m/s, the Sea of Azov has significant wind energy potential. Wind speed rising from west to east has been detected. The concentration zone of maximum wind speed is the northern and north-eastern coast of the Sea of Azov. Accordingly, most electricity can be produced in Taganrog Bay, and the smallest amount – at the western coast of the sea.

The data on the generated power that could be extracted by a turbine installed in these areas at different altitudes has been calculated. At an altitude of 200 m, the figures are maximum and range from 9.4 to 30.3 GWh/year. In general, the wind indexes as well as the area of the zones suitable for the installation of wind farms increase with a height. In this case, it is economically advantageous to install large wind turbines with a tower height at 100 m.

Conclusions and further research. The offshore wind energy in the coastal zone of the Sea of Azov can be developed, but it needs support at the state level. The prospect of this study is to analyze the limiting factors for this water area and to clarify the design areas of the industry.

Keywords: offshore wind power, wind energy potential, offshore wind power plant, geoinformation modeling, the Sea of Azov.

Вступ. За прогнозами, у найближчі роки потреба у світовій енергії буде зростати з темпом приросту 21% на рік. Через це постає питання вичерпаності енергетичних ресурсів, яке актуальне і для України. Можливе вирішення полягає в альтернативних джерелах енергії, адже практично у кожній країні наявні території, перспективні для їх використання.

Одним із найпопулярніших альтернативних джерел наразі є енергія вітрів, наземних або морських. Наземна вітроенергетика вважається нестабільною, бо вітри часто можуть зникати на невизначений час. Морські вітри, натомість, є більш постійними та сильними, тому дозволяють виробити більше енергії. В акваторіях є велика кількість ділянок для будівництва вітроелектростанцій (ВЕС), а зростаю-

чий дефіцит наземних територій робить розміщення вітряків у морі більш привабливим. До того ж, велика частка найбільших міст світу розташована на узбережжі. Тож не дивно, що з 1991 року, коли у районі датського міста Віндебі компанія «Siemens Wind Power» побудувала першу в світі морську вітряну ферму, почала активно розвиватися офшорна вітроенергетика [14].

Офшорними ВЕС називають електростанції, які використовують кінетичну енергію вітру та побудовані в неглибокій зоні морів, їх прибережних шельфових зонах. Лідерами у галузі офшорної вітроенергетики є високорозвинені країни, що мають прямий вихід до моря: Данія, Нідерланди, Швеція, Ірландія, Німеччина, Велика Британія та США. Наразі активні позиції в розвитку галузі, через пе-

ренаселення і нестачу викопних видів палива, займають також Китай, Індія і Бразилія.

Кількість виробленої енергії офшорними ВЕС у світі активно збільшується. Якщо у 2010 році було встановлено 3056 МВт потужностей, то у 2018 році – 23356 МВт, тобто майже у 7,5 разів більше [2]. Оскільки Україна має вихід до Чорного й Азовського морів і поставила курс на інтенсифікацію використання власних джерел енергії [4], доцільно розглядати можливості розвитку офшорної вітроенергетики в її прибережних зонах.

Вихідні передумови. Оскільки офшорна енергетика є галуззю, розвиток якої заохочується урядами багатьох країн, дослідженню вітроенергетичного потенціалу для її розвитку у різних країнах присвячено багато зарубіжних публікацій. Наприклад, вітроенергетичний потенціал узбережжя Португалії та Галісії було оцінено дослідниками за допомогою мезомасштабної атмосферної моделі WRF [13]. Дані швидкості вітру на висоті 10 і 80 м, отримані за цією моделлю за період 2009–2011 років, підтверджені вимірами з метеорологічних станцій, розташованих у цих районах. Розраховано потенційну кількість виробленої електроенергії одиничною вітроустановкою, зроблено висновок, що ці прибережні зони перспективні для розміщення ВЕС.

Однак, не лише країни Європи досліджують можливість задіяти свої акваторії для розміщення офшорних вітропарків. Так, у статті [8] висвітлено перспективи подальшого розвитку вітроенергетики в Нігерії, оцінено придатність різних географічних районів країни для розміщення наземних і офшорних ВЕС. Виділено такі фактори, що гальмують розвиток галузі в країні: недостатньо високий рівень досліджень і технологій; відсутність мотивації розвивати вітроенергетичний сектор у представників влади; нерозуміння місцевими жителями переваг цієї ініціативи.

