

УДК 629.5.06:006.1:620.22

**ANSI-ACCREDITED STANDARDS
IN THE DESIGN AND OPERATION
OF INNOVATIVE SHIP POWER PLANTS**

**Roman Yu.
Avdiunin**
Авдюнін Роман
Юрійович

**ANSI-АКРЕДИТОВАНІ СТАНДАРТИ В ПРОЄКТУВАННІ
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІННОВАЦІЙНИХ СУДНОВИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**DOI [https://doi.org/10.15589/smi2026.1\(22\).06](https://doi.org/10.15589/smi2026.1(22).06)

Vasyl S. Nalyvaiko
Наливайко
Василь
Степанович

Roman Yu. Avdiunin

Авдюнін Роман Юрійович,
roman.avdiunin@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0798-8077

Vasyl S. Nalyvaiko

Наливайко Василь Степанович,
канд. техн. наук, проф.
vasyl.nalyvaiko@nuos.edu.ua
ORCID: 0009-0009-6030-0287

Andrii A. Andreiev

Андреєв Андрій Адольфович, канд. техн. наук, проф.
andrii.andreiev@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3962-3101

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв*

**Andrii A.
Andreiev**
Андреєв
Андрій
Адольфович

Abstract. The article aims to develop methodological approaches for harmonizing ANSI-accredited standards with international (ISO/IEC) and regional (DSTU/OST) standards to ensure the reliability and operational safety of innovative ship power plants in the context of shipping decarbonization.

The study uses system analysis to examine the ship power plant as a complex technical system operating within a multi-level regulatory environment. The comparative-analytical method is applied to juxtapose the requirements of standards developed by ANSI-accredited organizations (ASME, ASTM, NFPA) with IEC/ISO and DSTU (GOST)/OST standards. Generalization and formalization methods are used to draw conclusions and make recommendations for selecting and coordinating the regulatory framework during design.

The research identifies key technical and regulatory discrepancies when integrating equipment manufactured to US standards into projects supervised by classification societies of other jurisdictions. Major challenges were identified with composite piping and high-pressure hydrogen storage cylinders, where safety factors and testing procedures differ significantly across ASME, ISO, and DSTU (GOST)/OST standards.

For the first time, a framework model for selecting a regulatory compliance pathway is proposed. This model is an effective risk-reduction tool and should be applied at the early stages of ship design.

The recommendations minimize procedural complications and technical errors during the certification of innovative equipment. The proposed standards alignment algorithm simplifies the transfer of innovative technologies while ensuring compliance with the vessel's life-cycle safety requirements. The article's results can be used by design organizations and classification societies when developing technical specifications for the design of zero-emission vessels.

Key words: ANSI; IEC; ISO; DSTU; GOST; OST; FRP; COPV; decarbonization.

Анотація. У статті виконано розробку методологічних підходів до гармонізації стандартів, акредитованих ANSI, з міжнародними (ISO/IEC) та регіональними (ДСТУ/ОСТ) стандартами для забезпечення надійності та безпеки експлуатації інноваційних судових енергетичних установок (СЕУ) в умовах декарбонізації судноплавства.

Застосовано методи: метод системного аналізу – для дослідження СЕУ як складної технічної системи, що функціонує в багаторівневому нормативному середовищі; порівняльно-аналітичний метод – для зіставлення вимог стандартів, розроблених ANSI-акредитованими організаціями (ASME, ASTM, NFPA), зі стандартами IEC/ISO та ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ; метод узагальнення та формалізації – для розробки висновків і рекомендацій щодо вибору та узгодження нормативної бази при проектуванні СЕУ.

Визначено ключові технічні та регуляторні розбіжності, що виникають при інтеграції обладнання, виготовленого за стандартами США, у проекти, що реалізуються під наглядом класифікаційних товариств інших юрисдикцій. Встановлено, що основні складнощі узгодження стосуються композитних трубопроводів та балонів високого тиску для зберігання водню, де існують суттєві відмінності у коефіцієнтах запасу міцності та процедурах випробувань між ASME, ISO та стандартами ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ.

Вперше запропоновано рамкову модель вибору нормативного шляху, що є ефективним інструментом зниження ризиків і має бути застосована на ранніх стадіях проектування судна.

Розроблені рекомендації дозволяють мінімізувати процедурні ускладнення та технічні помилки при сертифікації інноваційного обладнання СЕУ. Запропонований алгоритм узгодження стандартів спрощує процес впровадження інноваційних технологій, забезпечуючи при цьому дотримання вимог безпеки життєвого циклу судна. Результати роботи можуть бути використані проектними організаціями та класифікаційними товариствами при розробці технічних завдань на проектування суден з нульовим рівнем викидів.

Ключові слова: ANSI; IEC; ISO; ДСТУ; ГОСТ; ОСТ; FRP; COPV; декарбонізація.

References

- [1] Li, Y., Li, Q., Peng, W., Hua, Z., & Zheng, J. (2024). A comparative analysis of the regulations, codes, and standards for on-board high-pressure hydrogen storage cylinders. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 54, 894–907. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.106>
- [2] Li, Y., Ding, H., Peng, W., Hua, Z., & Zheng, J. (2025). Residual burst pressure prediction of COPVs after long-term seawater immersion subjected to internal pressure. *Composites, Part B: Engineering*, Vol. 305, 112725. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.112725>
- [3] Kudrenko, A., Avdiunin, R., & Kolesnykov, O. (2025). American national standards institute in shipbuilding. *Innovations in shipbuilding and ocean engineering: XVI International scientific and technical conference: materials*. Mykolaiv: NUK, 34–37. <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2025/10/Materiali-konferencii.pdf>
- [4] Nalyvaiko, V., Oliinyk, O., & Avdiunin, R. (2025). ANSI Standards for Shipboard Power Plant Design and Operation. *Ship power engineering: status and problems: materials of the XII International Scientific and Technical Conference*. Mykolaiv: Publishing house Yemelyanova T. V., 47–52. Retrieved from <https://eir.nuos.edu.ua/items/2848849e-d3c1-4708-9178-b78c50994e90>
- [5] ASME B31.3. Process Piping. (2024). New York: American Society of Mechanical Engineers. Retrieved from: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-3-process-piping>
- [6] ASME RTP-1. Reinforced Thermoset Plastic Corrosion Resistant Equipment. (2023). New York: American Society of Mechanical Engineers. Retrieved from: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/rpt-1>
- [7] ABS. Rules for Materials and Welding; Guidance Notes for Composite Materials. (2023). Houston: American Bureau of Shipping. Retrieved from: <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-guides.html>
- [8] Lloyd's Register. Rules and Regulations for the Classification of Ships. (2024). London: Lloyd's Register Group. Retrieved from: <https://www.lr.org/en/rules-and-regulations>

