

**Кірсанова В.В.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

*Морський транспорт є найдешевший і найпоширеніший вид транспорту міжнародної торгівлі та відіграє важливу роль в економічному розвитку всього світу. Морський транспорт ефективний з погляду витрати палива на одиницю відстані; проте на глобальний морський сектор припадає приблизно 3% загальних антропогенних викидів парникових газів. Відповідно до стратегії Міжнародної Морської Організації (ІМО), планується скорочення загальних щорічних викидів парникових газів не менше ніж на 50% до 2050 р. порівняно з 2008 р., для досягнення цих цілей були запропоновані короткострокові, середньострокові та довгострокові заходи з можливими тимчасовими етапами. Їх можна поділити на дві великі категорії: підвищення експлуатаційної енергоефективності за рахунок інноваційних технологій та експлуатація суден на альтернативних видах палива з низьким та нульовим вмістом вуглецю. Розглянуто потенціал деяких альтернативних видів палива для декарбонізації водного транспорту. Визначені переваги та недоліки обраних альтернативних суднових видів палива: скраплений природний газ (ЗПГ), водень, аміак, біопаливо та електрику. Сьогодні немає єдиного виду палива для забезпечення необхідного скорочення викидів парникових газів. Скорочення викидів сильно різняться залежно від способів виробництва палива. Альтернативні види палива, що використовують вуглецевий спосіб виробництва, не забезпечать декарбонізацію.*

*Потрібна розробка загальносистемної перспективи створення ефективною основи для розробки оптимальних альтернативних рухових технологій та сприяння їхньому впровадженню. Зусилля щодо контролю викидів від судноплавства під керівництвом ІМО мають першорядне значення для досягнення мети нульового викиду в судноплавній галузі. ІМО також розглядає безліч державних та приватних ініціатив.*

**Ключові слова:** морський транспорт, декарбонізація, водень, метан, аміак, скраплений газ.

**Постановка проблеми.** Морський транспорт відіграє важливу роль в економічному розвитку всього світу, на нього припадає 80–90% міжнародної торгівлі. Станом на 2020 р. світовий флот нащипував 98 140 активних комерційних судів дедвейтом 2,06 млрд тонн, які перевезли 11 076 млн тонн вантажів [1]. Морський транспорт ефективний з погляду витрати палива на одиницю відстані; проте на глобальний морський сектор припадає приблизно 3% загальних антропогенних викидів парникових газів (ПГ). У глобальному масштабі це 6-й за величиною джерело викидів CO<sub>2</sub> [2].

Міжнародна морська організація (ІМО) десятиліттями займалася проблемою викидів парникових газів в атмосферу (ПГ). До енергоефективності судів; МЕРС.229 (65), згідно з яким ІМО сприяє передачі енергоефективних технологій (МЕРС 2013), та МЕРС.278(70), згідно з яким потрібен збір даних про споживання мазуту та звітності (МЕРС 2016). Опубліковано Початкову стратегію ІМВ щодо скорочення викидів ПГ з судів (Початкова стратегія) у 2018 році (МЕРС 2018). Відповідно до цієї стратегії планується скорочення загальних

щорічних викидів ПГ не менше ніж на 50% до 2050 р. порівняно з 2008 р., передбачено поетапне скорочення викидів CO<sub>2</sub> відповідно до температурних цілей Паризької угоди. Для досягнення цих цілей у Вихідній стратегії було запропоновано короткострокові, середньострокові та довгострокові заходи з можливими тимчасовими етапами. Яких можна поділити на дві великі категорії: підвищення експлуатаційної енергоефективності за рахунок інноваційних технологій та експлуатація суден на альтернативних видах палива з низьким та нульовим вмістом вуглецю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Лі та Намом [3]. запропонували визначення зеленої корабель. Зелене судно, або екокорабель, означає судно, яке скоротило викиди парникових газів за рахунок розвитку технологій, пов'язаних з економією палива та альтернативними видами палива. Боуман та ін [4]. провели дослідження 19 технологій, пов'язаних з економією палива (оптимізація форми корпусу, оптимізація рейсу, пристрої зниження опору, пристрої підвищення ефективності руху тощо) та двох альтернативних видів палива (ЗПГ та біопаливо). Потенціал викидів CO<sub>2</sub> для

19 технологій економії палива приблизно від 1% до 35%, а біопаливо має близько 80% потенціалу скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Дослідження DNV-GL. [4] показують, що можна досягти декарбонізації корабля (від бака до гребного гвинта) за допомогою альтернативних суднових видів палива. Експлуатація суден на альтернативному паливі є одним із найбільш дієвих заходів щодо скорочення викидів парникових газів у судноплаванні. альтернативними судновими видами палива є зріджений природний газ (ЗПГ), водень, аміак, метанол, етанол, біопаливо, синтетичне паливо, електроенергія, що виробляється батареями, і так далі.

