

АНАЛІЗ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СУДЕН ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Бондаренко О.В.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

Зібрано статистичні дані щодо суден для доставки персоналу на шельфові вітроенергетичні установки (WFSV). Визначено основні архітектурно-конструктивні типи WFSV, вказано на основні вимоги, які необхідно враховувати при проектуванні суден даного типу. Отримано залежності для визначення основних характеристик WFSV на початкових етапах їх проектування.

Ключові слова: катамаран, WFSV, основні характеристики, аналіз, вітроелектропарк.

Постановка проблеми. Нагальною проблемою сучасності є пошук ефективних відновлювальних джерел енергії. У багатьох країнах світу, які мають значну протяжність берегової лінії з невеликими глибинами активно стали використовувати шельфові вітроелектропарки (ВЕП). Станом на кінець 2014 року загальна потужність таких ВЕП у світі становила 8759 МВт [1].

Розвиток шельфової вітроенергетики привів до створення нового типу судна – судна для доставки обслуговуючого персоналу, або Wind farm service (support) vessel (WFSV) за термінологією, яка прийнята в англійській літературі. Хоча, заради справедливості, слід сказати, що даний тип суден дещо схожий на судна для доставки персоналу на бурові платформи. Проте специфіка експлуатації WFSV має багато відмінностей і, тому, можна говорити про їх новизну. Виходячи з новизни суден даного типу, актуальною є задача узагальнення досвіду їх проектування та побудови й отримання статистичних залежностей для визначення головних розмірів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що незважаючи на значний інтерес до побудови суден типу WFSV, практично відсутні наукові роботи, які присвячено питанню вибору головних розмірів цих суден. Деякі дані про алгоритм визначення ефективності та процес проектування WFSV можна знайти в [2, 3]. Таким чином можна зробити висновок, що питання вибору проектних характеристик суден для доставки обслуговуючого персоналу на вітроенергетичні турбіни шельфових вітропарків є мало вивченим і потребує свого вирішення.

Мета роботи – отримання статистичних залежностей для визначення головних розмірів суден, для доставки обслуговуючого персоналу шляхом вивчення та узагальнення досвіду їх проектування та побудови.

Викладення основного матеріалу дослідження. Архітектурно-конструктивний тип суден для доставки обслуговуючого персоналу на шельфові вітроенергетичні парки сформувався згідно з основними функціями, які вони виконують на етапі експлуатації ВЕП: доставка обслуговуючого персоналу та його інструменту, матеріалів, обладнання, запасних частин та інших вантажів до турбін; проведення інспекційних заходів; виконання водолазних і профілактичних робіт, очищення колон турбін.

Також дані судна можуть бути пристосовані для перевезення палива для генератора ВЕП.

Крім цих функцій, WFSV на етапі монтажу ВЕП використовуються для забезпечення робіт суден-кабелеукладчиків, підтримки водолазних операцій.

Враховуючи вказані задачі та специфіку експлуатації WFSV, при проектуванні суден даного типу необхідно враховувати наступні ключові фактори [4]:

– погодно-метеорологічні умови в районі експлуатації (висота хвиль, швидкість вітру, частота та тривалість штормів);

- розташування ВЕП і місця базування суден, оскільки відстань між ними визначає час роботи обслуговуючого персоналу та тривалість доставки персоналу до турбіни, яка потребує ремонту;
- глибини в районі місця розташування ВЕП.
- маневреність для забезпечення швидкого та безпечного руху між турбінами вітроелектропарку;
- комфортність і безпека висадки обслуговуючого персоналу;
- мобільність, тобто можливість використання суден для виконання різноманітних задач.

Статистичний аналіз зібраних даних показав, що близько 91 % побудованих суден типу WFSV розраховано на перевезення 12 осіб обслуговуючого персоналу (рис. 1). Це пояснюється існуючою в міжнародних класифікаційних товариствах нормою до визначення пасажирського судна (більше 12 пасажирів). Проте введення у 2011 році, спеціально розроблених для даного типу суден правил, дало змогу проєктантам будувати WFSV з більшою кількістю персоналу та при цьому не забезпечувати виконання вимог, які висуваються до пасажирських суден.