- [9] Regassa, Y., Gari, J., & Lemu, H. G. (2022). Composite Overwrapped Pressure Vessel Design Optimization Using Numerical Method. *Journal of Composites Science*, Vol. 6, Iss. 8, Art. 229. <https://doi.org/10.3390/jcs6080229>
- [10] ASME. Section X. Rules for Construction of Pressure Vessels. (2023). New York: American Society of Mechanical Engineers. Retrieved from: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-section-x>
- [11] DNV. Rules for Classification – Ships. (2024). Oslo : Det Norske Veritas. Retrieved from: <https://www.dnv.com/maritime/rules-and-standards/>
- [12] ISO 11119. Gas cylinders – Composite overwrapped pressure vessels. (2019). Geneva: International Organization for Standardization. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/66473.html>
- [13] Wang, Z, Li, M., Zhao, F., Ji, Y., & Han, F. (2024). Status and prospects in technical standards of hydrogen-powered ships for advancing maritime zero-carbon transformation. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 62, 925–946. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.083>
- [14] Dwivedi, S. K., & Vishwakarma, M. (2018). Hydrogen embrittlement in different materials: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 43, Iss. 46, 21603–21616. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.201>
- [15] Inal, O. B., Zincir, B., & Deniz, C. (2022). Investigation on the decarbonization of shipping: An approach to hydrogen and ammonia. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 47, Iss. 45, 19888–19900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.189>
- [16] Anantharaman, M., Sardar, A., & Islam, R. (2025). Decarbonization of Shipping and Progressing Towards Reducing Greenhouse Gas Emissions to Net Zero: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, Vol. 17, Iss. 7, Art. 2936. <https://doi.org/10.3390/su17072936>
- [17] NFPA 302. Fire Protection Standard for Pleasure and Commercial Motor Craft. (2023). Quincy, MA: National Fire Protection Association. Retrieved from: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=302>
- [18] Code of Federal Regulations, Title 46: Shipping. (2026). Washington, DC: Office of the Federal Register. Retrieved from: <https://www.ecfr.gov/current/title-46/>
- [19] NVIC 02-02. Guidance on the Port State Control (PSC) Program. (2002). Washington, DC: U.S. Coast Guard. Retrieved from: <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/NVIC/>

Постановка задачі – встановити закономірності впливу ANSI-акредитованих стандартів на процеси проєктування та експлуатації СЕУ, визначити їх взаємозв'язок і ступінь сумісності з міжнародними стандартами ІЕС/ІСО та регіональними стандартами ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ, а також розробити науково обґрунтовані підходи до точкової проблематики їх узгодження з метою підвищення надійності, ефективності та нормативної відповідності суднових енергетичних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасної науково-технічної літератури та нормативної бази свідчить про стрімке зростання інтересу до удосконалення СЕУ під впливом вимог щодо декарбонізації (стратегія ІМО 2030/2050). Проблема адаптації нормативної бази є предметом активних наукових дискусій, зокрема, щодо

зміщення фокусу досліджень від суто конструкторських рішень до питань їх стандартизації та сертифікації.

Застосування трубопроводів з армованих волокном полімерів (FRP) розглядається у сучасних дослідженнях як ефективна альтернатива традиційним судновим системам із використанням металевих конструктивних рішень, що схильні до корозії. Проте, як зазначають експерти галузі, застосування полімерів у системах СЕУ ускладнюється через суттєві розбіжності у підходах до стандартизації.

У наукових працях (зокрема, у публікаціях, що аналізують досвід класифікаційних товариств) підкреслюється проблема відсутності єдиної методики оцінки електростатичної небезпеки FRP-труб при транспортуванні нових видів палива (аміак, метанол). Дослідники вказують на те, що

норми ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ, які традиційно використовувалися у вітчизняному суднобудуванні, не містять критеріїв оцінки довговічності FRP-матеріалів в умовах вібрацій, характерних для СЕУ, а це змушує проєктантів звертатися до методології ANSI/ASME без чіткого розуміння механізмів її легалізації на національному рівні.

Найбільш динамічним напрямом досліджень є аналіз надійності систем зберігання водню на борту суден, де ключову роль відіграють композитні балони (COPV). У роботі [1] проведено фундаментальний порівняльний аналіз регуляторних норм для бортових балонів високого тиску. Автори акцентують увагу на суттєвих розбіжностях між вимогами коду ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC, Section X) та стандарту ISO 11119. Основна проблема полягає у відмінності коефіцієнтів запасу міцності та процедур гідравлічних випробувань, що ускладнює сертифікацію єдиного продукту для глобального ринку.

Окремий пласт досліджень присвячений впливу агресивного морського середовища на характеристики COPV. Зокрема, Li Y., Ding H. та ін. [2] досліджували надлишковий тиск розриву (residual burst pressure) композитних балонів після тривалого занурення у морську воду. Їхні експериментальні дані свідчать про те, що існуючі методики прогнозування ресурсу, закладені в берегових стандартах (наприклад, для автомобільного транспорту), не повною мірою враховують деградацію сполучного матриксу під дією солі та гідростатичного тиску. Це виявляє критичну прогалину в нормативному забезпеченні: стандарти ANSI/ASME надають інструментарій для проєктування, але не містять адаптованих до моря методик експлуатаційного моніторингу стану композиту.

Інтеграція водневих технологій у практику судноплавства вимагає застосування системного підходу, де стандарти ANSI, ISO та ІЕС розглядаються не як конкурентні, а як взаємодоповнюючі елементи складної екосистеми безпеки.

Таким чином, аналіз літератури підтверджує, що попри наявність розвинених технічних стандартів (ASME, ISO, ІЕС), від-

сутня єдина методологічна платформа для їх спільного застосування в рамках одного суднобудівного проєкту, особливо в умовах переходу вітчизняної галузі від стандартів ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ до міжнародної практики.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на активний розвиток технологій та оновлення міжнародних стандартів, низка критичних аспектів нормативного забезпечення залишається невирішеною, що стримує впровадження інновацій у суднобудуванні.

