

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут (факультет) _____ Кораблебудівний

Кафедра _____ будівельної механіки та конструкції корпусу корабля _____

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

Л.І. Коростильов

« 25 » серпня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» на тему:

Дослідження та розробка оптимальної конструкції
напівзанурювального фундаменту вітрового генератора
за спеціальністю
135 Суднобудування
спеціалізація «Конструювання та міцність корпусу суден та плавучих споруд»

Виконавець роботи магістр

Давидова П.С.

Науковий керівник

Шарун Г.В.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1

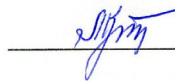
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут (факультет) Кораблебудівний
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Спеціальність 135 Суднобудування
Освітньо-професійна програма Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор Коростильов Л.І.



«25» *серпня* 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
Давидова Поліна Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та розробка оптимальної конструкції напівзанурювального фундаменту вітрового генератора.
Research and development of the optimal design of a semi-submersible foundation for a wind generator.

керівник роботи ст. викл. Шарун Г.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- 4.1. Аналіз світових прогнозів розвитку офшорних вітрових станцій
- 4.2. Аналіз даних по існуючих концептах офшорних вітрових станцій.
- 4.3. Дослідження перспектив розвитку офшорної вітроенергетики у Чорноморському регіоні.
- 4.4. Визначення потенційно можливих місць розташування офшорної вітрової станції в українській частині Чорного моря
- 4.5. Визначення головних розмірів, внутрішньої структури і розробка креслення для майбутньої 3-Д моделі.
- 4.6. Побудова 3-Д моделі фундаменту і перевірка її у системі Solidworks на дію навантажень від тиску води.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1. 3-Д модель офшорного вітрового фундаменту.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
6.1.	Шарун Г.В.		
6.2.	Шарун Г.В.		
6.3.	Шарун Г.В.		
6.4.	Шарун Г.В.		
6.5.	Шарун Г.В.		
6.6.	Шарун Г.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз світових прогнозів розвитку офшорних вітрових станцій	20.09.2024	
2	Аналіз даних по існуючих концептах офшорних вітрових станцій.	10.10.2024	
3	Дослідження перспектив розвитку офшорної вітроенергетики у Чорноморському регіоні.	10.11.2024	
4	Визначення потенційно можливих місць розташування офшорної вітрової станції в українській частині Чорного моря	20.11.2024	
5	Визначення головних розмірів, внутрішньої структури і розробка креслення для майбутньої 3-Д моделі.	05.12.2024	
6	Побудова 3-Д моделі фундаменту і перевірка її у системі Solidworks на дію навантажень від тиску води.	20.12.2024	

Студент

(підпис) Давидова П.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис) Шарун Г.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

Завдання на дипломну роботу.....	2
Анотація.....	5
Вступ.....	9
1 Аналіз світових прогнозів розвитку офшорних вітрових станцій	12
2 Аналіз даних по існуючих концептах офшорних вітрових станцій	19
3 Дослідження перспектив розвитку офшорної вітроенергетики у Чорноморському регіоні	40
3.1 Дослідження потенціалу офшорної вітроенергетики у Румунії і Болгарії	42
3.2 Дослідження потенціалу офшорної вітроенергетики у Турції	52
3.3 Дослідження потенціалу офшорної вітроенергетики в Україні	53
4 Визначення потенційно можливих місць розташування офшорної вітрової станції в українській частині Чорного моря.....	61
5 Визначення головних розмірів, внутрішньої структури і розробка креслення для майбутньої 3-Д моделі	73
6 Побудова 3-Д моделі офшорного вітрового фундаменту та розрахунок навантажень	82
6.1. Побудова 3-Д моделі.....	83
6.2 Розрахунок навантажень, що діють від тиску води на головну колону фундаменту.....	89
Висновок.....	93
Список використаних джерел	95

Анотація

Тема магістерської роботи «Дослідження та розробка оптимальної конструкції напівзанурювального фундаменту вітрового генератора».

Дипломний проєкт присвячений аналізу розвитку та перспектив використання офшорної вітроенергетики як відновлюваного джерела енергії.

Розглянуто сучасний стан глобального офшорного вітроенергетичного ринку, ключові технологічні аспекти плавучих вітрових турбін та економічні переваги цього сектора.

Особлива увага приділена порівнянню основних типів платформ для плавучих турбін, таким як напівзаглибні, TLP та SPAR, їх конструктивним особливостям, ефективності використання, відмінностям, перевагам та недолікам.

Проаналізовано потенціал Чорноморського регіону для розвитку офшорної вітроенергетики, зокрема в контексті Туреччини, Болгарії та Румунії, з урахуванням нормативної бази, природних ресурсів та екологічних викликів. Результати дослідження спрямовані на обґрунтування необхідності інвестицій у розробку плавучих офшорних платформ і створення умов для інтеграції вітроенергетичних проєктів у національні енергетичні системи.

На прикладі аналізу для Українського Чорноморського регіону запропоновано практичне рішення щодо оптимізації технологічних викликів для плавучих вітрових установок, враховуючи географічні та кліматичні умови, економічні чинники, а також екологічний вплив. У дослідженні акцентовано увагу на провідній ролі офшорної вітроенергетики в досягненні цілей декарбонізації, підвищенні енергетичної безпеки та створенні нових економічних можливостей у регіоні.

В процесі виконання дипломного проєкту визначено головні розміри проєкту в першому наближенні і розроблено дизайн-проєкт майбутнього фундаменту.

На основі отриманих головних розмірів вітрового фундаменту побудована тривимірна модель корпусу за допомогою ПЗ Solidworks.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робота містить: аналіз світових прогнозів розвитку офшорних вітрових станцій і існуючих концептів, дослідження розробок у Чорному морі, вибір оптимальних головних розмірів, побудову 3-Д моделі.

Ключові слова: офшорна вітрова енергія, плавучі вітрові турбіни, відновлювальні джерела енергії, енергетичний перехід, вирівняна вартість енергії, офшорні вітрові фундаменти, напівзаглибний тип, фундаменти на натяжних в'язях, тип SPAR, декарбонізація, Чорне море, головні розміри, характеристики вітру, тривимірна модель.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

The topic of the master's thesis is "Research and development of the optimal design of a semi-submersible foundation for a wind generator".

The diploma project is devoted to the analysis of the development and prospects for the use of offshore wind energy as a renewable energy source.

The current state of the global offshore wind energy market, key technological aspects of floating wind turbines and the economic advantages of this sector are considered.

Special attention is paid to the comparison of the main types of platforms for floating turbines, such as semi-submersible, TLP and SPAR, their design features, efficiency of use, differences, advantages and disadvantages.

The potential of the Black Sea region for the development of offshore wind energy is analyzed, in particular in the context of Turkey, Bulgaria and Romania, taking into account the regulatory framework, natural resources and environmental challenges. The results of the study are aimed at substantiating the need for investments in the development of floating offshore platforms and creating conditions for the integration of wind energy projects into national energy systems.

Using the example of the analysis for the Ukrainian Black Sea region, a practical solution is proposed to optimize technological challenges for floating wind turbines, taking into account geographical and climatic conditions, economic factors, as well as environmental impact. The study focuses on the leading role of offshore wind energy in achieving decarbonization goals, increasing energy security, and creating new economic opportunities in the region.

In the process of implementing the diploma project, the main dimensions of the project were determined in the first approximation and a design project of the future foundation was developed.

Based on the obtained main dimensions of the wind foundation, a three-dimensional model of the hull was built using Solidworks software.

					19.ДРМ.135.6116м.П3.01	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

The work includes: analysis of global forecasts for the development of offshore wind farms and existing concepts, research of developments in the Black Sea, selection of optimal main dimensions, construction of a 3-D model.

Keywords: offshore wind energy, floating wind turbine, renewable energy sources, energy transition, levelized cost of energy, offshore wind foundations, semi-submersible type, tension-tie foundations, SPAR type, decarbonization, Black Sea, main dimensions, wind characteristics, three-dimensional model.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність. Вуглекислий газ є одним із найважливіших факторів, що сприяє зміні клімату та глобальному потеплінню. Він виділяється як побічний продукт щорічного використання великої кількості викопного палива для різних промислових процесів. Невідновлювані ресурси, такі як атомні електростанції, є хорошими стійкими джерелами, які забезпечують велику кількість енергії та низькі викиди. Проте дослідники прагнуть використовувати атомну енергію якомога мінімальніше, щоб зменшити ядерні відходи та радіоактивне забруднення внаслідок неконтрольованих аварій. Глобальне використання відновлюваних джерел енергії стає необхідним інструментом для майбутнього розвитку світової економіки та боротьби із виснаженням вуглеводневої сировини.

В останні роки все активніше ведуться дослідження, спрямовані на пошук та вивчення нових видів джерел енергії, а також способів їх застосування для збільшення паливно-енергетичних ресурсів. Особливий інтерес прикутий до нетрадиційних джерел енергії, таких як енергія вітру, сонця, гідроенергія малих рік і т.д. На джерела з низьким рівнем викидів зараз припадає близько 40% виробництва електроенергії, причому 30% надходять з відновлюваних джерел енергії, а ще 10% – з атомних. Європейський Союз рухається до електроенергетичної системи, де домінують берегові та офшорні вітрові установки, причому на обидва джерела разом припадає понад 40% загального виробництва в 2050 році за сценарієм STEPS і понад 50% за сценарієм APS і NZE.

Використання енергії вітру для виробництва електроенергії не співмірне з її надлишком, що пов'язано з кількома проблемами, зокрема шумовими викидами та непередбачуваною або низькою швидкістю вітру. У цьому відношенні більше уваги приділяється дослідженням плавучих вітрових турбін для збору енергії в морських глибинах. Вітроенергетичні установки, які побудовані недалеко від узбережжя морів, називають офшорними. Порівняно з береговою вітроенергетикою плавуча офшорна вітрова електростанція є перспективним відновлюваним джерелом енергії завдяки вищій швидкості вітру, меншій рвучкості та більшій доступній території.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

За останні роки спостерігається швидкий ріст встановленої потужності плаваючих вітрових турбін, особливо в Європі та Азії. За даними міжнародних організацій, таких як Global Wind Energy Council, кількість плаваючих вітроелектростанцій зросла в кілька разів за останнє десятиліття. Станом на кінець 2023 року, загальна потужність плаваючих вітрових турбін перевищила 200 МВт, і планується стрімке зростання в найближчі роки. Аналіз показує, що до 2030 року буде додано понад 380 ГВт морських вітрових потужностей на 32 ринках.

Розглядаючи перспективи розвитку України, слід зазначити, що диверсифікація джерел отримання енергії є однією з головних проблем гарантування стабільності української економіки і економічної безпеки в умовах післявоєнної відбудови. Відсоткові співвідношення варіюються, але всі дослідження приходять до висновку, що Чорноморське узбережжя України має найбільший потенціал для розвитку офшорної вітрової енергетики.

Крім екологічних здобутків, розвиток офшорної вітроелектростанції може принести економічні вигоди через створення робочих місць та інвестиції в інфраструктуру. Будівництво та експлуатація вітряних електростанцій, а також необхідний розвиток портів і розширення мережі можуть створити тисячі кваліфікованих робочих місць і сприяти економічному відродженню України. Крім того, оскільки країна інтегрується в енергетичний ринок ЄС, вона також може стати ключовим експортером відновлюваної електроенергії.

Підсумовуючи, офшорна вітрова енергетика може стати наріжним каменем післявоєнної енергетичної стратегії України, пропонуючи шлях як до відновлення, так і до сталого майбутнього. Завдяки міжнародній підтримці та стратегічному плануванню Україна могла б перетворити Чорне море на центр інновацій у зеленій енергетиці.

Таким чином метою магістерської роботи є проектування проектування офшорного вітрового фундаменту в умовах експлуатації у Чорному морі.

Мета роботи Розробка концептуального проекту та вибір характеристик офшорного вітрового фундаменту.

Завдання дослідження:

- обробка статичних даних по існуючих типах фундаментів;
- аналіз світового ринку офшорної вітроенергетики;
- аналіз досліджень у чорноморському регіоні і в Україні зокрема;
- розробка дизайн-проекту та визначення оптимальних розмірів;
- розробка 3-Д моделі;
- перевірка працездатності моделі.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Аналіз світових прогнозів розвитку офшорних вітрових станцій	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Давидова П.С.							
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК		
Керівник	Шарун Г.В.							
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.							

1. Аналіз світових прогнозів розвитку офшорних вітрових станцій

«2024 Global Offshore Wind Report» Глобальної вітроенергетичної ради (GWEC) містить поглиблений аналіз офшорної вітрової галузі, її поточний стан і перспективи на майбутнє. У звіті наголошується на значущій ролі офшорної вітрової енергетики в глобальному енергетичному переході, на її конкурентних перевагах, економічній ефективності та потенціалі економічного зростання.

10,8 ГВт нових офшорних вітрових електростанцій було додано до світової мережі, довівши загальну глобальну офшорну вітрову потужність до 75,2 ГВт до кінця 2023 року, перевищивши показники попереднього року на 24%.

Китай шостий рік поспіль лідирує у світі за щорічним розвитком офшорних вітрових електростанцій із доданими 6,3 ГВт у 2023 році. Також минулого року три інші країни ввели в експлуатацію нові офшорні вітрові потужності в Азії: Тайвань (Китай, 692 МВт), Японія (140 МВт) і Південна Корея (4,2 МВт). У 2023 році в Європі ввели рекордно 3,8 ГВт нових офшорних вітрових потужностей від 11 вітрових електростанцій, введених в експлуатацію на семи ринках. Нідерланди ввели в експлуатацію 1,9 ГВт станцій, що зробило їх лідером у регіоні з точки зору нових приєднань, за ними йдуть Великобританія (833 МВт), Франція (360 МВт), Данія (344 МВт), Німеччина (257 МВт), Норвегія (35 МВт) та Іспанія (2 МВт). У Північній Америці офшорні вітряні турбіни були встановлені на двох масштабних офшорних вітрових турбінах у США до кінця минулого року, але жодна морська турбіна не була введена в експлуатацію в 2023 році. До кінця 2023 року 41 ГВт і 34 ГВт морської вітряної енергії потужності працювали в Азії та Європі відповідно. На два регіони разом припадає 99,9% загальної глобальної морської вітрової потужності.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2023 рік був неспокійним роком для офшорної галузі по всьому світу. Такі виклики, як інфляція, збільшення капітальних витрат і обмеження ланцюга поставок, створили невизначеність у секторі. З огляду на найближчі виклики, GWEC Market Intelligence знизилася свій глобальний прогноз офшорної вітряної енергії на 2024–2028 роки на 10% порівняно з прогнозом на 2023 рік.

Незважаючи на перешкоди, уряди та розробники залишаються відданими розвитку офшорної вітрової енергетики. Включення глобальної мети потроїти використання відновлюваної енергії до 2030 року в остаточний текст COP28 є безпрецедентним і історичним для офшорних вітрових та інших відновлюваних джерел енергії. Сприятливе політичне середовище в усьому світі та нагальність забезпечення енергетичної безпеки, зумовлена вторгненням Росії в Україну, роблять морську вітрову енергію життєво важливим ресурсом для досягнення обох цілей.

Очікується експоненціальне зростання в цьому десятилітті та надалі. Зі зведеним середньорічним темпом зростання 25% до 2028 року та 15% до початку 2030-х років, очікується, що нові установки перевищать позначки в 40 ГВт у 2029 році та 60 ГВт до 2032 року. GWEC Market Intelligence очікує понад 410 ГВт нових потужностей, які будуть додані протягом наступного десятиліття, з яких більше двох третин, ймовірно, буде додано в другій половині прогнозованого періоду (2029-2033). Очікується, що в 2028 році щорічні морські вітрові установки зростуть втричі порівняно з 2023 роком. Очікується, що до 2033 року вони досягнуть 66 ГВт, що призведе до збільшення частки морських нових вітроенергетичних установок із сьогоднішніх 9% до принаймні 25%.

Видання Глобального офшорного вітрового звіту за 2024 рік демонструє, що розвиток офшорних вітрових установок тепер є набагато більшим, ніж розробки Європи, Китаю чи Америки. Настала наступна хвиля ринків офшорної вітрової енергії, оскільки уряди в Азіатсько-

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тихоокеанському регіоні та Латинській Америці використовують її як рішення для забезпечення чистої та доступної електроенергії для своїх людей і промисловості. Наприклад, Австралія нещодавно оголосила результати отримання ліцензії на техніко-економічне обґрунтування Гіпсленда, запустивши першу в Австралії офшорну вітряну зону, у якій можуть реалізуватися 12 проектів із сумарною потужністю для виробництва 25 ГВт електроенергії.

У Латинській Америці незабаром очікується ухвалення закону про офшорну вітрову енергетику в Бразилії, а Колумбія знову запустила аукціон офшорної вітрової енергії.

У Європі нова хвиля ринків так само розглядає офшорні вітряки як спосіб сприяти економічному та промисловому зростанню. Ірландія запропонувала амбітні плани розвитку офшорної вітрової енергетики, тоді як Польща розглядає її як шлях для стимулювання промислового зростання. Морська вітроенергетика відіграє ключову роль у підтримці глобальної енергетичної системи для досягнення 1,5°C завдяки своєму масштабу та надійності.

На COP 28 понад 130 країн взяли на себе зобов'язання потроїти використання відновлюваної енергії до 2030 року, заклавши основу для нової хвилі зростання офшорної вітрової енергії після цього десятиліття. Щоб досягти траєкторії 1,5°C, світові знадобиться щонайменше 380 ГВт офшорної вітрової енергії до 2030 року та 2000 ГВт до 2050 року, відповідно до World Energy Transitions Outlook IRENA.

За оцінками Світового банку, в усьому світі існує понад 71 000 ГВт технічного потенціалу морської вітрової енергії. Значна частина цього зростання відбуватиметься за межами основних історичних ринків Європи та Китаю.

Наприклад, найбільша офшорна вітроелектростанція Dogger Bank потужністю 3,6 ГВт у Великій Британії, після завершення будівництва,

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечуватиме електроенергією 6 мільйонів будинків на рік. Це робить офшорні вітроелектростанції добре підходящими для забезпечення енергетичної безпеки, стійкості системи та незалежності на національному рівні. Офшорна вітроелектростанція є кращим співвідношенням ціни та якості, ніж альтернативи. Прискорення реалізації проектів офшорної вітроелектростанції забезпечить доступну електроенергію та економію для платників рахунків. Це також зменшує залежність споживачів від високих нестабільних цін на викопне паливо та підвищує енергетичну безпеку.

Вивчення ширшої тенденції до зниження витрат на офшорні вітроелектростанції за останнє десятиліття порівняно із загальною тенденцією до зростання цін на газ показує, що офшорні вітроелектростанції стали дуже конкурентоспроможними за витратами при масштабному розгортанні. Очікується, що глобальний LCOE зменшиться більш ніж на 10% до 2025 року та на одну третину до 2035 року.

Офшорні вітрові установки можуть слугувати каталізатором індустріалізації, сприяючи розширенню та модернізації критичної інфраструктури. Експоненційне зростання вітрового сектору за останні десять років відкриває значну можливість для підвищення виробничої компетентності, розвитку локальних і глобальних ланцюгів поставок і підвищення навичок і можливостей робочої сили.

Крім того, офшорна вітрова енергія завдяки виробництву зеленого водню або екологічного палива також відіграє потенційно значну роль у декарбонізації нафтопереробної та хімічної промисловості.

Офшорні вітряки позитивно впливають на здоров'я океану, оскільки уряди забезпечують справедливе використання ресурсів разом із розробками через процеси прозорого та стратегічного планування. Сюди входить широкомасштабне морське просторове планування та систематичні екологічні та соціально-економічні оцінки, які ґрунтуються на соціальному прийнятті, соціальному аналізі витрат і вигод та багатокритеріальному

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізі рішень, спрямованому на досягнення максимально позитивних та синергічних результатів. Офшорна вітряна енергетика завдяки передовій технології та енергоефективним методам сприяє надійному та сталому економічному зростанню. Цей підхід не тільки встановлює кращі стандарти управління, але й покращує якість навколишнього середовища, встановлюючи баланс між економічним розвитком і збереженням навколишнього середовища.

Зв'язки між блакитною економікою, сталим розвитком та економічним зростанням незаперечні. Однак традиційні економічні показники, такі як ВВП, можуть бути оманливими, оскільки багатство країни не відображається повністю через відсутність відповідного обліку природного, соціального та людського капіталу. Емпіричний підхід до аналізу прикладу ЄС показує, що офшорна вітрова промисловість створила 2,5 млрд євро доданої вартості на кожен новий ГВт офшорної вітрової енергії. Це означає, що в середньому кожна нова офшорна турбіна додала економіці ЄС 20,3 млн. євро. Очікується, що економічний внесок у 2030 році буде в 2,5 рази більшим, ніж внесок у 2022 році. Очікується, що до 2030 року вітрова енергія становитиме близько 0,81% ВВП ЄС, причому близько 50% цього внеску буде надходити від офшорних вітрових установок.

Партнерство між урядом і промисловістю дозволило успішно розгорнути офшорні вітроелектростанції в усьому світі, причому уряди відіграли важливу роль у проектах зниження ризиків. Працюючи разом, уряди та промисловість досягли значного зниження вартості офшорної вітрової енергії, що призвело до того, що офшорна вітрова установка стала найдешевшою формою нової генерації електроенергії в таких країнах, як Велика Британія, Німеччина та Китай, після наземної вітрової та сонячної фотоелектричної енергії.

В цілому офшорні вітрові турбіни виготовляються тими ж виробниками, що і наземні вітрові турбіни, і за тією ж технологією. Проте, є деякі труднощі, з якими стикаються країни на початках офшорного вітроенергетичного ринку:

а) вартість офшорних ВЕУ значно вища від наземних через більшу одиничну потужність, а відповідно більшу виробітку; застосування при виробництві турбіни додаткових елементів, таких як: посилений фундамент, антикорозійне покриття тощо. Станом на 2018 рік середня вартість будівництва офшорного вітроенергетичного проєкту потужністю 1 000 МВт, включно з витратами на підключення, становила близько 4 млрд доларів США, проте експерти Міжнародного енергетичного агентства очікують, що в наступному десятилітті вона повинна скоротитися більш ніж на 40%

б) довший термін виробництва установок через підвищений попит на наземні вітрові турбіни;

в) недостатність компетентних кадрів на місцях. Хоч виробники вітрового обладнання за 30 років набрались достатнього досвіду у питанні офшорних вітрогенераторів, проте на початку розвитку цього ринку країни стикаються з проблемою недосвідченості компаній з розвитку таких проєктів, недостатністю персоналу, що готовий працювати у відкритому морі та правильно транспортувати установки до будівельного майданчику;

г) обмежена кількість компаній, які будують спеціальні фундаменти під офшорні ВЕС та надають відповідне обладнання типу підводних кабелів.

Таким чином, уряди, громадянське суспільство та приватний сектор уже працюють над впровадженням економічних, соціальних та екологічних заходів для забезпечення довгострокового успіху. Пріоритетом зараз має стати продовження співпраці між промисловістю та політиками для подолання перешкод для швидкого розширення масштабів цієї надзвичайно

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливої технології для економічного та екологічного добробуту людей і економік у всьому світі.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
					Аналіз даних по існуючих концептах офшорних вітрових станцій	Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент	Давидова П.С.								
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК			
Керівник	Шарун Г.В.								
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.								

2 Аналіз даних по існуючих концептах офшорних вітрових станцій

Офшорні вітрові установки вивчаються з 1990-х років. Протягом останніх років спостерігалось значне зростання кількості та різноманітності дизайнів платформ (наприклад, було щонайменше 35 нових дизайнів платформ за останні чотири роки). Графік розробки цих пристроїв наведено на рис. 2.1, який включає морські прототипи, демонстраційні проекти та пілотні ферми. Є дві конструкції, які були розгорнуті на етапі пілотної ферми: Hywind Spar від Equinor, яка використовується в Hywind Scotland (Велика Британія, 30 МВт), встановлена в 2017 році, і WindFloat від Principle Power, яка використовується на заводах WindFloat Atlantic (Португалія, 25 МВт), встановлених у 2019 році, і Kincardine (Велика Британія, 50 МВт), встановлених у 2021 році. Є ще 20 проектів платформ, які досягли стадії тестування прототипів або демонстраторів у морі та понад 80 інших платформ на ранніх стадіях розробки.

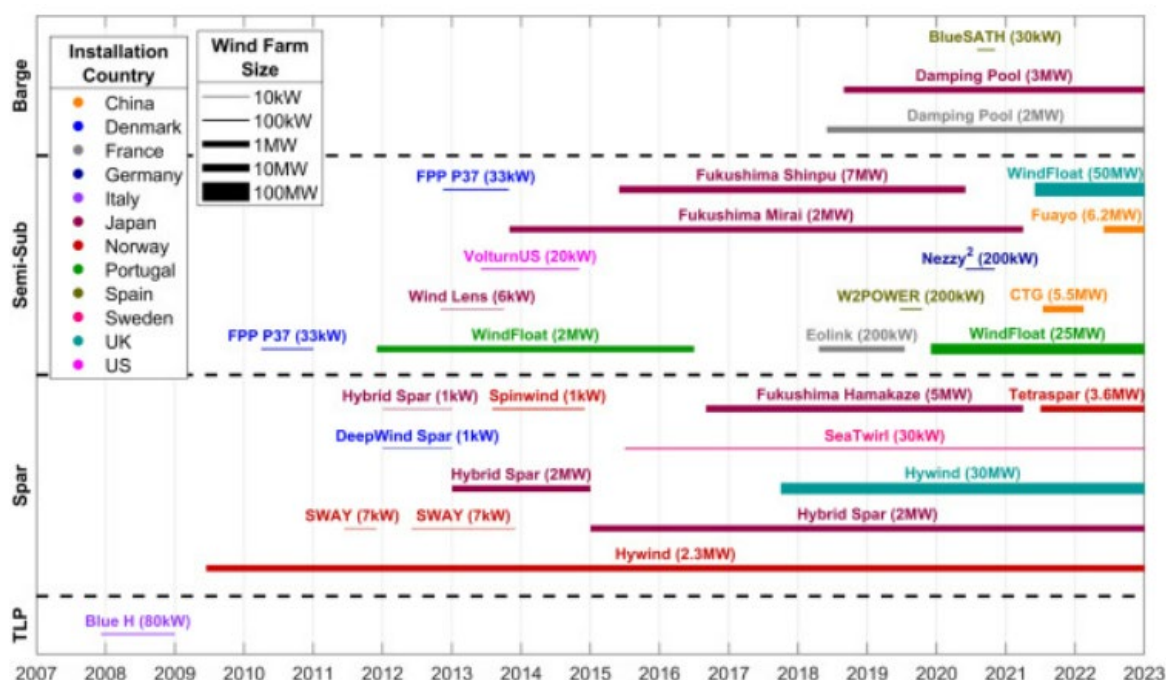


Рис. 2.1 Хронологія розгортання плавучих морських вітрових турбін, включаючи прототипи, демонстраційні пристрої та ферми

Дизайни платформ розходяться в останні роки що впливає розробників платформи, академічних та промислових дослідників, які займаються моніторингом навколишнього середовища та обстеженням, геотехнікою

навколишнього середовища, В цілому вивчення цих конструкцій можна розділити на 4 етапи. Етап I (1990–2010) характеризується дослідженнями підтвердження концепції, порівнюючи «традиційні» платформи з «нетрадиційними». Як правило, ці дослідження висвітлювали перевірені конструкції як ті, що потребують подальшого розвитку. Етап II (2005–2015 рр.) характеризується впливом нафтогазової промисловості, де вивчалися плавучі платформи нафтогазової промисловості з вітровою турбіною з обмеженими модифікаціями платформи. Етап III (2010–2020 рр.) характеризується природним прогресом появою дизайну платформ, що відповідає унікальним потребам офшорних вітрових установок. На цьому етапі з'явилися спеціалізовані платформи FOWT для боротьби з різними особливостями експлуатації FOWT і більшого стимулювання до зниження витрат. Етап IV (з 2015 року по теперішній час) характеризується низкою альтернативних стратегій зниження витрат, що призвело до недавніх розбіжностей у дизайні платформ. Зокрема, для зниження витрат було зосереджено три основні напрямки: спеціалізація платформ для певного місця чи середовища, підвищення модульності та технологічності та інновація платформи, що відрізняється від звичайних.