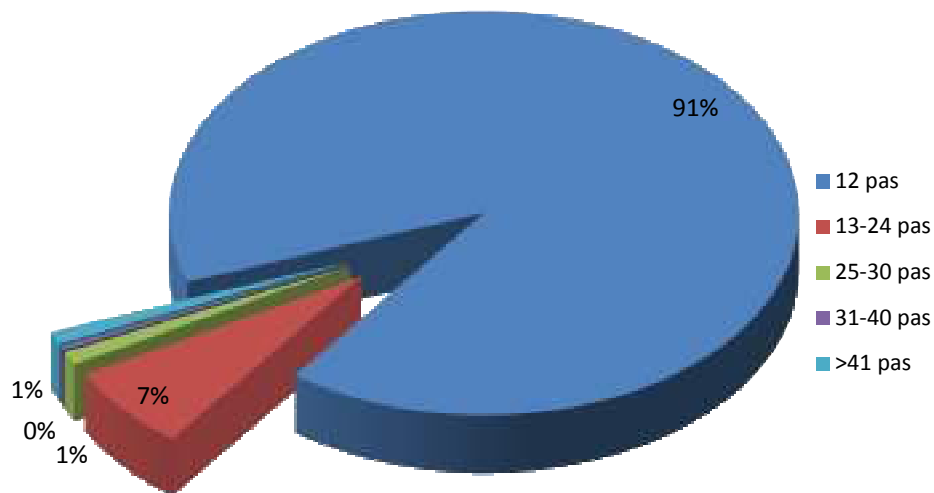


Рисунок 1 – Статистичні дані по кількості обслуговуючого персоналу

Як видно з рис. 2 основними матеріалами корпусу, які використовуються при побудові WFSV, є алюмінієво-магнієві сплави (Aluminium) і склопластик (GRP). Це пояснюється великою швидкістю руху та намаганням проєктантів зменшити загальну потужність головних двигунів за рахунок маси судна. У більшості випадків сталь (Steel) використовувалася на перших WFSV даного типу, які були переобладнані зі звичайних малих або риболовних суден.

Для вже побудованих суден типу WFSV характерними рисами є невелика дальність плавання (до 800 миль), водотоннажність (до 100 т) і велика експлуатаційна та максимальна швидкість руху (рис. 3). Значна швидкість руху пояснюється намаганням проєктантів зменшити час доставки персоналу до місця ремонту. Це дає змогу збільшити тривалість роботи персоналу, оскільки за правилами техніки безпеки виконання ремонтних робіт допускається тільки у світлий час.

На дальність плавання за запасами палива в першу чергу впливає віддаленість ВЕП від бази дислокації WFSV. Оскільки більшість побудованих ВЕП розташована близько до берега, то і дальність плавання суден для доставки персоналу не перевищує 800 миль, проте в окремих WFSV доходить до 1200 миль і більше.