Розвиток відновлюваної енергетики, зменшення залежності економіки від видобутку нафти є однією зі стратегічних цілей для Саудівської Аравії. Зокрема у роботі [10] з використанням ГІС оцінено енергетичний потенціал східного узбережжя Червоного моря, до якого країна має вихід. Авторами запропоновано і показано на карті 10 різних локацій для розміщення перших вітроустановок з потужністю турбін 3,6 МВт і 5 МВт у Саудівській Аравії.

Висока собівартість електроенергії в Пуерто-Ріко є завадою для економічного розвитку острова. Щоб зменшити витрати на виробництво енергії та на забруднення навколишнього середовища, країна прагне встановити понад 380 МВт потужностей з ВЕС. У дослідженні [12] попередньо оцінено можливість використання енергії морських вітрів на східному узбережжі Пуерто-Ріко. За допомогою теоретичної моделі розраховано вартість електроенергії для трьох типових офшорних вітротурбін з номінальною потужністю 2300, 3000 та 3600 кВт.

Можливості розвитку офшорної вітроенергетики в Україні розглядалися лише фрагментарно. Слід згадати дослідження Н.А. Солідор [7], у якому описано проект створення сучасної офшорної ВЕС «Азовська» потужністю 400 МВт на шельфі Азовського моря поблизу міста Маріуполя. За попередніми оцінками ВЕС буде здатна генерувати 2196 МВт·год на рік, що буде достатнім для забезпечення електроенергією найближчих міст і селищ, малих і середніх підприємств Донецького регіону.

Метою статті є аналіз енергетичного потенціалу прибережної зони Азовського моря для визначення перспектив розвитку офшорної вітроенергетики.

Виклад основного матеріалу. Офшорна вітроенергетика має низку переваг у порівнянні як з наземною вітроенергетикою, так і з традиційними галузями електроенергетики. До них відносяться: невичерпність джерела енергії; екологічність – відсутність викидів двоокису вуглецю під час виробництва енергії; значні потенційні площі для розміщення вітроустановок; можливість підвищити енергетичну незалежність певної країни, забезпечити диферсифікацію джерел енергопостачання.

В Україні є необхідні умови для розвитку вітроенергетики. Вона має всі шанси стати «локомотивом» економічного розвитку країни завдяки «зеленому» тарифу, що стимулює світових лідерів розміщувати в Україні ліцензійні виробництва великогабаритних турбін та їх комплектуючих [1].

Загальний економічно обґрунтований вітровий потенціал країни, за даними Всесвітньої асоціації вітроенергетики, складає 16 ГВт [7]. За оцінками науковців, найвищий потенціал мають Південний берег Криму, вершини Українських Карпат, Кримських гір, а також Донецька височина, Приазовська та Причорноморська низовини [3]. Що ж до акваторій, то сприятливі умови для розвитку вітроенергетики мають Азовське море, Дніпровсько-Бузький та Дніпровський лимани, солоні озера в Одеській і Запорізькій областях, водосховища Дніпровського каскаду [5]. Оскільки значний відсоток території України непридатний для розміщення ВЕС через низку факторів, доцільно задіяти акваторії Чорного та Азовського морів.

Нові офшорні ВЕС могли б значно скоротити обсяги використання вугілля, викидів в атмосферу від теплоелектростанцій, що призвело б до покращення екологічної ситуації в країні. В економічному плані розробка та встановлення офшорних ВЕС потребують значних коштів, але з часом прибутки від виробленої енергії окупають собівартість проекту.

Для прийняття рішень щодо можливості і доцільності розвитку того чи іншого напрямку вітроенергетики необхідне проведення комплексу науково-дослідних робіт з оцінки наявності ресурсів, їх просторового розподілу, часової динаміки, економічних, соціальних та екологічних чинників, що лімітують розміщення об'єктів галузі.

Для оцінки потенціалу розвитку вітроенергетики конкретного регіону, відповідно до сучасних вимог, використовуються спеціалізовані кліматичні характеристики. До них відносяться середні багаторічні швидкості вітру, дані про зміни швидкості вітру в різні сезони, розподіл повторюваності швидкості вітру по градаціях у різні сезони, напрямки вітрів різних швидкостей і коефіцієнти, що враховують зміни швидкості вітру в просторі під впливом неоднорідностей підстильної поверхні.