Дивлячись на діапазон проектів FOWT, стає очевидним, що ще не було конвергенції в дизайні платформи, скоріше діапазон дизайнів швидко розширювався, як і очікувалося на ранніх стадіях розвитку технологій.

Плавучі вітряні фундаменти повинні мати достатню плавучість і стійкість, щоб підтримувати вузол гондоли ротора вітрової турбіни (rotor nacelle assembly-RNA) і вежу і протидіяти силам тяги та інерції від вітряної турбіни, зосередженої на висоті до 150 м над платформою. Зазвичай вони являють собою типові конструкції корпусу, виготовлені з посилених сталевих циліндричних оболонок або бетону.

Плавучий вітряний фундамент має складну поведінку, динамічно реагуючи на вітер, хвилі та течію, тобто задіюючи шість режимів руху твердого тіла: переміщення, коливання, хвиля, тангаж, крен і поворот. Рухи плавучого

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фундамента поєднуються з аеродинамікою WTG(wind turbine generator) і гідродинамічною системою швартування. Важливе значення мають інерційні навантаження за рахунок прискорень тіла в русі. Аеродинамічний вплив на плаваючу вітряну турбіну є значним навіть при невеликому русі, оскільки центр ваги турбіни знаходиться дуже високо. Ефект зв'язку рухів між фундаментом, WTG і швартовними системами стає все більш важливим із збільшенням глибини води.

На даний момент існує три основних типи платформ, що використовуються в промисловості, на основі трьох різних драйверів дизайну для досягнення остійності платформи: напівзаглибна платформа, платформа TLP, і платформа типу SPAR. SPAR використовують гравітаційну стабілізацію, а «типова» платформа SPAR являє собою один вертикальний циліндр з баластом у нижній частині, з вежею вітрової турбіни, з'єднаною безпосередньо з вертикальним циліндром. TLP використовує стабілізацію швартування, а «типовий» TLP складається із зануреного корпусу, з'єданого зі швартовними канатами, з центральною колоною, що з'єднує занурений корпус із вежею вітрової турбіни над поверхнею. Напівзаглибна платформа використовує гравітаційну стабілізацію і складається з трьох-п'яти вертикальних циліндрів, з'єднаних разом, з турбіною в центрі або над однією з колон.

Нижче наведено порівняння між трьома типами вітрових фундаментів.

тип	С тійкість	Г либина води	У становка турбіни	У тримання станції	Т ранспорт ування	+	-
напівзаглибний	Менш стійка	> ~40 м	Турбіна встановлена в доці	Підростає система швартування та низька вартість	Буксирний транспорт	- Не потребує глибокого доку або спеціального обладнання для буксирування та встановлення -	- Складна конфігурація, конструкція великого розміру - Більший рух підйому (відносно інших)

						Перевірена технологія (сьогодні працює 70 МВт із використанням такого типу конструкції) - Нижчі рухи диферента та крену - Більше місця на палубі (для обслуговування)	
раг	Х ороша стійкість	> ~100 м	Т урбіна встановлена на морі	П роста система швартування та низька вартість	С кладніше через високий корпус, може знадобитися судно для перевозу важких вантажів	- Зазвичай відносно простий у виготовленні та виготовленні - Перевірена технологія (сьогодні працює 30 МВт із використанням такого типу конструкції) - Невеликі вертикальні рухи	• Важко відбуксирувати та встановити: для встановлення турбіни потрібен глибокий док або захищена зона та великий офшорний кран • Вимагає глибокої робочої води, особливо для більших турбін • Високе втомне навантаження на основу • Великий слід морського дна • Більший нахил і крен (відносно інших) •

							Низький простір на палубі (для обслуговування)
LP	X ороша стійкість, але сприйнятлива до високочастотних динамічних навантажень	> ~40 м	T урбіна встановлена в доці	C кладна система натяжних елементів з високою вартістю	B уксирний транспорт	- Невеликі вертикальні рухи - Конструкція невеликого розміру, що означає менші витрати на матеріали - Може працювати на багатьох глибинах води	- Дорогі швартові троси та якорі з великим вертикальним навантаженням - Якщо один швартовний шнур виходить з ладу, це може призвести до катастрофи - Наразі має низький РГТ; - Мало/немає місця на палубі (для обслуговування) - Важко використовувати в зоні з великим діапазоном припливів

Загальновизнано, що не існує однієї «найкращої» категорії платформ. Навпаки, різні категорії можуть бути оптимальними залежно від глибини води в місці встановлення, портових обмежень, умов морського дна, витрат на виробництво та відповідного клімату хвиль, припливів і вітру.

Відновлювальний момент напівзаглибної платформи досягається великою площею водної площини, яка піднімає метацентр значно вище центру тяжіння. Платформа TLP стабілізована вертикальними натягнутими швартовками, тоді як

стійкість лонжерона досягається за рахунок важкого баласту, який максимально низький для збільшення метацентричної висоти.

Однак не всі платформи підходять до цих різних типів, у багатьох конструкціях використовується комбінація механізмів стабілізації, що охоплює різні категорії. Останнім часом спостерігається збільшення кількості платформ комбінованого типу.

Напівзанурений тип є найбільш дослідженим порівняно з іншими. Зазвичай його називають баржею, коли відновлювальний крутний момент надходить головним чином із зони водної площини. Гарним прикладом є Damping Pool, розроблений IDEOL(рис.1).

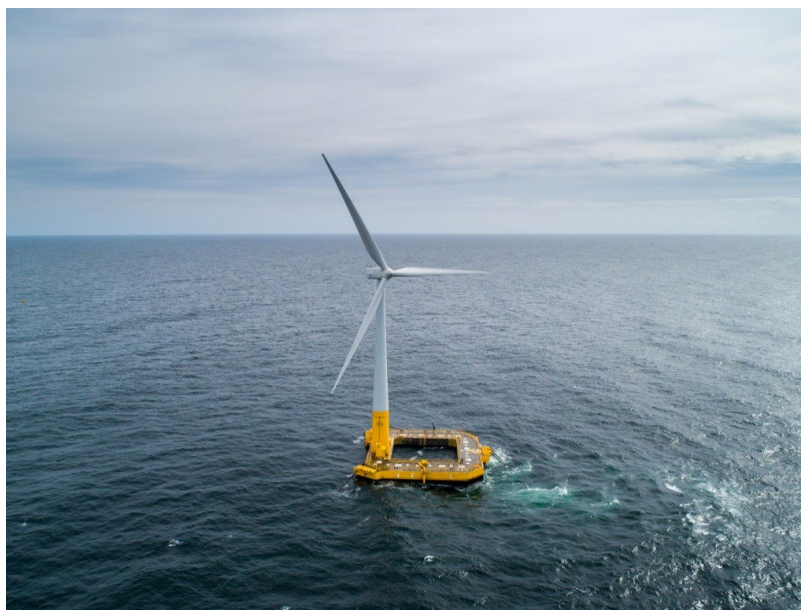


Рис. 1 Damping Pool

У концепції Damping Pool рухи зменшуються за допомогою гідродинамічних властивостей водної маси, захопленої центральним простором, коливання якого протидіють силі збудження, створюваній хвилями. У концепції Ideol корпус може бути виготовлений зі сталі або бетону, в залежності від умов місцевого ринку, ідеально підходить для масового виробництва та будівництва на місці. У Європі бетон економічно вигідніший; у країнах із сильною металургійною та суднобудівною промисловістю сталь може бути економнішою. Сам бетон може бути різної марки. «Звичайний він чи «легкий» залежить від

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місцевих умов. Вирішальними факторами є хвиля, глибина води та вибір вітрової турбіни. Компанія стверджує, що Damping Pool має «вдвічі дешевші витрати на будівництво та встановлення від будь-якого іншого плаваючого фундаменту» та є конкурентоспроможним як із закріпленими на дні фундаментами, так і для плавучих морських вітрових станцій, починаючи з глибини 40 метрів. Залежно від місцевих умов Ideol пропонує різноманітні варіанти швартування, включаючи ланцюги, троси з синтетичного волокна, напівнатягнуті контактні лінії, звичайні затягвані анкери, анкери із забитими палями або комбінацію цих методів.

BW Ideol також оприлюднила проект виробничої лінії, який легко масштабується та відтворюється на багатьох портових інфраструктурах, для масового виробництва бетонних плавучих фундаментів. Цей проект, який оптимізує кожен етап виробництва, має продемонстровану здатність виробляти до одного плавучого фундаменту на тиждень з мінімальними вимогами до гавані, гарантуючи місцеве виробництво та час доставки. Він охоплює структуру ланцюга постачання для забезпечення економічного виробництва, його цифровізації, контролю якості та зменшення вуглецевого сліду. BW Ideol є першим постачальником плаваючого фундаменту, який запропонував такий підхід.

Більшість напівзаглибних фундаментів поєднують плавучість і ефект стабілізації баласту, вводячи трохи баласту в нижню частину кожної колони. Деякі напівзаглибні апарати можуть мати три колони, наприклад Windfloat (рис.2) , VoltturnUS (рис.3) і Tri-Floater (рис.4) або чотири колони, наприклад Nautilus (рис.5).

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2 Windfloat

Концепт Windfloat заснований на напівзаглибній архітектурі з кількома відмінними особливостями. Пластини, що захоплюють воду (Water-entrapment plates-WEP), є горизонтальними розширеннями пластин навколо кілів трьох колон, спрямованих на збільшення інерції рідини та в'язкого демпфування для мінімізації рухів платформи. WEP має залишатися достатньо зануреним для покращення продуктивності та запобігання надмірному хвильовому навантаженню.

Турбіна підтримується безпосередньо на одній із трьох колон. Щоб збалансувати навантаження на платформу, кількість морської води, що дорівнює вазі турбіни, перевозиться як баласт у двох інших колонах. Баласт також необхідний для досягнення робочої тяги. І, нарешті, система активного баласту підтримує горизонтальне положення платформи за будь-яких робочих умов, переміщуючи баласт морської води між колонами. Це має переваги порівняно з традиційним напівзануреним апаратом з такою ж архітектурою та без активної компенсації крену, який мав би бути розроблений для креніння лише на невеликий кут під час роботи турбіни. З системою активного баласту кут крену може бути набагато більшим, що дозволяє платформі бути меншою та

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плавнішою. Це, у свою чергу, забезпечує кращі реакції на хвилі та нижчу загальну вартість.

На сьогоднішній день вже існує низка проектів, розроблених за цим концептом (табл. 2)

Таблиця 2. Проекти, що розроблені за концептом Principle Power

Назва/локація проекту	Турбіна/Проектна потужність	Глиби на води	Перші результати
Korea Floating Wind (в 80 км від узбережжя міста Ульсан)	1300 МВт	250 м	2028 (орієнтовно)
Erebus (Кельтське море берег Пембрукшира, Уельс)	96 МВт	70 м	2027 (орієнтовно)
Les Éoliennes Flottantes du Golfe du Lion (18 км від узбережжя Леката, французьке узбережжя Середземного моря)	30 МВт	70-100 м	2025 рік
Kincardine Offshore Wind Farm (15 км від узбережжя)	50 МВт	60-80 м	2021 рік

берега Абердіна, Шотландія)			
WindFloat Atlantic (в 20 км від берега Віана-ду- Каштелу, Португалія)	25 МВт	100 м	2020 рік
WindFloat 1 (в 5 км від берега Агусадурі, Португалія)	2 МВт	45 м	2011 рік
WindFloat Pacific	25 МВт	350- 550 м	-

Гарним прикладом ефективності цієї концепції є ферма WindFloat Atlantic. Три турбіни, які складають вітрову електростанцію, встановлені на плавучих платформах, прикріплених до морського дна, загальною встановленою потужністю 25 МВт, що еквівалентно енергії, яку споживають 60 тисяч сімей протягом року. Це сприяє збільшенню виробництва відновлюваної енергії та сприяє значному зниженню витрат, пов'язаних із її життєвим циклом.

Встановлення першої турбіни WindFloat Atlantic на плавучій платформі було здійснено в липні 2019 року в порту Ферроль в Іспанії, що стало важливою віхою для проекту WindFloat Atlantic і для офшорного вітроенергетичного сектору в усьому світі, враховуючи, що це була найбільша турбіна, яка коли-небудь була встановлена на плавучій платформі. Ця технологія має величезні переваги, які роблять її більш доступною та економічно ефективною, включаючи її встановлення за допомогою звичайних наземних кранів на суші (у порту) та використання звичайних методів доставки, таких як буксири, замість більш

дорогих морських суден.

WindFloat Atlantic використовує передову технологію від Principle Power, яка дає змогу встановлювати плавучі платформи у глибоких водах, які раніше були недоступними, і де можна використовувати багаті ресурси вітру. Цей проект продемонстрував профіль низького ризику та економічну конкурентоспроможність технології, відкривши шлях для майбутніх комерційних морських плавучих вітрових електростанцій.

VoltturnUS — це плавуча бетонна конструкція, яка підтримує вітрову турбіну, спроектована Центром передових конструкцій і композитів Університету Мен і встановлена консорціумом DeepCwind у 2013 році. VoltturnUS може підтримувати вітрові турбіни на глибині води 150 футів (46 м) або більше. Консорціум DeepCwind та його партнери розгорнули VoltturnUS у масштабі 1:8 у 2013 році. Зараз компанія Maine Aqua Ventus 1, GP, LLC працює над розгортанням повномасштабних структур VoltturnUS біля узбережжя острова Монхеган, штат Мен, на полігоні UMaine Deepwater Offshore Wind Test Site. Цей демонстраційний проект, відомий як New England Aqua Ventus I, передбачає розгортання двох вітрових турбін потужністю 6 МВт.

Платформа типу VoltturnUS є сталевую напівзануреною платформою з чотирма колонами. Як показано на рис.3, корпус складається з трьох плавучих колон діаметром 12,5 м, розташованих радіально з центрами, розташованими на відстані 51,75 м від вертикальної осі вежі. Вежа знаходиться на вершині четвертої плавучої колони, розташованої в центрі платформи. Ця центральна колона з'єднана із зовнішніми колонами через три прямокутні нижні понтони шириною 12,5 м на 7,0 м заввишки та три радіальні стійки діаметром 0,9 м, прикріплені до нижньої та верхньої частин плавучих колон відповідно. На станції загальна маса платформи становить 17 854 т, з яких 3 914 т — конструкційна сталь, 2 540 т — фіксований залізо-бетонний баласт, розділений порівну та розміщений біля основи трьох радіальних колон, 11 300 т — баласт морської води, який затоплює більшість із трьох занурених понтонів, і деталь

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з'єднання башти вагою 100 тонн.

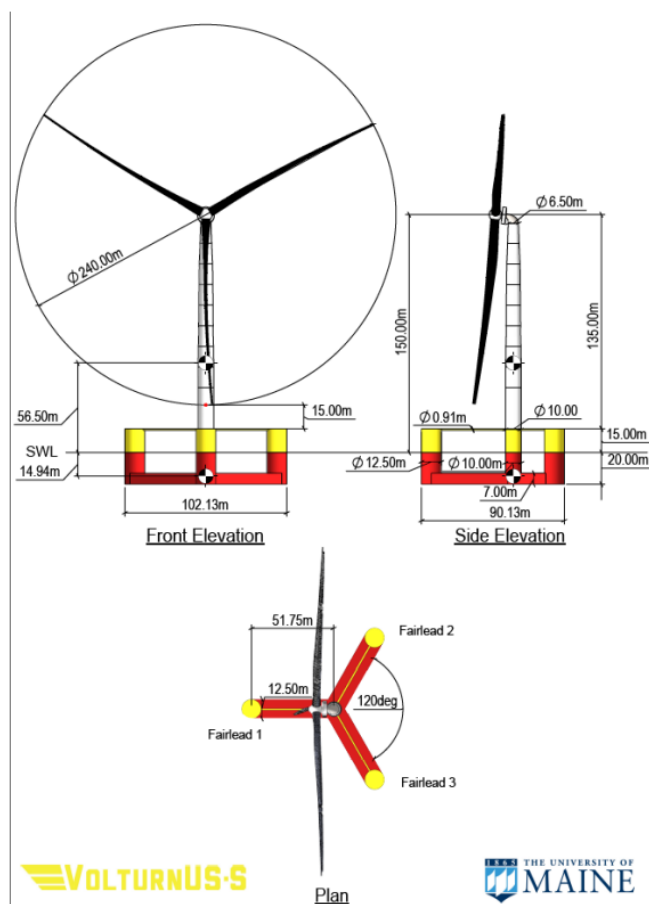


Рис. 3 VoltturnUS

Дизайн Voltturnus Hull був натхненний і побудований як перевернутий міст, що дає перевагу з точки зору технології будівництва збірних мостів, адже вона є доволі індустріалізована, тобто такі конструкції можна виготовляти в будь-якій точці світу з використанням місцевих матеріалів і праці. Серед переваг можна також зазначити вищу стійкість до корозії, нижчі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, довший термін експлуатації, гарний опір руху хвилі за рахунок низького центру ваги та високого центру плавучості, низьку осадку при буксируванні.

GustoMSC Tri-Floater — це трикутна напівзанурювана платформа з додатковою колоною для морської вітрової турбіни в центрі однієї зі сторін(рис.4). Ця вставка є модульною і може бути адаптована до будь-якої бажаної вітрової турбіни. Фундамент оптимізований для місцевих умов

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

навколишнього середовища та ланцюга поставок. Він має гарну загальну продуктивність і невелику осадку в порту завдяки інноваційній конструкції та плавучим демпферам. Tri-Floater розроблено для задоволення потреб ринку плавучих офшорних вітряних установок. Завдяки оновленій конструкції Tri-Floater GustoMSC зосереджується на легкому виробництві, оптимізуючи локальні та глобальні ланцюги поставок, операції та технічне обслуговування. Дані, отримані від еталонної турбіни NREL 15 МВт, демонструють конкурентоспроможну конструкцію в екстремальних умовах навколишнього середовища.

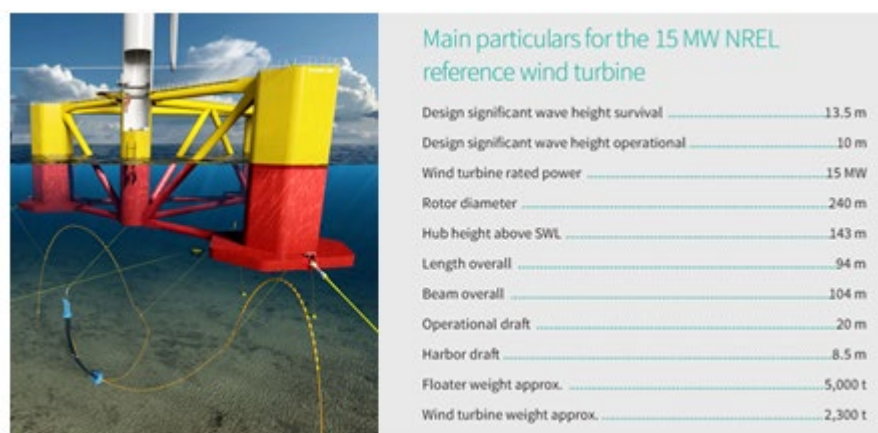


Рис. 4 Tri-Floater

Tri-Floater розроблено з системою пасивного баласту. Зведення до мінімуму кількості морських допоміжних засобів на борту поплавця обмежує експлуатаційні витрати Tri-Floater для потенційного обслуговування допоміжних засобів у глибоководних місцях, до яких часто важко дістатися. Технологія Tri-Floater базується на багаторічному досвіді та досвіді GustoMSC у розробці напівзаглибних установок для нафти та газу. Крім того, протягом останніх років було встановлено декілька триколонних плаваючих вітряних турбін, і продуктивність цих напівзаглибних апаратів відповідала очікуванням, які базувалися на випробуваннях моделі та спільному моделюванні. GustoMSC розробив технологію Tri-Floater до такого рівня, що вона готова до повномасштабного офшорного застосування, дозволяючи комерціалізувати плавучу офшорну вітрову енергію. Використовуючи стандартне зварювання

панелей і трубну промисловість, колони для Tri-Floater можна виготовити на численних верфях і підприємствах сталевих конструкцій. З огляду на велику кількість фундаментів, які знадобляться в майбутньому для плавучої вітряної промисловості, що швидко розвивається, поєднання локального та глобального виробництва блоків і локальних складальних потужностей допомагає подолати виклик ланцюжка поставок. Скоби конструкції - це труби стандартного розміру, які постачаються широко доступною трубою промисловістю на місце монтажу. Колона під турбіною є продовженням башти турбіни, яка використовується для передачі навантажень від турбіни на конструкцію.

Напівзаглибний фундамент NAUTILUS складається з квадратного кільцевого базового понтона з плоскою нижньою поверхнею, який з'єднує чотири зовнішні колони внизу. Ці чотири колони також з'єднані зверху інтегрованим хрестоподібним елементом, який у своєму центрі підтримує вежу вітряної турбіни. Конструкція виготовлена зі сталі S-355-J2H. Згідно з Nautilus, чотири колони забезпечуватимуть плавучість і достатню міцність для підтримки турбіни та достатню силу відновлення водної площини для статичної та динамічної стабільності. Базовий концепт Nautilus пришвартований за допомогою звичайної контактної системи швартування з чотирьох лап.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

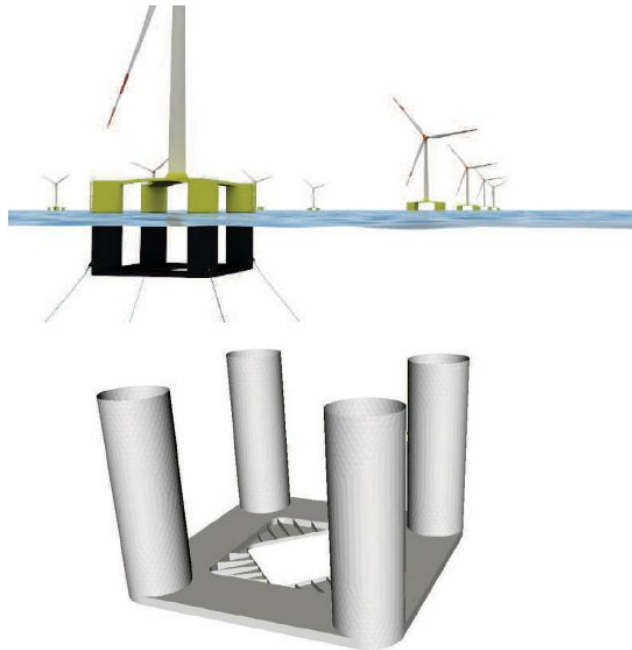


Рис. 5 Nautilus

За словами розробника, основною метою проектування платформи є максимізація виробництва енергії великими вітровими турбінами, одночасно обмежуючи дорогі офшорні процедури інтеграції та обслуговування.

Huwind (рис.6) є найуспішнішою з концепцій Spar, оскільки в 2017 році в Шотландії було введено в експлуатацію комерційну плавучу вітрову електростанцію (Equinor 2022).

Huwind Tampen — це перша в світі плавуча вітроелектростанція, побудована спеціально для живлення морських нафтогазових установок, і зараз вона постачає електроенергію нафтогазових родовищ Equinor Snorre і Gullfaks у норвезькому Північному морі. З потужністю системи 88 МВт це також найбільша у світі плавуча морська вітроелектростанція та важливий крок вперед у індустріалізації рішень і зниженні витрат для майбутніх морських вітроенергетичних проектів. Оскільки Huwind Tampen зараз працює, Equinor тепер використовує майже половину (47 відсотків) морських плавучих вітрових потужностей у світі. Huwind Tampen стане випробувальним майданчиком для подальшого розвитку плавучих вітрових установок, вивчення використання

нових і більших турбін, методів установки, спрощених причалів, бетонних підконструкцій та інтеграції між газовими та вітровими системами виробництва енергії. Пілотний парк Humbly Grove Scotland потужністю 30 МВт, працює з 2017 року, демонструючи доцільність створення плавучих вітроелектростанцій, які можуть бути в десять разів більшими. Об'єкт складається з п'яти вітрових турбін потужністю 6 МВт, прикріплених до морського дна, які працюють на глибині до 120 метрів. Проект, що діє з 2017 року, забезпечує електроенергією 22 000 будинків, заміщуючи 63 000 тонн викидів вуглецю щороку.



Рис. 6 Humbly Grove

Інші типи лонжеронів включають Windcrete (рис. 7), Sway і Advanced Spar (рис. 8). Їх конструкція схожа на Humbly Grove з подовженою формою єдиного корпусу, за винятком Advanced Spar, який має укорочений корпус із декількома дисками.