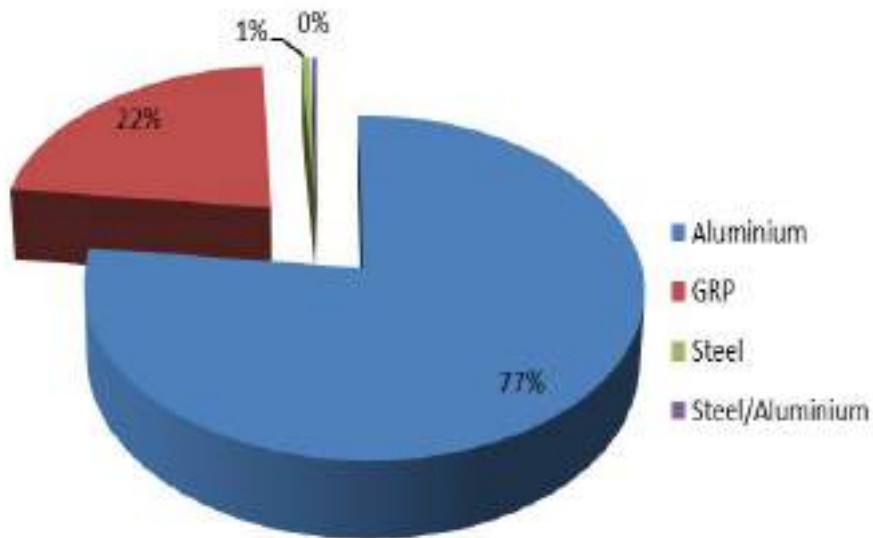


Рисунок 2 – Розподіл суден за матеріалом корпусу та надбудови

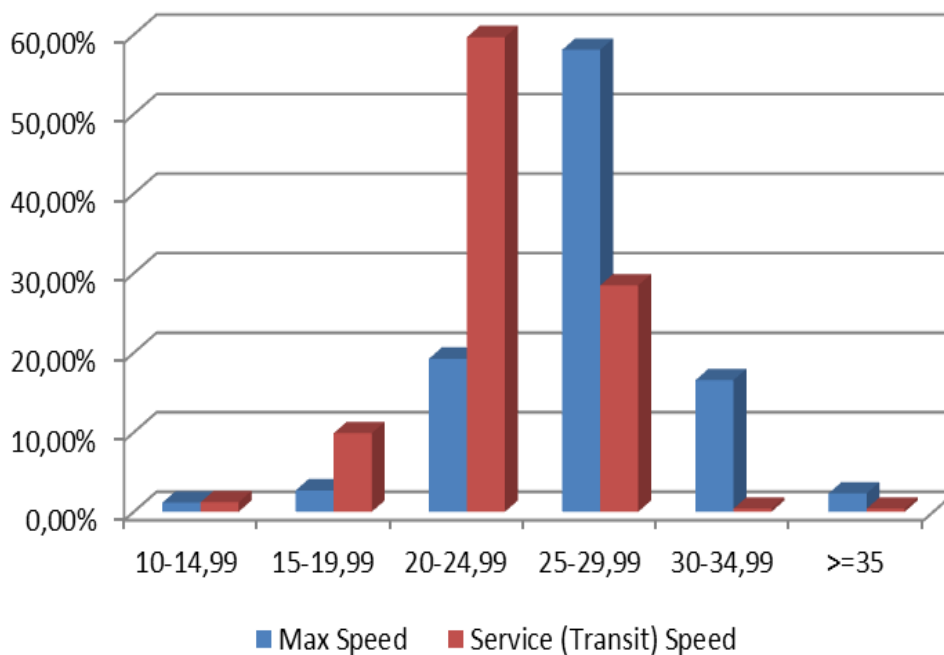


Рисунок 3 – Розподіл суден за швидкістю руху

Статистичний аналіз даних WFSV показав, що основними типами рушіїв є гвинти фіксованого та регульованого кроку (53 %), водомети (45 %) та IPS (2 %). Дуже часто інженерами розробляються універсальні проекти суден, на яких передбачено можливість установки гвинтів або водометів у залежності від побажань замовника.

Значна увага при розробці проектів WFSV приділяється забезпеченню безпеки та комфорту персоналу на борту судна. Це пов'язано з необхідністю недопущення виникнення «морської хвороби» та значних перевантажень від хитавиці. До основних заходів, які направлені на покращення умов перебування обслуговуючого персоналу на борту суден, у першу чергу слід віднести: застосування спеціальних крісел на амортизуючих підвісках, системи заспокоєння хитавиці (інтерцепторів, T-foils) та рубок, що спеціально змонтовані на амортизаторах.

Основним способом переміщення персоналу з WFSV на вітряну турбіну є перехід з носової частини судна на вертикальний трап, який встановлено на турбіні «bump and jump»). При цьому судно носовою частиною впирається в турбіну. Тому головною

конструктивною особливістю WFSV є наявність носового кранця спеціальної форми (рис. 4) та перехідного містка. Останнім часом на WFSV встановлюють спеціальні передаточні системи різних типів Turbine Access System, Amplemann, Maxcess and Houlder TAS, MOTS access system. Застосування таких систем дає можливість проводити висадку обслуговуючого персоналу при більшій висоті хвиль, підвищити безпеку персоналу та збільшити так зване «трансферне вікно».

Для забезпечення можливості проведення водолазних робіт з підводним апаратом палуба обладнується днищевою шахтою.