Відсутність методології подолання конфлікту стандартів у «мультистандартних» проєктах. На сьогодні не розроблено чіткого алгоритму дій для проєктантів у ситуації, коли інноваційне обладнання (наприклад, водневі паливні елементи або композитні трубопроводи) виготовлено за стандартами ANSI/ASME, а інтеграція відбувається на судні, що підпадає під дію регіональних технічних регламентів або застарілих галузевих стандартів (ОСТ/ГОСТ). Існуючі підходи здебільшого обмежуються визнанням сертифікатів класифікаційних товариств, проте не вирішують питань інженерної сумісності на рівні матеріалів, допусків та методів випробувань [3].

Нормативний вакуум щодо експлуатаційного контролю COPV у морському середовищі. Як зазначено в аналізі, стандарти серії ГОСТ/ОСТ орієнтовані на ізотропні металеві матеріали і не містять методик оцінки залишкового ресурсу анізотропних композитних оболонок. Також невирішеною є проблема, що стосується адаптації методик перевірки ANSI (орієнтованих на берегову інфраструктуру або автотранспорт) до специфічних морських умов (вібрація, соляний туман) без проведення додаткових і високозатратних натурних випробувань для кожного окремого проєкту [4].

Неузгодженість термінології та процедур оцінювання відповідності. Залишається невирішеною проблема концептуальної розбіжності між «добровільним» характером стандартів ANSI та «директивним» характером стандартів пострадянської системи технічного регулювання. Це створює юридичні та технічні ризики при проєктуванні СЕУ,

для яких ще не сформовано гармонізованих стандартів ISO.

Саме на вирішення цих проблем – розробку рамкової моделі вибору нормативного шляху та обґрунтування сумісності стандартів – спрямована дана робота.

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розроблення підходів до аналізу, узгодження та застосування стандартів, розроблених організаціями, акредитованими Американським національним інститутом стандартів (ANSI), у процесах проєктування та експлуатації інноваційних судових енергетичних установок, з урахуванням їх взаємодії з міжнародними стандартами IEC/ISO та регіональними стандартами ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ, з метою підвищення надійності, сумісності та ефективності експлуатації СЕУ.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження є *суднова енергетична установка* як сукупність технічних засобів і систем, призначених для виробництва, перетворення та розподілу енергії на судні, що функціонує в умовах дії міжнародних, національних і галузевих нормативно-технічних вимог. Предметом дослідження є *нормативно-технічні вимоги та інженерні підходи, закладені в стандартах, розроблених організаціями, акредитованими ANSI*, а також особливості їх застосування, узгодження та інтеграції з міжнародними стандартами IEC/ISO і регіональними стандартами ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ при проєктуванні та експлуатації СЕУ.

Для досягнення поставленої мети та розв'язання визначених у роботі завдань використано такі методи дослідження: *метод системного аналізу* – для дослідження СЕУ як складної технічної системи, що функціонує в багаторівневому нормативному середовищі; *порівняльно-аналітичний метод* – для зіставлення вимог стандартів, розроблених ANSI-акредитованими організаціями (ASME, ASTM, NFPA), з міжнародними стандартами IEC/ISO та стандартами ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ; *метод узагальнення та формалізації* – для формування висновків і рекомендацій щодо вибору та узгодження нормативної бази при проєктуванні.

Застосування зазначених методів дослідження забезпечує комплексний аналіз впливу ANSI-акредитованих стандартів на проєктування та експлуатацію СЕУ, дозволяє виявити ключові відмінності між нормативними системами та обґрунтувати інноваційні інженерні рішення, спрямовані на підвищення надійності, сумісності та ефективності СЕУ у міжнародній практиці суднобудування та судноплавства.

Основний матеріал. СЕУ функціонують у складному багаторівневому нормативному середовищі, де міжнародні конвенції, національні регуляторні вимоги та правила морських класифікаційних товариств визначають загальні критерії безпеки, а інженерні стандарти забезпечують деталізацію конструктивних рішень, методів розрахунку, випробувань та експлуатаційного контролю. У сучасних умовах глобалізації ланцюгів постачання, цифровізації та переходу до низьковуглецевих технологій зростає значення міжнародно визнаних стандартів, зокрема тих, що розробляються організаціями, акредитованими ANSI. Паралельно в пострадянських країнах продовжує застосовуватися система ГОСТ/ОСТ, яка історично сформувалася в іншій інженерній парадигмі та характеризується директивним підходом, жорсткою уніфікацією конструкцій і повільним циклом оновлення. Це створює виклики для мультистандартних проєктів, особливо у сферах, пов'язаних із композитними матеріалами, альтернативними енергоносіями та цифровими системами моніторингу.

На рис. 1 показано графічну схему нормативної ієрархії СЕУ, що охоплює п'ять рівнів регуляторного впливу – від міжнародних конвенцій IMO (SOLAS, MARPOL) до специфікацій конкретної верфі. Кожен рівень визначає вимоги до проєктування, класифікації, технічного регламентування та стандартизації судових енергетичних систем. Схема відображає послідовність нормативного підпорядкування, що забезпечує узгодженість між глобальними стандартами, національним законодавством, правилами класифікаційних товариств, інженерними кодами та локальними проєктними рішеннями.



Рис. 1. Графічна схема нормативної ієрархії СЕУ

Наукова новизна полягає в наступному:

- вперше виконано системний аналіз нормативної бази СЕУ із виділенням інженерного рівня стандартів як ключового елемента забезпечення відповідності міжнародним вимогам;
- виявлено та структуровано основні технічні та процедурні бар'єри сумісності між ANSI-орієнтованими та ГОСТ/ОСТ-орієнтованими нормативними системами;
- запропоновано концептуальний підхід до використання гібридної нормативної бази на основі «мультистандартної документації» для зниження технічних та сертифікаційних ризиків.

1. Нормативно-технічні передумови застосування композитних трубопроводів у суднових енергетичних установках. Сучасні СЕУ експлуатуються в умовах підвищених корозійних, термічних і хімічних навантажень, що істотно обмежує ресурс традиційних металевих трубопроводів, регламентованих чинними нормативними документами. Застосування сталевих і мідно-нікелевих трубопроводів у суднових системах історично ґрунтувалося на вимогах ГОСТ 8732, ГОСТ 8734, ГОСТ 9941, а

також галузевих стандартів ОСТ 5.95057, ОСТ 5.95075 і ОСТ 34, які встановлюють типові конструктивні рішення, допуски та сфери застосування металевих труб і трубопровідної арматури в суднобудуванні.