Рис. 7 Windcrete

Advanced Spar FOWT характеризується двома опорними конструкціями, однією близько до вільної поверхні, а іншою в нижній частині платформи. Advanced Spar FOWT складається з вежі, колони і трьох корпусів, а також обертово-симетричного поплавця. Три корпуси називаються «Корпус Column Outer Belt», «Середній корпус» і «Нижній корпус» у порядку зверху вниз. Платформа має баластні цистерни в корпусах і може вільно переходити від робочої осадки (корпус COB) до транзитної осадки (середній корпус). Швартовні троси з'єднані з середнім корпусом. Кількість швартовок підбирається відповідно до проектів. На нижній частині корпусу розташовано кілька стабілізаторів руху». У трьох корпусах є два типи водяних баластних цистерн: постійні баластні цистерни та водяні баластні цистерни.

Постійні баластні цистерни розташовані в нижньому корпусі, а водяні баластні цистерни розташовані по три в кожному корпусі. Електричні кабелі виводяться з нижньої частини корпусу і проходять через кабельну трубу, побудовану як зовнішня оболонка.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

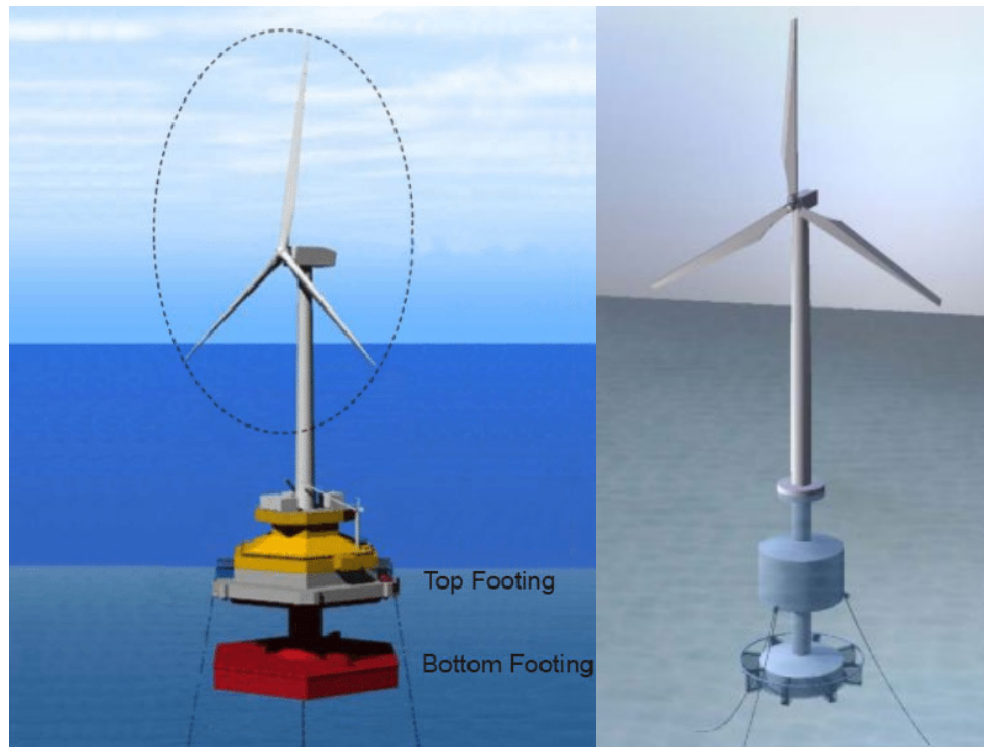


Рис. 8 Advanced Spar

Blue H TLP (рис. 9), GICON SOF (рис. 10) і ECO TLP (рис. 11) є прикладами пристроїв TLP, у яких натяжні елементи забезпечують необхідну стабільність платформи. Їхня конструкція зазвичай складається з легкої платформи в поєднанні з високоплавучою конструкцією.

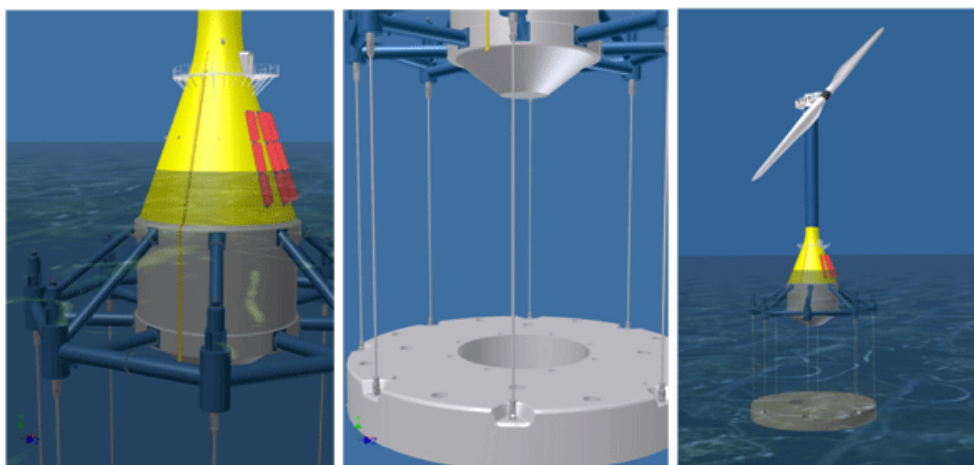


Рис. 9 Blue H TLP

У грудні 2007 року Blue H Technologies з Нідерландів розгорнула першу в світі плаваючу вітряну турбіну на платформі з натяжними опорами за 21,3

кілометра від узбережжя Апулії, Італія. Прототип був встановлений у водах на глибині 113 метрів для того, щоб зібрати випробувальні дані про стан вітру та моря, і був виведений з експлуатації наприкінці 2008 року. Турбіна використовувала конструкцію платформи натяжної опори та дволопатевої турбіну.

Розробка GICON SOF забезпечує плавучу основу для офшорних вітрових турбін, які можна розгортати на глибинах від 45 до 350 метрів і більше, досягаючи LCOE (вирівняна вартість енергії) від 5 до 8 євроцентів за кВт-год.

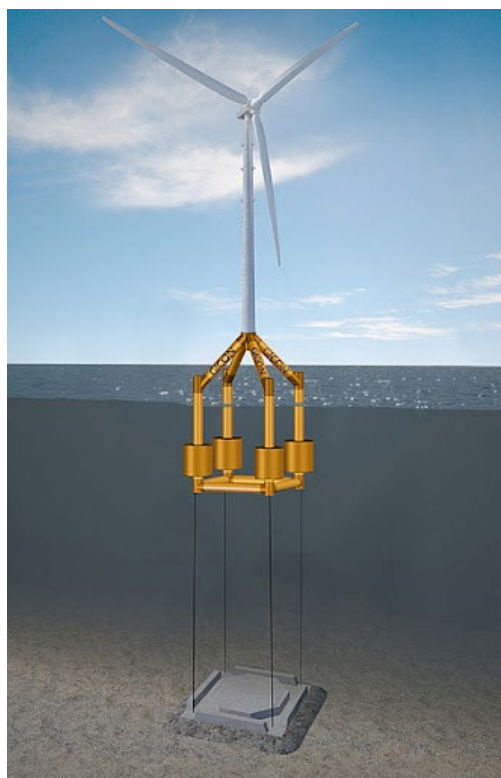


Рис. 10 GICON SOF

Розрахована на глибину води 250-2000 метрів, ESO TLP у конструкції використовує циліндричні бетонні корпуси та гравітаційні анкери, які в поєднанні з системою швартування з натяжними опорами займають меншу площу, ніж традиційні конструкції зі сталевими колонами, стабілізованими корпусами.

ESO TLP стверджують, що процес встановлення може бути розгорнутий з використанням місцевих матеріалів і праці в будь-якій точці світу.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після встановлення некорозійні матеріали ECO TLP потребують мінімального обслуговування протягом 30-річного терміну служби масиву. Гравітаційний якір створює штучне морське середовище існування рифів та унікає контактної мережі швартовних канатів, які заважають риболовним і судноплавним шляхам.

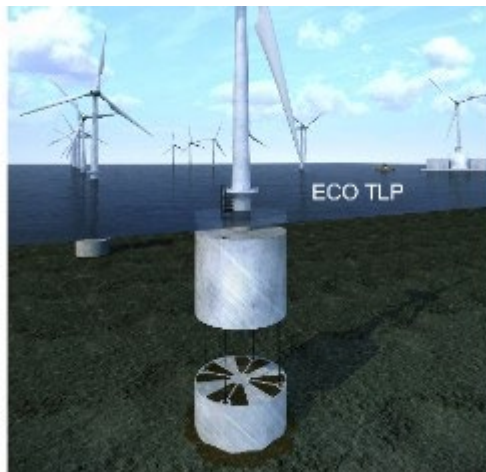


Рис. 11 ECO TLP

Hexafloat (рис. 12) є прикладом плавучої вітрової платформи, де відновлювальний момент надходить головним чином від баласту під поплавком і може бути описаний як концепція маятникового типу.

Hexafloat має на меті бути універсальною основою для різних розмірів турбін завдяки висячій противазі, яку можна опустити для стабілізації більших вантажів. Противага представляє собою сталевий кошик, наповнений декількома тисячами тонн магнетиту, підвішений за допомогою синтетичних волокон до гексагонального занурювального плавучого фундаменту шириною 180 футів і вагою 1300 тонн, виготовленого зі зварених сталевих труб, що містять баластні баки для води. Конструкція буде прикріплена до морського дна трьома або шістьма простими швартовними канатами з опорними якорями. Щоб відповідати різним розмірам турбін, діаметр трубчастої конструкції буде адаптований, а глибина баласту відрегульована.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

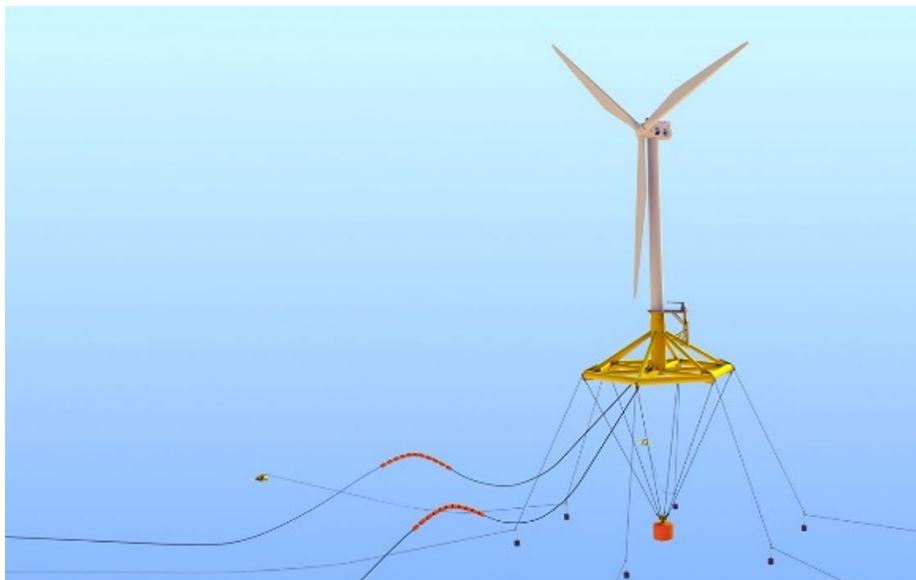


Рис. 12 Hexafloat

Таким чином, спеціалізація на виробництві плавучих офшорних вітряних установок привела до еволюції та появи унікальних дизайнів для плавучих морських вітряних установок. Є дві конструкції платформ, які досягли розгортання в масштабі ферми: Hywind Spar і WindFloat. Триколонні напівпідводні фундаменти, безперечно, є перспективним напрямком розробки для галузі, про що свідчить той факт, що вісім із 22 платформ, які досягли розгортання в морі, мають цю конструкцію. Інноваційні конструкції платформ показують, що останнім часом відбулися розбіжності в дизайні платформи, що є результатом того, що розробники платформ прагнуть знизити витрати, спеціалізуючи свою платформу на певному середовищі, дозволяючи своїй платформі бути адаптованою до кількох місць або покладаючись на нову, інноваційну функцію, яка дозволяє платформі бути меншою та/або дешевшою дотримуючись вимог стабільності. Хоча можуть існувати різні конструкції, які краще підходять для певних місць, і єдине рішення може не бути оптимальним для всієї галузі, широкий спектр конструкцій, які випробовуються в морі, особливо останнім часом, свідчить про те, що додаткові дослідження в цьому секторі можуть ще більше знизити витрати та покращити продуктивність.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
					Дослідження перспектив розвитку офшорної вітроенергетики у Чорноморському регіоні	Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент	Давидова П.С.								
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК			
Керівник	Шарун Г.В.								
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.								

3 Дослідження перспектив розвитку офшорної вітроенергетики у Чорноморському регіоні

Згідно з аналізом Windpower Monthly 2024, країни, що межують з Чорним морем, дедалі більше прагнуть розвивати офшорні вітрові проекти та впроваджують нормативні рамки для цього.

На даний момент у Чорному морі немає морських вітрових електростанцій, і Світовий банк оцінив його технічний потенціал у 435 ГВт, з яких 269 ГВт можуть надходити від турбін, закріплених на морському дні.

За словами Крейга Брауна, керівника ринку, Чорне море може стати наступною хвилюю для офшорних вітрових електростанцій після того, як перші кроки були зроблені в Північній Європі, потім у Китаї, а тепер у США та інших частинах Азії.

За словами Алекса Господінова, генерального директора початкової стадії розробки Ноогасан Energy, що має чотири проекти в Чорному морі, один у Румунії та три в Болгарії, вітрові ресурси в Чорному морі зосереджені в західній частині, а саме в Україні, Румунії, Болгарії та Туреччині (рис. 3.1).

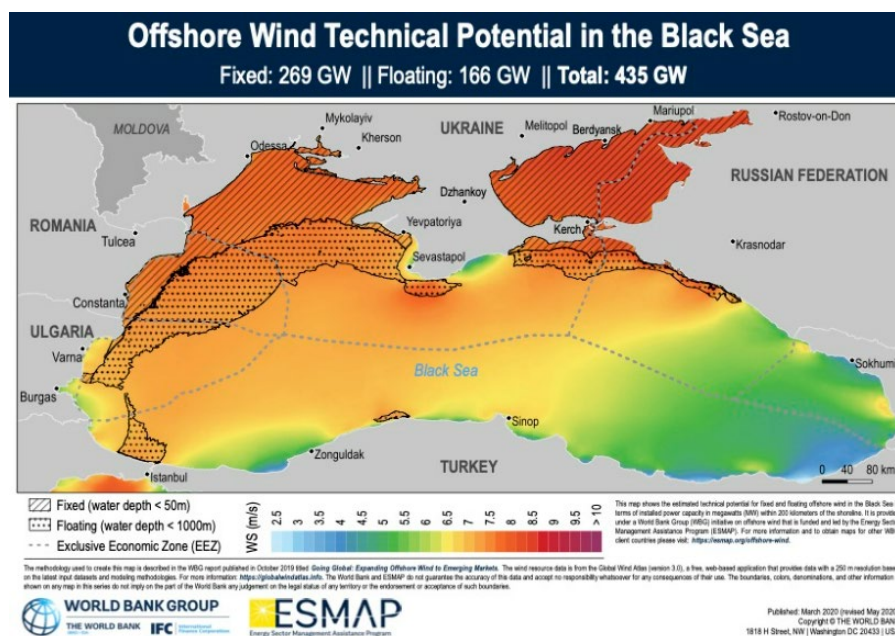


Рис. 3.1 Розподіл вітрових ресурсів у Чорному морі

За винятком України, яка перебуває у стані війни, інші країни, що мають

вихід до Чорного моря та значні офшорні вітрові ресурси, роблять усе можливе, щоб встановити правила на цьому ринку.

3.1 Дослідження потенціалу офшорної вітроенергетики у Румунії і Болгарії

У той час як скандинавські країни досягли значних успіхів у створенні екологічно інтегрованих офшорних вітрових електростанцій, країни Центральної та Південно-Східної Європи лише зараз починають цей шлях.

Нове законодавство про офшорну вітроенергетику в Румунії та Болгарії, що супроводжується запуском таких ініціатив, як Чорноморська коаліція з відновлюваних джерел енергії (BSREC), дає надію на прогрес у Чорноморському басейні, єдиному морі ЄС, де немає діючих вітрових турбін. Однак залишаються значні перешкоди, включаючи відсутність морських просторових планів, нормативної бази та доступності даних.

Роль офшорної вітрової енергії є незамінною для досягнення цілей декарбонізації в Чорноморському басейні, особливо з огляду на енергетичні потреби Румунії (понад 13 ТВт-год) і Болгарії (6 ТВт-год) до 2030 року. Незважаючи на те, що технічний потенціал спільного узбережжя Болгарії та Румунії оцінюється в 70–100 ГВт, інтегроване планування всіх видів використання моря має важливе значення для уникнення конфліктів і забезпечення реалістичного планування проекту.

Створення BSREC спрямоване на використання морського енергетичного потенціалу в країнах проекту шляхом сприяння неформальним мережам зацікавлених сторін, підвищення готовності до дій та сприяння ефективному управлінню. BSREC надихається успішним досвідом планування офшорної вітрової енергетики коаліції OCEaN у скандинавських країнах, яка прагне гармонізувати співпрацю між неурядовими організаціями, операторами систем передачі та розробниками енергетики. Ця коаліція допомагає прискорити розгортання офшорної вітроенергетики та мережевої інфраструктури, одночасно забезпечуючи узгодженість із захистом природи та здоровими морськими

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

екосистемами.

Центральним питанням є життєво важлива роль морського просторового планування (Marine Spatial Planning- далі MSP) і екосистемного підходу до використання моря. Це включає встановлення офшорних вітряних турбін без впливу на інші види економічної діяльності (судноплавство, нафтові вишки, рибальство тощо) або навколишнє середовище.

MSP сприяє синергії відновлюваного офшорного виробництва енергії з охороною природи та іншими існуючими морськими видами діяльності. Правильне застосування MSP може оптимізувати планування в морських районах, узгоджуючи суперечливі інтереси різних користувачів моря. Однак нещодавно прийнятий MSP у Болгарії та проект MSP у Румунії не відповідають вимогам, оскільки їм бракує комплексної оцінки вибору типу офшорної вітрової установки та інтеграції з іншими видами використання моря. Вони також неадекватно включають екологічні дані, пропонуючи лише перелік інших існуючих наборів даних без їх інтеграції.

Узгоджуючись із MSP, країни повинні прийняти централізований підхід у своїх тендерних процедурах, попередньо відбираючи екологічно менш чутливі ділянки для морських вітрових проектів.

Крім того, зацікавлені сторони, включаючи експертів з морського середовища, розробників енергетики та регуляторів, можуть тісно співпрацювати, щоб забезпечити повне використання країнами можливості, наданої Європейською комісією щодо включення 30% нецінових критеріїв до своїх тендерів на офшорні вітрові проекти.

Ця практика сприятиме наданню переваги проектам, які передбачають відповідні заходи пом'якшення та відновлення з метою зменшення негативного впливу на морські екосистеми.

Коаліції зацікавлених сторін, такі як BSREC, відіграють ключову роль в об'єднанні енергетичних та екологічних груп для інтегрованих морських проектів. Ці проекти можуть одночасно розвивати офшорну вітрову енергетику

					19.DPM.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та досягати екологічних і соціальних цілей, створюючи синергію, яка приносить користь усім залученим сторонам.

Згідно з дослідженням Marine Renewable Energy Academy, потенціал офшорної вітрової енергії в Чорному морі становить 160 ГВт, з яких 78% у водах Болгарії та Румунії.

Згідно з Програмою допомоги в управлінні енергетичним сектором Світового банку (ESMAP), технічний офшорний вітровий потенціал Болгарії становить 26 ГВт, з яких 2 ГВт припадає на фіксовані вітрові установки і 24 ГВт офшорні вітрові установки.

Енергія вітру може змінити енергетичний ринок Болгарії. Згідно з моделюванням Ember, Болгарія могла б знизити оптові ціни на електроенергію на значних 45% у 2030 році, розробивши 1,8 ГВт офшорних вітрових електростанцій, збільшивши цільову потужність берегових вітрових електростанцій до 3,9 ГВт до 2030 р. і збільшивши потужності між Болгарією, Румунією та Грецією. Це зниження ціни було б можливим через майже повну відсутність дедалі дорожчого викопного палива у виробництві електроенергії. До кінця десятиліття Болгарія може працювати на 86% чистої електроенергії, при цьому вугілля та газ будуть зменшені до ролі балансуючого та комбінованого виробництва тепла та електроенергії.

У східному напрямку сприятливі вітри в болгарській частині Чорного моря починають розвиватися приблизно в 50 км від узбережжя. Однак, починаючи з 20 км від берега Болгарії, глибина води змінюється від 50 до 200 м. Є деякі місця з достатньою швидкістю вітру відносно близько до берега на півночі, але вони знаходяться поблизу кордону з Румунією та є частиною території, закритої для оборонних цілей.

Є 3 потенційно придатні ділянки за межами територій Natura 2000 (мережа охоронних ділянок) і морських маршрутів. Середня швидкість вітру в цих районах становить 8 м/с проти 9-9,6 м/с у Балтійському морі. Через ці помірні середні швидкості вітру очікується, що вихід електроенергії в Чорному морі

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буде на 60% нижчим, ніж у Балтійському морі.

Згідно з цим дослідженням, для глибин води у визначених зонах доречними типами фундаментів є платформи типу SPAR та TLP.

У 2023 році до болгарського парламенту було подано законопроект про офшорну вітрову енергетику. Проте законопроект викликав сильну протидію з боку різних зацікавлених сторін, від промисловості рибальства та туризму, екологічних неурядових організацій до прибережного міста Варна, муніципальна рада якого щойно прийняла декларацію про підтримку місцевого сектору рибальства та туризму та вимагає за відкликання законопроекту, який би дозволяв установку офшорних вітрових електростанцій у Чорному морі.

Газова компанія Petroceltic розробляє пілотний плавучий офшорний вітровий проект на півночі болгарського Чорного моря на відстані близько 25 км від берега. Пілотний проект фінансується проектом під назвою BLOW (фінансується UK Research & Innovation). Серед партнерів – Fraunhofer, EMEC, IREC (Каталонія) і бельгійська компанія Vexco.

BLOW використовуватиме плавучу офшорну вітрову турбіну Eolink і планує спроектувати, виготовити та ввести в експлуатацію блок потужністю 5 МВт з ротором 140 м, щоб генерувати більше енергії в районах із слабким вітром, до 2025 року. Плавуча концепція Eolink розрахована на швидкість вітру до 10 м/с, що має відповідати умовам Чорного моря. Потужність турбін може досягати 12 МВт. Концепція Eolink замінює одиночну вежу вітряної турбіни набором із чотирьох тонких і профільованих колон, які замінюють класичну одну вежу, що підтримує турбіну. Це забезпечує легшу конструкцію та кращий розподіл навантаження, зменшуючи витрати на встановлення та обслуговування. До морського дна приєднані 3 якоря, а турбіна самостійно орієнтується проти вітру (рис.3.1.1).

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.1.1 Eolink

Генеральний директор і засновник Eolink, Марк Гайо, сказав: «Мета цього конкретного проекту полягає в тому, щоб продемонструвати конкурентоспроможність плавучих офшорних вітрових установок у районах із слабким вітром із застосуванням ротора великого діаметру. Отримання цієї нагороди дозволило нам зробити ще один крок вперед до нашої кінцевої мети: запропонувати життєздатне джерело енергії з максимально низьким вмістом вуглецю».

Метою є досягнення $LCOE < 87$ євро/МВт-год до 2028 року. Потенціал розширення становить 450 МВт.

«Звіт Світового банку за 2021 рік свідчить про наявність величезного технічного потенціалу в Південно-Східній Європі з приголомшливими 166 ГВт офшорної морської енергії лише в Чорному морі, що в п'ять разів перевищує споживання електроенергії Болгарією та Румунією. За допомогою цього проекту ми сподіваємося прискорити розвиток офшорної енергетики в регіоні, де вже діють фіксовані вітрові установки у Румунії», — сказав Ален Моррі, головний комерційний директор Eolink.

Пілот розташований за 25 км на схід від Варни в газовій концесії

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Petroceltic. Ця територія не розташована в природному заповіднику або поблизу нього, і всі необхідні дані для морського встановлення доступні. Морське дно рівне і складається з піску та мулу. Газове родовище майже вичерпано, і планується використовувати енергію, вироблену турбіною, для закачування CO₂ з цементної промисловості в порожнє газове родовище.

Вітрові умови не ідеальні через близькість берега. Таким чином очікується, що ефективність турбіни буде обмежена 27%. Оскільки місцева глибина води становить 35 м, донна стаціонарна турбіна була б можливою, але плавучий пристрій було обрано як пілотний варіант для інших місць у Чорному морі.

Проблеми, які виникли в цьому проекті наразі:

-Відсутність урядового рішення: уряд Болгарії усно схвалив проект, але Petroceltic все ще чекає на письмове схвалення.

-Ланцюг поставок: споруда буде побудована судноверф'ю GSP у Румунії, але прогрес йде повільно. Крім того, у Болгарії часто немає необхідного обладнання, наприклад відповідного крана. Дуже важко отримати пропозиції для цього проекту, тому що пілотний проект занадто великий для малих постачальників, а великі постачальники не зацікавлені, оскільки економія на масштабах неможлива.

У липні 2020 року сенат Румунії прийняв законопроект про «необхідні заходи для операцій з використання офшорної вітрової енергії». Законодавча пропозиція з'явилася у відповідь на інтерес у громадських дискусіях щодо офшорного вітрового потенціалу Чорного моря та загалом посилення просування цієї технології в ЄС. Враховуючи майже повну відсутність нормативно-правового підґрунтя для таких операцій, ініціатива мала чітку мету. Дійсно, комплексний документ спрямований на вирішення процедур ліцензування морських вітрових станцій, дозволів на будівництво та експлуатацію, доступу до землі, експропріації, схем субсидій та бонусів для виробництва морської вітрової енергії, розподілу витрат на морські

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромережі, зобов'язання щодо виведення з експлуатації, а також штрафів. Однак поспіх і відсутність публічних консультацій призвели до законодавчої пропозиції, яка є недостатньо продуманою та багата нечіткостями та суперечливими наслідками. Важливо, що законопроект запроваджує дві різні процедури надання концесій на морську вітрову енергетику: (1) процедуру конкурсних торгів, що полягає в тендері, організованому урядом для заздалегідь визначених морських периметрів та потужностей вітроелектростанцій, у якому проекти присуджуються на основі найнижчої ціни пропозиції; (2) відкрита процедура, під час якої розробник проекту запитує ліцензію на вибране місце та потужність.