Основним критерієм для вибору місця для встановлення офшорної ВЕС є середньорічна швидкість вітру. Чим сильніше і постійніше вітровий потік, тим більше електроенергії можна отримати. Ураховуючи сучасні технології, турбіни починають виробляти електроенергію при швидкості вітру 3 м/с та зупиняються при швидкості 25 м/с. Для того, щоб вітрові установки були рентабельними, середньорічна швидкість вітру на території повинна становити не менше 6 м/с, в іншому випадку розміщення ВЕС є економічно недоцільним. Оскільки швидкість вітру зростає з висотою, більшість вітрових установок мають високі вежі.

У приморських регіонах України середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/с, а над окремими ділянками Азовського моря досягає 9 м/с, що робить їх найбільш ефективними з точки зору використання енергії вітру. Для спорудження ВЕС на морських платформах може бути використана практично вся площа Азовського моря.

Важливим фактором розміщення офшорних ВЕС є глибина акваторій та відстань від берега. За економічними критеріями (вартість підводних енер-

гокомунікацій, фундаментів і монтажу вітроенергетичних установок) рентабельними вважаються ВЕС, що встановлені на відстані до 45 км від берега і на глибині не більше 35 м. Так, для вітротурбін, встановлених у прибережних водах європейських країн, середня глибина становить 27,1 м, а середня відстань від берега – 43,3 км [7].

Глибини Азовського моря не перевищують 14 метрів, а середньою вважається глибина 7,4 метра. Чорне море набагато глибше, його прибережні та шельфові ділянки характеризуються глибинами до 50 метрів. Найбільш перспективними є неглибокі територіальні води біля берегів материкової частини України. Оскільки Чорне море характеризується нижчими показниками швидкості вітру та значними глибинами, у нашому дослідженні увагу приділено акваторії Азовського моря.

Для збору даних щодо середньорічної швидкості вітру для Азовського моря був використаний Глобальний Атлас відновлюваних джерел енергії «IRENA» [2]. Він забезпечує вітрову кліматологію з високою роздільною здатністю на висоті 50, 100, 200 м над рівнем моря для всього світу. Дані по 324 точках, відстань між якими складає 00°20'00", були занесені в атрибутивну таблицю у програмному середовищі ArcGIS. При нанесенні точок на карту утворюється своєрідна сітка даних, що дозволяє узагальнити інтерполяційну модель швидкостей вітру (рис.1).

ГІС-моделювання проходило в декілька етапів: створення точкового шару з координатними даними і вітровими показниками та формування поверхонь швидкостей вітру за допомогою інструменту