Найбільш уразливими в процесі експлуатації є контури систем охолодження забортною водою, а також баластні та газопускні системи, у яких вплив солоної води, агресивних середовищ і продуктів згоряння зумовлює прискорений розвиток корозії, ерозійне зношення і зниження надійності металевих трубопроводів, незважаючи на їх відповідність вимогам зазначених ГОСТ і ОСТ.

За таких умов застосування композитних трубопроводів і трубних систем на основі армованих полімерів (FRP-piping) є технічно обґрунтованим рішенням, спрямованим на підвищення довговічності та експлуатаційної надійності СЕУ. Проектування та застосування FRP-трубопроводів у міжнародній практиці регламентуються стандартом ISO 14692 (Petroleum and natural gas industries – Glass-reinforced plastics piping), а також кодексом ASME B31.3 (рис. 2), який використовується як базовий документ для трубопровідних систем із неметалевих матеріалів за умови їх відповідної сертифікації [5]. Для окремих елементів і вузлів застосовується стандарт ASME RTP-1, що встановлює вимоги до обладнання та трубних систем з армованих термореактивних пластиків [6].

Застосування композитних трубопроводів у морському середовищі додатково регламентується правилами класифікаційних товариств, зокрема ABS Rules for Materials та Welding та ABS Guidance Notes for Composite Materials, DNV Rules for Classification – Ships (розділи, що стосуються неметалевих трубопроводів і композитних матеріалів), а також Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Ships, які визначають умови допуску FRP-систем до використання в СЕУ, вимоги до вогнестійкості, випробувань, монтажу та експлуатаційного контролю [7, 8].

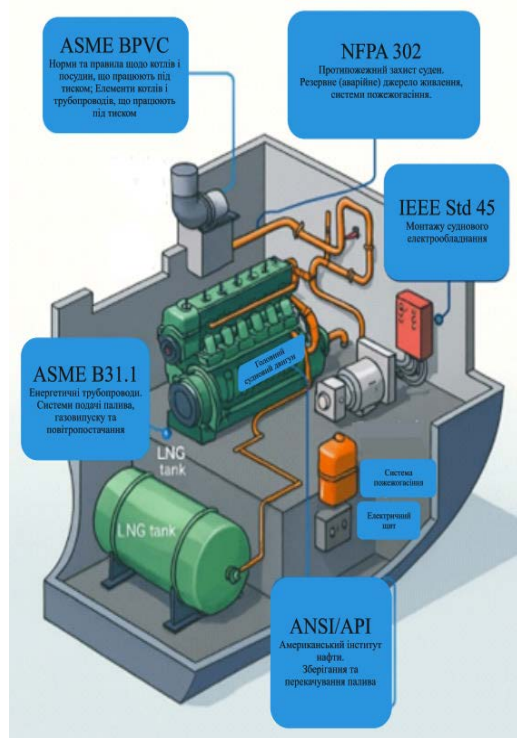


Рис. 2. Стандарти ANSI-акредитованих організацій (ASME, NFPA, API), що застосовуються до основних компонентів СЕУ

На відміну від традиційних металевих труб, FRP-системи характеризуються високою корозійною та хімічною стійкістю, меншою масою і зниженою схильністю до утворення відкладень, що забезпечує стабільність тепломасообмінних процесів і скорочення витрат на технічне обслуговування.

Додатковим чинником, який зумовлює необхідність упровадження FRP-трубопроводів, є розвиток суден на

альтернативних видах палива (LNG, метанол, аміак), для яких чинні ДСТУ (ГОСТ) і ОСТ, орієнтовані переважно на металеві матеріали, виявляються недостатньо адаптованими. У цих умовах композитні трубні системи, спроектовані відповідно до вимог ISO, ASME та правил ABS, DNV і Lloyd's Register, розглядаються як важливий елемент модернізації СЕУ і підвищення їх функціональної надійності.

У табл. 1. відображено принципові відмінності у підходах, структурі та практичній реалізації процедур оцінювання відповідності між нормативними системами ANSI, IEC/ISO та ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ, що безпосередньо впливають на можливість їх застосування у міжнародних суднобудівних проєктах.

2. Нормативно-технічні та експлуатаційні передумови застосування композитних балонів високого тиску (Composite Overwrapped Pressure Vessels – COPV) в суднових енергетичних установках. Розвиток СЕУ на альтернативних видах палива та стиснених газах зумовлює зростання вимог до систем зберігання робочих середовищ під високим тиском. Традиційні металеві балони, регламентовані класичними нормами суднобудування, характеризуються значною масою, обмеженою корозійною стійкістю та підвищеними навантаженнями на конструкцію судна, що істотно обмежує їх ефективність у сучасних проєктах.

Композитні балони високого тиску (COPV), виконані за схемами Type III (мета-

Таблиця 1. Порівняння процедур оцінювання відповідності нормативних систем ANSI, IEC/ISO і ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ

Елемент	ANSI	IEC/ISO	ДСТУ (ГОСТ)/ОСТ
Тип системи	Добровільна	Міжнародна	Державна
Органи оцінювання	Треті сторони	ILAC/IAF*	Державні
Простежуваність матеріалів, виробничих процесів	Повна	Повна	Часткова
Випробування	Стандартизовані	Гармонізовані	Регламентовані переважно для металевих систем**
Сертифікація	Міжнародна	Міжнародна	Локальна

Примітки:

* – ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) та IAF (International Accreditation Forum) – міжнародні організації, що формують глобальну систему акредитації органів з оцінювання відповідності, забезпечуючи взаємне визнання результатів випробувань, інспекцій і сертифікації між країнами;

** – процедури випробувань історично та методологічно орієнтовані виключно на металеві конструкції, зокрема: сталеві та алюмінієві трубопроводи; суцільнометалеві балони високого тиску; зварні з'єднання металів; металеві корпуси та елементи суднових систем.

лева внутрішня герметична оболонка (лайнер) з композитним армуванням) та Type IV (полімерний лайнер з композитною оболонкою), забезпечують істотне зниження маси за умови збереження або підвищення характеристик міцності (рис. 3). Це дозволяє збільшити корисний об'єм зберігання газу, зменшити навантаження на корпус судна та підвищити енергетичну ефективність суднових систем.

