

УДК 629.5

DOI 10.47049/2226-1893-2026-1-33-43

## МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ДОДАТКОВОЇ СИЛИ ТЯГИ НА СУДНІ

**О.О. Каніфольський**

к.т.н., доцент кафедри «Суднобудування і судноремонту  
ім. професора Ю.Л. Воробйова»  
ORCID: 0000-0001-7288-4835  
e-mail: [oleksandrkanifolskyi@gmail.com](mailto:oleksandrkanifolskyi@gmail.com)

**О.Є. Васильченко**

ст. викладач кафедри «Суднобудування і судноремонту  
ім. професора Ю.Л. Воробйова»  
ORCID: 0009-0000-7282-2458  
e-mail: [sashaod3819@gmail.com](mailto:sashaod3819@gmail.com)

**О.В. Котенко**

ст. викладач кафедри «Безпека життєдіяльності, екології та хімії»  
ORCID: 0009-0007-5294-474X  
kot\_ov@ukr.net

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

**Анотація.** В статті розглянуті дані досліджень, що були проведені в CE Delft та Одеському національному морському університеті (ОНМУ).

Проведено порівняння жорсткого вітрила типу Wingsail, повітряного змія Towing kite, дослідження яких було проведено в CE Delft та м'яких вітрил типу спінакер, які досліджувалися в аеродинамічній лабораторії ОНМУ.

Типи суден, використані в розрахунках – це балкер, довжиною 107 м та багатоцільове судно для перевезення генеральних вантажів та контейнерів, довжиною 135 м.

Розраховано середнє значення збереженої потужності для всіх типів, описаних вітрил.

Наведено приклад розкрою вітрила типу спінакер.

Запропоновано графіки залежності тяги вітрила від кута атаки.

**Ключові слова:** Wingsail, жорстке вітрило, спінакер, Towing kite, додаткова сила тяги.

© Каніфольський О.О., Васильченко О.Є., Котенко О.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

УДК 629.5

DOI 10.47049/2226-1893-2026-1-33-43

**POSSIBILITIES FOR GENERATING  
ADDITIONAL PROPULSION ON A VESSEL**

**O. Kanifolskyi**

Ph.D., Docent of Department «Shipbuilding and Ship Repair  
named after prof. Vorobyev Yu.L.»

ORCID: 0000-0001-7288-4835

*e-mail: oleksandrkanifolskyi@gmail.com*

**O. Vasylchenko**

Senior lecturer of Department «Shipbuilding and Ship Repair  
named after prof. Yu.L. Vorobyev»

ORCID: 0009-0000-7282-2458

*e-mail: sashaod3819@gmail.com*

**Oleh Kotenko**

Senior Lecturer at the Department of Life Safety, Ecology and Chemistry,

ORCID: 0009-0007-5294-474X

*kot\_ov@ukr.net*

*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine*

**Abstract.** *The article reviews the data of research conducted at CE Delft and Odesa National Maritime University (ONMU). A comparison is made of the rigid sail Wingsail, Kite, researched at CE Delft, and the soft sails of the Spinnaker type, which were studied in the wind tunnel of ONMU. The types of vessels used in the calculations are a bulk carrier, 107 m long, and a multi-purpose vessel for the transportation of general cargo and containers, 135 m long. The average value of the power saving for all types of described sails is calculated. An example of the designing of the Spinnaker type sail is given. Graphs of the dependence of the sail thrust on the angle of attack are proposed.*

**Keywords:** *Wingsail, rigid sail, spinnaker, Towing kite, additional thrust.*

**Вступ.** У сучасній морській галузі велика увага приділяється захисту навколишнього середовища. Додаток VI «Regulations for the prevention of air pollution from ships» до конвенції МАРПОЛ пропонує декілька коефіцієнтів, наприклад: EEDI (Energy Efficiency Design Index) [1], EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) [2] та CII (Carbon Intensity Indicator) [3]. Всі ці індекси прямо, або по дотичній пов'язані з можливістю використання альтернативних джерел енергії, для зменшення викидів вуглекислого газу. В якості альтернативної,