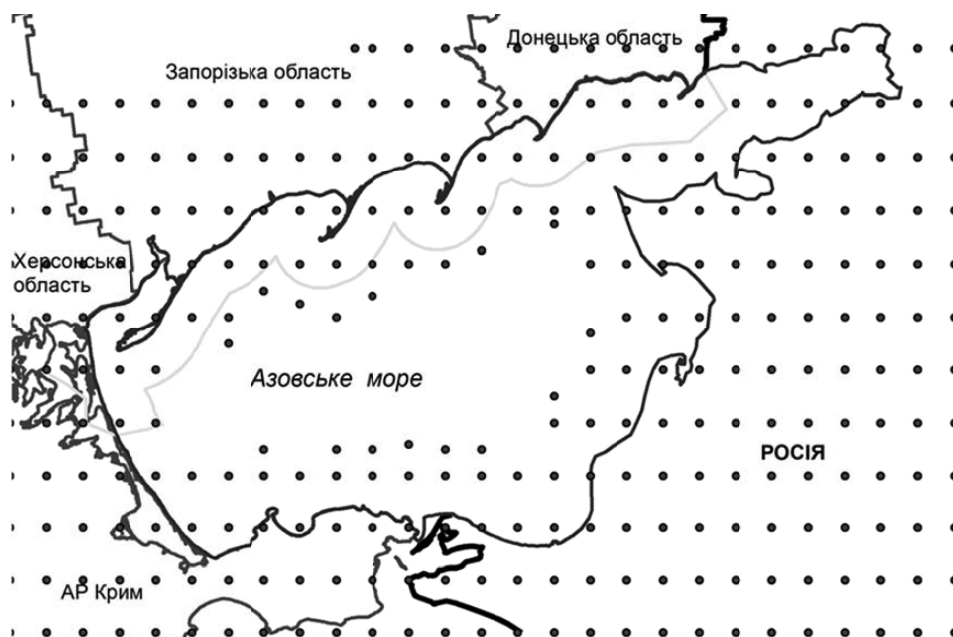


Рис.1. Точковий шар з даними швидкості вітру над акваторією Азовського моря

«Spline». Цей інструмент заснований на методі інтерполяції, який оцінює значення, використовуючи математичні функції. Це зводить до мінімуму загальну кривизну поверхні, що виявляється у побудові згладженої поверхні, яка проходить точно через вхідні точки. Така модель задовільно відображає загальну тенденцію розподілу швидкостей вітру по території.

Після створення растрової моделі для подальшого аналізу її потрібно було конвертувати у TIN-модель, для чого використаний інструмент «Raster to TIN». Далі для отримання лінійних контурів ділянок з різною швидкістю вітру застосовано інструмент «Surface Contour». Він використовує вхідний набір даних Terrain або TIN для обчислення ізоліній, які записуються у вихідний клас об'єктів. Інструмент створює лінійні 2D-об'єкти за даними, які вже були збережені як атрибути.

Ізолінії генеруються безпосередньо по набору даних Terrain або TIN у межах зони інтерполяції. За методом лінійної інтерполяції кожен трикутник об-

робляється як площа. Ділянки окремих ізоліній, що знаходяться у межах трикутника, є прямими, а будь-яка зміна напрямку відбувається тільки при переході ізолінії з одного трикутника в інший. Цей спосіб дозволяє представити точну лінійну інтерпретацію моделі поверхні. Ізолінії були побудовані для того, щоб виділити контур ділянок з найвищою швидкістю вітру, а саме: від 8,1 до 9 м/с. Саме ці зони розглядаються як найбільш перспективні для встановлення офшорних ВЕС.

На висоті 50 метрів над рівнем моря акваторія, що має відповідні швидкості вітру, розташована уздовж північного узбережжя Азовського моря та має площу 3353 км². Зі східної та південно-східної частин ця ділянка обмежена територіальними водами країни шириною у 12 морських миль.

На висоті 100 м ця ділянка вже має більшу площу – 3562 км². Це відбувається через те, що швидкості вітру з висотою стають більш стійкими (рис.2). На північному сході, у Таганрозькій затоці, швидкості вітру зростають. Та ділянка, що нас цікавить, роз-

ташована ближче до берега, а на заході – залишається майже незмінною за конфігурацією.

На висоті 200 м над рівнем моря швидкість вітру продовжує зростати. Тут спостерігаються найбільші зареєстровані показники. Перспективна ділянка зі швидкістю вітру від 8,1 до 9 м/с збільшує свою площу майже вдвічі та дорівнює 6544 км². Вона локалізується майже вздовж усієї берегової лінії, а з півдня фактично повсюдно обмежена територіальними водами країни (рис.2).

Отже, якщо розглядати загальну тенденцію розподілу показників швидкості вітру, то можна зробити висновок, що чим вище над рівнем моря, тим швидше вітри. У такому випадку доцільніше встановлювати великі вітротурбіни з вежею, що матиме висоту 100 м та вище, оскільки це економічно вигідніше та дозволить використати більшу частку вітрового потенціалу прибережної зони Азовського моря.