а



б

Рисунок 4 – Носовий кранець (а) і перехідний місток (б)

Ще однією конструктивною особливістю суден даного типу WFSV є наявність відкритих і вільних від обладнання площадок, на яких перевозяться вантажі масою від 1 до 50 т (запчастини, інструмент, обладнання, контейнери). Також є судна з кормовими, або носовими та кормовими палубними площадками. Загальна площа таких площадок може бути визначена за наступною формулою:

$$A = 0,3233(L_{oa} B)^{1,0418},$$

де L_{oa} , B – відповідно довжина та ширина судна найбільша, м.

Із вантажних пристроїв на судах у носовій або кормовій частинах можуть бути встановлені вантажні крани, в переважній більшості, вантажопідйомністю до 5 т (рис. 5).

Рубка на судах типу WFSV може виконуватися в наступних варіантах: Forward Deckhouse, Raised Pilot House, Flying Bridge, High Bridge.

В останні роки перевага надається двохярусній рубці High Bridge, оскільки такий варіант забезпечує найкращу видимість носової площадки, що особливо важливо при висадці персоналу на турбіну.

Значні зусилля при розробці проектів суден типу WFSV направлено на підвищення їх ефективності. Одним із шляхів такого підвищення за рахунок зменшення витрат палива та покращення морехідності судна є застосування різноманітних форм корпусу: monohull, катамаранів, суден з малою площею ватерлінії (SWATH), тримаранів, TriSWATH, Variable draft (S-cat, XSS – Extreme Semi-SWATH), wave piercing (WP), Twin Axe, Z bow, HYSUCAT foil тощо (рис. 6).

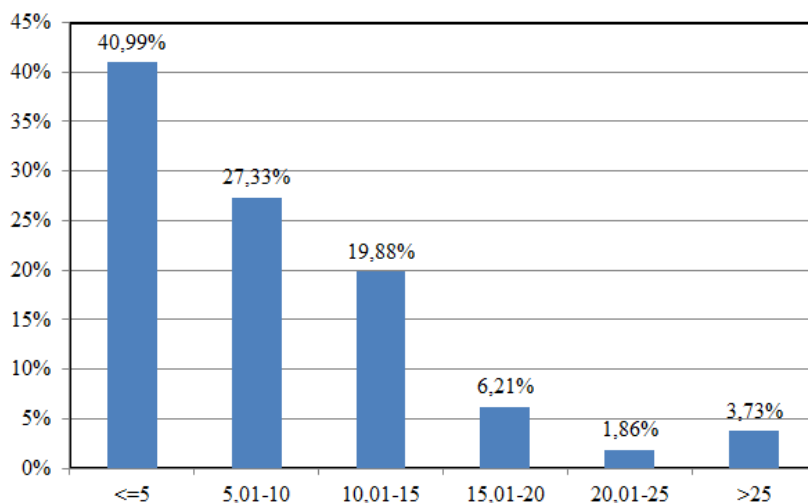


Рисунок 5 – Розподіл WFSV за вантажопідйомністю кранів



а



б



в



г

Рисунок 6 – Форми корпусу WFSV:

а – моноhull; б – SWATH; в – катамаран; г – тримаран

Статистична обробка зібраних даних показала, що більше 85 % WFSV є катамаранами (рис. 7). Тому регресійний аналіз головних розмірів виконано саме для WFSV катамаранного типу.

