

*Бондаренко О.В., Бойко А.П., канд. техн. наук, доценти,*

*Хізніченко Ю.Р., студентка,*

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова*

## **ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ СУДЕН ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

УДК 629.5.01

Характерною рисою сучасності є інтенсивний пошук та застосування альтернативних джерел енергії. Одним із перспективних напрямків є використання енергії вітру в шельфовій зоні. Як свідчать статистичні дані [1, 2] станом на початок 2013 р. у світі загальна потужність шельфових вітроенергетичних парків (ВЕП) становить 5410 МВт (табл. 1).

*Таблиця 1*

### **Статистичні дані по загальній потужності шельфових ВЕП світу**

Країна	Загальна потужність, МВт				
	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.
Великобританія	574,0	882,8	1341,2	2093,6	2947,9
Данія	426,6	639,2	853,7	874,3	921,1
Нідерланди	246,8	246,8	246,8	246,8	246,8
Бельгія	30,0	30,0	195,0	195,0	379,5
Швеція	134,0	163,7	163,7	163,7	163,7
Китай	2,0	11,0		262,6	389,6
Германія	12,0	42,0	92,0	200,3	280,3
Фінляндія	24,0	24,0	26,3	26,3	26,3
Ірландія	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
Японія	1,0	1,0		25,2	25,3
Португалія				2,0	2,0
Норвегія	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Усього	1491,6	2068,0	2946,0	4117,3	5410,0

Використання енергії вітру пов'язано не тільки з певними капіталовкладеннями, але й з побудовою нових типів суден. Так, при споруджені та введенні в експлуатацію парку вітроенергетичних установок застосовуються наступні основні типи суден:

- для монтування: самопідймальні баржі, спеціально спроектовані самопідймальні монтувальні судна, напівпогружні платформи, судна для перевезення важких вантажів та плавучі крани;
- для проведення кабелю: судна каблеукладчики;
- для обслуговування, проведення ремонту та техогляду: судна для перевезення обслуговуючого персоналу, універсальні судна.

На етапі експлуатації ВЕП потрібні судна для доставки ремонтних бригад (СДРБ). Цей тип суден є досить новим і постійно розвивається. При їх проектуванні виникає досить багато питань, які потрібно вирішувати. Одним із них було питання класу судна: швидкісне, пасажирське чи інше і які Правила класифікації та побудови потрібно застосовувати при проектуванні та побудові.

Аналіз характеристик цих суден показує, що у більшості випадків вони є швидкісними (20–30 вузл). І це не зважаючи на досить невеликі відстані від пункту базування (на даний час більшість парків вітроенергетичних установок побудовано на відстані до 20 км від берега – табл. 2). Виникає питання доцільності та оцінювання економічної ефективності таких швидкостей.

Таблиця 2

**Статистичні дані по ВЕП**

Проект	Країна	Рік початку експл.	Потужність, МВт	ВЕК (кількість, тип)	Глибина, м	Відстань від берега, м	Інвестиції, млн, євро
Vindeby	Данія	1991	4,95	11 × Bonus 450 кВт	3 – 5	1,5	10,25
Lely (Ijssel Lake)	Нідерланди	1994	2	4 × NedWind 500 кВт	5 – 10	0,75	4,5
Tuno Knob	Данія	1995	5	10 × Vestas V39 / 500 кВт	3 – 5	6	10,4
Dronten (Ijssel Lake)	Нідерланди	1996	16,8	28 × Nordtank 600 кВт	5	0,02	20,5
Bockstigen	Швеція	1997	2,75	5 × Wind World 550 кВт	5,5 – 6,5	4	4,7
Utgrunden	Швеція	2000	10,5	7 × Enron Wind 1,5 МВт	8 – 10	8	13,9
Blyth	Англія	2000	4	2 × Vestas V66 / 2 МВт	8,5	1	6,32
Middelgrunden	Данія	2000	40	20 × Bonus 2 МВт	4 – 8	2	51,3
Yttre Stengrund	Швеція	2001	10	5 × NEG Micon 72 / 2 МВт	7,5 – 8,6	5	13
Horns Rev	Данія	2003	160	80 × Vestas V80 / 2 МВт	6 – 14	14 – 20	300
Samsø	Данія	2003	23	10 × Bonus 2,3 МВт	11 – 18	2,5	35