Відповідно до законопроекту Сенату про офшорну вітрову енергетику, 18 інституцій мають бути залучені до сектору, включаючи чотири міністерства: Міністерство економіки, енергетики та ділового середовища (МЕЕМА), Міністерство громадських робіт, розвитку та адміністрації (MDLAP), Міністерство культури та Міністерство закордонних справ (МЗС). Для процесу розробки політики загалом і для процесу отримання дозволів зокрема роль МЕЕМА є вирішальною. МЕЕМА координує процес авторизації з усіма відповідними державними органами щодо чотирьох ключових ліцензій:

- проведення попередніх розслідувань;
- будівництво ВЕС;
- виробництво електроенергії;
- дозволи на виробництво електроенергії, необхідні для електростанцій потужністю понад 25 МВт.

Наразі, хоча Румунія є провідною країною Південно-Східної Європи з точки зору розвитку наземної вітрової енергетики, її встановлена потужність становить 3 ГВт, а до 2030 року заплановано ще 2,4–3 ГВт відповідно до Національного енергетичного та кліматичного плану (NECP) на 2021-2030 роки (NECP). 2020), існує більш обмежена підтримка розвитку офшорних потужностей у Чорному морі.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поки що Румунія не проводила жодного офіційного дослідження вітроенергетичного потенціалу румунського континентального шельфу Чорного моря, тобто можемо говорити лише про оцінки різних громадських організацій. Наприклад, технічний офшорний вітровий потенціал румунського континентального шельфу в Чорному морі оцінювався в 76 000 МВт, згідно з дослідженням, проведеним кілька років тому CEPS, брюссельським аналітичним центром. Згідно з дослідженням, із 76 000 МВт 22 000 МВт, з точки зору технічного потенціалу, можуть бути встановлені у вітрових турбінах, закріплених на морському дні, а 54 000 МВт — у плавучих установках.

Інше дослідження, опубліковане у 2020 році Energy Policy Group (EPG), стверджує, що потенційна природна потужність офшорної вітрової енергії Румунії становить 94 ГВт, з яких 22 ГВт використовують стаціонарні турбіни. Річне виробництво енергії може досягти 239 ТВт-год, з яких 54,4 ТВт-год буде вироблено стаціонарними турбінами. Це була б величезна кількість енергії, враховуючи, що в 2022 році Румунія виробляла 59 ТВт-год з усіх джерел, з яких енергія вітру становила 6,5 ТВт-год.

«Ми говоримо про придатний для використання потенціал вітру в Чорному морі в 96 ГВт, з яких 22 ГВт будуть на мілководді, до 50 м, де можна встановити стаціонарні вітрові турбіни. Морське дно навіть у мілководному Чорному морі відрізняється з півночі на південь. Наприклад, у районі південної Констанци, Тузли в напрямку до Ефорії, кріплення стає дедалі складнішим, як і створення фундаментів на морському дні. Ось чому вітер також кращий у північній частині, в районі Портіци, морських бурових установок OMV Petrom. Ми говоримо про вітер, який може досягати 70-80% річної частоти, а це означає, що ми говоримо про величезний потенціал з точки зору безперервної та майже базової роботи морської вітроенергетики», — сказав міністр енергетики Віргіл Попеску.

Відповідно до аналізу Energy Policy Group (EPG), опублікованого на початку цього року, офшорні вітрові установки можуть стати найбільшим

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

джерелом виробництва електроенергії в країні, на нього припадає понад 40% від загального обсягу. Якнайшвидший запуск виробництва енергії вітру в Чорному морі може змінити статус Румунії як чистого імпортера електроенергії та забезпечити додаткову чисту енергію, необхідну для декарбонізації промисловості, транспорту та сектору опалення та охолодження. Значна частина Виключної економічної зони (ВЕЗ) Румунії складається з глибоководної зони (>50 м), яка більше підходить для плавучих платформ.

«У реалістичному сценарії до 2030 року вирівняна вартість електроенергії (LCOE) для стаціонарних офшорних вітроелектростанцій у чорноморському регіоні Румунії становитиме 71 євро/МВт-год, тоді як для подальшого розвитку плавучих офшорних вітроелектростанцій LCOE становитиме 94 євро/МВт-год. У випадку спільного проекту між Румунією та Болгарією, включення до LCOE вартості підключення HVDC до підстанції Constanta South, як зазначено в базовому сценарії для стаціонарних офшорних вітроелектростанцій, призвело б до збільшення загальної вартості до 79 євро/ МВт-год для встановленої потужності 3 ГВт. Додавання штучного енергетичного острова RO-BG приведе LCOE до 85 євро/МВт-год, припускаючи, що капітальні інвестиції розподіляться порівну між двома країнами.

Окрім важливості для енергопостачання та енергетичної стійкості, розгортання офшорної вітрової енергетики приносить соціально-економічні переваги завдяки створенню робочих місць у виробництві, будівництві, експлуатації та технічному обслуговуванні проектів із примножувальним ефектом в інших секторах, включаючи значну концентрацію в порту Констанца. На ГВт встановленої потужності офшорні вітрові установки в Європі генерують 2,1 мільярда євро. Таким чином, 3 ГВт офшорної вітрової установки, встановленої в Румунії, принесе 6,3 мільярда євро, 2,6% ВВП (2021). Це також може сприяти загальній кількості 22 000 нових співробітників (20 000 на капітальному етапі та 1 800 для експлуатації та технічного обслуговування), з 15 500 новими прямими місцевими робочими місцями, припускаючи, що Румунія

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

залучає інвесторів у виробництво компонентів вітряних турбін і будівництво, установку та балансування установки відповідно.

Створення відповідних законодавчих та фіскальних рамок для розвитку офшорної вітроелектростанції є критично важливим, особливо зараз, на початку масового розгортання офшорних вітрових потужностей у всьому світі. Дослідники зазначають, що дискусія під керівництвом ЄС щодо майбутнього шельфової розробки в Чорному морі полегшить процес для двох держав-членів (Румунії та Болгарії), а також для партнерів, які не входять до ЄС.

Німецька компанія WPD подала заявку на будівництво двох офшорних вітрових електростанцій у Чорному морі біля узбережжя Румунії загальною потужністю близько 1900 МВт.

WPD повідомила, що створила окремі проектні компанії для будівництва проектів Black Sea 1 потужністю 500 МВт і Black Sea 2 потужністю до 1,4 ГВт.

Компанія заявила, що тісно співпрацює з урядовими органами щодо підтримки розробки закону країни про офшорну вітрову енергетику.

Наразі існує можливість транскордонного морського співробітництва між Румунією та Болгарією. Оператори систем передачі електроенергії двох держав повинні співпрацювати для сприяння підключенню до мережі для транскордонних гібридних морських вітрових проектів і надання вітряним паркам доступу до обох ринків електроенергії. Завдяки підтримці інструментів ЄС, спільному регіональному плануванню та спільному розвитку між Румунією та Болгарією морська вітрова енергетика в Чорному морі може дати старт і досягти економії масштабу, необхідної для того, щоб зробити морську вітроенергетику основним рушієм декарбонізації в Румунії та Південно-східній Європі. Враховуючи вищі вітрові ресурси в північній частині ВЕЗ Румунії, Україна також може стати партнером у розробці спільних проектів. Співпраця з державою, що не є членом ЄС, може також мати вигоду від додаткової підтримки на рівні ЄС. Регіональне співробітництво може виявитися цінним не лише для розвитку вітроелектростанцій, але й для подолання недоліків

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

енергетичних систем у Південно-східній Європі: країни, що не мають виходу до моря, такі як Угорщина, Сербія чи Молдова, також можуть отримати вигоду від розвитку офшорних вітрових електростанцій, за умови наявності дружніх взаємозв'язків.

3.2 Дослідження потенціалу офшорної вітроенергетики у Турції

Турецький уряд має на меті мати 5 ГВт офшорних вітрових потужностей до 2035 року та є найбільш просунутим у регіоні з точки зору своїх планів морської вітроенергетики. Очікується, що турецький ринок офшорної вітроелектростанції підніметься першим, за словами аналітика, завдяки політичним зобов'язанням щодо переходу на енергетику та вже добре розвиненому місцевому ланцюгу постачання наземної вітрової енергії.

Раніше цієї весни міністр енергетики отримав тендери на вибір консорціуму для проведення досліджень швидкості вітру та інших технічних характеристик потенційних офшорних ділянок перед тендерами на морському дні. Мурат Дурак, президент Турецької офшорної вітроенергетичної асоціації, очікує, що аукціони на морське дно відбудуться приблизно наприкінці 2026 року.

Туреччина проводить ці приготування після того, як у 2018 році країна відмовилася від запланованого аукціону на 1,2 ГВт морської вітроелектростанції. Інтерес інвесторів до аукціону 2018 року був знижений, головним чином через відсутність ключових даних про швидкість вітру та інші характеристики ділянки. Перші проекти, ймовірно, будуть розташовані в Мармуровому морі Туреччини, яке з'єднує Чорне море з Егейським і є домом для трьох районів, де будуть проведені дослідження щодо розміщення (рис. 3.2.1).

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

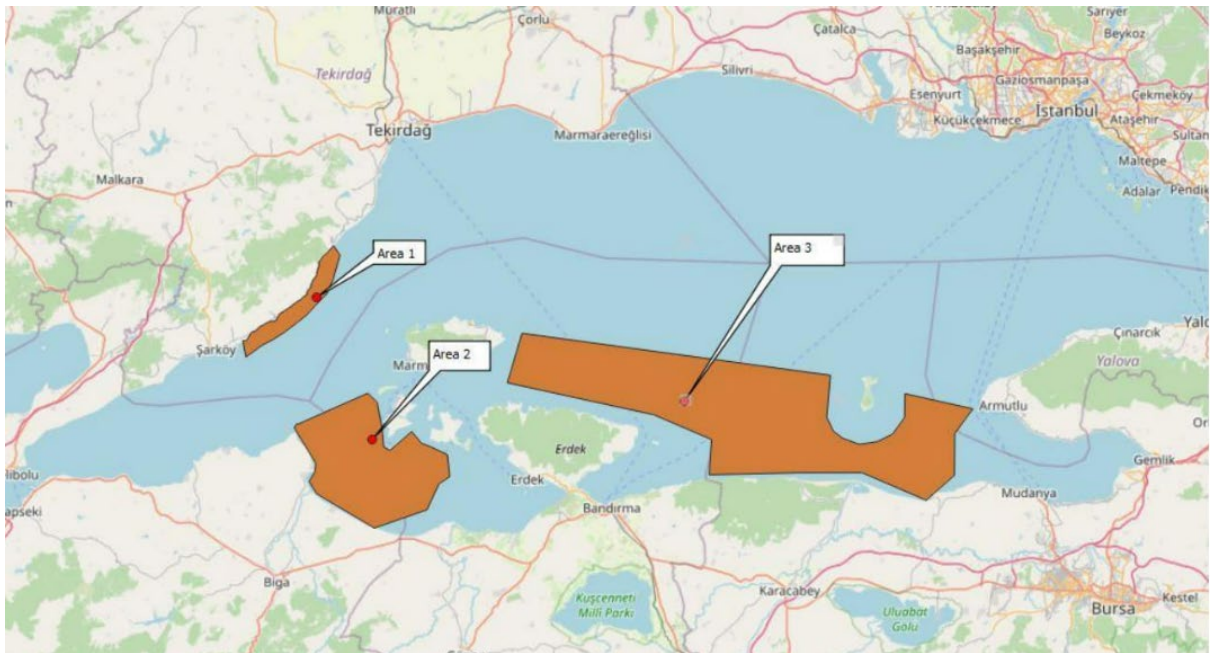


Рис. 3.2.1 Три зони розвитку, які Генеральний директорат з енергетичних питань (DGEA) визначив у Мармуровому морі

Дурак сказав, що Туреччина має хороші можливості для використання своїх офшорних вітрових ресурсів, коли мова йде про такі фактори, як портова інфраструктура та електромережа.

Технічний офшорний вітровий потенціал Туреччини в Чорному морі та Східному Середземномор'ї становить 90 ГВт. Дурак сказав, що в Чорному морі вже визначено 1,3 гігават (ГВт) потенційних стаціонарних установок, а також 13,9 ГВт потенціалу плавучих установок у цьому регіоні.

Однак, враховуючи високу інфляцію та коливання курсу турецької валюти, Дурак вважає, що механізм підтримки для заспокоєння інвесторів і сприяння фінансуванню проектів буде необхідним.

3.3 Дослідження потенціалу офшорної вітроенергетики в Україні

Сьогодні Україна імпортує близько 70% обсягу природного газу власного споживання. Одночасно енергоємність вітчизняної економіки в 3-4 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, що робить Україну надзвичайно чутливою до умов імпортування природного газу та створює ризики у її енергетичній безпеці. Проблема енергетичної безпеки

України могла б вирішитися за рахунок використання власних, в тому числі офшорних, ресурсів Українського Причорномор'я.

Україна має найбільший морський вітровий потенціал у регіоні, хоча війна завадила розвитку морської вітрової галузі.

Світовий банк оцінює офшорний потенціал України в 251 ГВт включно з тимчасово окупованими територіями (рис. 3.3.1).

Будівництво вітрових електростанцій в українських водах Чорного моря може стати вирішальним елементом на шляху країни до енергетичної незалежності та економічного відновлення. Маючи величезні території Чорного моря, які пропонують ідеальні умови для вітроенергетики, Україна має потенціал для використання відновлюваної енергії в таких масштабах, які могли б значно зменшити її залежність від викопного палива та імпортової енергії. Після війни цей сектор міг би залучити міжнародні інвестиції та відіграти ключову роль у зеленій трансформації України.

Однак Українська вітроенергетична асоціація підкреслила, що перед реалізацією проектів необхідно розмінувати акваторію Чорного моря.

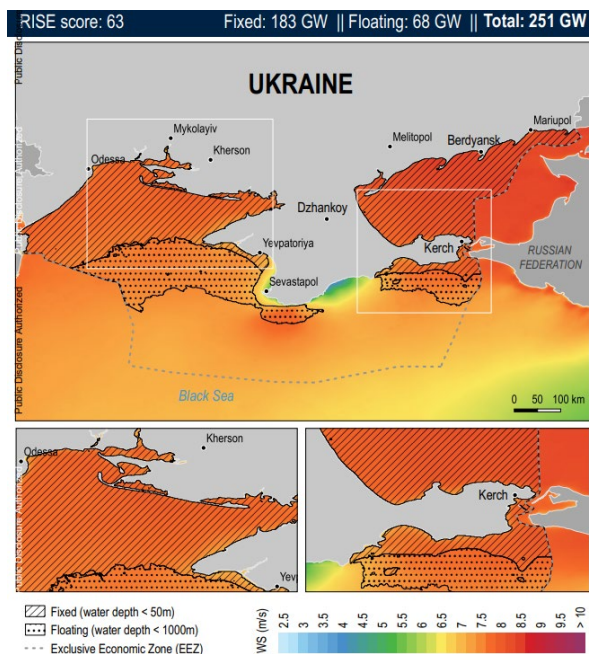


Рис. 3.3.1 Технічний потенціал офшорної вітроенергетики в водах Чорного і Азовського морів

У нещодавній угоді про співпрацю Норвегія та Україна зобов'язалися

співпрацювати над розвитком проектів з відновлюваної енергетики, зокрема морської вітрової енергії. Це партнерство має на меті сприяти передачі знань та інвестиціям, причому досвід Норвегії в офшорних вітрових технологіях є значною перевагою. Угода окреслює плани щодо спільних проектів і співпраці, які могли б посилити можливості України в цьому секторі та залучити міжнародні зацікавлені сторони. Це не лише допоможе Україні задовольнити енергетичні потреби, але й сприятиме досягненню ширших цілей Європейського Союзу щодо відновлюваної енергетики. Інвестиції в офшорну вітрову енергетику можуть стати потужним символом відновлення України, оскільки це дозволить країні перейти від традиційних, часто високовуглецевих джерел енергії, до екологічно чистої, стійкої енергії. Цей перехід також допоможе Україні диверсифікувати джерела енергії та зменшити залежність від імпорту.

Як зазначає ВВС, Україна вже позиціонує себе як ключового гравця у сфері відновлюваної енергетики, і офшорні вітрові установки можуть прискорити цей процес.

Наразі Україна є учасником регіонального співробітництва в контексті Спільного морського порядку денного для Чорного моря. Чорноморський порядок денний стратегічних досліджень та інновацій включає в себе стимулювання та розвиток секторів блакитної економіки, а саме розвиток офшорних вітрових і хвильових технологій. 11 листопада 2020 року, на засіданні Кабінету Міністрів України ухвалено проєкт постанови «Про утворення міжвідомчої робочої групи з реалізації Спільного морського порядку денного для Чорного моря і Стратегічної програми досліджень та інновацій для Чорного моря».

Завданнями міжвідомчої робочої групи є:

- сприяння органам виконавчої влади у реалізації Спільного морського порядку денного для Чорного моря і Стратегічної програми досліджень та інновацій для Чорного моря;
- зміцнення інституційної взаємодії між Україною та

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Європейською Комісією з питань, які належать до її компетенції;

- підготовка пропозицій та рекомендацій щодо оптимальних шляхів реалізації державної політики за напрямками, визначеними у Common Maritime Agenda і Strategic Research and Innovation Agenda.

Документ відкриває нові можливості для забезпечення безпеки узбережжя Чорного моря і навколишнього середовища, сприяння гармонізації з екологічними стандартами ЄС та залучення фінансової підтримки у рамках міжнародної технічної допомоги.

У рамках свого плану збільшення частки відновлюваної енергії до 27 відсотків до 2030 року Україна має на меті генерувати 100 мегават (МВт) від нових офшорних вітрових потужностей у складі 6,1 ГВт загальної вітрової енергії. «До 2030 року країна готова запустити 100 МВт офшорної вітрової потужності, що означає сміливий крок вперед у її амбіціях щодо відновлюваної енергетики», — йдеться у заяві Асоціації вітрової енергетики, відзначаючи, що офшорна генерація буде першою для України.

13 серпня 2024 року уряд України зробив два важливі та довгоочікувані кроки для розвитку національного сектора відновлюваної енергетики країни, зокрема у сфері вітроенергетики. Він затвердив Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2030 року та схвалив документ, який визначає графік та умови проведення пілотних аукціонів з розподілу квот підтримки виробників відновлюваної енергії. Стратегічний план містить 38 заходів, спрямованих на досягнення 27-відсоткової частки відновлюваної енергії у валовому кінцевому споживанні енергії до 2030 року, а саме 29 відсотків у секторі електроенергії, 33 відсотки у секторі опалення та охолодження та 17 відсотків у транспортному секторі. За даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, загальний потенціал потужності вітрових електростанцій (ВЕС) в Україні перевищує 680 ГВт, більше третини з яких – 250 ГВт – становить потенціал офшорних вітроелектростанцій.

У березні 2021 року експерти представили дослідження "Офшорна

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вітроенергетика та "зелений" водень: відкриття нових меж енергетичної потужності України". Потенціал українських морських вод аналізували УВЕА та Інститут відновлюваної енергетики НАН України (ІВЕ НАНУ) у співпраці з профільними організаціями. Користуючись досвідом інших країн та володіючи знаннями про проблеми, з якими вони стикнулись на шляху до успіху, для розвитку офшорних ВЕС в територіальних водах України необхідно створити нове та усунути ряд неточностей у вже існуючому національному законодавстві:

- повинні бути прийняті нові правила, що дозволятимуть будівництво та обслуговування стаціонарних і плавучих вітрових турбін, будівництво та приєднання ВЕУ до електромереж, прокладку кабелю, а також будівництво морських та берегових підстанцій;

- мають бути заповнені прогалини у регулюванні земельних і підводних ділянок, встановленні сервітуту на ділянки, що знаходяться на прибережних територіях і в межах морського шельфу, визначенні цільового призначення ділянок офшорної ВЕС, а також врегулюванні процедур видачі дозволів на будівельні роботи як “під”, так і “над” водою.

Для цього, зокрема, треба створити:

- 1) державні органи, відповідальні за затвердження документації з землеустрою та містобудівної документації в морі чи на річках для ціле альтернативної енергетики;

- 2) державні органи відповідальні за проведення експертизи відповідної містобудівної документації, у випадках, коли це потрібно;

- 3) обрати спеціального експерта для підготовки містобудівної документації з проходженням екологічних (стратегічних) оцінок.

- Верховною радою України також має бути прийняте спеціальне законодавство щодо морського просторового планування на основі положень Директиви 2014/89/ЄС Європейського парламенту та Ради від 23 липня 2014 року, що встановлює основи морського просторового планування, а також удосконалене законодавство про оцінку впливу на навколишнє середовище;

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- в українському законодавстві відсутні також нормативні правила з приєднання ВЕС до мереж операторів систем розподілу, операторів системи передачі, тому, зокрема для розвитку офшорних вітроенергетичних проєктів, необхідно внести відповідні зміни ще до Кодексу системи передачі і Кодексу системи розподілу.

- що стосується експлуатації та технічного обслуговування офшорних ВЕС, законодавство України має включати докладні відомості про морські маршрути технічного персоналу з суходолу на офшорну ВЕС, з точки зору їх взаємодії (перетину) з маршрутами проходу суден. Зобов'язання щодо виведення з експлуатації таких електростанцій також має бути включене до чинного законодавства України, адже такі зобов'язання передбачені законодавством практично всіх країн-членів ЄС.

- Закон України №555-IV “Про альтернативні джерела енергії» повинен визначити офшорні ВЕС в якості електростанцій, які можуть продавати електричну енергію за “зеленим” тарифом та/або брати участь в аукціонах з відновлюваних джерел енергії.

Переваги розвитку офшорних вітроенергетичних проєктів в Україні важко недооцінити. ВЕС морського базування внесуть значний вклад в кліматичну політику України, скорочення викидів вуглецю (наприклад, протягом наступних двох десятиліть, очікується скорочення викидів CO₂ від глобального сектору енергетики на рівні 5 -7 млрд тон), виконання країною своїх зобов'язань в рамках Паризької угоди, перехід до безвуглецевої економіки та підвищення енергетичної безпеки держави за рахунок зменшення залежності від імпортованого палива.

Великою перевагою офшорної вітроенергетичної промисловості є створення нових робочих місць, а у зв'язку із масштабністю робіт при будівництві та експлуатації офшорних вітроелектростанцій, їх кількість буде значно вищою ніж у будь-якому іншому секторі ВДЕ. Крім того, податки від офшорної вітроенергетики - це наповнення місцевого та національного бюджетів

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

країни.

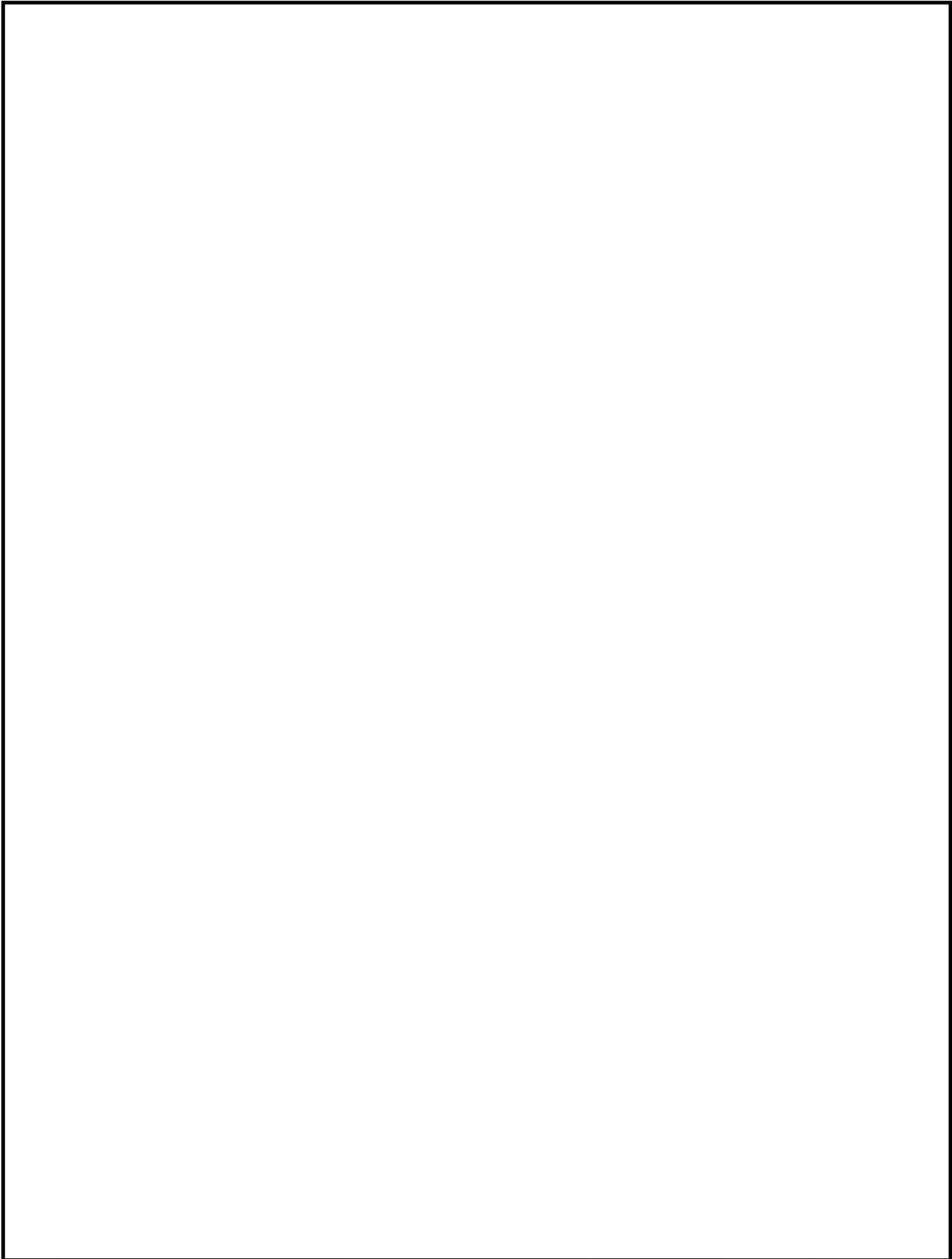
Дороговизна офшорної технології компенсується об'ємом залучених інвестицій. За останні роки сектор офшорної вітроенергетики залучив рекордний об'єм інвестицій, а саме понад 20 млрд доларів США у 2018 році, що еквівалентно майже чверті від загальних інвестицій в вітроенергетичний сектор та 6% від усіх інвестицій у відновлювані джерела енергії. Розвиток офшорної вітроенергетичної технології напряду пов'язаний з розвитком енергетичного потенціалу України. Коефіцієнт використання встановленої потужності (capacity factor) нових офшорних вітроенергетичних проєктів сьогодні перевищує 50%. На цьому рівні, ефективність офшорних вітрових установок співмірна з станціями, що працюють на вугіллі чи на газі, та майже в чотири рази перевищує коефіцієнт використання встановленої потужності сонячних фотоелектричних установок.