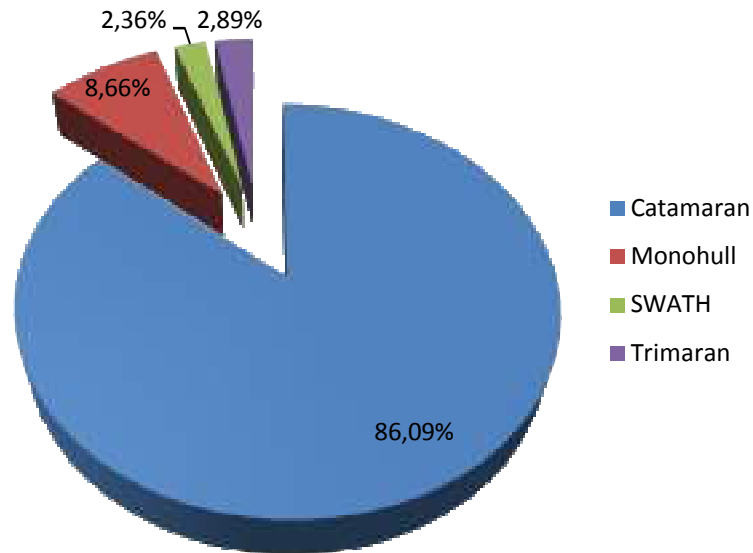


Рисунок 7 – Розподіл суден за формами корпусу

Як свідчать статистичні дані переважна більшість суден для доставки обслуговуючого персоналу експлуатуються з числами Фруда більше 0,8, тому характерною формою корпусу катамаранів є гостроскулі обводи, які застосовуються для $F_{N,L} > 0,75$. Серед великого різноманіття форм обводів WFSV катамаранного типу, в першу чергу, слід відзначити судна з симетричними (рис. 8), асиметричними корпусами та корпусами типу «split hull» (рис. 9).