**Мета наших досліджень** – вивчити переваги та недоліки окремих альтернативних видів судового палива та наголосити на необхідності їх комплексної оцінки.

Кожне альтернативне паливо має свої особливості у різних аспектах. При використанні деяких альтернативних видів палива викиди парникових газів можуть бути відсутніми, але вони пов'язані з більш високим ризиком, ніж звичайне паливо. Інші альтернативні види палива можуть не генерувати викиди ПГ за низького ризику, але капітальні витрати або експлуатаційні витрати можуть бути високими. Альтернативні види палива також можуть генерувати певну кількість викидів ПГ, але ризик та витрати можуть бути нижчими, ніж при використанні інших альтернативних видів палива. Щоб будувати та експлуатувати екологічні судна, необхідно аналізувати властивості альтернативних видів палива та оцінювати загальні аспекти кожного з них.

**Виклад основного матеріалу.** Досліджували переваги та недоліки п'яти обраних альтернативних суднових видів палива (СПГ, водень, аміак, біопаливо та електрику, що виробляється акумуляторними батареями). Електрика не є паливом, але електричні силові установки на акумуляторних батареях є важливою технологією, яка застосовується на судах для скорочення викидів парникових газів.

#### **Скрапленний природний газ (СПГ)**

Скрапленний природний газ містить понад 95% метану і часто використовується як альтернативне паливо з метою обмеження викидів SO<sub>x</sub> та NO<sub>x</sub> та для скорочення викидів CO<sub>2</sub> під час експлуатації суден. СПГ містить більше 95% метану (CH<sub>4</sub>) і менше 5% суміші інших вуглеводнів (зазвичай етан, пропан та бутани) та азоту. СПГ є безбарвною рідиною, охолодженою до -162°C. [6].

**Метан** можна отримати як з копалин, так і з біомаси. СПГ на основі викопного палива отримують шляхом видобутку природного газу з надр землі за допомогою свердловин. Газ обробляється для видалення більш важких вуглеводневих газів та інших домішок, а потім охолоджується до криогенних температур для переходу в рідкий стан. Біометан виробляється шляхом анаеробного збродження (АЕ) або газифікації біомаси. Біометан має властивості, аналогічні природному газу на основі викопного палива.

Його можна зріджувати та розповсюджувати, використовуючи інфраструктуру природного газу. Однак біометан вимагає додаткового очищення перед використанням як судове паливо. Витрати на очищення відносно високі і це є одним з основних бар'єрів для широкого впровадження біометану як паливо [7, 8]. ЗПГ може знизити викиди CO<sub>2</sub> до 26% порівняно з викопним паливом не виробляє викидів SO<sub>x</sub> і має низький рівень викидів NO<sub>x</sub>. Порівняно з іншими альтернативними видами палива ЗПГ має нижчу ціну на сировину, розвинену інфраструктуру для суден та комерційно доступні технології. Однак ЗПГ слід зберігати в ізольованих резервуарах і можливе неконтрольоване випаровування метану [4]. Важливим недоліком ЗПГ є те, що це паливо не може відповідати початковій стратегії ІМО, оскільки планується скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 50%.

#### **Аміак**

Аміак (NH<sub>3</sub>), не містить карбон, внаслідок чого привернув увагу як потенційного альтернативного палива для морського транспорту. Його можна виробляти з відновлюваних ресурсів і використовувати як екологічно чисте альтернативне джерело енергії. Великою перевагою аміаку є простота зберігання та транспортування [9, 10]. За стандартних умов (25°C) аміак повинен перебувати під тиском до 8,6 бар, щоб підтримувати його рідкий стан. Енергетична густина аміаку становить близько 22,5 МДж/кг, масова частка водню становить 17,8%. Амічне паливо характеризується вузьким діапазоном займистості, який становить від 0,63 до 1,40. Його вважають негорючим у процесі транспортування [11]. У аміаку дуже сильний запах і витік аміаку на борту можна виявити по запаху (5 ppm) [12].