Після аналізу даних середньорічної швидкості вітру було вираховано потенційну потужність одиничної вітроустановки (P), яка може бути встановлена у будь-якій точці

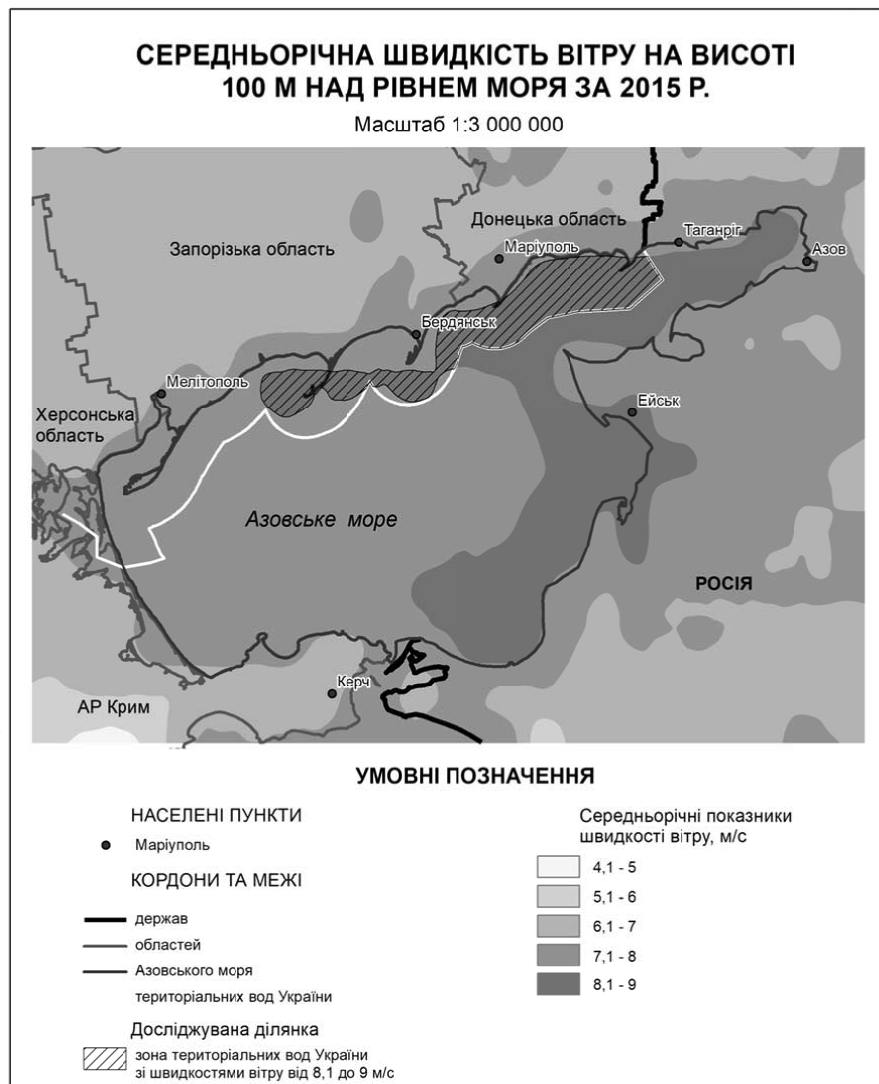


Рис.2. Середньорічна швидкість вітру за 2015 р. на висоті 100 м над рівнем моря

досліджуваної території. Для цього використано формулу:

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{ген}}$$

де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру (в номінальному режимі для швидкохідних вітряків досягає максимум $\xi_{\text{max}} = 0,4$ ч $0,5$); R – радіус ротора; V – швидкість повітряного потоку; ρ – щільність повітря; $\eta_{\text{ред}}$ – ККД редуктора; $\eta_{\text{ген}}$ – ККД генератора.

У світі існує багато компаній, що займаються розробкою, виготовленням та встановленням офшорних вітрових турбін. Це, наприклад, «Enercon», «Nordex» (Німеччина), «Vestas», «Siemens Wind Power» (Данія), «GE Energy» (США), «Gamesa» (Іспанія), «Sinovel» (Китай).

На даний момент найпотужнішою презентованою офшорною турбіною є Haliade-X 12 МВт компанії «LM Wind Power». Вона має 220-метровий ротор і 107-метрові лопаті. Вона здатна перетворювати більше енергії вітру в електроенергію, ніж будь-яка інша морська вітрова турбіна [9].

Найбільшою встановленою турбіною на сьогодні є Vestas 164–9.5 MW. Вона має такі параметри: потужність – 9,5 МВт, діаметр ротора 164 м, радіус ротора – 80 м, висота ступиці – 105/140 м. Зараз на її основі розробляється турбіна більшої потужності V164–10,0 MW, яка є першим у світі комерційним двоцифровим морським вітрогенератором [11].