На рис. 3 візуалізовано розподіл зон сертифікації згідно з міжнародними стандартами: композитна оболонка – ANSI NGV2 щодо запасу міцності на розрив (Burst Pressure) та втомної стійкості (Stress Rupture); полімерний лайнер – підлягає перевірці за ANSI/CSA HGV 2 на проникність газу (Permeation) та хімічну сумісність. Металева горловина (Boss): тестується на втому різьби та зріз (Shear Strength) за нормами ASME/ANSI.

Застосування COPV є особливо актуальним для суден, що використовують *LNG*, водень, аміак, стиснений природний газ або інші альтернативні енергоносії, де критичними є масогабаритні показники, корозійна стійкість і довговічність систем зберігання. Композитні балони демонструють високу стійкість до втомних навантажень, відсутність водневої крихкості та знижену чутливість до агресивних середовищ порівняно з традиційними металевими рішеннями [9].



Рис. 3. Структурна схема COPV (Type IV) у контексті нормативних вимог сімейства ANSI

Проектування та застосування COPV регламентуються міжнародними стандартами *ASME Section X*, *ISO 11119*, а також прави-

лами класифікаційних товариств ABS, DNV і Lloyd's Register, що забезпечують необхідний рівень безпеки, надійності та відповідності вимогам морської експлуатації [10, 11].

Таким чином, використання композитних балонів високого тиску є не альтернативою, а логічним етапом розвитку суднових енергетичних систем, спрямованим на підвищення їх ефективності, екологічної безпеки та відповідності сучасним технологічним викликам.

Аналіз показників із табл. 2, де наведена порівняльна оцінка маси та витрат життєвого циклу балонів високого тиску для суднових енергетичних систем, показує, що COPV Type III та Type IV забезпечують суттєве зниження маси, яке безпосередньо впливає на експлуатаційну ефективність судна. Попри вищі початкові витрати, сумарні витрати життєвого циклу для COPV є порівнянними або нижчими за конструктивні рішення, що ґрунтуються на використанні металів.

Чинні ГОСТи, зокрема ГОСТ 949, ГОСТ 14249, ГОСТ 34347, а також галузеві ОСТи регламентують вимоги до *сталевих і алюмінієвих балонів*, включаючи розрахунок на міцність, випробування, маркування та експлуатаційні обмеження. Зазначені документи не враховують специфіку композитних оболонок, анізотропію матеріалів, механізми втомного руйнування та особливості взаємодії лайнера з композитним армуванням, що є визначальними для COPV (див. табл. 2).

У суднобудуванні це призводить до нормативного вакууму щодо застосування композитних балонів високого тиску, особливо в контексті суден на альтернативних видах палива (*LNG*, водень, аміак). У таких випадках ГОСТ і ОСТ можуть використовуватися лише *опосередковано*, наприклад, для загальних вимог безпеки, випробувань або експлуатаційної документації, але не як повноцінна нормативна основа для COPV.

У зв'язку із цим, проектування та сертифікація композитних балонів високого тиску в СЕУ здійснюються на основі *міжнародних стандартів ASME Section X*, *ISO 11119*, а також правил класифікаційних товариств

ABS, DNV i Lloyd's Register, які враховують особливості композитних матеріалів і забезпечують необхідний рівень безпеки морської експлуатації [12].

Відсутність спеціалізованих ГОСТів і ОСТів для COPV відображає обмежену адаптивність традиційної нормативної системи до сучасних композитних технологій. Застосування композитних балонів високого тиску в СЕУ можливе лише за умови використання міжнародних стандартів і правил класифікаційних товариств.

3. Роль міжнародних стандартів ANSI, ISO та IEC у впровадженні водневих технологій у суднобудуванні та судноплавстві. Перехід судноплавства до низьковуглецевих і безвуглецевих енергетичних рішень зумовив зростання інтересу до використання водню як суднового палива та енергоносія. Водень розглядається як перспективний компонент СЕУ для паливних елементів (fuel cells), гібридних систем і допоміжних енергетичних контурів, особливо в сегменті пасажирських, прибережних і спеціалізованих суден.

Ключовими технічними викликами під час упровадження водню на судах є його зберігання, транспортування та безпечна

експлуатація в умовах морського середовища. Високий тиск, низька молекулярна маса, схильність до дифузії та воднева крихкість металів істотно обмежують застосування традиційних матеріалів і конструктивних рішень, регламентованих класичними суднобудівними стандартами [13].

Впровадження водню в СЕУ неможливе без переходу від традиційних конструктивних рішень на основі металу до композитних технологій та міжнародних стандартів. У цій системі ANSI відіграє ключову роль як інтегратор і координатор стандартів (Наприклад, ASME B31.12 – Hydrogen Piping and Pipelines; ASTM G142 – Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments), що забезпечують безпечне та масштабоване застосування водню в морській галузі.

Міжнародні організації зі стандартизації ANSI, ISO та IEC відіграють ключову роль у формуванні нормативної основи глобального переходу до низьковуглецевих і безвуглецевих енергетичних систем. Їхня діяльність спрямована на інтеграцію вимог щодо декарбонізації в технічні стандарти,

Таблиця 2. Порівняльна оцінка маси та витрат життєвого циклу балонів високого тиску для суднових енергетичних систем

Параметр	Сталевий балон	COPV Type III (металевий лайнер + композит)	COPV Type IV (полімерний лайнер + композит)
Робочий тиск, МПа	35 (типовий для систем зберігання водню або стисненого газу)		
Корисний об'єм, м ³	1,0*		
Орієнтовна маса балона, кг	900–1000	400–550	300–400
Зниження маси відносно сталевго балона, %	–	40–60	60–70
Корозійна стійкість	Низька	Висока	Дуже висока
Стійкість до втомних навантажень**	Середня	Висока	Дуже висока
Стійкість до водневої крихкості	Низька	Висока	Дуже висока
Початкові капітальні витрати (CAPEX)	Низькі	Середні	Високі
Експлуатаційні витрати (OPEX)	Високі (корозія, інспекції)	Середні	Низькі
Очікуваний ресурс, років***	15–20	20–25	25–30
Сумарні витрати життєвого циклу (LCC)****	Високі	Середні	Середні / низькі
Нормативна підтримка ANSI / ISO	Повна	Повна	Повна
Нормативна підтримка ГОСТ / ОСТ	Повна	Обмежена	Відсутня

Примітки:

* – корисний об'єм 1,0 м³ прийнято для порівняння порядку величин;

** – коефіцієнти запасу міцності прийнято відповідно до ISO 11119 та ASME Section X;

*** – оцінка маси та ресурсу базується на узагальнених даних виробників і технічних звітах класифікаційних товариств;

**** – витрати життєвого циклу (LCC) наведено якісно, без прив'язки до конкретної валюти, з урахуванням корозійного захисту, технічного обслуговування та заміни.