І наостанок, офшорна вітроенергетика є платформою для створення ще одного ринку в Україні - ринку водневих технологій, тим самим створюючи нові потенційні шляхи співпраці з європейськими країнами. Безвуглецеве виробництво електроенергії, високий коефіцієнт встановленої потужності та скорочення капітальних витрат роблять офшорну вітроенергетику привабливою технологією для виробництва "зеленого" водню - універсального продукту, який здатен декарбонізувати сектори важкого машинобудування, житлово-комунального господарства та транспортної галузі. Так, до прикладу, офшорна вітроелектростанція потужністю 1 000 МВт може виробити достатньо "зеленого" водню для обігріву 250 000 домогосподарств. Зростаючий попит на "зелений" водень вже сьогодні призводить до різкого збільшення ринкового потенціалу офшорних вітроенергетичних проєктів в світі. В той час як Польща має амбітні плани зі створення "водневої" магістралі для транспортування на південь "зеленої" електроенергії та H₂ з офшорних ВЕС Балтійського моря, Бельгія та Велика Британія працюють над приєднанням їх офшорних ВЕС в єдину енергетичну систему офшорних ВЕС Північного моря, а Данія планує створення енергетичних хабів офшорних ВЕС із виробництва "зеленого" водню

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужністю 12 000 МВт, які можуть бути приєднані до енергомереж інших країн Європи.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Визначення потенційних місць розташування офшорної вітряної станції в українській частині Чорного моря	Літ.	Арк.	Акрушів
Студент	Давидова П.С.							
Консульт.	Шарун Г.В					НУК		
Керівник	Шарун Г.В.							
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.							

4. Визначення потенційних місць розташування офшорної вітрової станції в українській частині Чорного моря

Метою цього розділу є визначення розподілу щільності вітроенергетики в Чорному морі, а також визначення районів з найбільш сприятливими умовами для розміщення офшорних вітрових турбін.

Вивченню вітру над Чорним морем присвячено широке коло досліджень (Л.Н. Репетін, В.Н. Белокопитов, 2009 “Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения”; Мельников та ін., 2018 “Ветровые циклы и климатические тренды Чёрного моря”), оскільки дані про вітровий режим мають велике значення для регіональних океанографів. Вітер безпосередньо впливає на кругообіг і перемішування вод, тепловий і водний баланс. Стандартні регулярні спостереження за вітром на берегових станціях показують, що південно-східне узбережжя Чорного моря і Південний берег Криму характеризуються слабкими вітрами (середньорічна швидкість вітру < 3 м/с). Слабкі вітри спостерігаються в західній і північно-західній частинах Чорного моря, а також біля Керченської протоки (середньорічна швидкість вітру > 4 м/с, на окремих станціях > 5 м/с) (Л.Н. Репетін, В.Н. Белокопитов, 2009). Результати спостережень на прибережних метеостанціях Північно-Західного Чорного моря показують, що середня багаторічна швидкість вітру знаходиться в діапазоні від 4,0 м/с (Чорноморськ) до 5,5 м/с (Одеса). Найбільші швидкості вітру спостерігаються над відкритими ділянками моря—6,7 м/с (острів Зміїний), 7,4 м/с (Суліна). Аналіз характеристик вітру над відкритим морем, отриманий з використанням даних суднових спостережень, глобальний повторний аналіз атмосферних полів (ERA40, NCEP/NCAR), а також дані супутникового скаттерометра НАСА (A. Birol Kara, Harley E. Hurlburt, Alan J. Wallcraft, and Mark A. Bourassa, 2005) показали, що отримані оцінки просторового розподілу швидкості вітру над Чорним морем мають спільні риси: західна частина моря має найвищі значення, зона слабого вітру характерна для південно-східної частини моря. Дослідження багаторічної зміни швидкості вітру над Чорним

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

морем показало чітку тенденцію до зниження у другій половині XX століття. Водночас, за даними дослідження “Гідрометеорологічні умови морів України”, 2012 р., після 2000 р. у західній частині моря відзначається посилення вітру. На окремих станціях зниження швидкості вітру досягає 20-50% відносно кліматичних норм.

Основною характеристикою, яка визначає вітроенергетичний потенціал території, є швидкість вітру. Для отримання стабільних значень середньої швидкості вітру достатньо 10-річної серії спостережень. Вихідною вимогою до місця розміщення офшорних вітрогенераторів і вітроелектростанцій є наявність високого вітроенергетичного потенціалу. У першому наближенні його можна охарактеризувати значенням середньорічної швидкості вітру ≥ 6 м/с на висоті 10 м. Додатковою вимогою до місця розміщення ВЕУ є відсутність або незначна повторюваність ураганних вітрів ($V > 32,6$ м/с) і невелика кількість штормових періодів ($V > 20,8$ м/с). Слід також врахувати, що не завжди великі значення середньорічної швидкості є запорукою високої вироблення електроенергії вітрогенераторами. Потенційні ресурси вітрової енергії - це сумарна енергія руху повітряних мас, що переміщуються над даною територією протягом року. Найбільш точну оцінку потенційних вітрових ресурсів можна отримати за допомогою щільності вітрової потужності, яка є енергетичною характеристикою вітру, що залежить від частоти швидкостей вітру та характеру поверхні на конкретному місці.

Оцінку вітроенергетичного потенціалу території здійснено за критеріями, наведеними в табл. 4.1, які дозволяють виділити сім класів значень питомої потужності вітру (N_e). Територія, придатна для розміщення великомасштабних вітрових електростанцій, повинна мати клас енергії вітру 4 або вище.

Табл. 4.1. Класи щільності потужності вітру

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Wind resource category	Wind class	Wind speed (m/s)	Wind power density(W/m ²)
Poor	1	3.5-5.6	50-200
Marginal	2	5.6-6.4	200-300
Moderate	3	6.4-7.0	300-400
Good	4	7.0-7.5	400-500
Excellent	5	7.5-8.0	500-600
Excellent	6	8.0-8.8	600-800
Excellent	7	Above 8.8	Above 800

Планування морської вітроелектростанції вимагає наступної інформації. По-перше, це характеристики вітру в морі. Додаткові дані включають глибину води, течії, морське дно та дію хвиль, які спричиняють механічні та структурні навантаження на потенційні конфігурації турбін. Інші фактори включають солоність, зледеніння та геотехнічні характеристики морського дна.

На основі методології, описаної у звіті «Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets» (WBG, 2019), для розміщення FWT підходять акваторії, які відповідають таким умовам :

1. Середня річна швидкість вітру перевищує 7 м/с на висоті 100 м (6,3 м/с на висоті 50 м), для поточних робочих характеристик FWT;
2. Глибина води менше 50 м – для стаціонарних морських ВЕС;
3. Глибина води від 50 до 1000 м – для плавучих ВЕС;
4. Менше 200 км від берега;
5. Постійна щільність установки турбін 3 МВт на км² для швидкості вітру між 7-8 м/с і 4 МВт на км² для швидкості вітру понад 8 м/с.

Морський лід є частиною морських умов, які, зокрема, повинні бути включені в процес проектування опорних конструкцій FWT. Морський лід є важливим, але недостатньо дослідженим джерелом навантаження на всі типи конструкцій FWT.

Складна механіка льоду, на яку впливає багато факторів, вносить серйозну

невизначеність в оцінку льодових навантажень на опорні конструкції. Наприклад, плаваючий лід на поверхні води та атмосферне обмерзання викликають надмірну вібрацію вітряної турбіни, дрейф льоду та удари об фундамент можуть спровокувати структурні вібрації або навіть пошкодити вежу, тоді як обмерзання структур впливатиме на лопаті. Системи запобігання обледеніння на лопатях, системи пом'якшення навантаження, діагностичні інструменти, інтегровані для врахування ефектів льодового навантаження, будуть розумною частиною інвестицій та експлуатаційних витрат.

У будові дна Чорного моря виділяються: шельф, материковий схил і глибоководна улоговина. Найбільшу ширину (понад 200 км) і значну площу шельф має в північно-західній частині Чорного моря. У північно-західній частині Чорного моря більша частина шельфової акваторії має глибини до 50 м (приблизно по лінії мис Тарханкут – мис Каліакра), значна частина розташована до 100-метрової ізобати (приблизно по лінії мис Херсонес – мис Каліакра), а також за 100-метрову глибину (біля берегів Румунії та Болгарії за 150-метрової глибини). Північно-західний шельф (визначений у межах від мису Херсонес до мису Каліакра) займає 16 % акваторії Чорного моря (68 390 км²) і всього 0,7 % об'єму води (3 555 км³). Максимальна ширина шельфу досягає 220 км. Центральну частину Чорного моря займає глибоководна западина з глибинами 2000-2200 м.

Оцінка вітроенергетичного потенціалу була зроблена на основі вітрових даних, розміщених на сайті Global Wind Atlas. Ця програма спеціально розроблена, щоб допомогти визначити райони з сильними вітрами, придатні для вітрових турбін. В якості вхідних даних в атласі використано дані реаналізу ERA5 за 2008-2017рр. Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) з просторовою роздільною здатністю 30 км. В результаті процесу моделювання я отримала характеристики місцевого вітрового клімату з кроком сітки 250 м на п'яти висотах: 10 м, 50 м, 100 м, 150 м і 200 м над земною поверхнею. У Глобальному атласі вітрів представлені характеристики швидкості

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вітру (середньорічне значення, індекси міжрічної, сезонної та добової мінливості швидкості вітру), середньорічна щільність вітрової потужності N_e , а також можна побудувати графіки залежності вихідної потужності вітрогенератора від (відповідно до заданих характеристик користувача) від швидкості вітру.

Так, я серед початкових даних вказала мінімальну допустиму швидкість вітру (рис. 4.1.) і мінімальну допустиму щільність вітрової потужності (рис. 4.2.).

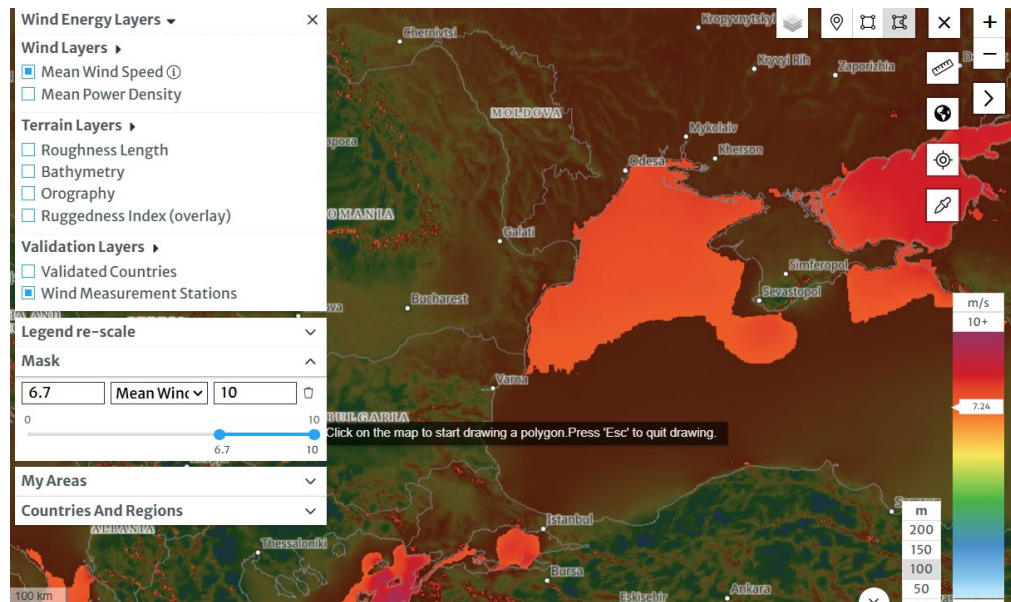


Рис. 4.1. Райони Чорного моря, де швидкість вітру більше 6,7 м/с (висота 100м)

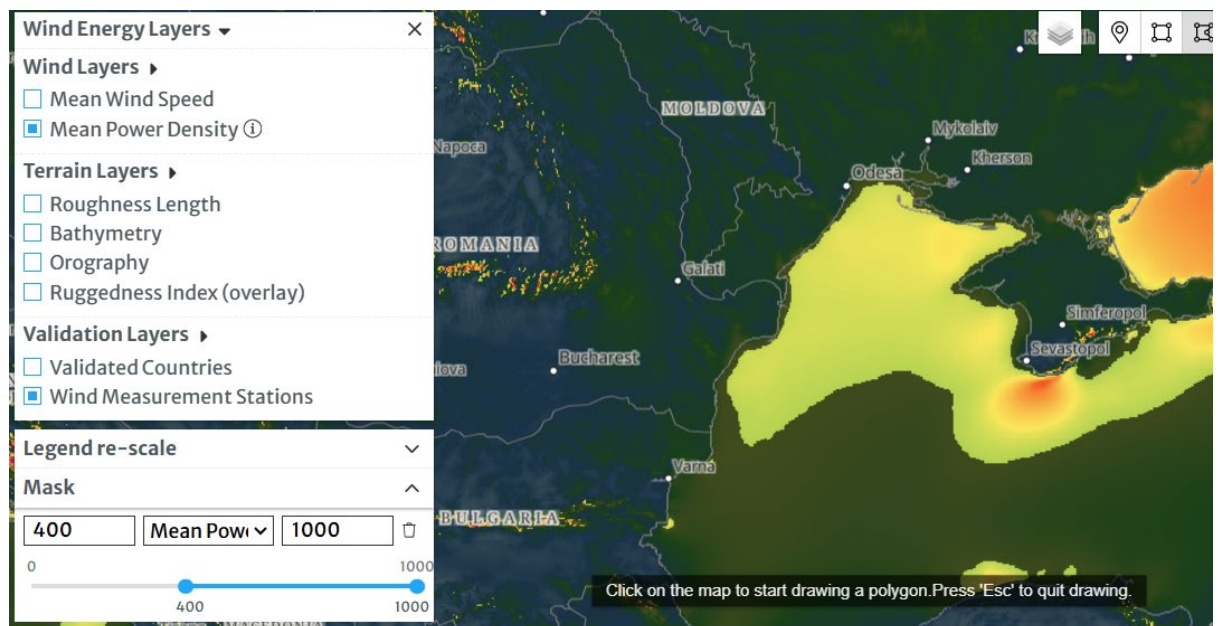


Рис. 4.2. Райони Чорного моря, де щільність вітрової потужності більше 400 Вт/м^2 (висота 100 м)

Загалом просторовий розподіл N_e над Чорним морем демонструє збільшення з південного сходу, де середньорічна швидкість вітру на висоті 50 м становить близько 5 м/с , на північний захід, де швидкість вітру становить близько 7 м/с . Виходячи з величини N_e та наведених вимог до розміщення ВВТ, сприятливі умови для розміщення великих ВВТ в рамках ЕЕЗ України мають такі ділянки:

1) Шельф ПЗ Чорного моря (рис. 4.3.).

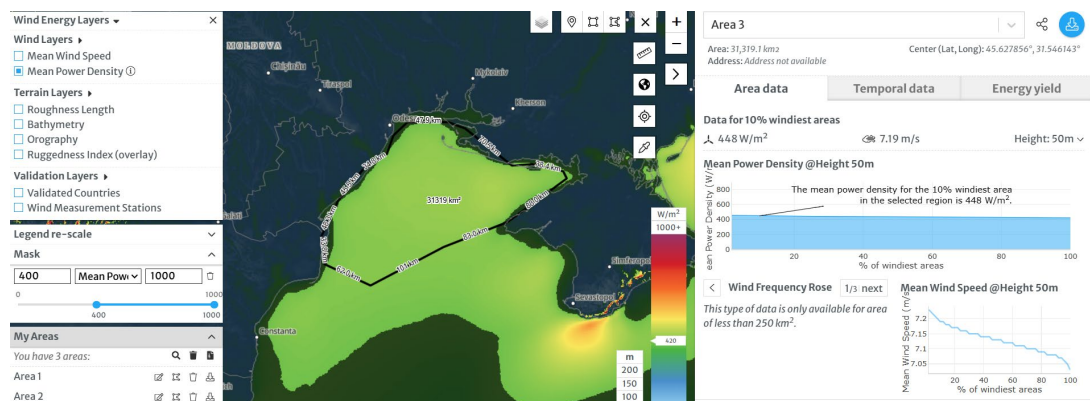


Рис. 4.3. Район Північно-Західного узбережжя Чорного моря

Ця ділянка розташована на північ від лінії, що сполучає мис Тарханкут і мис Каліакра, і має глибину менше 200 м (рис. 4.4.). Вся площа шельфу зайнята рівниною, яка має дуже невеликий нахил і плоский рівнинний абразійно-аккумулятивний рельєф. Найбільш вирівняною і пологою частиною мілководдя є прилегла до берега зона глибин $30\text{--}40 \text{ м}$ ($1/3$ всієї площі шельфу). Виходячи з цих характеристик, можна зробити висновок, що ця зона має сприятливі умови для розміщення великих ОВТ із стаціонарним і плавучим фундаментом.

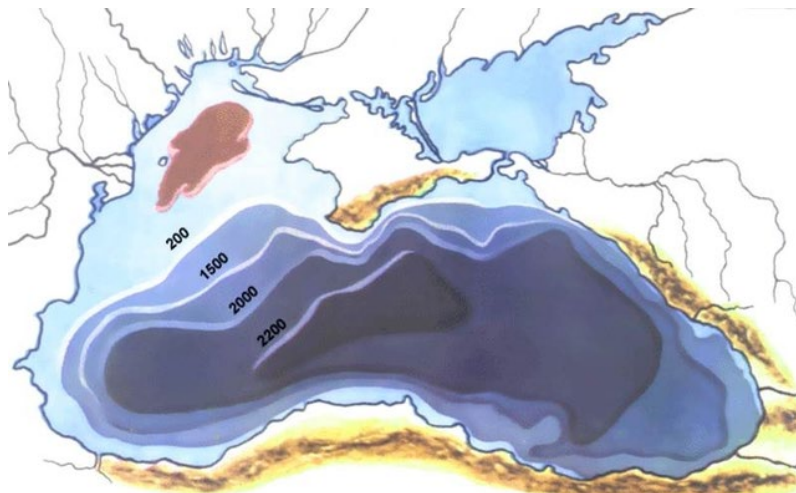


Рис. 4.4. Карта глибин Чорного моря

2) Ділянка Каламітської затоки обмежена на півночі мисом Тарханкут, на заході мисом Херсонес (рис. 4.5).

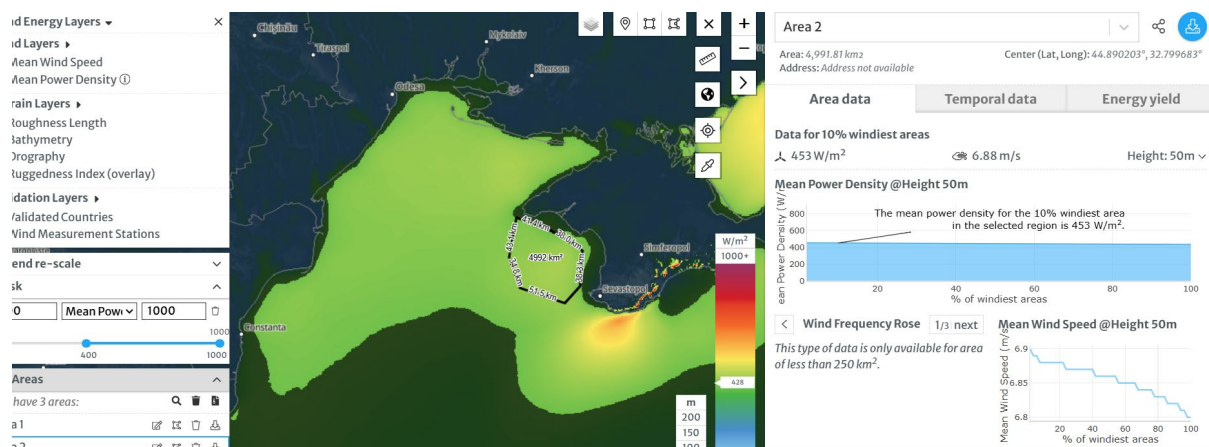


Рис. 4.5. Район західного узбережжя Криму

Ця ділянка має четвертий клас щільності потужності вітру. Більша частина акваторії, розташованої в межах зовнішнього шельфу Західного Криму, має глибини 50-150 м, у прибережних районах (Каламітська затока) глибини від 0 до 50 м (рис. 4.4.). На цій ділянці можна розмістити як плаваючий, так і фіксований ОWT.

3) Розташована біля південного краю Кримського півострова між мисами Сарич і Ай-Тодор (рис. 4.6.).

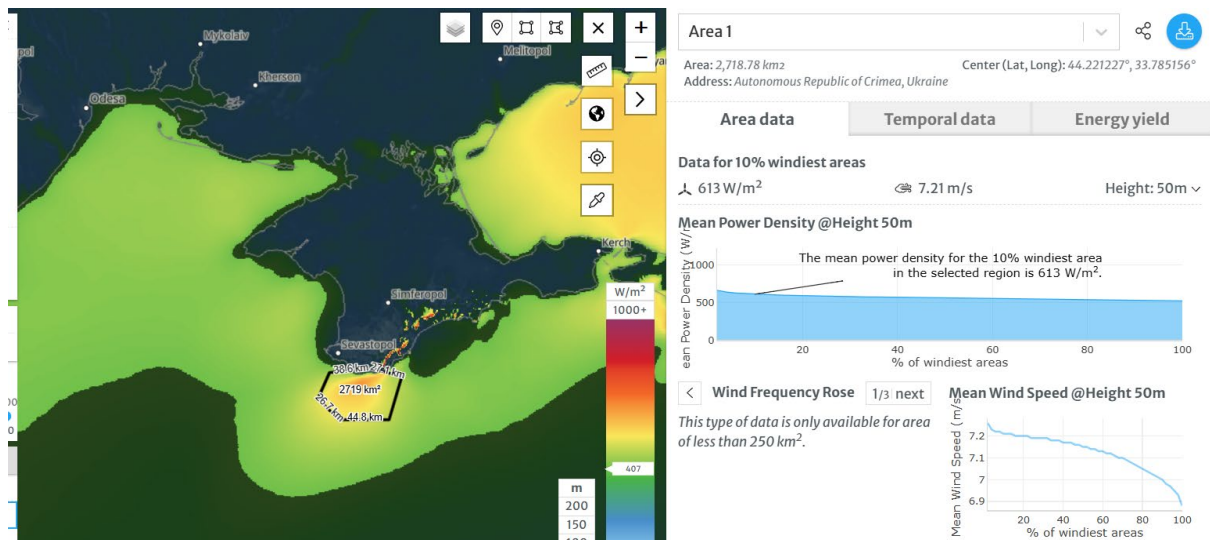


Рис. 4.6. Район південного узбережжя Криму

Ця ділянка має п'ятий клас щільності потужності вітру. Більша частина акваторії має глибини понад 50 м (ширина шельфу тут 30-40 км, а ширина акваторії з глибинами до 50 м не перевищує 1,5 км) (рис. 4.4.). На цій ділянці на шельфі проявляються сліди тектонічної активності у вигляді ліній розломів, тріщинуватості на уступі та зсувів плит. Виходячи з вищенаведених умов, ця акваторія може бути придатною для розміщення плавучих ОВТ.

Слід зазначити, що для ділянки 1 з грудня по березень характерне льодоутворення, однак поява льоду на відкритих ділянках моря відбувається не щороку. Таким чином, слід зазначити, що фактор льодоутворення необхідно враховувати на етапі планування ОВТ на цих територіях.

Додаткове навантаження на опорні конструкції ОВТ створює вітрове хвилювання. Так, для західного та північно-західного узбережжя Чорного моря середньорічна частота штормових хвиль становить 3,19 % (Чорноморськ), 3,21 % (морський порт «Південний») та 4,47 % (Одеський порт). Для відкритих морських районів Північно-Західного Чорного моря найбільш репрезентативними є результати спостережень на хвилемірній станції Херсонеський маяк, де на частку штормових хвиль припадає 22,89%.

Для сучасних вітрогенераторів аварійна швидкість вітру становить 22-25 м/с. Ураганні вітри можуть завдати шкоди вітрогенераторам, і їх повторюваність

необхідно враховувати. Незважаючи на те, що на більшості прибережних метеостанцій Чорного моря спостерігаються ураганні вітри, повторюваність їх становить лише 0,08-0,09 %.

Таким чином, проаналізувавши дані з ресурсу GWA, для встановлення досліджуваної офшорної вітрової станції я обираю ділянку 1. Це зумовлено більшою площею для досліджень, кращими вітровими ресурсами (за деякими з досліджень швидкість вітру може становити 8 м/с на висоті 100м), а також наближеністю до ЕЕЗ Румунії, що може слугувати підґрунтям для співпраці, спільних досліджень і розробок, залучення нових інвестицій у вітроенергетичний сектор від Європейського Союзу.

Далі я визначаюсь з місцем. Для цього проєкту я обрала ділянку приблизно 60км² на віддалені приблизно 50 км від берегової лінії у районі с. Миколаївка, що знаходиться західніше порту Чорноморськ (рис. 4.7.).



Рис. 4.7. Ділянка майбутнього проєкту

Для того, щоб визначитися з площею, мінімально потрібною для станції, а також з потужністю вітрової турбіни і кількістю цих турбін, було проаналізовано проєкт EREBUS, що знаходиться у Кельтському морі і зараз на стадії розбудови і проєкт Botafogo у узбережжя Португалії, що знаходиться на стадії концепт-дизайну. Так, проєкт Erebush займає сумарно площу близько 43 км² з 6-10 турбінами сумарною потужністю 100 MW. Однак цей приклад не є

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

репрезентативним з точки зору щільності потужності вітру на ділянці, адже біля узбережжя Пемброкширу вона вища. З іншої сторони, проєкт Botafoго є наближеним за щільністю потужності вітру, однак швидкість вітру значно вище у цьому районі, що дозволяє встановлювати потужнішу турбіну з вищою швидкістю вітру включення. Так, за допомогою ресурсу World Wind Globus я далі порахувала ефективність роботи двох турбін: Vestas V164 – 8 MW turbine і NREL offshore 5-MW wind turbine. Турбіна з потужністю 8MW виявилася ефективнішою (рис. 4.8), тому було вирішено використовувати її характеристики (рис. 4.9) у роботі надалі. Для першого наближення рахуємо, що буде встановлено 10 турбін загальною потужністю 80MW.