додаткової сили тяги може бути використане вітрило. Цікаві дослідження були проведені в CE Delft [5], які стосувалися оцінки збереженої потужності (потужності, яку створює вітрило, або інший засіб). В якості засобів, що створюють додаткову тягу розглядалися: Wingsail, Towing kite, Wind turbine. Вітрила м'якого типу не розглядалися. В аеродинамічній лабораторії ОНМУ було проведено дослідження м'яких вітрил типів спінакер та спанкер [4]. З'явилася можливість порівняння даних досліджень CE Delft та результатів досліджень, проведених в ОНМУ. В останні роки з'явилось багато досліджень які висвітлюють окремі аспекти використання вітрил різних типів в якості додаткових засобів створення тяги [6; 7; 11; 12; 14; 16]. Як відповідь на виклики часу розроблені документи міжнародної морської організації та класифікаційних товариств щодо використання вітрил на транспортних судах [9; 10; 13]. Всі наведені типи засобів, для створення додаткової сили тяги мають свої переваги та недоліки, тому в сучасній морській індустрії необхідно мати інформацію, про можливості їхнього використання.

**Метою даного дослідження є** порівняння додаткової сили тяги та додаткової потужності, що створюється різними типами засобів, створеними для використання сили та енергії вітру.

**Основна частина статті.** Дослідження проводились в аеродинамічній лабораторії ОНМУ, яка має параметри, наведені нижче..

Велика аеродинамічна труба має закритий контур із відкритою робочою частиною. Розміри: довжина 25,4 м; ширина – 3,0 м; висота – 3,6 м. Довжина робочої частини – 3,0 м, діаметр – 1,75 м. Повітряний гвинт приводиться у обертання електродвигуном постійного струму потужністю 220 кВт. Номінальна частота обертання може змінюватись у широких межах, при цьому максимальна швидкість повітряного потоку досягає 100 м/с, а мінімальна – 8 м/с (рис. 1).



*Рис. 1. Велика аеродинамічна труба ОНМУ*

**Моделі вітрил.** Для випробувань, в лабораторії ОНМУ, було виготовлено п'ять моделей м'яких вітрил [4]. З них – чотири вітрила типу спінакер, що відрізняються один від одного кривизною і розгорнутою площею, а також одна модель трикутного вітрила типу спанкер. Всі моделі вітрил виконані з нейлону. Для аналізу, в цій статті, обрані дані досліджень для спінакеру, площею 500 м<sup>2</sup>. Вітрило з такою площею можна порівняти з даними CE Delft для Towing kite, який має подібну площу. Модель спінакера, номер 4, яка обрана для дослідження, показана на рисунку 2.

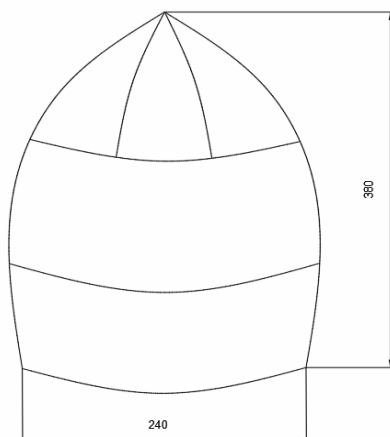


Рис. 2. Модель спінакера

Дані вітрил наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри моделей вітрил

Найменування вітрила	$S_n$ , м <sup>2</sup>	SPIN, м	SL, м	SMW, м	IC, м
Спінкер 1	0,072	0,052	0,33	0,28	0,156
Спінкер 2	0,095	0,068	0,38	0,32	0,176
Спінкер 3	0,057	0,034	0,29	0,21	0,117
Спінкер 4	0,089	0,068	0,42	0,29	0,161
Спанкер	0,082	-	-	-	-

де  $SPIN$  – обмірна площа спінакера, м<sup>2</sup>;

$SL$  – довжина бічної шкаторини, м;

$SMW$  – максимальна ширина спінакера, м;

$IC$  – основа переднього трикутника, м.

Зв'язок між цими параметрами визначається наступною формулою [4]:

$$SPIN = 1,01ICSL \quad (1)$$

Результати досліджень, для спінакера 4, представлені у вигляді залежності коефіцієнта тяги  $C_x$  від кута атаки  $\alpha_B$  на рисунку 4. Зазвичай результати випробувань вітрил представляють у вигляді взаємозалежності двох коефіцієнтів: коефіцієнта підйомної сили  $C_y$  та лобового опору. В даному дослідженні  $C_x$  – це коефіцієнт тяги, в напрямку осі X, що демонструється на рисунку 3.