Саме параметри серійної турбіни V164–9.5 було використано для розрахунків. Наприклад, для точки зі швидкістю вітру 6,9 м/с рівняння виглядає таким чином:

$$P = (0,45 \cdot 3,14 \cdot 80^2 \cdot 0,5 \cdot 6,9^3 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,85) \approx 1,42 \text{ МВт}$$

Для того щоб визначити потенційну кількість виробленої електроенергії, помножили отриману потужність на кількість годин у рік:

$$1,42 \cdot 24 \cdot 365 : 1000 \approx 12,4 \text{ ГВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Аналогічним чином були розраховані дані щодо кількості перспективної виробленої енергії у кожній нанесеній точці (табл.). Вони відображають розподіл енергії, що може бути генерована на акваторії всього Азовського моря, але нас цікавлять лише територіальні води України.

Показники електроенергії на висоті 50 метрів над рівнем моря, де швидкості вітру складають від 3 до 9 м/с, коливаються від 1,8 до 26,7 ГВт·год/рік. Найбільше електроенергії може бути вироблено у Таганрозькій затоці, а найменше – біля західного узбережжя. Там вітри мають найменшу швидкість, що обумовлено гальмуванням руху атлантичних повітряних мас над територією Кримського півострова.

На висоті 100 м над рівнем моря показники дещо відрізняються від тих, що на висоті 50 метрів. Мінімальне значення збільшується, а максимальне – зменшується. Це говорить про те, що середнє значення швидкості вітру на даній висоті зросло, але значного підвищення максимальних швидкостей вітру не відбулося. Отже, показники потенційної виробленої електроенергії на висоті 100 м, при швидкості вітру від 4 до 9 м/с, коливаються від 5,0 до 24,9 ГВт·год/рік, що більше, ніж на висоті 50 м (рис.3).

На висоті 200 м над рівнем моря спостерігається загальна тенденція зростання як найменших, так і найбільших показників, які безпосередньо залежать від швидкості вітру, що коливається від 6,5 до 9,3 м/с. Показники потенційної виробленої електроенергії складають на цій висоті від 9,4 до 30,3 ГВт·год/рік (рис.3).

Таким чином, вітроустановки повинні базуватися ближче до північно-східної або східної зони територіальних вод України в Азовському морі, бо таке їх розташування підвищить загальну кількість виробленої електроенергії. А оскільки, як і в ситуації з показниками вітру, показники електроенергії також зростають з висотою, вітрогенератори повинні мати вежу висотою понад 100 м.

Разом з безперечними перевагами офшорна вітроенергетика має свої мінуси, які визначаються

Таблиця

Фрагмент таблиці потенціалу виробленої електроенергії на різних висотах для точок в Азовському морі

Координати точки		Перспективна вироблена електроенергія на різних висотах (ГВт·год/рік)		
ц	л	50 м	100 м	200 м
45°00' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,51	0,72	1,30
45°20' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,61	0,89	1,55
45°40' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,64	1,08	1,68
45°60' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,68	1,03	1,82
45°80' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,76	1,13	1,97
46°00' пн. ш.	34°40' сх. д.	1,55	1,75	2,47
46°20' пн. ш.	34°40' сх. д.	1,24	1,61	2,47
46°40' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,80	1,19	2,05
46°60' пн. ш.	34°40' сх. д.	0,84	1,19	2,05



Рис.4. Потенційна вироблена електроенергія на висоті 100 м над рівнем моря



Рис.5. Потенційна вироблена електроенергія на висоті 200 м над рівнем моря

значною кількістю лімітуючих факторів. Вітропарки можуть бути встановлені лише в територіальних водах країни шириною 12 морських миль. Не можна будувати ВЕС у межах заповідних територій, територій, які використовують для сільськогосподарських потреб, а також на судноплавних шляхах. Потрібно врахувати шум, що його утворюють вітряки, характер рельєфу морського дна, вплив ВЕС на рослини і тварин.

Ускладнює ситуацію і невизначеність щодо розмежування Азовського моря між Україною та Російською Федерацією. Делімітація морських кордонів між країнами розпочалася у 1990-і рр., після розпаду СРСР, та триває дотепер, майже безрезультатно [6]. «Замороженість» цієї проблеми на невизначений час може стати завадою для інвестування в офшорну вітроенергетику України.