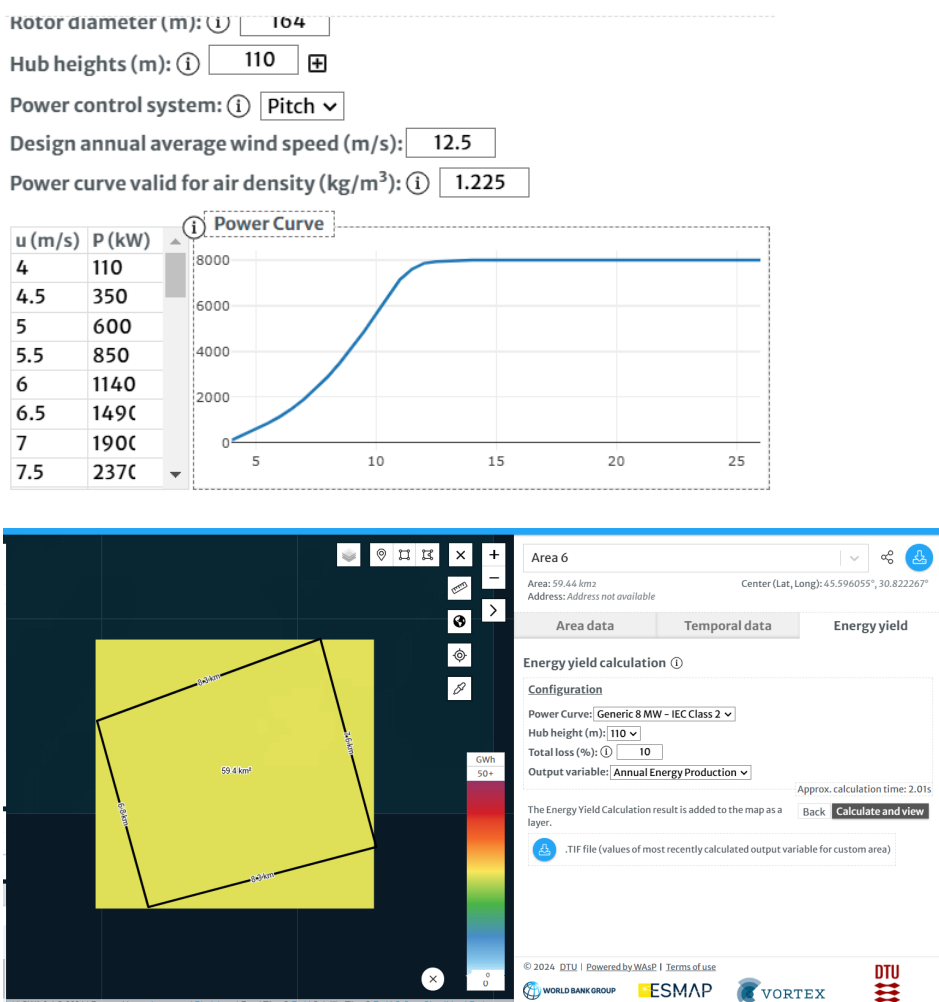


Рис. 4.8 Параметри підрахунку ефективності роботи турбіни Vestas V164 – 8 MW

Parameter	Value
Rated power (MW)	8.0
Rotor diameter (m)	164
Hub height (m)	105
Cut-in wind speed (ms^{-1})	4
Rated wind speed (ms^{-1})	13
Cut-off wind speed (ms^{-1})	25
Survival wind speed (ms^{-1})	50

Рис. 4.9 Параметри роботи турбіни Vestas V164 – 8 MW

Незважаючи на те, що офшорна вітроенергетика різко зросла за останні кілька десятиліть, все ще існує багато невизначеностей щодо того, як будівництво та експлуатація вітрових електростанцій впливає на морських тварин і морське середовище. Так, у Північному Причорномор'ї є унікальні природні екосистеми, три великі дельти річок – Дунаю, Дністра та Дніпра, з гирловими лиманами, на території яких гніздяться 187 видів птахів. З них абсолютна більшість – 164 види (87,7 %) є мігруючими, і лише місцеві популяції 23-29 видів птахів (12 %) ведуть осілий спосіб життя, все ще перелітаючи в певних ситуаціях на короткі відстані (250-500 км). Тому наступним кроком мені потрібно перевірити, чи не буде станція заважати нормальному функціонуванню екосистеми. Згідно з рис. 2.1.10, цей сектор не знаходиться у площі дії особливих умов експлуатації у зв'язку з належністю до природоохоронних територій.

Marine ecologically important areas in Ukraine and the Black Sea

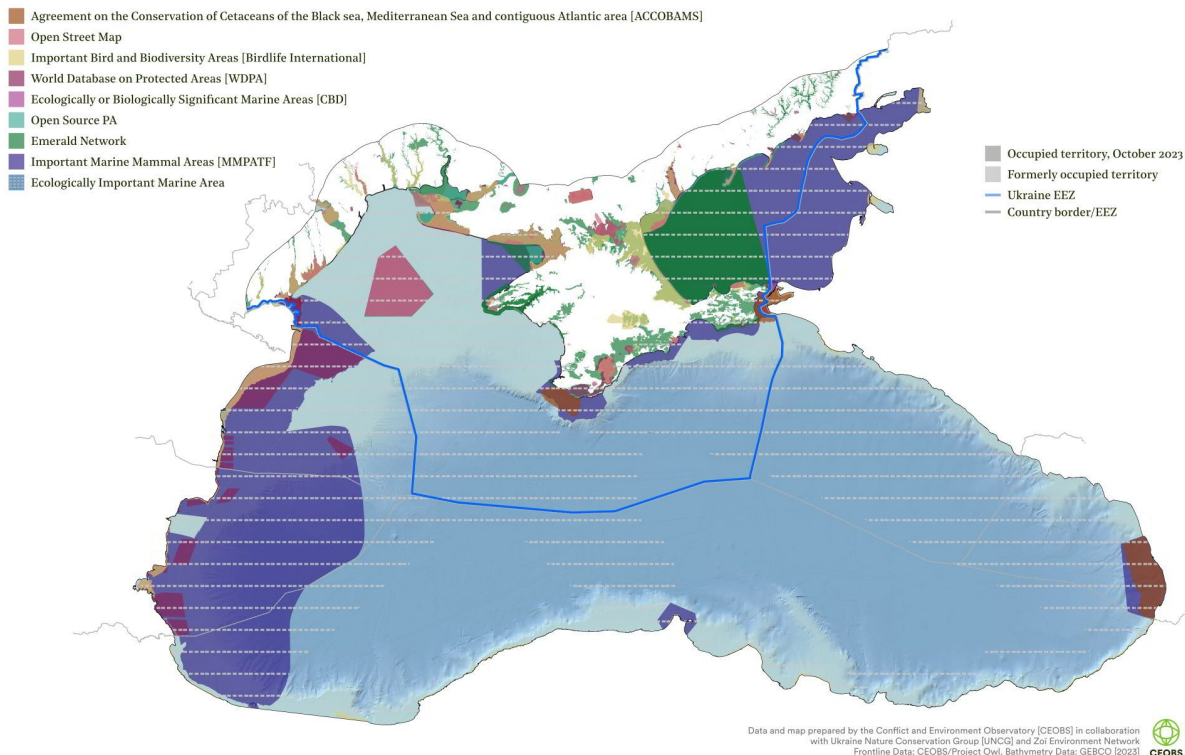
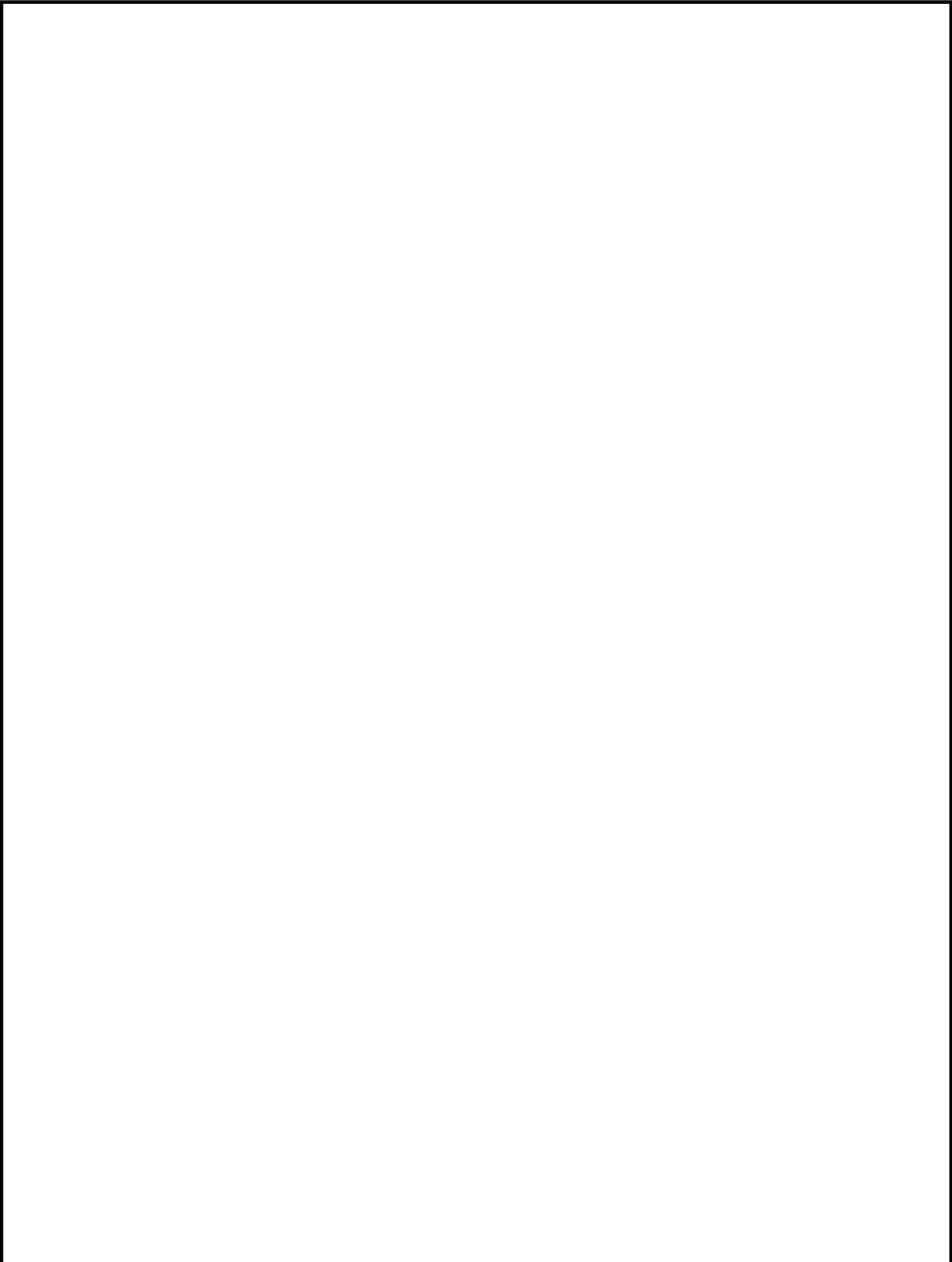


Рис. 2.1.10. Морські екологічно важливі території України та Чорного моря

Таким чином, на даний момент я визначила місце розташування станції, її приблизну площу, потенціал, модель вітрової турбіни.



					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Визначення головних розмірів, внутрішньої структури і розробка креслення для 3-Д моделі	Літ.	Арк.
Студент	Давидова П.С.						Аркушів
Консульт	Шарун Г.В						
Керівник	Шарун Г.В.					НУК	
Зав. кафедр.	Коростильов						

5. Визначення головних розмірів, внутрішньої структури і розробка креслення для 3-Д моделі

Як вже зазначалося раніше, серед чотирьох концепцій найпопулярнішим є напівзаглибний тип, який у 2020 році займав близько 75,2% світової частки ринку плавучих фундаментів. Це пов'язано з наступними причинами:

- 1) напівзаглибні FWT можуть бути встановлені в широкому діапазоні глибин, як правило, від 30 м на мілководді до глибокої води;
- 2) напівзаглибні FWT зазвичай швартуються контактними лініями, які дешевші, ніж система натяжної опори в TLP;
- 3) транспортування та монтаж напівзаглибних FWT є відносно простими та економічно ефективними.

В цілому для вибору концепції плавучого фундаменту та визначення глобальних розмірів для подальшого детального проектування використовуються ті ж правила, що і для визначення в'язей корпусу судна. Цей етап проектування є важливою частиною всього циклу, оскільки він має значний вплив на детальний проект, який може бути дорогим у плані обчислень. Офшорні вітряні турбіни (OWT) повинні бути спроектовані таким чином, щоб задовольняти вимоги придатності до експлуатації та безпеки протягом усього їхнього запланованого терміну служби, одночасно мінімізуючи витрати протягом життєвого циклу.

Наразі дизайн FWT все ще знаходиться на ранній стадії розробки, і існує обмежена галузева практика та інформація про розрахунки. Попередні знання та досвід, накопичений під час проектування морських нафтогазових видобувних платформ і берегових вітрових турбін, служать основою для проектування FWT. Крім того, загальні характеристики експлуатації різних компонувань корпусів ще недостатньо вивчені. На сьогоднішній день доступні вказівки щодо проектування FWT включають IEC TS 61400-3-2 (наразі розробляється), DNVGL-ST-0119 та NI572, хоча вони ще не завершені через обмежений досвід експлуатації та потребують вдосконалення. Ці стандарти відсилаються до

					19.DPM.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

багатьох інших інструкцій, що застосовуються до добре розроблених морських споруд. Однак наслідки несправності або виходу з ладу, а також невизначеності щодо навантажень і ефектів навантаження відрізняються для конструкцій корпусу FWT порівняно з іншими спорудами. Наприклад, наслідком виходу з ладу нафтових і газових платформ зазвичай є людські травми, смертельні випадки та забруднення навколишнього середовища. Однак FWT під час експлуатації не обслуговуються, і наслідки спричинять лише економічні втрати. З іншого боку, нафтові та газові платформи в основному піддаються палубним навантаженням і хвильовим навантаженням, але з обмеженими вітровими навантаженнями. Навпаки, вітрові турбіни піддаються відносно невеликим вертикальним навантаженням від ваги мачти, ротора та гондол турбіни, значним хвильовим навантаженням, а також величезним вітровим навантаженням. Складні та змінні навантаження навколишнього середовища в опорних конструкціях FWT призводять до більш значної невизначеності у впливі навантаження, ніж у нафтових і газових платформах. Якщо несправність вітряних турбін на фермі пов'язана, може виникнути кілька відмов турбін. Цільовий рівень безпеки для корпусів FWT має ґрунтуватися на розгляді наслідків відмови та компромісу між безпекою та витратами.

Проектування — це ітеративний процес, який у цій роботі новаторсько підрозділяється на три фази, як показано на рис. 5.1 і пояснюється наступним чином.

Фаза 1 проектування: вибір концепції плавучого засобу та вибір концепції серед альтернатив напівзанурювального типу (кількість колон, понтонів та зв'язків між колонами-балками, розкосами). Цей етап передбачає оцінку різних концепцій плавучих засобів на основі таких факторів, як глибина води, геотехнічні умови та умови навколишнього середовища, властивості вітрової турбіни та всі види досвіду, включаючи дослідження, промисловий досвід тощо.

Фаза 2: визначення головних розмірів (відстань між колонами, осадка та розмір поперечного перерізу колон, понтонів та інших елементів у воді).

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фаза 3: визначення розмірів конструкції корпусу (товщина обшивки корпусу, ребра жорсткості, відстань і розміри каркасів і перегородок). Детальний проект корпусів на етапі 3 проектування вимагає оцінки граничного стану по міцності і граничного стану втоми для визначення розмірів корпусу. Цей процес передбачає численні симуляції та призведе до значних обчислювальних витрат. Тому фаза 2 проектування має велике значення, оскільки вона спрямована на обмеження кількості макетів дизайну шляхом систематичного аналізу. Це значно скорочує зусилля та обчислювальні витрати, пов'язані з етапом детального проектування.

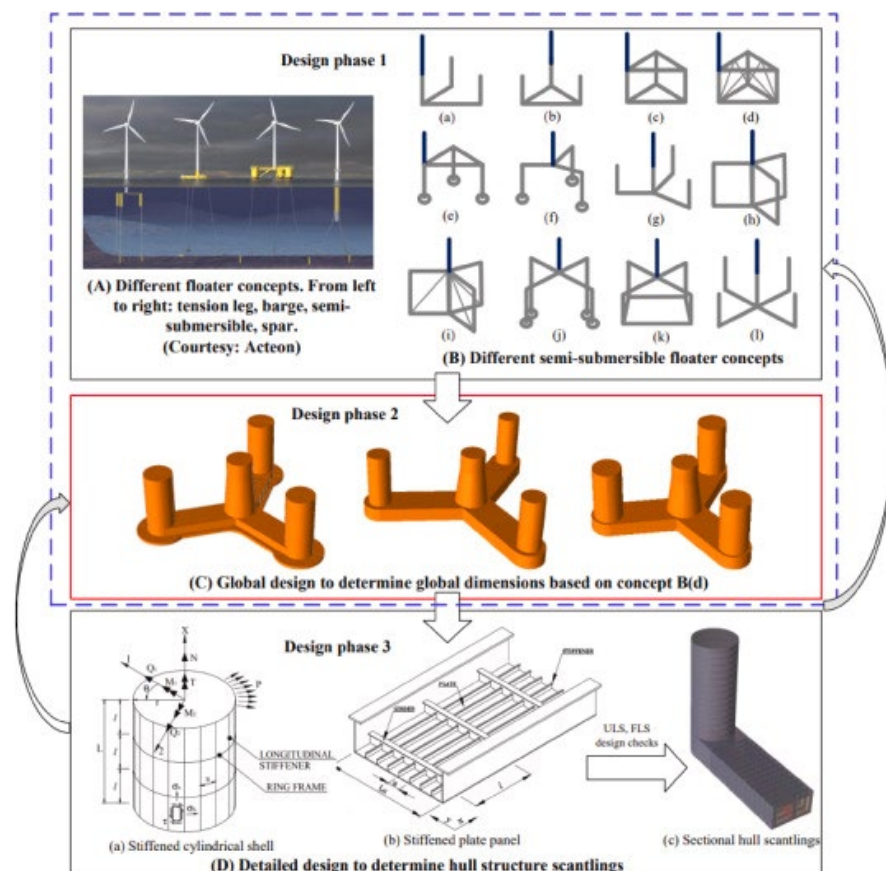


Рис. 5.1. Фази проектування ОВТ

Для свого проекту за прототип я обрала концепт Windfloat, так як він вже давно знаходиться на ринку (з 2009 року), є доволі вивченим і має значну кількість успішно реалізованих проектів (перший запущено у 2011р.). Фундамент WindFloat є напівзануреним, прикріпленим до 4–6 швартовних канатів, і може витримувати вітрові турбіни потужністю до 15 МВт. В Principle

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Power повідомили, що WindFloat можна повністю зібрати на березі та відбуксирувати на місце в повному стані. Він відрізняється простотою дизайну в порівнянні з іншими концепціями. WindFloat — це плавуча платформа з однією колоною, що підтримує вежу вітрової турбіни, а дві інші стабілізовані колони розташовані таким чином, щоб утворити рівносторонній трикутник між трьома центрами колон. Ці колони з'єднані одна з одною за допомогою фермової конструкції, що складається з основних горизонтальних елементів, що з'єднують колони та розкосів, як показано на рис. 5.2. Горизонтальна пластина водозатримки (WEP) розташована в основі кожної колони, щоб забезпечити додаткову гідродинамічну інерцію конструкції, через велику кількість води, яка витісняється під час руху платформи.

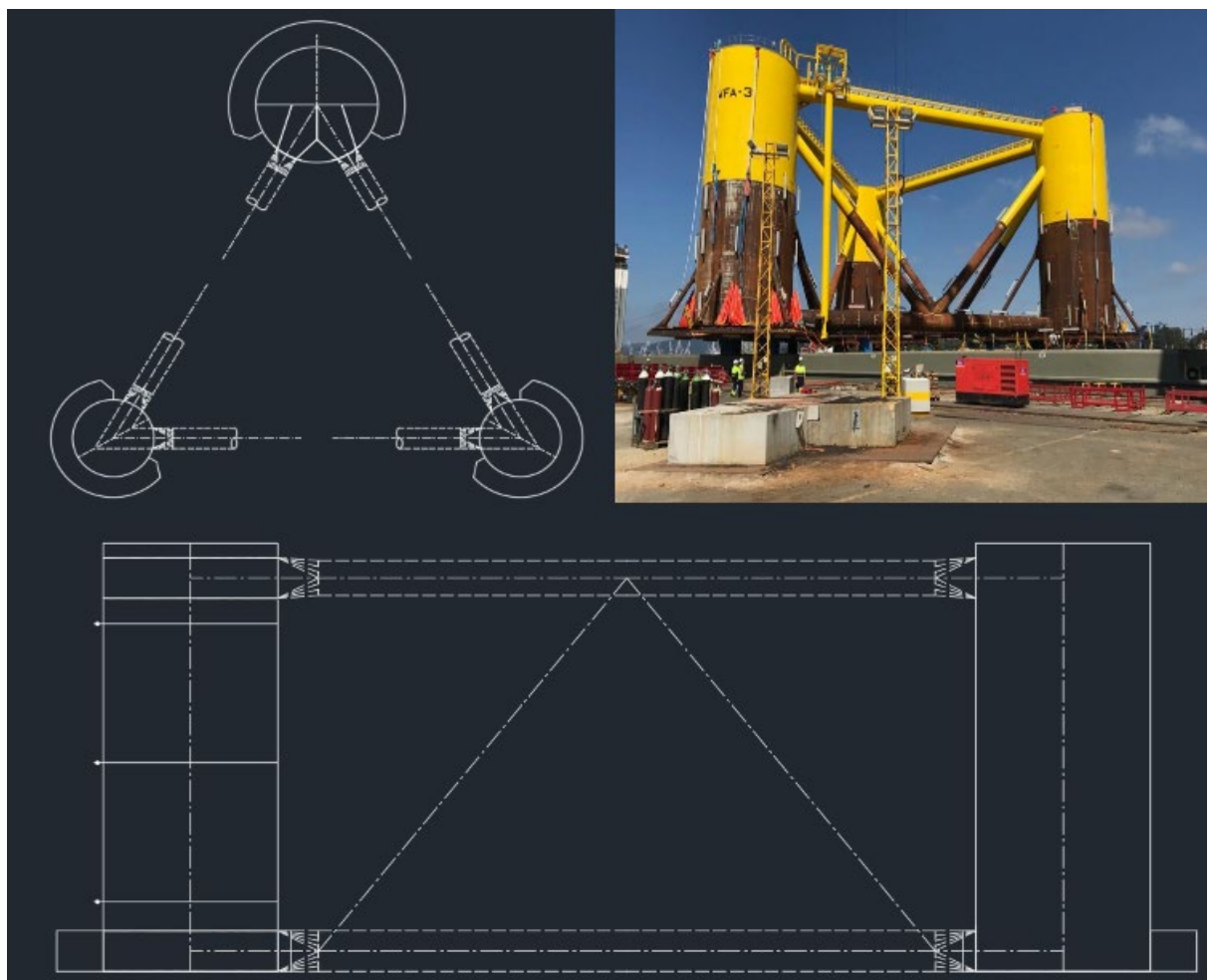


Рис. 5.2. Концепт-дизайн WindFloat

Далі для визначення головних розмірів за основу я взяла два дослідження:

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

“Structural Design of a Floating Foundation for Offshore Wind Turbine in Red Sea” і “WindFloat design for different turbine sizes”. У першому розглянуто виведення головних розмірів фундаменту через параметричне перетворення. У другому дослідженні показано визначення головних розмірів фундаменту як проміжного результату від двох еталонних моделей в залежності від потужності турбіни і висоти вежі турбіни.

Головні розміри фундаменту відображено у табл. 5.1

Таблиця 5.1. Основні розміри плаваючого фундаменту WindFloat

Елементи	Розміри (м)
Діаметр колони 1	22.5
Діаметр колон 2 і 3	15
Діаметр горизонтальних елементів	3
Діаметр розкосів	2
Діаметр WEP 1/2 колони	35.5/23
Відстань від центру колони до центру	75
Загальна висота конструкції	37
Робоча осадка	18
Діаметр вежі турбіни	$7.7+0.036*2$ (товщина обшивки)

Після того, як у мене з’явилися всі необхідні початкові дані, я починаю створювати креслення. Першим кроком я взаємно розташовую умовні колони у просторі(рис. 5.3).