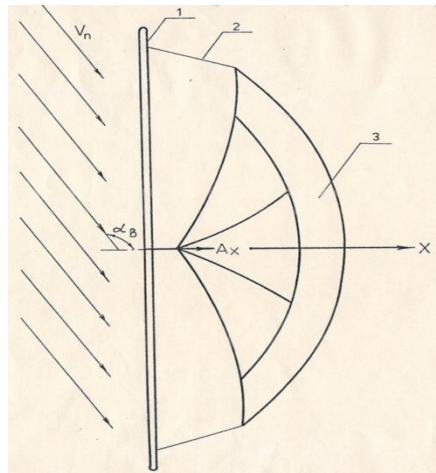


Рис. 3. Схема дослідницької установки (вигляд зверху)

На рис. 3, вітрило закріплено в кільці 1, кінцями 2. Вимірювання здійснюється за допомогою тензOMETричних ваг, які закріплені обтічником. На рисунку, додатково показано зусилля  $A_x$ , що діє на кільце без вітрил.

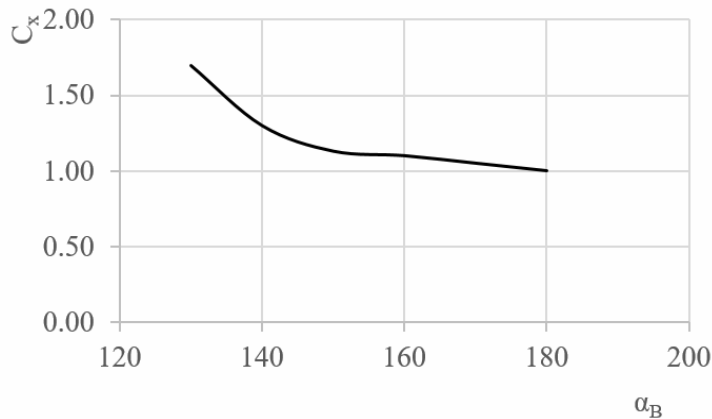


Рис. 4. Залежність коефіцієнта тяги  $C_x$  від кута атаки  $\alpha_B$   
(кут вимірюється в градусах)

Додаткова сила тяги визначається за формулою

$$t = n \frac{C_x(\alpha_B) \rho S_n v_B^2}{2} \cos \alpha_B, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість однакових вітрил;

$C_x(\alpha_B)$  – коефіцієнт тяги, (рис.3);

$\rho$  – щільність повітря;

$S_n$  – площа вітрила, м<sup>2</sup>;

$v_B$  – швидкість вимпельного вітру.

Значення додаткової сили тяги, розраховане за формулою (2) показано на рисунку 5.

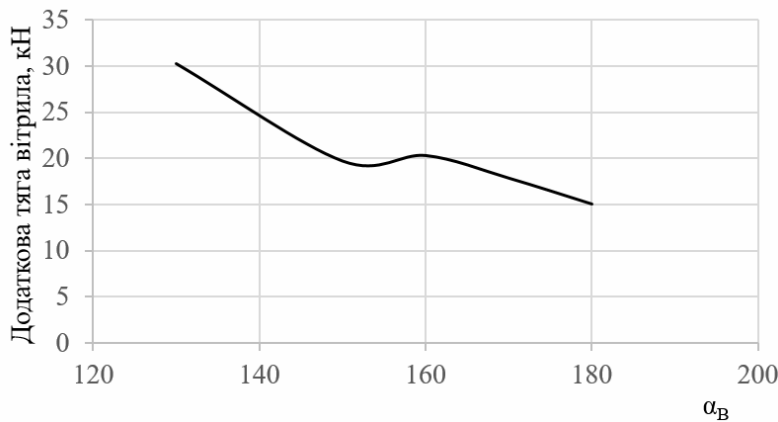


Рис. 5. Залежність додаткової сили тяги від кута атаки  $\alpha_B$

Значення збереженої потужності розраховано за пропозицією CE Delft [5] по формулі

$$P_{saved} = \frac{t v_{ship}}{\eta_p} \quad (3)$$

де  $v_{ship}$  – швидкість судна;

$t$  – додаткова тяга вітрила;

$\eta_p = 0,7$  – коефіцієнт корисної дії.

За даними CE Delft розраховані середні значення збереженої потужності, для подібних, в дослідженнях ОНМУ та CE Delft, суден, таблиця 2.