гармонізацію підходів до оцінювання вуглецевого сліду та створення єдиних правил для впровадження інноваційних енергетичних технологій у промисловості, транспорті та енергетиці [14].

Одним із пріоритетних напрямів є *сертифікація сталих видів палива*, зокрема водню, аміаку, синтетичних і біопалив. Стандарти ISO та IEC визначають критерії походження, чистоти, безпеки та екологічної ефективності таких енергоносіїв, що забезпечують прозорість ланцюгів постачання та можливість їх міжнародного визнання. У цьому контексті ANSI виконує координаційну функцію, забезпечуючи узгодження національних стандартів США з міжнародними вимогами та сприяючи їх інтеграції в глобальну нормативну систему.

Окрему увагу міжнародні організації зі стандартизації приділяють *стимулюванню інновацій у сфері альтернативної енергетики*, зокрема впровадженню ядерних, водневих, аміачних та інших перспективних енергетичних установок. Розроблення стандартів для нових технологій дозволяє знизити технічні та регуляторні бар'єри, забезпечити належний рівень безпеки та прискорити їх комерціалізацію. У морській, енергетичній та промисловій галузях це створює передумови для масштабного впровадження рішень, спрямованих на зменшення вуглецевого сліду та підвищення екологічної стійкості енергетичних систем.

Таким чином, діяльність ANSI, ISO та IEC формує комплексну нормативну екосистему, яка поєднує технічні вимоги, екологічні критерії та цифрові інструменти управління. Саме ця система є фундаментом для глобального енергетичного переходу та забезпечує узгоджений розвиток інноваційних технологій у напрямі сталого розвитку.

4. Декарбонізація та цифровізація як фактори конвергенції стандартів. Класифікаційні товариства відіграють критичну проміжну роль у подоланні бар'єрів сумісності, інтегруючи вимоги різних систем стандартизації в єдині маршрути затвердження та сертифікації. Через процедури типового затвердження, оцінювання проєктів та ризикоорієнтовану експертизу кла-

сифікаційні товариства забезпечують практичну реалізацію рішень, заснованих на стандартах ANSI та IEC/ISO, у межах ієрархічної нормативної структури, що регламентує СЕУ [15].

Процеси декарбонізації та цифровізації додатково посилюють потребу в нормативній гармонізації. Перехід до водню, аміаку та інших низьковуглецевих видів палива вимагає стандартів, здатних враховувати нові ризики безпеки, матеріальні виклики та вимоги до моніторингу [16, 17]. Стандарти, акредитовані ANSI, у координації з IEC та ISO, демонструють вищу адаптивність до цих викликів, тоді як системи ГОСТ/ОСТ стикаються зі структурними обмеженнями через повільні цикли оновлення та обмеженістю цифрового охоплення.

5. Рамкова модель вибору нормативного шляху та управління ризиками відповідності для мультистандартних суднобудівних проєктів. У сучасному суднобудуванні, особливо при впровадженні інноваційних матеріалів (FRP, COPV) та альтернативних енергоносіїв (LNG, водень, аміак), проєктувальники стикаються з необхідністю узгодження кількох нормативних систем. Це стосується як міжнародних стандартів (ISO, IEC), так і ANSI-акредитованих кодексів (ASME, NFPA), а також регіональних норм (ГОСТ/ОСТ), які можуть бути чинними в країні-замовнику, на верфі або в експлуатаційному регіоні.

Для забезпечення нормативної відповідності та сертифікації проєкту необхідно прожити послідовність рішень, які визначають оптимальний нормативний маршрут (рис. 4).

Нижче наведено розгорнуту логіку цієї процедури, що відповідає структурі блок-схеми.

Крок 1. Ідентифікація всіх застосованих стандартів

На першому етапі здійснюється повна інвентаризація нормативних документів, які можуть бути застосовані до конкретного суднобудівного проєкту. Це включає:

- міжнародні стандарти (ISO 14692, ISO 11119, IEC 60092 тощо);
- ANSI-акредитовані кодекси (ASME B31.3, ASME Section X, IEEE Std 45, NFPA 302);

– регіональні стандарти (ГОСТ 8732, ГОСТ 949, ОСТ 5.95057 тощо);

– правила класифікаційних товариств (ABS, DNV, Lloyd's Register).

Ідентифікація проводиться для кожного компонента СЕУ: трубопроводів, балонів, електроустановок, систем пожежогасіння, паливних контейнерів тощо.

Крок 2. Чи застосовується класифікаційне товариство?

Це критичне рішення. Якщо судно підлягає класифікації (що є нормою для комерційних суден), то:

– Так → застосовуються правила відповідного класифікаційного товариства (ABS, DNV, Lloyd's Register), які можуть інтегрувати міжнародні стандарти або мати власні вимоги;

– Ні → необхідно забезпечити відповідність усім застосовним стандартам самостійно: шляхом мультистандартної відповідності.

Класифікаційні товариства часто виконують роль інтегратора, дозволяючи застосовувати міжнародні стандарти навіть у регіонах, де діють ГОСТ/ОСТ, через процедури

типового затвердження, Design Appraisal або Risk-Based Assessment.

Крок 3. Чи розходяться технічні вимоги між стандартами?

На цьому етапі аналізується, чи існують суттєві технічні розбіжності між стандартами, що охоплюють один і той самий компонент. Наприклад:

– ГОСТ може вимагати металеву конструкцію, тоді як ISO допускає композитну;

– ASME може дозволяти вищий робочий тиск за рахунок іншого коефіцієнта запасу;

– ІЕС може вимагати цифровий моніторинг, а ГОСТ – лише періодичну перевірку з фіксацією на паперовому носії (журналі);

– Так → необхідно забезпечити мультистандартну відповідність, тобто виконати вимоги всіх систем паралельно або знайти компромісне рішення;

– Ні → переходимо до аналізу нормативної еквівалентності.