Аміак в даний час виробляється в усьому світі за допомогою технології Габера-Боша, в якій використовується каталізатор на основі заліза при високих температурах і тисках (450°C, 200 бар) для взаємодії атмосферного азоту (N<sub>2</sub>) з воднем (H<sub>2</sub>) та синтезу аміаку [13]. При виробництві

аміаку використовується природний газ із наступною газифікацією вугілля [14, 15].

У зв'язку з постійно зростаючим інтересом до скорочення викидів вивчаються альтернативні стійкі шляхи виробництва аміаку, включаючи електрохімічні та біологічні способи. Електрохімічні та біологічні процеси можуть здійснюватися за більш низьких рівнів тиску та температури порівняно з технологією Габера-Боша [16, 17]. При розробці нових технологічних процесів можливе потенційне зниження енерговитрат на виробництво аміаку.

Аміак може використовуватися в різних первинних двигунах: дизельних двигунах, двигунах з іскровим запалюванням та газових турбінах, а також у паливних елементах. Аміак входить до трійки найбільших хімічних речовин, які щороку перевозяться, тому аміак вже перевозиться морським транспортом, і в усьому світі існують системи зберігання і доставки [18]. Аміак важко запалюється (порівняно зі звичайним паливом), тому при використанні аміаку в двигунах внутрішнього згоряння необхідно додавати водень [19].

Недоліком використання аміаку як суднове паливо є його токсичність і небезпечний характер. Вплив високих концентрацій аміаку в повітрі може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, таких як сліпота, ушкодження легень, ушкодження головного мозку та, можливо, смерть [20, 21]. Тому витік аміаку може швидко стати серйозною загрозою житловим приміщенням та бортовому персоналу. Однак проблеми токсичності вже значною мірою вирішені при використанні аміаку у різних секторах, особливо у сільському господарстві, хімічній та холодильній промисловості.

Добре зарекомендували себе стандарти поводження з аміаком, його зберігання та використання у різних формах, щоб упоратися з токсичністю аміаку [22, 23, 24]. Більше того, неповне згоряння аміаку може призвести до збільшення викидів NO<sub>x</sub>. Це питання стосується систем двигунів внутрішнього згоряння з безпосереднім застосуванням аміаку. Вузькі межі займистості та низька швидкість полум'я аміаку можуть спричинити неповне згоряння в системі двигуна [25]. Проблема неповного згоряння може бути зменшена, якщо аміак розкладається перед упорскуванням у двигун; суміш водню, азоту, аміаку та повітря має характеристики горіння, порівняні з бензином [26, 27].

#### Водень

Водень (H<sub>2</sub>), один із найпоширеніших хімічних елементів на Землі. Він є складовою води

(H<sub>2</sub>O) і багатьох органічних сполук. Отже, його можна отримати з різних джерел, включаючи викопне паливо, біомасу та воду [28].

Виробництво водню може бути досягнуто за допомогою різних технологічних процесів, включаючи риформінг (паровий, парціальний окислений, автотермічний, плазмовий та у водній фазі), газифікацію, піроліз та електроліз води [29]. Більшість водню виробляється з копалин палива. Близько трьох чвертей світового попиту водень забезпечується паровою конверсією метану з допомогою природного газу як вихідної сировини. Проте дешевизнавиробництва водню з газу поєднується з великими викидами парникових газів [30]. Електроліз з використанням відновлюваних джерел енергії може забезпечити виробництво чистого водню, проте нині його припадає лише 3,9% від загального світового виробництва водню [31]. У процесі виробництва водню шляхом електролізу, при якому вода розщеплюється на водень і кисень за допомогою електрики не утворюється CO<sub>2</sub> як побічний продукт. Розроблено різні способи синтезу водню у процесі електролізу води. Водень, отриманий за допомогою електролізу, названий зелений водень і є єдиною формою водню з практично безвуглецевим виробничим процесом. Цей метод виробництва не новий, але витрати на виробництво зеленого водню значно вищі, порівняно з іншими способами його виробництва. Після отримання газоподібного водню його можна зберігати та транспортувати у паливних баках. Однак, оскільки водень має дуже низьку щільність енергії, його необхідно значно стискати і охолоджувати, подібно до стиснення метану для виробництва зрідженого природного газу [32]. При зберіганні стиснутого водню виникають проблеми. Потрібен великий простір на судні для його зберігання. Також є проблемою тривалий період бункерування, характерний для газу з низькою щільністю. Для поромів на острів Окні було описано та оцінено безпеку системи заправки стисненим воднем. Однак у цьому проєкті було обрано зберігання водню за 35 МПа, а не 700 МПа. Загальна установка бункера була розрахована на 2 МВт або 800 кг H<sub>2</sub> в день. Великим морським кораблям для їх експлуатації потрібно кілька 100 тонн водню, а заправка з такою швидкістю займе кілька тижнів або дуже багато форсунок. Для бункерування зеленого водню можуть бути використані водневі резервуари, встановлених у стандартному 20- або 40-футовому контейнері, який потім можна завантажити на судно. Це стосується паливних систем касетного типу. Це