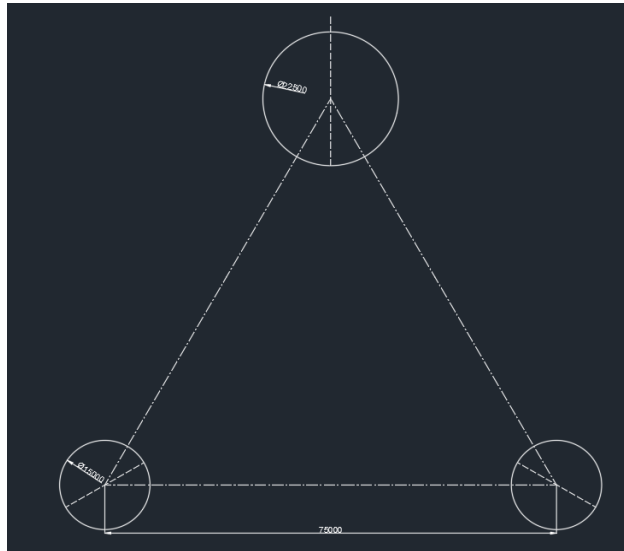


Рис. 5.3 Розташування колон у просторі

Далі на креслення виду зверху додаю відображення ширини внутрішньої шахти, куди буде встановлюватися турбіна. Також додаю відображення WEP-пластин. Умовно відображаю з'єднання між колонами (рис. 5.4)

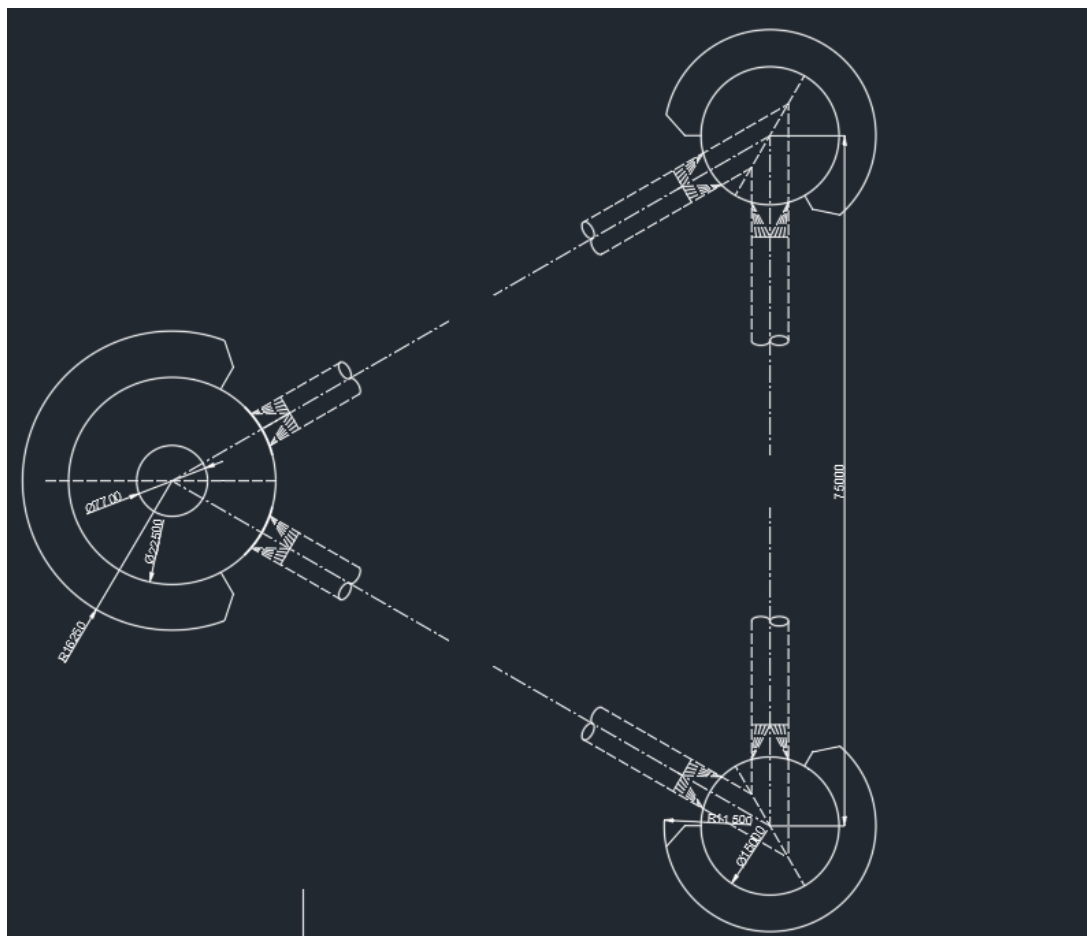


Рис 5.4 Вид зверху

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01

Арк.

82

Далі будує креслення виду збоку (рис. 5.5). Тут визначаю висоту фундаменту, розміри з'єднань між колонами і розкосів. Тут також відображаю приблизний розподіл палуб, визначаю, де буде закінчуватися шахта турбіни. Я вирішила зробити 4 основні палуби:

1) 6000 мм від ОП- палуба, на яку буде приходити вежа турбіни.

2) 18500 мм від ОП- палуба приблизно посередині колони, на випадок необхідності добору додаткового водного баласту.

3) 31000 мм від ОП- палуба, необхідна для побудови внутрішніх в'язей, що будуть сприймати навантаження від елементів, що з'єднують колони.

4) Верхня палуба.

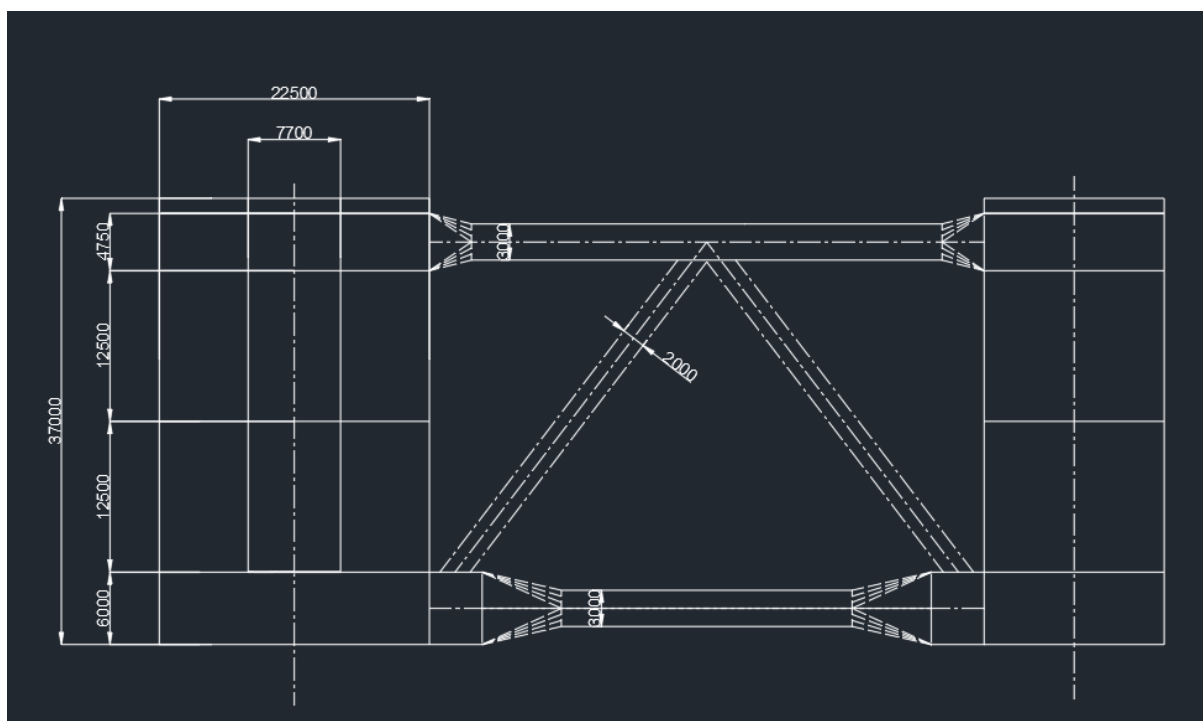


Рис. 5.4 Вид збоку

Після того, як я визначилась з головними елементами, я визначаю товщини палуб, шахти, головні розміри профілю. Для цієї моделі я використовую поздовжню систему набору на обшивці, однак серед досліджених проєктів також траплялися і такі, де система набору поперечна.

За основний профіль я обираю НР430х20. Шпацію розраховує за Правилами для корпусів суден:

$a = 0.002 \cdot L(H) + 0.48 = 0.554$ - приймаю шпацию 700 мм.

Кожну четверту шпацию буде розташовано раму 700x12 з пояском 150x15.

Також розробляю структуру підкріплень, для сприйняття навантажень від з'єднань між колонами(рис. 5.6).

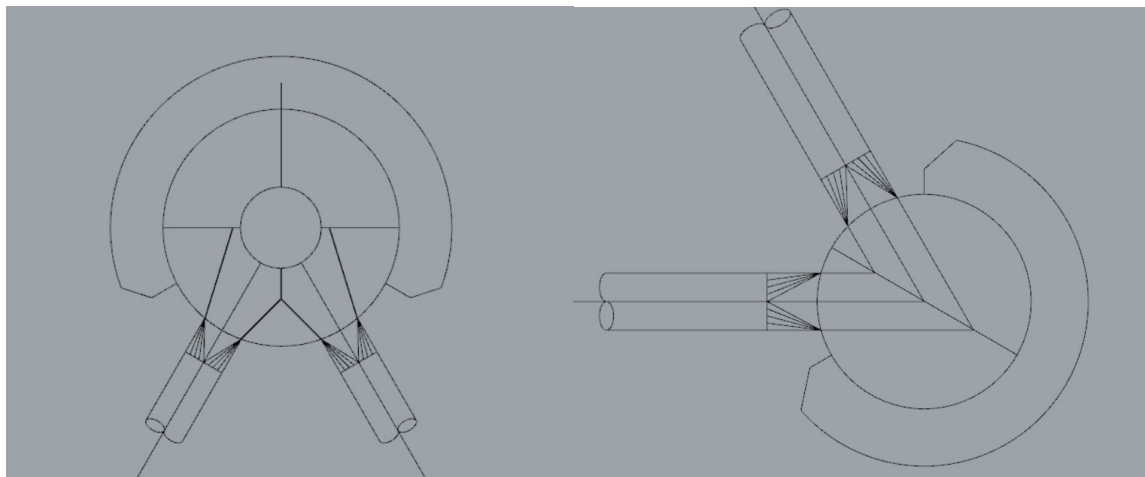
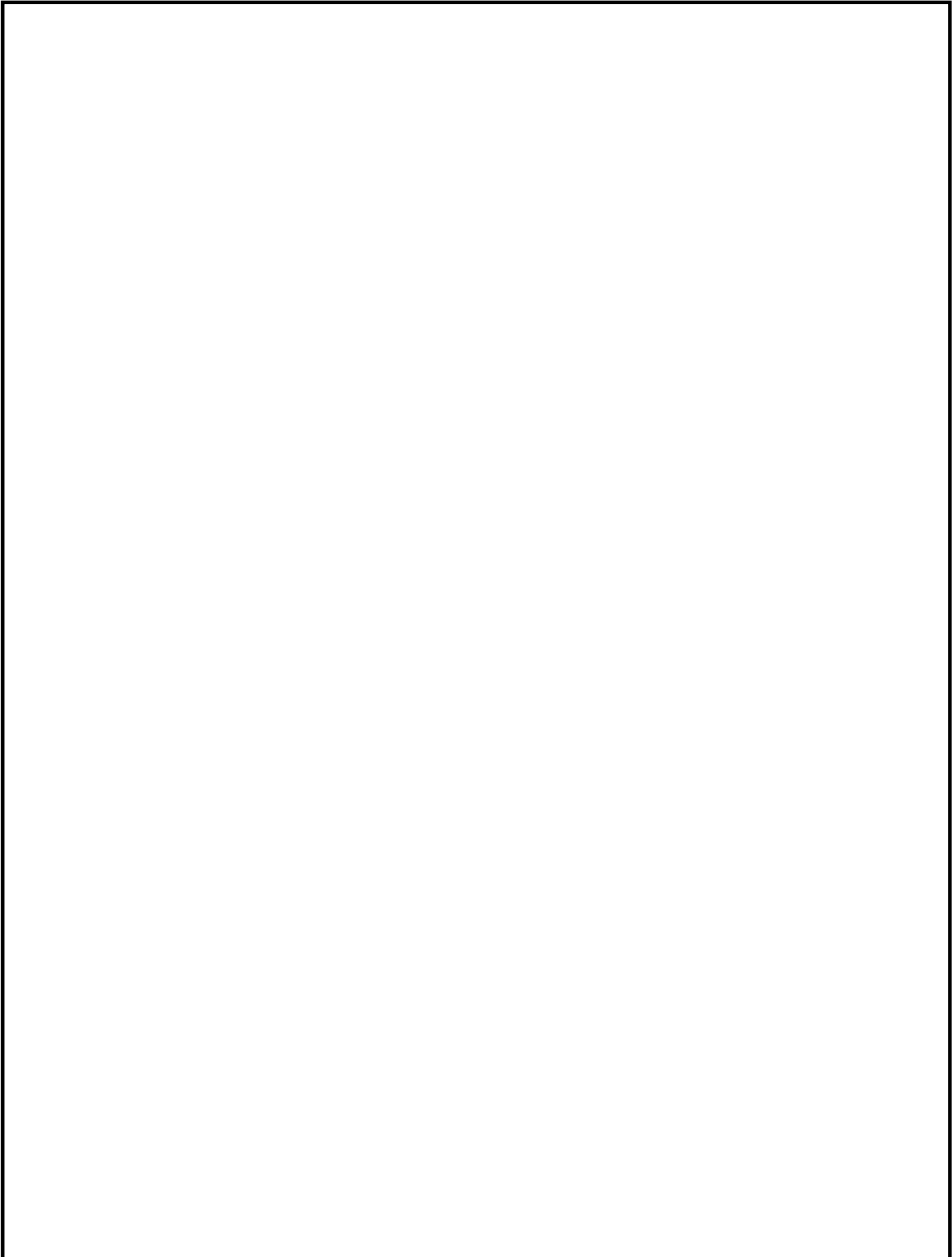


Рис. 5.5 Переборки верхнього і нижнього ярусів.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Побудова 3-Д моделі офшорного вітрового фундамента та розрахунок навантажень	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Давидова П.С.							
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК		
Керівник	Шарун Г.В.							
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.							

6. Побудова 3-Д моделі офшорного вітрового фундаменту та розрахунок навантажень

6.1. Побудова 3-Д моделі

Будую збірку головної колони. Зовнішню обшивку з основним набором а також фальшбортом я складаю з чотирьох рівних частин (рис.6.1.1), об'єднуючи їх за допомогою кругового масиву (рис.6.1.2).

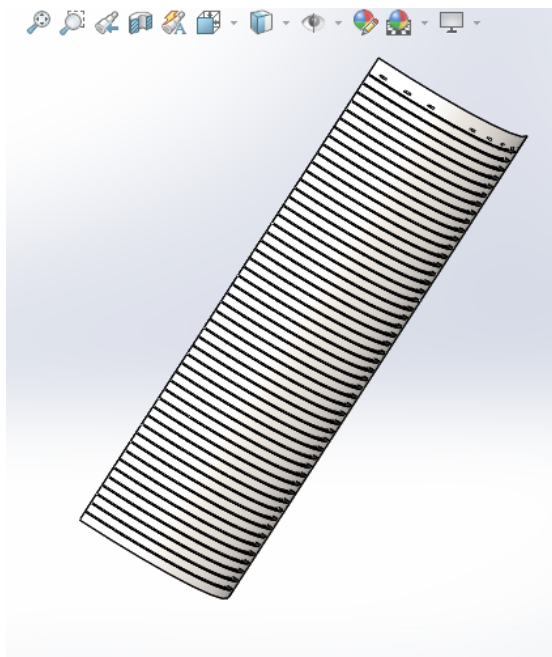


Рис. 6.1.1. Модель $\frac{1}{4}$ колони

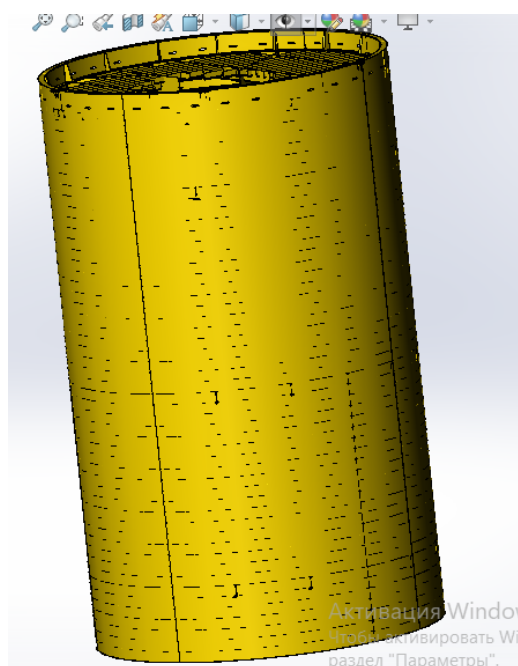


Рис. 6.1.2. Колонна створена круговим масивом

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Далі створюю систему переборок-підкріплень для місць приварювання розкосів між колонами у верхньому і нижньому ярусах (рис.6.1.3).

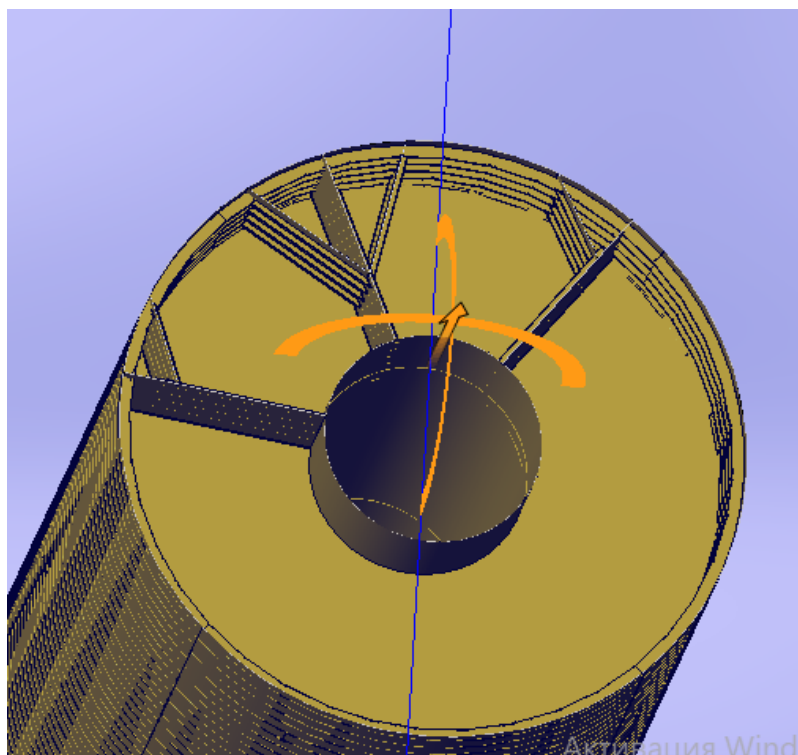


Рис. 6.1.3. Переборки верхнього і нижнього ярусів

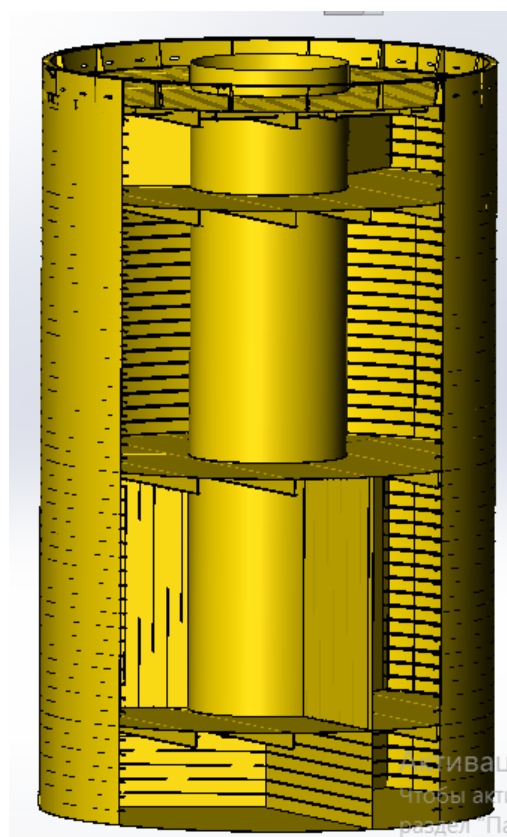


Рис. 6.1.4. Внутрішня структура головної колони

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Далі я розробила внутрішню структуру колони наступними діями:

- Додала палуби;
- Додала набір на палубах та переборках;
- Додала шахту, в яку буде вварюватись колона;
- Додала точки для кріплення якорних тросів;
- Додала водозабірну пластину;
- Додала підкріплення до фальшборту.

Результати перетворень можна побачити на рис. 6.1.4.

Після цього створюю модель з'єднань між колонами (рис. 6.1.5)

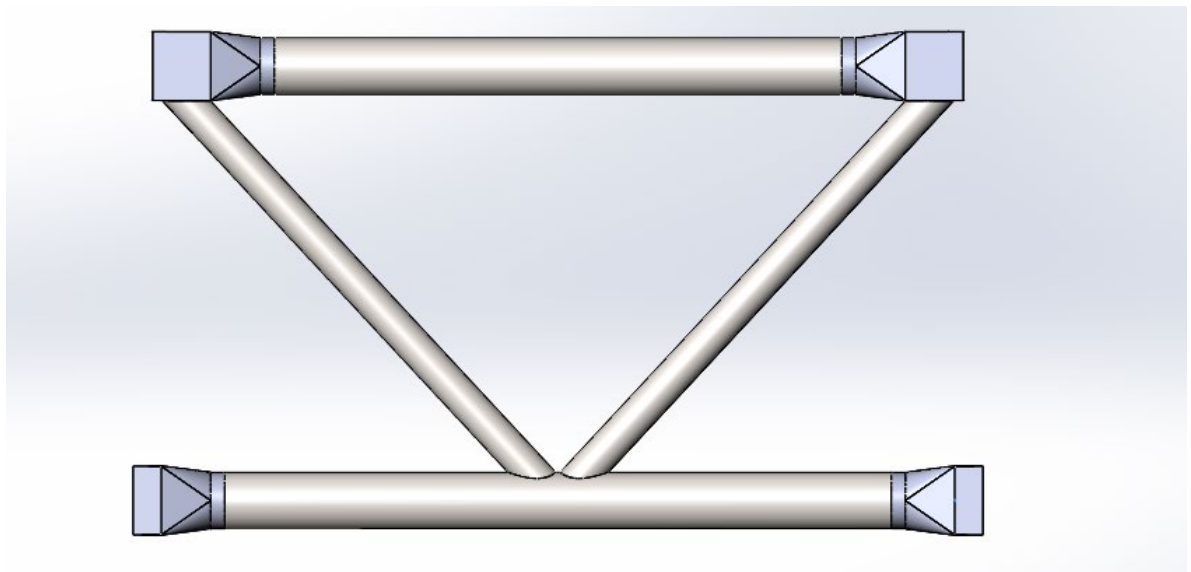


Рис. 6.1.5. Модель розкосів-з'єднань між колонами

Наступним кроком створюю модель балансуєчих колон. Їх внутрішня структура фактично повторює структуру головної колони, за виключенням шахти під вежу вітрової турбіни.

Далі збираю всі окремі вузли в велику зборку (рис. 6.1.6).

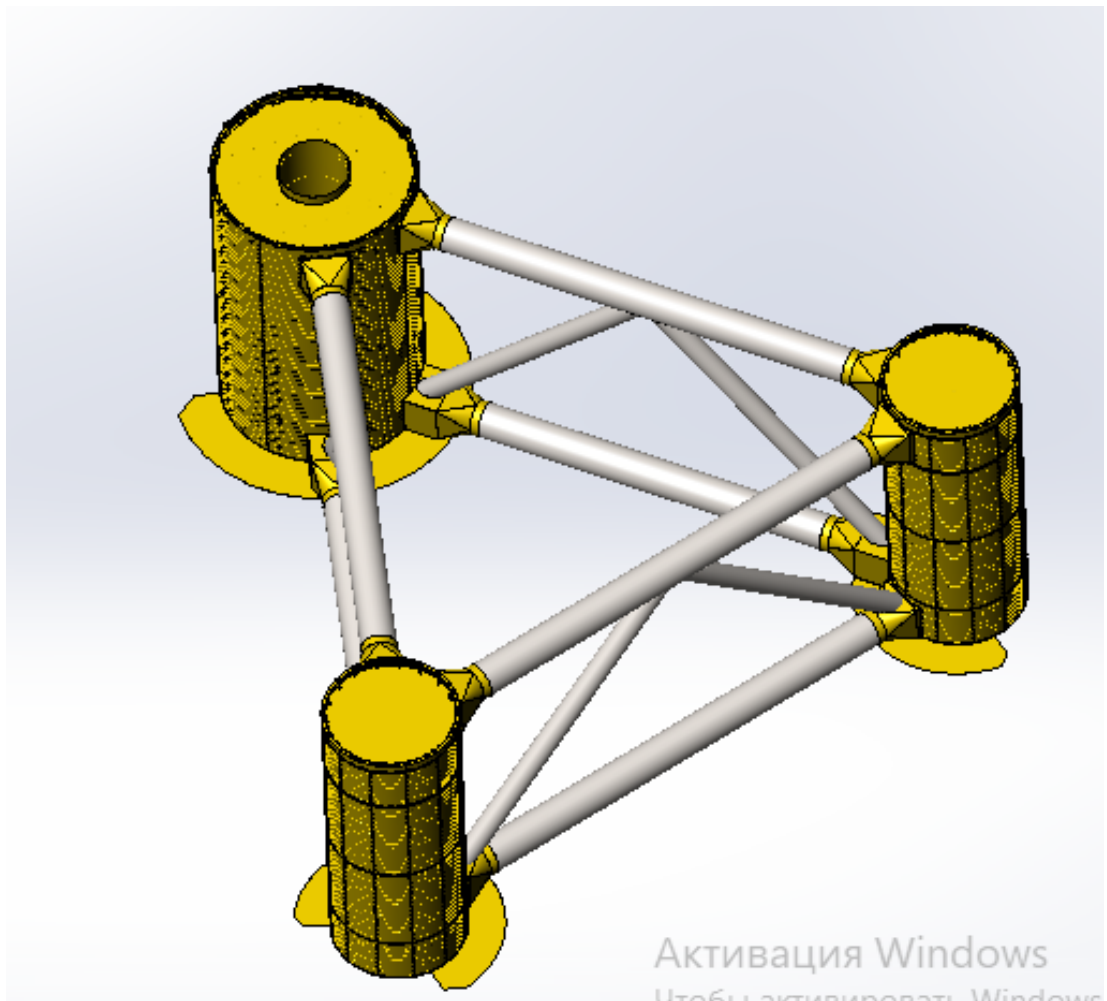


Рис. 6.1.6. Фінальна зборка

6.2. Розрахунок навантажень, що діють від тиску води на головну колону фундаменту.

Починаю розрахунок з того, що видаляю з конструкції всі зайві деталі. Наступним кроком зберігаю збірку з чотирьох частин у форматі .SLDPRT, що відповідає формату деталі (рис.6.2.1). Це допомагає уникнути помилок при переході до етапу розрахунку безпосередньо.