Крок 4. Аналіз нормативної еквівалентності

Цей етап передбачає порівняння стандартів на предмет їх функціональної еквівалентності. Наприклад:

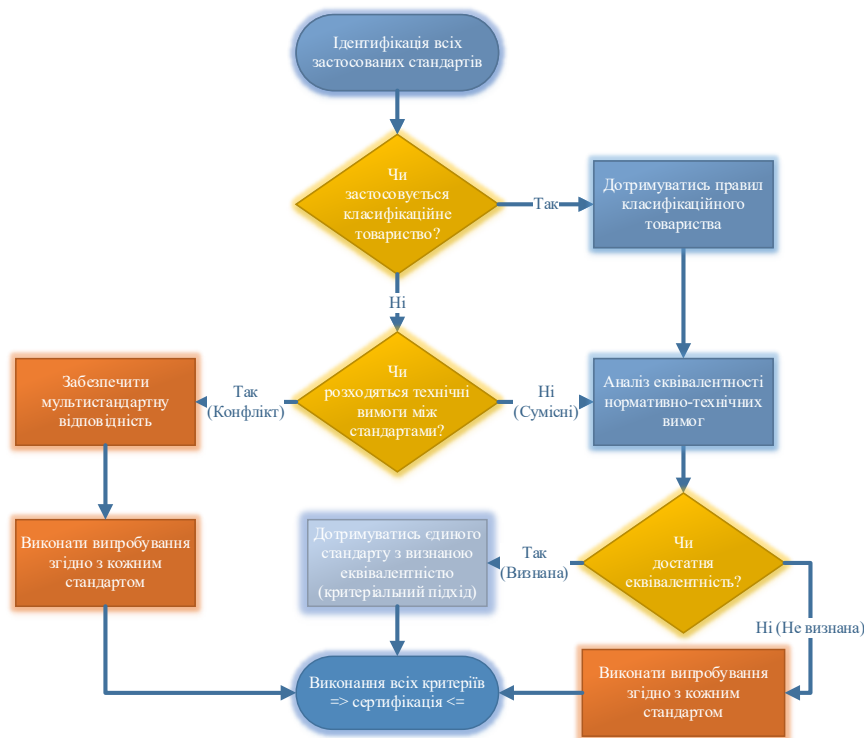


Рис. 4 Схема рамкової моделі вибору нормативного шляху в суднобудівних проєктах із застосуванням кількох стандартних систем

– Чи забезпечує ISO 14692 той самий рівень безпеки, що й ГОСТ 8732?

– Чи визнає класифікаційне товариство ASME Section X як еквівалент ГОСТ 949?

– Чи допускає регулятор використання міжнародного сертифіката замість національного?

Аналіз може включати:

– порівняння вимог до матеріалів, випробувань, допусків;

– оцінку процедур сертифікації;

– перевірку наявності міжстандартних угод або визнання.

Крок 5. Чи достатня нормативна еквівалентність?

– Так → можна застосувати один стандарт з визнаною еквівалентністю, тобто використовувати, наприклад, ISO або ASME замість ГОСТ, якщо це офіційно дозволено класифікаційним товариством або регулятором;

– Ні → необхідно провести випробування за кожним стандартом окремо, тобто забезпечити повну відповідність кожній нормативній системі, що значно ускладнює проєкт.

Крок 6. Досягнення мультистандартної відповідності

Це фінальний етап, який передбачає:

– виконання вимог кількох стандартів одночасно;

– проведення подвійних або комбінованих випробувань;

– оформлення документації відповідно до кожної нормативної системи;

– залучення сертифікаційних органів, визнаних у кожній юрисдикції;

– інтеграцію цифрового моніторингу, якщо це вимагається хоча б одним стандартом.

Такий підхід є складним, але часто необхідним для інноваційних проєктів, які виходять за межі традиційних нормативних рамок.

Запропонована блок-схема “Regulatory Pathway Selection” відображає структурований підхід до вибору нормативного маршруту, який дозволяє:

– уникнути нормативних конфліктів;

– забезпечити відповідність вимогам класифікаційних товариств;

– оптимізувати витрати на сертифікацію;

– підвищити надійність і прийнятність проєкту в міжнародному середовищі.

Цей підхід особливо актуальний для суден, що використовують альтернативні види палива, композитні матеріали, цифрові системи моніторингу та функціонують у багатонаціональному регуляторному полі.

Обговорення отриманих результатів.

Результати порівняльного аналізу демонструють, що пряма імплементація стандартів ASME B31.3 та ISO 14692 дозволяє знизити масогабаритні характеристики трубопровідних систем на 30–40 % порівняно з металевими аналогами згідно з ГОСТ. Однак виявлений «нормативний вакуум» у вітчизняних стандартах щодо COPV (Type III/IV) створює критичні ризики для сертифікації. Запропонована у роботі рамкова модель вибору нормативного шляху нівелює ці ризики шляхом пріоритизації міжнародних стандартів (ANSI/ISO) через механізм «визнання еквівалентності» класифікаційних товариств, що підтверджується економічною оцінкою життєвого циклу (LCC) у табл. 2. Це доводить, що перехід на мультистандартну базу є не лише технічною необхідністю, а й економічно обґрунтованою стратегією.

Для проєктів, що реалізуються за участі постачальників зі США та ЄС, рекомендується застосовувати підхід «найсуворішої вимоги» або процедуру подвійної сертифікації для критично важливих вузлів, зокрема композитних балонів високого тиску (COPV).

Суттєвою експлуатаційною проблемою залишаються розбіжності між американськими та європейськими стандартами з'єднувальної арматури (manifold connection/Interface). Це створює технічні складності при бункеруванні суден у різних регіонах.

Для заходження в порти США судна повинні відповідати регламентам Берегової охорони США (USCG), закріпленим у Кодексі федеральних правил (CFR) [18, 19]. Зазначені вимоги активно використовують посилення на національні стандарти, акредитовані ANSI (зокрема розроблені NFPA,

IEEE, ASME), що є особливо критичним у частині протипожежного захисту, електротехнічного обладнання та систем поводження з небезпечними вантажами, де норми США можуть перевищувати міжнародні вимоги SOLAS.

Модернізація світового флоту потребує переходу від директивного (prescriptive) дотримання ізольованих національних стандартів до гнучкої моделі відповідності, що ґрунтується на оцінці ризиків (risk-based compliance). Така модель має інтегрувати найкращі практики ANSI, ISO та правила провідних класифікаційних товариств.

Існуючий «нормативний вакуум» у вітчизняній системі стандартів необхідно усунути шляхом прямого визнання стандарту ISO 11119 через правила морських класифікаційних товариств (DNV, ABS, Lloyd's Register).