Продовження табл. 2

Frederikshavn	Данія	2003	10,6	2 × Vestas V90 / 3 MW, 1 × Bonus 2,3 МВт, 1 × Nordex N90 / 2,3 МВт	1	0,5	
Nysted	Данія	2003	165,6	72 × Bonus 2,3 МВт	6 – 10	9	268,8
Frederikshavn	Данія	2003	10,6	2 × Vestas V90 / 3 MW, 1 × Bonus 2,3 МВт, 1 × Nordex N90 / 2,3 МВт	1	0,5	
Arklow Bank	Ірландія	2003	25,2	7 × GE 3,6 МВт	2 – 5	12	
North Hoyle	Англія	2003	60	30 × Vestas V80 / 2 МВт	8 – 12	7 – 8	105,7
Emden	Германія	2004	1	1 × Enercon E-112, 4,5 МВт	3	0,01	
Scroby Sands	Англія	2004	60	30 × Vestas V80 / 2 МВт	2 – 12	2	107,1
Alpha Ventus	Германія	2009	60	6 × Multibrid M5000 / 6 × Repower 5M, 5 МВт	33	45	250
Robin Rigg	Англія	2010	180	60 × Vestas V90, 3 МВт	9	10	420
Rodsand 2	Данія	2010	207	90 × Siemens 2,3-93, 2,3 МВт	10	4	400
BARD Offshore I	Данія	2012	400		39 – 41	101	
London Array	Англія	2013	630	175 × Siemens, 3,6 МВт	25	22	2200
Karehamn	Швеція	2013	48	16 × Vestas V112, 3 МВт	21	5	120
Amrumbank West	Германія	2015	288	80 × Siemens, 3,6 МВт	25	35	1000
Humber Gateway	Англія	2015	219	73 × Vestas V112, 3 МВт	17	8	830

Тому для проектування СДРБ необхідно вирішити задачу синтезу, яку можна сформулювати наступним чином:

знайти екстремум  $f(x)$

за умов  $g(x) \geq 0$ ,  $h(x) = 0$ ,

де  $x = (x_1, \dots, x_n) \in X$  – вектор незалежних змінних;  $X$  – простір параметрів,  $f(x)$  – критерій оптимізації;  $g(x) = [g_1(x), \dots, g_p(x)]$  – обмеження у вигляді нерівностей,  $h(x) = [h_1(x), \dots, h_q(x)]$  – обмеження рівності.

При цьому визначенню підлягають головні розміри суден, кількість персоналу, швидкість руху та вантажопідйомність (вектор  $X$ ). В цілому задача синтезу зводиться до оптимізаційної задачі нелінійного програмування.

Для розв'язання даної задачі авторами пропонується застосувати оригінальний підхід, суть якого наступна. В спеціально розробленому програмному продукті на карті відтворюється схема розташування парку ВЕП згідно географічних координат. Далі парк вітроенергетичних установок розглядається як складна система, яка потребує обслуговування. Замовлення на виїзд ремонтних бригад є випадковими числами і моделюються за допомогою датчиків випадкових чисел (вказується номер відповідної установки). Далі визначається відстань, яку потрібно пройти судну і експлуатаційні витрати, пов'язані з цим переходом. Процес моделювання відтворюється протягом певного періоду і розраховуються економічні показники ефективності судна. Таким чином, даний модуль використовується в задачі синтезу для отримання значення критерію оптимізації.

Наступною складовою методики є математична модель визначення проектних характеристик судна. Аналіз по СДРБ показав, що для доставки ремонтних бригад використовуються різноманітні типи суден: однокорпусні, катамарани, тримарани, судна з малою площею ватерлінії, судна змінної осадки. І пошуки нових типів тривають. Все це пов'язано з особливостями їх експлуатації. Але найбільшою популярністю користуються судна катамаранного типу.

Тому авторами була розроблена математична модель катамарану для доставки ремонтних бригад на вітроенергетичні установки. В даній моделі визначаються основні технічні показники судна: головні розміри, потужність енергетичної установки, навантаження мас, початкова остійність, остійність на великих кутах крену, морехідність.

**Висновки.** Таким чином, для вирішення задачі синтезу було розроблено модель функціонування та модель визначення проектних характеристик. В результаті розв'язання розглянутої задачі синтезу з використанням вказаних вище моделей отримуються оптимальні головні елементи суден для обслуговування парку вітроенергетичних установок.

**Список літератури.** 1. The European offshore wind industry – key trends and statistics 2012. January 2013 [Електронний ресурс] // A report by the European Wind Energy Association. – 31 p. – Режим доступу: [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/European\\_offshore\\_statistics\\_2012.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/European_offshore_statistics_2012.pdf). 2. Global wind statistics 2012 [Електронний ресурс] // Global Wind Energy Council. – 4 p. – Режим доступу: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2013/02/GWEC-PRstats-2012\\_english.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2013/02/GWEC-PRstats-2012_english.pdf).