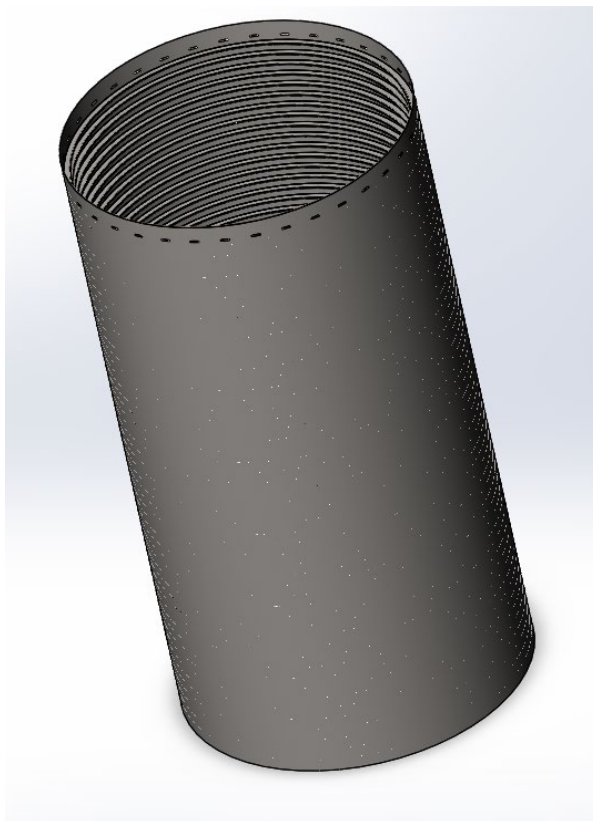


Рис. 6.2.1. Модель після видалення додаткових конструкцій

Після того, як дані для подальшого розрахунку готові, вмикаю модуль програми “Simulation”. Для деталі призначаю сталь марки S235JR з заданими параметрами (рис.6.2.2) та визначаю тип аналізу (статичний).

Тип модели:

Единицы измерения:

Категория:

Имя:

Описание:

Источник:

Sustainability:

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2.100000031e+11	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	7.9e+10	Н/м ²
Массовая плотность	7800	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	360000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	235000000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	1.1e-05	/K
Теплопроводность	14	W/(m·K)

Рис. 6.2.2. Параметры стали

Далі прикладаю тиск до зовнішньої грані та обираю умови закріплення для нижньої грані колони (рис.6.2.3).

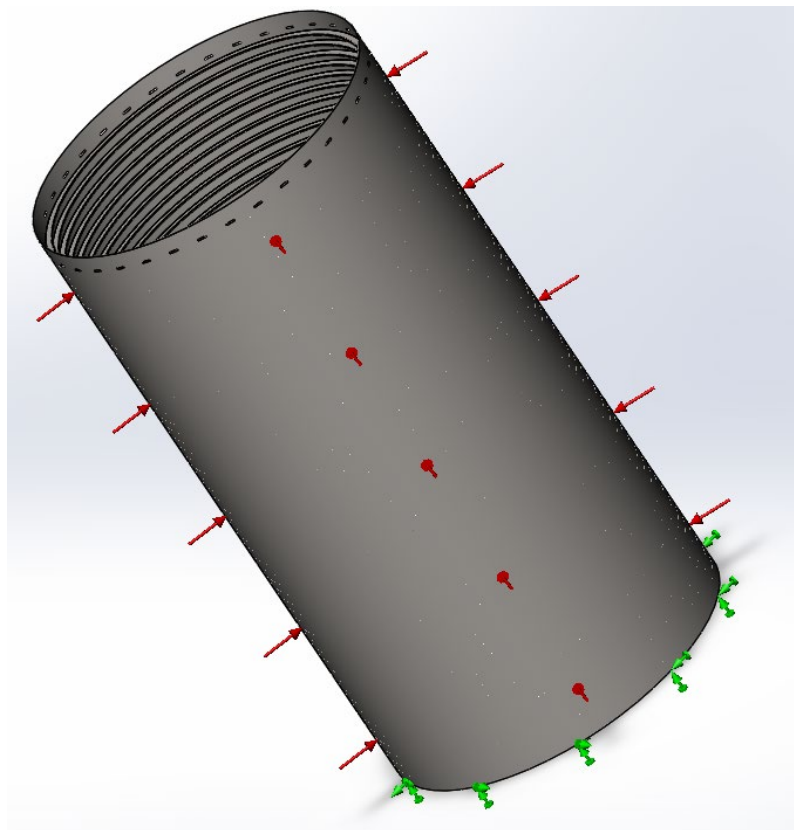


Рис. 6.2.4. Параметри навантаження та опори

Потім створюю сітку скінченних елементів (рис.6.2.5).

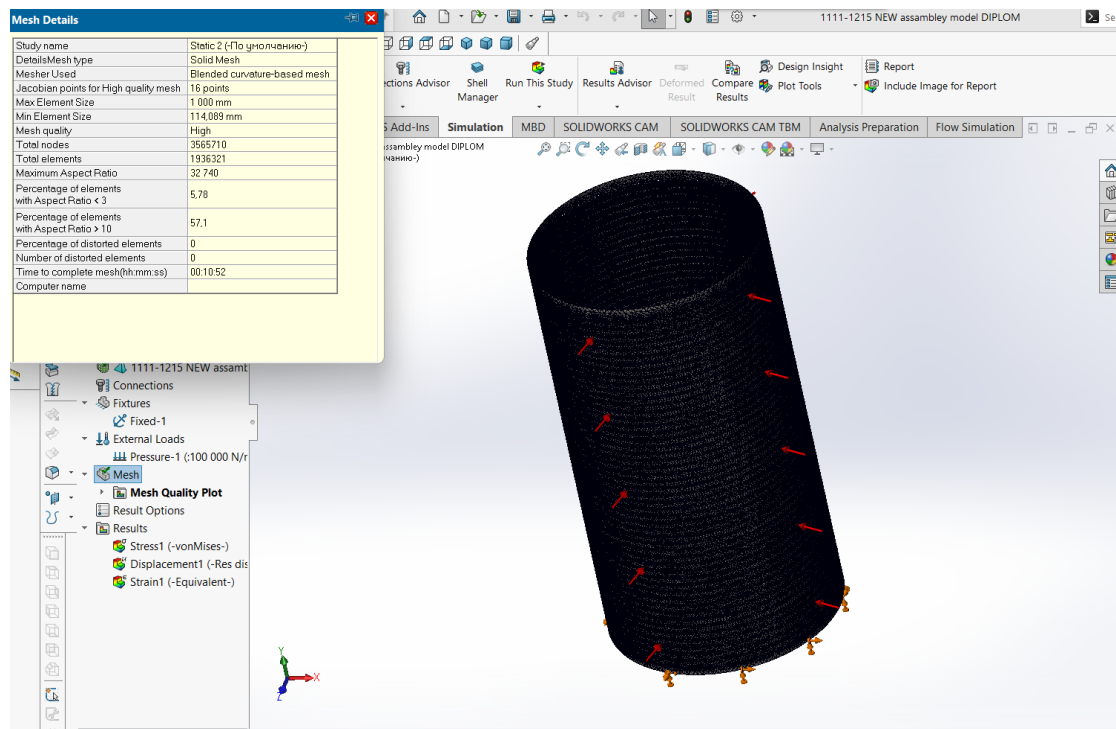


Рис. 6.2.5. Сітка скінченних елементів

Запускаю розрахунок, результати якого відображено на рис. 6.2.6-6.2.7. Встановлюю максимальні та мінімальні напруження (Stress 1) за допомогою команди «Show max/min annotation», а також виводжу результати для деформацій.

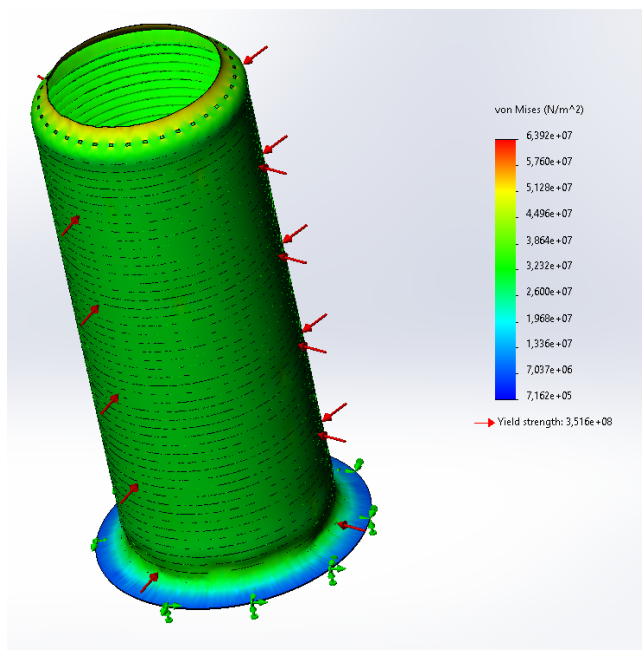


Рис. 6.2.7. Результати розрахунку: напруження за Мізесом

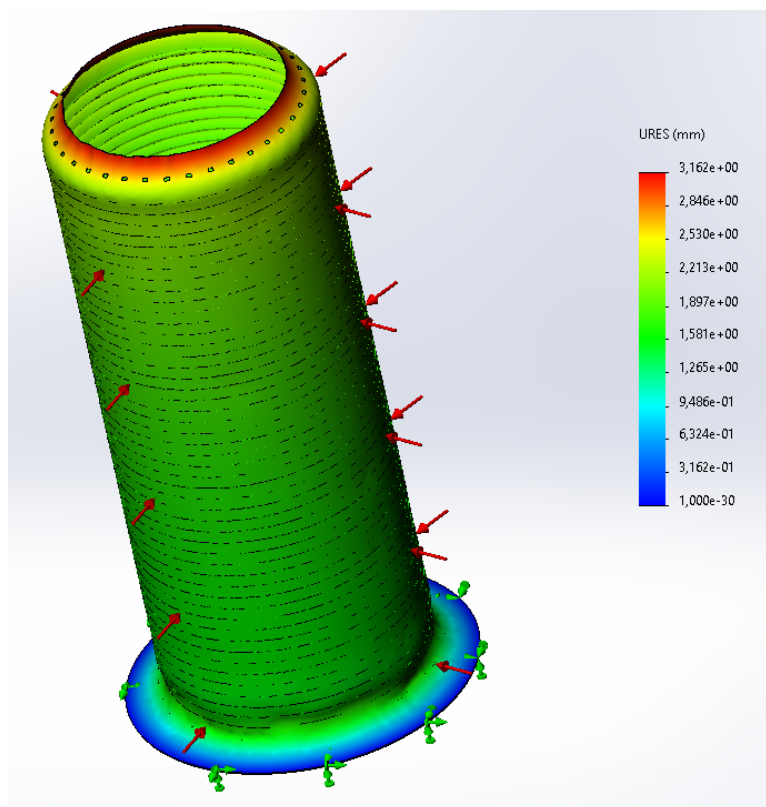


Рис. 6.2.8. Результати розрахунку: переміщення

Висновок

При виконанні магістерської роботи було виконано обробку статистичних даних по існуючих типах плавучих фундаментів під офшорні вітрові турбіни.

Також було проаналізовано стан ринку офшорної вітрової енергії у світі, прогнози її розвитку, виклики, з якими стикається ця молода галузь. Окремо було детально розглянуто стан досліджень офшорної вітроенергетики у Чорноморському регіоні, був взятий до уваги досвід країн-сусідів; досліджено можливості співпраці і спільних розробок.

Далі було проаналізовано потенціал цього типу енергії для України, за допомогою різних досліджень і спостережень, таких як EP-CFSR, ERA40, RCM та ін. Також за допомогою сервісу Global Wind Atlas я визначила найбільш ефективні ділянки для встановлення вітрових електростанцій, розміри і потужність турбіни, яку можна буде встановити на заданій ділянці. Ця програма спеціально розроблена, щоб допомогти визначити райони з сильними вітрами, придатні для вітрових турбін. В якості вхідних даних в використано дані реаналізу ERA5 за 2008-2017рр. Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF). В результаті процесу моделювання я отримала характеристики місцевого вітрового клімату з кроком сітки 250 м на п'яти висотах: 10 м, 50 м, 100 м, 150 м і 200 м над землею поверхнею. На цьому етапі я також мала змогу отримати такі характеристики швидкості вітру як середньорічне значення, індекси міжрічної, сезонної та добової мінливості швидкості вітру, середньорічна щільність вітрової потужності N_e , а також побудувала графіки залежності вихідної потужності вітрогенератора від швидкості вітру.

Наступним кроком, на основі вже існуючих аналізів, збору даних і розбору окремих випадків проєктування було розроблено концепт-дизайн майбутнього фундаменту під вітрову установку і виконано підбір

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальних основних розмірів фундаменту. Креслення загального розташування фундаменту створено у програмі Rhinoceros.

За результатами отриманих розмірів було створено 3D модель фундаменту у програмному комплексі Solidworks.

Результатом магістерської роботи є 3D модель офшорного вітрового фундаменту, що розроблена у програмі Solidworks і перевірена у модулі Solidworks Simulation.

Таким чином, оскільки Україна планує відбудовуватися після триваючого конфлікту, офшорна вітрова енергетика може стати вирішальним елементом на шляху країни до енергетичної незалежності та економічного відновлення. Маючи величезні території Чорного моря, які пропонують ідеальні умови для вітроенергетики, Україна має потенціал для використання відновлюваної енергії в таких масштабах, які могли б значно зменшити її залежність від викопного палива та імпортової енергії. Після війни цей сектор міг би залучити міжнародні інвестиції та відіграти ключову роль у зеленій трансформації України, тому подальші розробки у цій галузі необхідні.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Біла Книга 2021 Офшорна вітроенергетика та “зелений” водень: відкриття нових меж енергетичної потужності України. 2021. 16 с.
2. Морські ВЕС: як спіймати офшорний вітер у вітрила?. *Українська Енергетика*. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/morski-ves-iak-ukraini-spiimaty-ofshornyi-viter-u-svoi-vitryla> (дата звернення: 03.12.2024).
3. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text> (дата звернення: 03.12.2024).
4. Репетин Л., Белокопытов В. РЕЖИМ ВЕТРА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕГО КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ. *Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, г. Севастополь*. 2008.
5. Створено міжвідомчу робочу групу для реалізації документів щодо посилення захисту екосистеми та розвитку економіки Чорного моря – рішення Уряду. <https://mon.gov.ua>. URL: <https://mon.gov.ua/news/stvoreno-mizhvidomchu-robochu-grupu-dlya-realizatsii-dokumentiv-shchodo-posilennya-zakhistu-ekosistemi-ta-rozvitku-ekonomiki-chornogo-morya-rishennya-uryadu> (дата звернення: 03.12.2024).
6. Що таке ураган? Рейтинг найсильніших у світі. *Ukr.Media*. URL: <https://ukr.media/incidents/356832/> (дата звернення: 03.12.2024).
7. Black Sea Mixed Layer Sensitivity to Various Wind and Thermal Forcing Products on Climatological Time Scales. *AMETSOC*. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/18/24/jcli3573r2.1.xml> (date of access: 04.12.2024).

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.01	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. BSREC – Black Sea Renewable Energy Coalition. *BSREC – Black Sea Renewable Energy Coalition*. URL: <https://bsrec.eu/> (date of access: 11.12.2024).
9. BW Ideol unveils its standard floating foundation for mass production with a disruptive market approach. *Floating offshore wind | BW Ideol*. URL: <https://bw-ideol.com/en/bw-ideol-unveils-its-standard-floating-foundation-mass-production-disruptive-market-approach> (date of access: 23.12.2024).
10. Composite Monthly Mean Plot: NOAA Physical Sciences Laboratory. *Home: NOAA Physical Sciences Laboratory*. URL: <https://psl.noaa.gov/> (date of access: 02.12.2024).
11. Contributors to Wikimedia projects. Tension-leg platform - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Tension-leg_platform (date of access: 03.12.2024).
12. Contributors to Wikimedia projects. VoltturnUS - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/VoltturnUS> (date of access: 09.10.2024).
13. Coupled MBS-CFD Simulation of the IDEOL Floating Offshore Wind Turbine Foundation Compared to Wave Tank Model Test Data / F. Beyer et al. *International Ocean and Polar Engineering Conference*. 2015.
14. Czyżak D. P., Rangelova K. A breath of fresh air: Offshore wind in Bulgaria. 2024. P. 12.
15. Description of an 8 MW reference wind turbine / C. Desmond et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol. 753. P. 092013. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/753/9/092013> (date of access: 23.12.2024).
16. Divinsky B. V., Kosyan R. D. Climatic trends in the fluctuations of wind waves power in the Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2020.

					19.ДРМ.135.6116М.ПЗ.01	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Vol. 235. P. 106577. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106577> (date of access: 23.12.2024).
17. *Documents & Reports - All Documents | The World Bank*. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/709391586844502062/pdf/Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Ukraine-Map.pdf> (дата звернення: 04.12.2024).
18. ECMWF Reanalysis - 40 years. *ECMWF*. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-40-years> (date of access: 05.12.2024).
19. ECO TLP floating wind solution gains ABS approval. *Marine Log*. URL: <https://www.marinelog.com/news/eco-tlp-floating-wind-solution-gains-abs-approval/> (date of access: 20.11.2024).
20. El Hadri Y., Berlinsky N., Slizhe M. РОЗВИТОК МОРСЬКОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЯК КРОК ДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ. *МОРСЬКА БЕЗПЕКА БАЛТО-ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ: ВИКЛИКИ ТА ЗАГРОЗИ*, м. Одеса, 10 груд. 2024 р.
21. Emanuel C. Ukraine's offshore wind potential: A vision for the post-war future. *4coffshore*. URL: <https://www.4coffshore.com/news/ukraine92s-offshore-wind-potential--a-vision-for-the-post-war-future-nid30447.html> (date of access: 02.12.2024).
22. Energy Policy Group (EPG), Dunărea de Jos University of Galați. Romania's Offshore Wind Energy Resources: Natural potential, regulatory framework, and development prospects. Bucharest, 2020. 42 p.
23. EUROPA: The Black Sea countries are preparing for offshore wind farms / What is Romania's position compared to the main Black Sea competitors Bulgaria, Ukraine and Turkey – Windpower Monthly - ENERGY WORLD - ROMANIA. *ENERGY WORLD - ROMANIA - Media Platform for Energy & Infrastructures in Southeast Europe & East Med*. URL: <https://energyworld.ro/2024/06/03/europa-the-black-sea-countries-are->

					19.ДРМ.135.6116М.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

[preparing-for-offshore-wind-farms-what-is-romanias-position-compared-to-the-main-black-sea-competitors-bulgaria-ukraine-and-turkey-windpower-monthly/](#) (date of access: 04.12.2024).

24. Evolution of floating offshore wind platforms: A review of at-sea devices / E. C. Edwards et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. Vol. 183. P. 113416. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113416> (date of access: 23.12.2024).
25. First Offshore Wind Energy Tenders in Romania | REVE News of the wind sector in Spain and in the world. *REVE News of the wind sector in Spain and in the world*. URL: <https://www.evwind.es/2023/02/15/first-offshore-wind-energy-tenders-in-romania/90242> (date of access: 13.11.2024).
26. First Offshore Wind Project Announced for Bulgaria to Use Floating Wind Technology and Power Gas Platform. *Offshore Wind*. URL: <https://www.offshorewind.biz/2023/01/25/first-offshore-wind-project-announced-for-bulgaria-to-use-floating-wind-technology-and-power-gas-platform/> (date of access: 03.12.2024).
27. Floating Offshore Substructures: GICON Advanced Environmental Technologies GmbH. *Startseite: GICON Advanced Environmental Technologies GmbH*. URL: <http://www.gaet.gicon.com/en/products-services/floating-offshore-substructures.html> (date of access: 04.12.2024).
28. Floating offshore wind. *Equinor: energising the world, empowering people*. - *Equinor*. URL: <https://www.equinor.com/energy/floating-wind> (date of access: 16.10.2024).
29. Global Wind Atlas. *Global Wind Atlas*. URL: <https://globalwindatlas.info/en/> (date of access: 07.12.2024).
30. Global Wind Energy Council. | GLOBAL OFFSHORE WIND REPORT 2024. Brussels, Belgium, 2024. 156 p.
31. IRENA. Floating offshore wind outlook. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2024. 102 p.

					19.ДРМ.135.6116М.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

- 32.Key Factors for Successful Development of Offshore Wind in Emerging Markets. *International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*.
URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/343861632842395836/pdf/Key-Factors-for-Successful-Development-of-Offshore-Wind-in-Emerging-Markets.pdf> (date of access: 12.12.2024).
- 33.Mapping Ukraine's ecologically important areas - CEOBS. *CEOBS*.
URL: <https://ceobs.org/mapping-ukraines-ecologically-important-areas/> (date of access: 11.12.2024).
- 34.May D. Tri Floater Floating Offshore Wind Turbine Foundation Brochure | PDF | Offshore Wind Power. *Scribd*.
URL: <https://www.scribd.com/document/654799971/Tri-Floater-Floating-Offshore-Wind-Turbine-Foundation-Brochure> (date of access: 01.12.2024).
- 35.NAUTILUS-DTU10 MW Floating Offshore Wind Turbine at Gulf of Maine: Public numerical models of an actively ballasted semisubmersible / J. Galván et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1102. P. 012015. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1102/1/012015> (date of access: 23.12.2024).
- 36.NAUTILUS floating structure for offshore wind. *EERA - European Energy Research Alliance*. URL: http://app.eera-set.eu/ecm/showcase/JP_EERAJPWIND_2614_NAUTILUS_floating_structure_for_offshore_wind (date of access: 04.10.2024).
- 37.Nautilus | We design offshore wind floating solutions. *Nautilus*.
URL: <https://www.nautilusfs.com/> (date of access: 25.11.2024).
- 38.New England Aqua Ventus will launch first US floating offshore wind turbine In 2023/24. *American Journal of Transportation | AJOT.COM*.
URL: <https://www.ajot.com/insights/full/ai-new-england-aqua-ventus-will-launch-first-us-floating-offshore-wind-turbine-in-2024> (date of access: 16.10.2024).

					19.ДРМ.135.6116М.ПЗ.01	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

39. News - Floating wind power - Eolink. *Eolink*.
URL: <https://eolink.fr/en/news-en> (date of access: 03.12.2024).
40. Non-Linear Motion Characteristics of a Shallow Draft Cylindrical Barge Type Floater for a FOWT in Waves / H. Suzuki et al. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9, no. 1. P. 56.
URL: <https://doi.org/10.3390/jmse9010056> (date of access: 23.12.2024).
41. Not if but when: Turkey 'could hold offshore wind auction in 2025'. *Riviera*. URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/turkey-could-hold-offshore-wind-auction-in-2025-71627> (date of access: 04.12.2024).
42. O'Brian H. Analysis: Black Sea countries gear up for offshore wind. *Wind power business, technology & policy | Windpower Monthly*.
URL: <https://www.windpowermonthly.com/article/1873842/analysis-black-sea-countries-gear-offshore-wind> (date of access: 23.12.2024).
43. Offshore wind potential in the Bulgarian Black Sea. *Blue Cluster - Network of innovative organizations in the sustainable blue economy*.
URL: <https://www.bluecluster.be/news/offshore-wind-potential-in-the-bulgarian-black-sea> (date of access: 02.12.2024).
44. Projects: WindFloat Japan - Principle Power, Inc. *A planet powered by floating offshore wind - Principle Power*.
URL: <https://www.principlepower.com/projects/windfloat-japan> (date of access: 23.10.2024).
45. REKK with the support of EPG. Modelling of the Romanian electricity sector 2025-2040. 2024. 37 p.
46. Romania Issues Offshore Wind Roadmap. *Offshore Wind*.
URL: <https://www.offshorewind.biz/2024/09/27/romania-issues-offshore-wind-roadmap/> (date of access: 21.11.2024).
47. Subsea 7 buys into Spanish floating wind specialist. *Subsea 7 buys into Spanish floating wind specialist*.

					19.ДРМ.135.6116М.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

- URL: <https://brazilenergyinsight.com/2021/08/02/subsea-7-buys-into-spanish-floating-wind-specialist/> (date of access: 03.10.2024).
- 48.Sunny Short: Unlocking Offshore Wind Energy Potential in the Black Sea - CAN Europe. *CAN Europe*. URL: <https://caneurope.org/wind-energy-black-sea/> (date of access: 27.11.2024).
- 49.Switching the Gears of Decarbonisation / K. Rangelova et al. 2021. 52 p.
- 50.The World Bank. OFFSHORE WIND ROADMAP FOR ROMANIA. Washington DC, 2024. 220 p.
- 51.Tian H., Soltani M. N., Nielsen M. E. Review of floating wind turbine damping technology. *Ocean Engineering*. 2023. Vol. 278. P. 114365. URL: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114365> (date of access: 23.12.2024).
- 52.Trends in floating offshore wind platforms: A review of early-stage devices / E. C. Edwards et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 193. P. 114271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114271> (date of access: 23.12.2024).
- 53.Tri Floater. *Global Energy Services | Oilfield Equipment & Technologies | NOV*. URL: <https://www.nov.com/products/tri-floater-floating-offshore-wind-turbine-foundation> (date of access: 25.10.2024).
- 54.Turkey Identifies Three Offshore Wind Development Zones, Starts Working Towards Auction. *Offshore Wind*. URL: <https://www.offshorewind.biz/2023/06/12/turkey-identifies-3-offshore-wind-development-zones-starts-working-towards-auction/> (date of access: 04.12.2024).
- 55.UKRAINE’S GOVERNMENT SETS TARGET FOR 6.1 GW OF WIND POWER BY 2030 AND ANNOUNCES PILOT RES AUCTION DATES. *UWEA*. URL: <https://uwea.com.ua/en/news/entry/uryad-ukranyi-vstanoviv-cl-z-dosyagnennya-61-gvt-vtroenergetichno-potuzhnost/> (date of access: 02.12.2024).

					19.ДРМ.135.6116М.ПЗ.01	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

56. University of Maine, National Renewable Energy Laboratory. Definition of the UMaine VoltturnUS-S Reference Platform Developed for the IEA Wind 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine. Denver West Parkway : National Renewable Energy Laboratory, 2020. 41 p.
57. Vestas V164-8.0 - 8,00 MW - Wind turbine. *Welcome to wind-turbine-models.com*. URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/318-vestas-v164-8.0> (date of access: 11.12.2024).
58. Voltturnus - Advanced Structures & Composites Center - University of Maine. *Advanced Structures & Composites Center*. URL: <https://composites.umaine.edu/offshorewind/voltturnus/> (date of access: 09.10.2024).
59. Windfloat Atlantic project. *edp.com*. URL: <https://www.edp.com/en/innovation/windfloat> (date of access: 10.10.2024).
60. WPD plans 1.9GW in Black Sea off Romania. *reNEWS - Renewable Energy News*. URL: <https://web.archive.org/web/20240126040120/https://renews.biz/75301/wpd-plans-19gw-in-black-sea-offshore-romania/> (date of access: 20.11.2024).
61. yann.lefrancois. Hexafloat Concept. *Genially*. URL: <https://view.genially.com/5fa0114a8519011e966a725e/interactive-image-hexafloat-concept> (date of access: 03.12.2024).