може бути варіантом для невеликих суден, таких як пороми, але для великих суден час, необхідний для завантаження та розвантаження всіх цих контейнерів, різко збільшує час заходу до порту. Перш ніж порти зможуть постачати кораблі достатньою кількістю рідкого водню, необхідно буде побудувати зовсім нову паливну інфраструктуру без досвіду поводження з рідким воднем. В даний час його навіть не перевозять як товар океаном, хоча Kawasaki сподівається змінити це за допомогою свого поточного проекту HySTRA. Розробка порту для рідкого водню, як і раніше, є серйозною проблемою, перш ніж рідкий водень можна буде використовувати в усьому світі як паливо.

Розробка суден, що працюють на ЗПГ, може бути основою для використання водневих суден. Проте проблеми з водневими судами будуть ще серйознішими. Температура переходу в рідкий стан приблизно на 90°C нижча і щільність енергії також у 2 рази менша. Потрібно зберігати зелений водень за більш низьких температур і при більших обсягах порівняно з ЗПГ.

Паливо корабля зазвичай ділиться кілька менших баків, але у кожному з цих баків водень випаровується, створюючи частково заповнені водневі баки. У кожному з цих резервуарів можливе виплескування рідкого водню, що, як наслідок, призводить до проблем із стійкістю корабля.

Ключовою перевагою водню перед іншими альтернативними видами палива є відносна простота модернізації кораблів існуючих водневими паливними елементами. Технологія паливних елементів може бути модернізована більшості кораблів. Було продемонстровано ККД паливних елементів понад 60 відсотків, а за певних умов можливе ККД понад 80 відсотків. Паливні елементи безшумні, не мають рухомих частин і легко масштабуються для великих кораблів, оскільки окремі елементи можна штабелювати. Електроліз води з використанням відновлюваних джерел енергії може забезпечити виробництво чистого водню [33].

#### **Біопаливо**

У судноплаванні покладаються сподівання на біопаливо, яке може бути вуглецево-нейтральним джерелом енергії, а потенціал скорочення викидів CO<sub>2</sub> протягом життєвого циклу становить до 88%. Біопаливо сумісне з існуючою інфраструктурою та системами двигунів суден. Однак виробництво біопалива дорожче, ніж звичайне викопне паливо, прямо чи опосередковано конкурує з виробництвом продуктів харчування та обсяг виробництва біопалива обмежений [34].