Таблиця 2

Характеристики суден та середні значення збереженої потужності

Судно	Довжина, м	Ширина, м	Висота борту, м	$V_{ship}$ , вузл.	Середнє значення збереженої потужності $P_{saved} = \frac{tv_{ship}}{\eta_p}$ , кВт		
					Спінакер, 500 м <sup>2</sup> (1 шт.)	Wingsail 270 м <sup>2</sup> (3 шт.)	Towing kite 400 м <sup>2</sup> (1 шт.)
ОНМУ	135	23	11,4	14	256	-	-
CE Delft	107	18	9	13,25	-	170	300
Коефіцієнт збереження потужності, кВт на 1 кв. метр	-	-	-	-	0,51	0,21	0,75

Значення збереженої потужності, отримані в лабораторії ОНМУ відображені на рисунку 6.

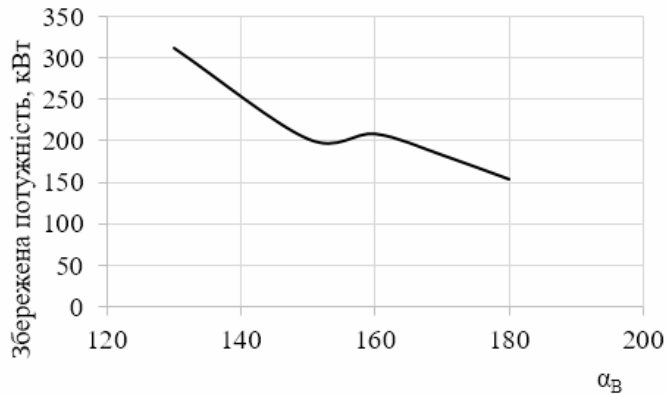


Рис. 6. Залежність збереженої потужності від кута атаки  $\alpha_B$

Середнє значення тяги, яку розвиває один квадратний метр Спінакера, при середній швидкості вимпельного вітру 8 м/сек, біля 41 Н. Для порівняння, згідно з даними, на курсі фордевінд, при швидкості вимпельного вітру 12 м/сек, кожен квадратний метр вітрила розвиває тягу біля 106 Н.

## Висновки

Як видно з наведених розрахунків м'яке вітрило типу спінакер може достойно конкурувати з іншими видами допоміжних вітрил. Враховуючи можливість застосування пристрою для швидкої постановки та прибирання цього парусу і відповідно можливість збереження вільних просторів на палубі, цей тип допоміжного вітрила може бути успішно використаний в морській практиці.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Resolution MEPC.350(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI).
2. Resolution MEPC.214(63). 2012 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI).
3. Resolution MEPC.354(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII rating guidelines, G4).
4. Звіт про науково-дослідну роботу № 01890009570. Вирішення практичних задач по забезпеченню ходових та морехідних якостей суден та плавучих об'єктів Чорноморського морського пароплавства. Одеський інститут інженерів морського флоту. 1989.
5. Dagmar Nelissen, Michael Traut, Jonathan Köhler, Wengang Mao, Jasper Faber, Saliha Ahdour. Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships. Delft, CE Delft, November 2016.
6. WASP Project. *D 5.B New Wind Propulsion Technology: A Literature Review of Recent Adoptions*. 2020. 38 p. URL: [https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210111083115\\_WASP-WP4.D5B-NewWPTALiteratureReviewofRecentAdoptions-Final.pdf](https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210111083115_WASP-WP4.D5B-NewWPTALiteratureReviewofRecentAdoptions-Final.pdf) (дата обращения: 12.12.2025). VB/NSRP Online Monitoring System+1.
7. Khan L., Macklin J., Soupez J.-B., et al. *A Review of Wind-Assisted Ship Propulsion for Sustainable Commercial Shipping: Latest Developments and Future Stakes*. 2021. 10 p. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Jean-Baptiste-Soupez/publication/354651159\\_A\\_Review\\_of\\_Wind-Assisted\\_Ship\\_Propulsion\\_for\\_Sustainable\\_Commercial\\_Shipping\\_Latest\\_Developments\\_and\\_Future\\_Stakes/links/6375db6e2f4bca7fd0689998/A-Review-of-Wind-Assisted-Ship-Propulsion-for-Sustainable-Commercial-Shipping-Latest-Developments-and-Future-Stakes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jean-Baptiste-Soupez/publication/354651159_A_Review_of_Wind-Assisted_Ship_Propulsion_for_Sustainable_Commercial_Shipping_Latest_Developments_and_Future_Stakes/links/6375db6e2f4bca7fd0689998/A-Review-of-Wind-Assisted-Ship-Propulsion-for-Sustainable-Commercial-Shipping-Latest-Developments-and-Future-Stakes.pdf) (дата звернення: 12.12.2025). ResearchGate+1.
8. International Maritime Organization. Marine Environment Protection Committee. *MEPC 79/INF.21: Wind Propulsion*. 07.10.2022. 34 p. URL: <https://www.wind-ship.org/archived-site/wp-content/uploads/2022/10/MEPC-79-INF.21-Wind-Propulsion-Finland-France-Saudi-Ar...pdf> (дата звернення: 12.12.2025). Wind Ship+2Wind Ship+2.