Як підсумок, можна сказати, що в Україні розвиток офшорної вітроенергетики є перспективним, але потрібне залучення зовнішніх інвестицій, проведення масштабних наукових досліджень просторового розподілу вітроенергетичного потенціалу акваторій, включаючи покращення систем спостережень за вітром, укладання спеціальних карт, вивчення лімітуючих факторів, а також урегулювання на законодавчому рівні питань будівництва ВЕС у межах територіальних вод.

Висновки. Офшорна вітроенергетика наразі розвивається саме у тих країнах, де є технологічне підґрунтя та інвестиційна база, а також потреба в зміні дислокації вітроустановок через нестачу наземних територій. Економічно обґрунтований вітровий потенціал України складає 16 ГВт, але значний відсоток її території непридатний для розміщення ВЕС, тож доцільно задіяти акваторії морів.

Завдяки швидкості вітру від 6 до 9 м/с акваторія Азовського моря має значний вітроенергетичний потенціал. У ході дослідження було виявлено зростання вітрових показників із заходу на схід: зоною концентрації максимальних швидкостей вітру є північне та північно-східне узбережжя Азовського моря. Відповідно, найбільше електроенергії може бути вироблено у Таганрозькій затоці, а найменше – біля західного узбережжя Азовського моря.

Загалом, спостерігається тенденція збільшення вітрових показників, а також

площі ділянок, придатних для встановлення ВЕС, з висотою. У такому випадку економічно вигідніше встановлювати великі вітротурбіни з вежею, що матиме висоту від 100 м.

Аналізуючи отримані дані та враховуючи незначні (до 14 м) глибини акваторії, розвиток офшор-

ної вітроенергетики у прибережній зоні Азовського моря має місце бути, але потребує підтримки на державному рівні. Перспективою дослідження є аналіз лімітуючих факторів для цієї акваторії та уточнення проектних ділянок розвитку галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Вітроенергетика в Україні: майбутнє поруч [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: https://24tv.ua/ru/maybutnye_ukrayini_za_vitroenergetikoyu_n1040657
2. The Global Atlas for Renewable Energy «IRENA» [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <https://irena.masdar.ac.ae>
3. Дмитренко Л.В. Вітроенергетичні ресурси в Україні / Л.В. Дмитренко, С.Л. Барандіч // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. - 2007. - Вип. 256. - С. 166-173.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
5. Затула В.С. Альтернативні джерела енергії в Україні / В.С. Затула // Географія та основи економіки в школі. - 1999. - № 2. - С. 3-5.
6. Романуха О.М. Делімітація Азовського моря та Керченської протоки / О.М. Романуха // Вісник Маріупольського державного університету. Серія: Історія. Політологія. - 2016. - № 1 (15). - С. 99-106.
7. Солідор Н.А. Інноваційні підходи до отримання електроенергії нетрадиційними методами / Н.А. Солідор // Вісник Приазовського державного технічного університету. - 2017. - Вип. 34. - С. 89-96.
8. Adedipe O. A Review of Onshore and Offshore Wind Energy Potential in Nigeria / O. Adedipe, M.S. Abolarin, R.O. Mamman // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - Vol. 413 (1). - P. 12-19.
9. GE Renewable Energy [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <https://www.ge.com/renewableenergy>
10. Mahdy M. Offshore Wind Energy Potential Around the East Coast of the Red Sea, KSA / M. Mahdy, A.S. Bahaj, A.S. Alghamdi // ISES Solar World Conference, 2017 Proceedings [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://proceedings.ises.org/paper/swc2017/swc2017-0247-Mahdy.pdf>
11. MHI Vestas Offshore Wind [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <http://www.mhivestasoffshore.com>
12. Rodriguez H.M. Preliminary Cost Assessment for Offshore Wind Energy in Puerto Rico / H.M. Rodriguez, G. Carbajal, E. Romero // Universidad del Turabo. - 2015. - P. 5-10.
13. Salvacao N. Assessing the Offshore Wind Energy Potential Along the Coasts of Portugal and Galicia / N. Salvacao, M. Bernardino, C. Guedes Soares // Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources. - London: Francis & Taylor Group, 2014. - P. 995-1002.
14. Thomsen K. Offshore Wind: A Comprehensive Guide to Successful Offshore Wind Farm Installation K. Thomsen. - Academic Press, 2014. - 404 p.