Висновки

1. ANSI-орієнтовані стандарти формують практичну інженерну основу для проектування та експлуатації сучасних СЕУ, забезпечуючи деталізацію вимог, прозорі процедури оцінювання відповідності та високу сумісність із міжнародними ланцюгами постачання.

2. Стандарти IEC/ISO забезпечують гармонізацію технічних підходів і термінології, що сприяє порівнюваності випробувань і міжнародному визнанню сертифікації; їх застосування є критичним для інтеграції інноваційних рішень у глобальні проекти.

3. Система ГОСТ/ОСТ залишається актуальною для локальних проектів, проте її слабка сумісність із композитами та альтернативним паливом вимагає додаткової гар-

монізації вимог із правилами класифікаційних товариств.

4. Практика впровадження FRP-трубопроводів і COPV наочно ілюструє наслідки нормативних прогалів: для FRP необхідні чіткі вимоги до вогнестійкості, монтажу та інспекцій, для COPV – вимоги до анізотропії, довговічності при змінних навантаженнях та взаємодії лайнера з армуванням, які відсутні в традиційних ГОСТ/ОСТ.

5. Рамкова модель вибору нормативного шляху (визначення профілю експлуатації, вибір нормативної бази, матриця відповідності, погодження з класифікаційним товариством, оцінювання відповідності, моніторинг) є ефективним інструментом зниження ризиків і має бути застосована на ранніх стадіях проектування. Для подальших досліджень модель слід структурувати у вигляді «матриці мультистандартних рішень», що базується на SOLAS II-2 Reg 17.

6. Глобальні тренди декарбонізації та цифровізації виступають каталізаторами гармонізації міжнародних стандартів, зумовлюючи необхідність переходу до більш адаптивних регуляторних моделей.

Отримані результати підкреслюють зростаючу роль класифікаційних товариств як інтеграторів мультистандартних вимог і акцентують потребу в прискореній гармонізації нормативних систем у відповідь на виклики декарбонізації та цифровізації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення кількісних показників сумісності та інструментів підтримки прийняття рішень для оптимізації вибору нормативного маршруту в інноваційних суднобудівних проектах

Список літератури

- Li, Y., Li, Q., Peng, W., Hua, Z., & Zheng, J. (2024). A comparative analysis of the regulations, codes, and standards for on-board high-pressure hydrogen storage cylinders. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 54, 894–907. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.106>
- [2] Li, Y., Ding, H., Peng, W., Hua, Z., & Zheng, J. (2025). Residual burst pressure prediction of COPVs after long-term seawater immersion subjected to internal pressure. *Composites, Part B: Engineering*, Vol. 305, 112725. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.112725>
- [3] Kudrenko, A., Avdiunin, R., & Kolesnykov, O. (2025). American national standards institute in shipbuilding. *Innovations in shipbuilding and ocean engineering: XVI International scientific and technical conference: materials*. Mykolaiv: NUK, 34–37. <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2025/10/Materiali-konferencii.pdf>

- [4] Nalyvaiko, V., Oliinyk, O., & Avdiunin, R. (2025). ANSI Standards for Shipboard Power Plant Design and Operation. *Ship power engineering: status and problems: materials of the XII International Scientific and Technical Conference*. Mykolaiv: Publishing house Yemelyanova T. V., 47–52. Retrieved from <https://eir.nuos.edu.ua/items/2848849e-d3c1-4708-9178-b78c50994e90>
- [5] ASME B31.3. Process Piping. (2024). New York: American Society of Mechanical Engineers. Retrieved from: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-3-process-piping>
- [6] ASME RTP-1. Reinforced Thermoset Plastic Corrosion Resistant Equipment. (2023). New York: American Society of Mechanical Engineers. Retrieved from: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/rpt-1>
- [7] ABS. Rules for Materials and Welding; Guidance Notes for Composite Materials. (2023). Houston: American Bureau of Shipping. Retrieved from: <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-guides.html>
- [8] Lloyd's Register. Rules and Regulations for the Classification of Ships. (2024). London: Lloyd's Register Group. Retrieved from: <https://www.lr.org/en/rules-and-regulations>
- [9] Regassa, Y., Gari, J., & Lemu, H. G. (2022). Composite Overwrapped Pressure Vessel Design Optimization Using Numerical Method. *Journal of Composites Science*, Vol. 6, Iss. 8, Art. 229. <https://doi.org/10.3390/jcs6080229>
- [10] ASME. Section X. Rules for Construction of Pressure Vessels. (2023). New York: American Society of Mechanical Engineers. Retrieved from: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-section-x>
- [11] DNV. Rules for Classification – Ships. (2024). Oslo : Det Norske Veritas. Retrieved from: <https://www.dnv.com/maritime/rules-and-standards/>
- [12] ISO 11119. Gas cylinders – Composite overwrapped pressure vessels. (2019). Geneva: International Organization for Standardization. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/66473.html>
- [13] Wang, Z, Li, M., Zhao, F., Ji, Y., & Han, F. (2024). Status and prospects in technical standards of hydrogen-powered ships for advancing maritime zero-carbon transformation. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 62, 925–946. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.083>
- [14] Dwivedi, S. K., & Vishwakarma, M. (2018). Hydrogen embrittlement in different materials: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 43, Iss. 46, 21603–21616. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.201>
- [15] Inal, O. B., Zincir, B., & Deniz, C. (2022). Investigation on the decarbonization of shipping: An approach to hydrogen and ammonia. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 47, Iss. 45, 19888–19900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.189>
- [16] Anantharaman, M., Sardar, A., & Islam, R. (2025). Decarbonization of Shipping and Progressing Towards Reducing Greenhouse Gas Emissions to Net Zero: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, Vol. 17, Iss. 7, Art. 2936. <https://doi.org/10.3390/su17072936>
- [17] NFPA 302. Fire Protection Standard for Pleasure and Commercial Motor Craft. (2023). Quincy, MA: National Fire Protection Association. Retrieved from: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=302>
- [18] Code of Federal Regulations, Title 46: Shipping. (2026). Washington, DC: Office of the Federal Register. Retrieved from: <https://www.ecfr.gov/current/title-46/>
- [19] NVIC 02-02. Guidance on the Port State Control (PSC) Program. (2002). Washington, DC: U.S. Coast Guard. Retrieved from: <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/NVIC/>

© Авдюнін Р. Ю., Наливайко В. С., Андреев А. А.

Дата першого надходження статті до видання: 20.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 15.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0