9. American Bureau of Shipping. *Requirements for Wind Assisted Propulsion System Installation*. July 2022. 29 p. URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/315-requirements-for-wind-assisted-propulsion-system-installation/315-wind-assisted-propulsion-reqts-july22.pdf> (дата звернення: 12.12.2025). ww2.eagle.org+1.
10. European Maritime Safety Agency. *Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping*. Lisbon: EMSA, 2023. 272 p. URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5078-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping.html> (дата звернення 12.12.2025); PDF: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/11/EMSA-Report-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping\\_2023\\_11.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/11/EMSA-Report-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping_2023_11.pdf) (дата звернення: 12.12.2025). emsa.europa.eu+2SAFETY4SEA+2.
11. Zeng Q., Zhang X., Cai W., Zhou Y. Wake distortion analysis of a DynaRig and its application in a sail array design // *Ocean Engineering*. 2023. Vol. 278. Art. 114341. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.114341. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801823007254> (дата звернення: 12.12.2025). ScienceDirect+2ResearchGate+2.
12. Chica M., Hermann R.R., Lin N. Adopting different wind-assisted ship propulsion technologies as fleet retrofit: An agent-based modeling approach // *Technological Forecasting & Social Change*. 2023. Vol. 192. Art. 122559. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.122559. URL: [https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230413092525\\_1-s2.0-S0040162523002445-main\\_1\\_.pdf](https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230413092525_1-s2.0-S0040162523002445-main_1_.pdf) (дата звернення: 12.12.2025). VB/NSRP Online Monitoring System+2ScienceDirect+2.
13. Bureau Veritas. *Wind Propulsion: Technology Report*. 2024. 19 p. URL: <https://www.ama-andros.gr/wp-content/uploads/2024/11/BV-WTP-Report.pdf> (дата звернення: 12.12.2025). Ama Andros+2Ama Andros+2.
14. Čalić A., et al. Impact of Wind-Assisted Propulsion on Fuel Savings and Propeller Efficiency: A Case Study // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024. Vol. 12, No. 11. Art. 2100. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/11/2100> (дата звернення: 12.12.2025). MDPI.
15. Reche-Vilanova M., Bingham H. B., Fluck M., Morris D. Cost-benefit analysis and design optimization of wind propulsion systems for a tanker retrofit case // *Maritime Transport Research*. 2025. Vol. 8. Art. 100132. DOI: 10.1016/j.martra.2025.100132. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666822X25000048> (дата звернення: 12.12.2025). Science Direct+2ResearchGate+2.
16. Serrano M. T., González P. Wind assisted propulsion and port call optimization for sustainable maritime transport // *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2025. Vol. 16. Art. 100231. DOI: 10.1016/j.clscn.2025.100231. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772390925000307> (дата звернення: 12.12.2025). ScienceDirect+2Orbit+2.