REFERENCES:

1. Vitroenergety`ka v Ukraini: majbutnye poruch [Wind power in Ukraine: the future is near]. Available at: https://24tv.ua/ru/maybutnye_ukrayini_za_vitroenergetikoyu_n1040657
2. The Global Atlas for Renewable Energy «IRENA». Available at: <https://irena.masdar.ac.ae>
3. Dmy`trenko, L.V., Barandich, S.L. (2007). Vitroenergety`chni resursy` v Ukraini [Wind Power Resources in Ukraine]. Scientific Papers of Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, 256, 166-173.
4. Energety`chna strategiya Ukrainy` na period do 2035 roku «Bezpeka, energoefekty`vnist`, konkurentospromozhnist`» [Ukrainian Energy Strategy up to 2035: Safety, Energy Efficiency, Competitiveness]. Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
5. Zatula, V.S. (1999). Al`ternaty`vni dzherela energiyi v Ukraini [Alternative Energy Sources in Ukraine]. Geography and Fundamentals of Economics at School, 2, 3-5.
6. Romanuxa, O.M. (2016). Delimitaciya Azovs`kogo morya ta Kerchens`koyi protoky`. [Delimitation of the Sea of Azov and the Kerch Strait]. Bulletin of the Mariupol State University. Series: History. Politicalogy, 1 (15), 99-106.
7. Solidor, N.A. (2017). Innovacijni pidxody` do otry`mannya elektroenergiyi netrady`cijny`my` metodamy` [Innovative approaches to electricity generation using non-traditional methods]. Bulletin of Azov State Technical University, 34, 89-96.
8. Adedipe, O., Abolarin, M.S., Mamman, R.O. (2018). A Review of Onshore and Offshore Wind Energy Potential in Nigeria. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 413 (1), 12-19.
9. GE Renewable Energy. Available at: <https://www.ge.com/renewableenergy>
10. Mahdy, M., Bahaj, A.S., Alghamdi, A.S. (2017). Offshore Wind Energy Potential Around the East Coast of the Red Sea, KSA. ISES Solar World Conference, 2017 Proceedings. Available at: <http://proceedings.ises.org/paper/swc2017/swc2017-0247-Mahdy.pdf>
11. MHI Vestas Offshore Wind. Available at: <http://www.mhivestasoffshore.com>
12. Rodriguez, H.M., Carbajal, G., Romero, E. (2015). Preliminary Cost Assessment for Offshore Wind Energy in Puerto Rico. Universidad del Turabo, 5-10.
13. Salvacao, N., Bernardino, M., Guedes Soares, C. (2014). Assessing the Offshore Wind Energy Potential Along the Coasts of Portugal and Galicia. Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources. London: Francis & Taylor Group, 995-1002.
14. Thomsen, K. (2014). Offshore Wind: A Comprehensive Guide to Successful Offshore Wind Farm Installation. Academic Press, 404.

INFORMATION ABOUT AUTHORS / СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Popovych Nataliia Valeriyivna – Candidate of Sciences (Geography), Senior Lecturer of the Department of Physical Geography and Cartography, V.N. Karazin Kharkiv National University. e-mail: n.popovych@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4968-6296>

Dzhym Daria Romanivna – Master's Student of Geography. The Department of Physical Geography and Cartography. V.N. Karazin Kharkiv National University. e-mail: d.dzhim@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-1942>

Agapova Olena Leontiyivna – Candidate of Sciences (Geography), Senior Lecturer of the Department of Physical Geography and Cartography, V.N. Karazin Kharkiv National University. e-mail: o.agapova@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>

Попович Наталиа Валерьевна – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры физической географии и картографии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. e-mail: n.popovych@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4968-6296>

Джим Дарья Романовна – магистрант географии кафедры физической географии и картографии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина.

e-mail: d.dzhim@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-1942>

Агапова Елена Леонтьевна – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры физической географии и картографии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. e-mail: o.agapova@physgeo.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>