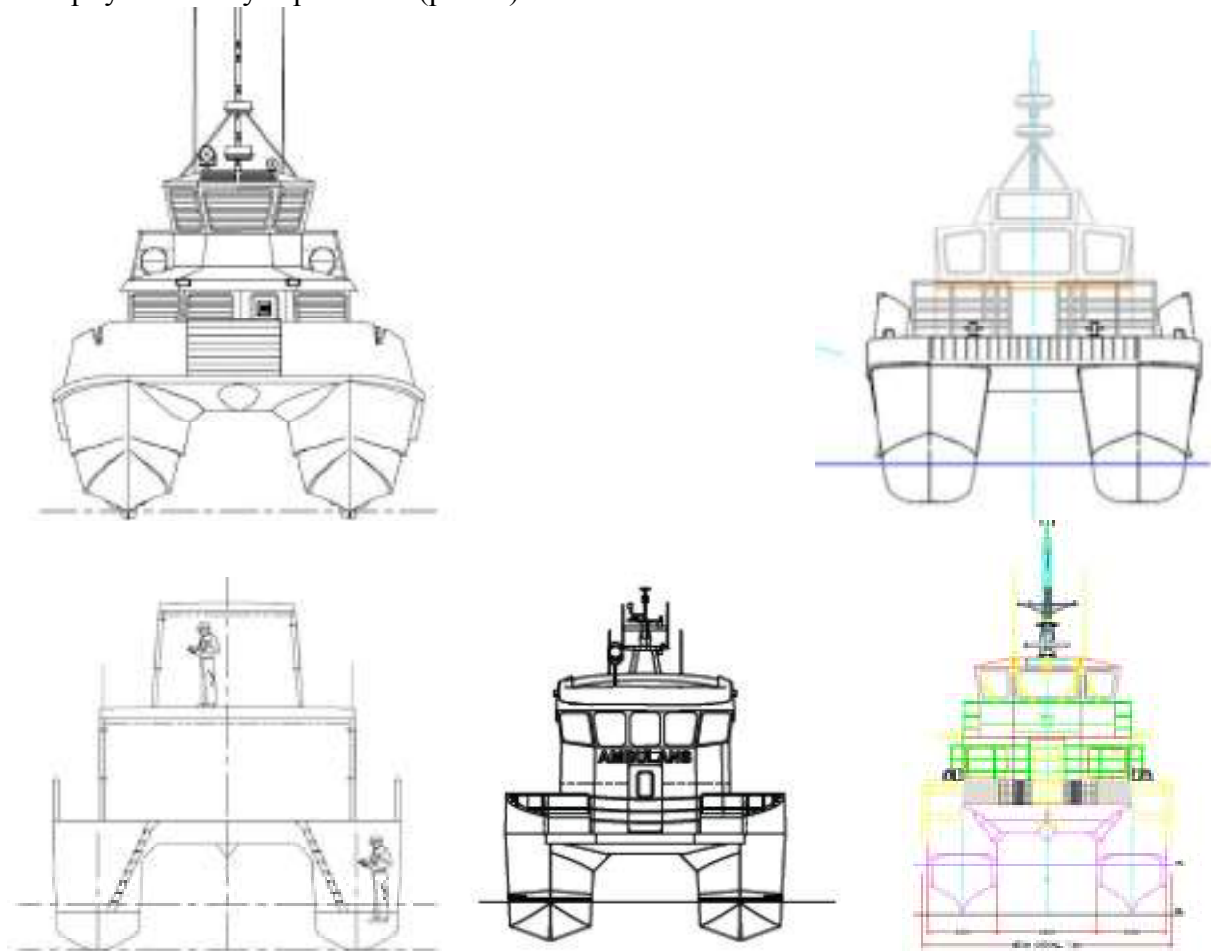


Рисунок 8 – Різні форми симетричних обводів катамаранів типу WFSV

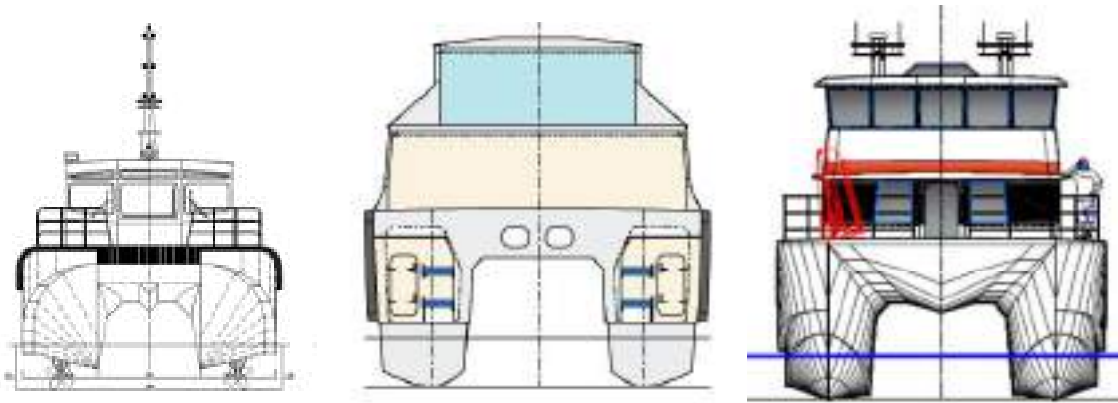


Рисунок 9 – Різні форми асиметричних обводів катамаранів типу WFSV

Рекомендації щодо вибору тієї чи іншої форми обводів катамаранів можна знайти в роботі [5].

При виборі параметрів форми корпусу катамарану дуже важливо правильно визначити відношення довжини судна до ширини одного корпусу, величину горизонтального та вертикального кліренсу, оскільки саме вони впливають на опір, потужність головного двигуна та морехідність. Статистична обробка даних WFSV катамаранного типу дала можливість запропонувати наступні формули для попереднього розрахунку:

– відношення довжини до ширини одного корпусу катамарана

$$\frac{L}{B_1} = 0,5265L_{oa} - 0,4059;$$

– величини горизонтального кліренсу в залежності від довжини судна найбільшої

$$B_{CL} = 0,4039 - 0,0088L_{oa};$$

– величини горизонтального кліренсу в залежності від довжини судна найбільшої

$$t = (0,045 \dots 0,0085)L_{oa};$$

– повної водотоннажності

$$\Delta = 0,0485L_{oa}^{2,3199};$$

– довжини судна по ватерлінії L_{WL} в залежності від довжини найбільшої L_{oa}

$$L_{WL} = 0,9247L_{oa} - 0,5503;$$

– відношення L/B у функції від довжини найбільшої L_{oa}

$$L/B = 0,0326L_{oa} + 2,0996;$$

– висоти борту

$$D = 0,4632L_{oa}^{0,5738};$$

– осадки максимальної

$$d_{max} = 0,1423L_{oa} - 0,4955;$$

– осадки корпусом

$$d_H = 0,0112L_{oa}^{1,509}.$$

Для визначення потужності головних двигунів на початкових етапах проектування можна скористатися залежністю, яка наведена на рис. 10.