## REFERENCES

1. Resolution MEPC.350(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI).
2. Resolution MEPC.214(63). 2012 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI).
3. Resolution MEPC.354(78) (adopted on 10 June 2022) 2022 Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII rating guidelines, G4).
4. Report on scientific research work No. 01890009570. Solving practical problems in ensuring the propulsion and seaworthiness of ships and floating objects of the Black Sea Shipping Company. Odesa Institute of Marine Engineers. 1989.
5. Dagmar Nelissen, Michael Traut, Jonathan Köhler, Wengang Mao, Jasper Faber, Saliha Ahdour. Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships. Delft, CE Delft, November 2016.
6. WASP Project. *D 5.B New Wind Propulsion Technology: A Literature Review of Recent Adoptions*. 2020. 38 p. URL: [https://vb.northsea-region.eu/public/files/repository/20210111083115\\_WASP-WP4.D5B-NewWPTALiteratureReviewofRecentAdoptions-Final.pdf](https://vb.northsea-region.eu/public/files/repository/20210111083115_WASP-WP4.D5B-NewWPTALiteratureReviewofRecentAdoptions-Final.pdf) (дата обращения: 12.12.2025). VB/NSRP Online Monitoring System+1.
7. Khan L., Macklin J., Soupez J.-B., et al. *A Review of Wind-Assisted Ship Propulsion for Sustainable Commercial Shipping: Latest Developments and Future Stakes*. 2021. 10 p. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Jean-Baptiste-Soupez/publication/354651159\\_A\\_Review\\_of\\_Wind-Assisted\\_Ship\\_Propulsion\\_for\\_Sustainable\\_Commercial\\_Shipping\\_Latest\\_Developments\\_and\\_Future\\_Stakes/links/6375db6e2f4bca7fd0689998/A-Review-of-Wind-Assisted-Ship-Propulsion-for-Sustainable-Commercial-Shipping-Latest-Developments-and-Future-Stakes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jean-Baptiste-Soupez/publication/354651159_A_Review_of_Wind-Assisted_Ship_Propulsion_for_Sustainable_Commercial_Shipping_Latest_Developments_and_Future_Stakes/links/6375db6e2f4bca7fd0689998/A-Review-of-Wind-Assisted-Ship-Propulsion-for-Sustainable-Commercial-Shipping-Latest-Developments-and-Future-Stakes.pdf) (date of application: 12.12.2025). ResearchGate+1.
8. International Maritime Organization. Marine Environment Protection Committee. *MEPC 79/INF.21: Wind Propulsion*. 07.10.2022. 34 p. URL: <https://www.wind-ship.org/archived-site/wp-content/uploads/2022/10/MEPC-79-INF.21-Wind-Propulsion-Finland-France-Saudi-Ar....pdf> (date of application: 12.12.2025). Wind Ship+2Wind Ship+2.
9. American Bureau of Shipping. *Requirements for Wind Assisted Propulsion System Installation*. July 2022. 29 p. URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/315-requirements-for-wind-assisted-propulsion-system-installation/315-wind-asisted-propulsion-reqts-july22.pdf> (date of application: 12.12.2025). ww2.eagle.org+1.

10. European Maritime Safety Agency. *Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping*. Lisbon: EMSA, 2023. 272 p. URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5078-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping.html> (date of application: 12.12.2025); PDF: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/11/EMSA-Report-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping\\_2023\\_11.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/11/EMSA-Report-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping_2023_11.pdf) (date of application: 12.12.2025). emsa.europa.eu+2SAFETY4SEA+2.
11. Zeng Q., Zhang X., Cai W., Zhou Y. Wake distortion analysis of a DynaRig and its application in a sail array design // *Ocean Engineering*. 2023. Vol. 278. Art. 114341. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.114341. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801823007254> (date of application: 12.12.2025). ScienceDirect+2ResearchGate+2.
12. Chica M., Hermann R. R., Lin N. Adopting different wind-assisted ship propulsion technologies as fleet retrofit: An agent-based modeling approach // *Technological Forecasting & Social Change*. 2023. Vol. 192. Art. 122559. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.122559. URL: [https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230413092525\\_1-s2.0-S0040162523002445-main\\_1\\_.pdf](https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230413092525_1-s2.0-S0040162523002445-main_1_.pdf) (date of application: 12.12.2025). VB/NSRP Online Monitoring System+2ScienceDirect+2.
13. Bureau Veritas. *Wind Propulsion: Technology Report*. 2024. 19 p. URL: <https://www.ama-andros.gr/wp-content/uploads/2024/11/BV-WTP-Report.pdf> (date of application: 12.12.2025). Ama Andros+2Ama Andros+2.
14. Čalić A., et al. Impact of Wind-Assisted Propulsion on Fuel Savings and Propeller Efficiency: A Case Study // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024. Vol. 12, No. 11. Art. 2100. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/11/2100> (date of application: 12.12.2025). MDPI.
15. Reche-Vilanova M., Bingham H. B., Fluck M., Morris D. Cost-benefit analysis and design optimization of wind propulsion systems for a tanker retrofit case // *Maritime Transport Research*. 2025. Vol. 8. Art. 100132. DOI: 10.1016/j.martra.2025.100132. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666822X25000048> (date of application: 12.12.2025). ScienceDirect+2ResearchGate+2.
16. Serrano M.T., González P. Wind assisted propulsion and port call optimization for sustainable maritime transport // *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2025. Vol. 16. Art. 100231. DOI:10.1016/j.clscn.2025.100231. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772390925000307> (date of application: 12.12.2025). Science Direct+2Orbit+2.

Дата надходження статті: 07.01.2026

Дата прийняття статті: 02.02.2026

Дата публікації статті: 02.04.2026