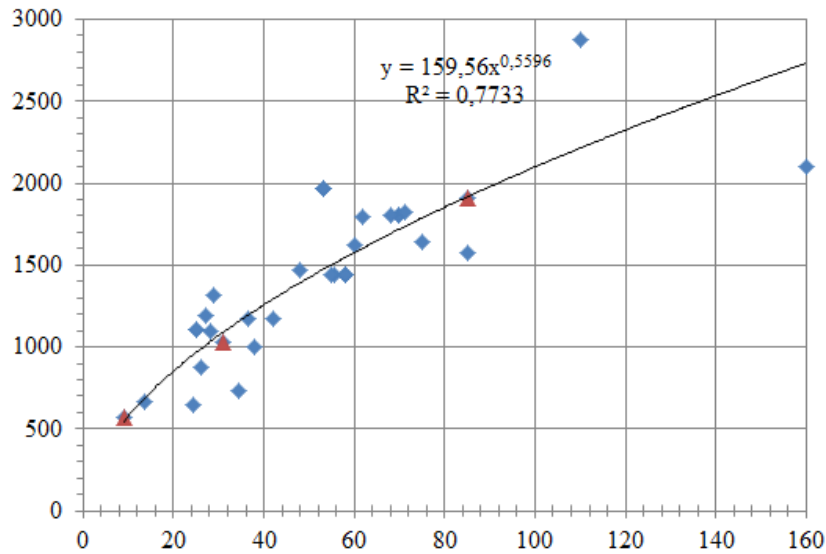


Рисунок 10 – Функціональна залежність потужності головних двигунів від повної водотоннажності катамарану

Розрахунок водотоннажності судна порожнем на початкових етапах проектування WFSV катамаранного типу можна виконати за формулами, наведеними на рис. 11.

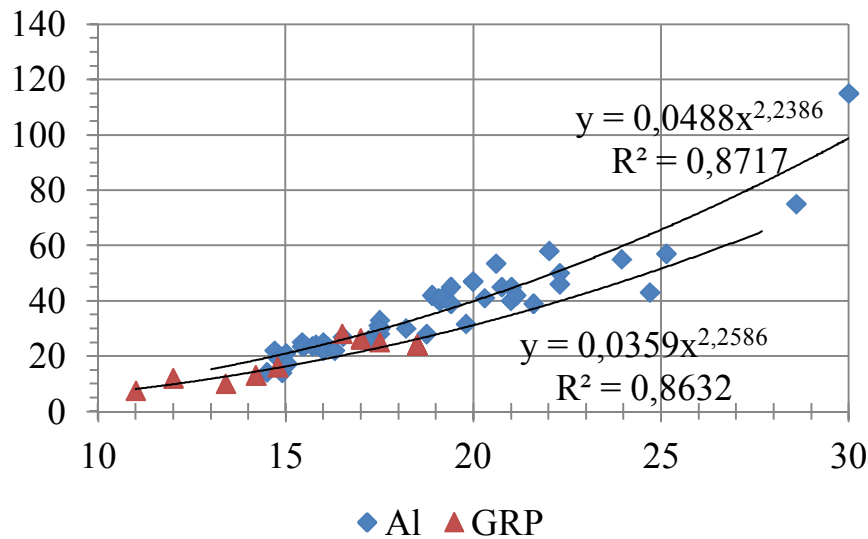


Рисунок 11 – Залежність водотоннажності порожнем від L_{0a} для різних типів матеріалів

Для визначення інших характеристик WFSV можна скористатися залежностями, що застосовуються в малому суднобудуванні при проектуванні катамаранів [5, 6].

Висновки. Проведений автором аналіз характеристик WFSV показав, що при проектуванні ключовими аспектами, які потрібно враховувати при проектуванні суден даного типу, є гарна ходовість, висока морехідність в умовах схвильованого моря, малі витрати палива, комфорт та надійність. Для розрахунку головних розмірів суден, для доставки обслуговуючого персоналу катамаранного типу запропоновано формули, отримані із застосуванням методів регресійного аналізу.

При розробці перспективних проектів WFSV необхідно враховувати сучасні тенденції розвитку вітроенергетичних парків, а саме: збільшення кількості турбін у ВЕП, зростання потужності турбін та їх розмірів, віддаленість від берега. Уже зараз почали будувати судна з більшими розмірами та кількістю обслуговуючого персоналу. Активно

обговорюються і нові стратегії обслуговування. Якщо зараз основною стратегією є доставка обслуговуючого персоналу з берегової бази, то в перспективі розглядається можливість доставки персоналу зі спеціального судна-бази, або бази, розташованої безпосередньо у районі ВЕП. Все це дасть змогу заощадити час на доставку персоналу до місця ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Global Wind Report: Annual Market Update 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_R.pdf.
2. Dalgic, Y. Optimum CTV fleet selection for offshore wind farm O&M activities [Text] / Y. Dalgic, I. Dinwoodie, I. Lazakis, D. McMillan, M. Revie // Safety and Reliability: Methodology and Applications. – London : CRC Press, 2014. – P.1177-1185.
3. Jupp, M. XSS – A Next Generation Windfarm Support Vessel [Text] / M Jupp, R Sime and E Dudson // International Conference «Design & Operation of Wind Farm Support Vessels». – London, 29–30 January 2014. – London : The Royal Institution of Naval Architects , 2014. – 8 p.
4. Бондаренко О.В. Вибір проектних характеристик суден для доставки персоналу на шельфові вітропарки статистичним методом [Текст] / О.В. Бондаренко, А.П. Бойко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT–2014): Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції. – м. Херсон, 27–29 травня 2014 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 175-178.
5. Назаров, А. Особенности проектирования катамаранов. Часть 21. Обводы и мореходность [Текст] / А. Назаров // Катера и яхты. 2014. – № 6(252). – С. 72-75.
6. Назаров, А. Особенности проектирования катамаранов. Часть 2. Мореходность, управляемость, остойчивость [Текст] / А. Назаров // Катера и яхты. – 2015. – № 1(253). – С. 67-71.

REFERENCES

1. Global Wind Report: Annual Market Update 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_R.pdf.
2. Dalgic, Y. Optimum CTV fleet selection for offshore wind farm O&M activities [Text] / Y. Dalgic, I. Dinwoodie, I. Lazakis, D. McMillan, M. Revie // Safety and Reliability: Methodology and Applications. – London : CRC Press, 2014. – P.1177-1185.
3. Jupp, M. XSS – A Next Generation Windfarm Support Vessel [Text] / M Jupp, R Sime and E Dudson // International Conference «Design & Operation of Wind Farm Support Vessels». – London, 29–30 January 2014. – London : The Royal Institution of Naval Architects , 2014. – 8 p.
4. Bondarenko O.V. Vibir proektnikh kharakteristik suden dlya dostavki personalu na sheljfovi vitroparki statistichnim metodom [Tekst] / O.V. Bondarenko, A.P. Boyjko // Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti (MINTT–2014): Materiali shostoï mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii. – m. Kherson, 27–29 travnya 2014 r. – Kherson : Khersonsjka derzhavna morsjka akademiya, 2014. – S. 175-178.
5. Nazarov, A. Osobennosti proektirovaniya katamaranov. Chastj 21. Obvodih i morekhodnostj [Tekst] / A. Nazarov // Katera i yakhtih. 2014. – № 6 (252). – S. 72-75.
6. Nazarov, A. Osobennosti proektirovaniya katamaranov. Chastj 2. Morekhodnostj, upravlyaemostj, ostojchivostj [Tekst] / A. Nazarov // Katera i yakhtih. – 2015. – № 1(253). – S. 67-71.

Бондаренко А.В. АНАЛИЗ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СУДОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Собраны статистические данные по судам для доставки персонала на шельфовые ветроэнергетические установки (WFSV). Определены основные архитектурно-конструктивные типы WFSV, указаны основные требования, которые необходимо учитывать при проектировании судов указанного типа. Получены зависимости для определения основных характеристик WFSV на начальных этапах их проектирования.

Ключевые слова: катамаран, WFSV, основные характеристики, анализ, ветроэлектростанция.

Bondarenko O.V. ANALYSIS OF THE PRINCIPAL DIMENSIONS AND DESIGN CHARACTERISTICS OF WIND FARM SUPPORT VESSELS

The statistical data on the wind farm support vessels (WFSV) has been collected. The principal architectural and design types of WFSV are determined, the basic requirements that must be considered when designing vessels of this type are considered. The dependencies of the determination of the principal characteristics of WFSV in the early stages of their design are obtained.

Keywords: catamaran, WFSV, principal characteristics, analysis, wind farm.

© Бондаренко О.В.

Статтю прийнято
до редакції 28.05.15