#### **Електрика, що виробляється акумулятором**

Акумулятори забезпечують рух з нульовим рівнем викидів і вдвічі ефективніші за звичайну дизель-генераторну установку. Двигуни з батарейним живленням мають нижчий рівень шуму та вібрації в порівнянні зі звичайними силовими установками, а експлуатаційні витрати можуть бути нижчими, ніж у традиційних копалин видів палива в деяких регіонах з низькими цінами на електроенергію. Ціни на акумулятори швидко знижуються, а продуктивність значно покращала. Основним недоліком акумуляторів є низька масова енергоємність (приблизно у 150 разів нижче, ніж у дизеля) та низька об'ємна щільність (приблизно у 100 разів нижче, ніж у дизеля). Виробництво акумуляторів є енергоємним, а капітальні витрати великої акумуляторної системи значно вищі, ніж у звичайної силової установки [9]. Судна з батарейним живленням, що працюють від електрики, можуть усунути викиди, що виникають на етапі експлуатації, але не є технологією з нульовим рівнем викидів [35, 36]. При надходженні електроенергії з місцевої енергосистеми, а викиди ПГ тісно пов'язані з процесом виробництва електроенергії та джерелами, які використовуються для виробництва електроенергії. Для оцінки екологічних переваг суден з акумуляторними руховими установками необхідно обов'язково включати виробничий ланцюжок постачання електроенергії. Виробництво електроенергії у 2018 році з вугілля склало 38,8%, природного газу – 23,1%, атомної енергії – 10,6% та гідроенергетики – 16,4% [37]. Частка відновлюваних джерел енергії в електропостачанні досягла майже 28% у 2020 р., а до 2050 р. за рахунок відновлюваних джерел може бути задоволено до 60% світового попиту на електроенергію [38, 39]. Склад виробництва електроенергії варіюється в залежності від країни і багато в чому залежить від джерел і потреб кожного регіону. Відновлювані джерела електроенергії у 2018 році у таких країнах, як Австрія (73%), Швеція (66%), Данія (62%), Латвія (53%) та Португалія (52%) активно впроваджуються [40]. Електроенергія у країнах із високою часткою відновлюваних джерел електроенергії може бути визнана «зеленим» альтернативним паливом для суден [41].

**Висновки.** Розглянуто альтернативні види палива із потенціалом скорочення викидів від світового судноплавання. У зв'язку зі швидким зростанням бункерувальної інфраструктури ЗПГ є основною альтернативою судовому дизельному паливу та мазуту (MDO та HFO) на даний час.

Він характеризується значними перевагами проти традиційним судновим нафтовим паливом. Перехід з суднового нафтового палива на ЗПГ зменшить кількість оксидів сульфуру, нітрогену та діоксиду карбону. Проте перевага ЗПГ щодо викидів парникових газів становить близько 8–20% порівняно з HFO та MGO. Мета скорочення викидів парникових газів на 50 % не може бути досягнута за рахунок переходу тільки на ЗПГ, а має поєднуватися з іншими технологіями, такими як повільне пропарювання або змішування з LBG.

Біодизельне паливо як альтернатива нафтовому паливу вже є комерціалізованим для наземного використання. Технічні та економічні бар'єри для використання біодизельного палива у морському секторі невеликі. Біодизельне паливо може безпосередньо споживатися існуючими системами суднових двигунів із лише незначною модернізацією. Однак складності із забезпеченням стійкості протягом усього життєвого циклу палива, а також проблеми пов'язані з особливостями виробництва біопалива вносять невизначеність у питання розширення використання біодизельного палива в морському секторі.

Водень і аміак розглядалися як альтернативне паливо для різних технологій утилізації. Висока щільність енергії та низький рівень викидів під час використання роблять водень потенційним рішенням для обезуглерожування суден. Бар'єри, такі як високі капіталовкладення та невпевненість у постачанні палива, будуть перешкоджати широкому впровадженню водню у короткостроковій перспективі. З урахуванням витрат на систему зберігання палива на борту водень є однією з найдорожчих паливно-рухових комбінацій. А також для більш широкого використання водню потрібні нові інфраструктури та розподільчі мережі. Існуюча інфраструктура ЗПГ потенційно може бути перетворена для розподілу водню, але це необхідно підтвердити подальшими дослідженнями. Аміак має високу гравіметричну щільність водню і легко зберігається і розподіляється, привертає все більшу увагу дослідників. З метою впровадження аміку як альтернативного палива, при проектуванні аміачних силових установок необхідно

подолати декілька ключових технічних перешкод та проблем безпеки, включаючи погані властивості згоряння та ризику токсичності.

У зв'язку зі збільшенням частки відновлюваної електроенергії у глобальній змішаній енергосистемі використання суден з береговою електроенергією є потенційною екологічною та економічною вигодою. В останні роки було досягнуто прогресу в розробці кораблів з батарейним живленням, але технічні труднощі, включаючи низьку щільність енергії в об'ємному та гравіметричному вираженні та відносно короткий термін служби, все ще необхідно подолати для великомасштабного комерційного використання. Це робить акумуляторні силові установки більш придатними для легких суден берегового базування або використання як допоміжної енергії на борту.

Економія викидів парникових газів з допомогою використання альтернативних видів палива дуже відрізняється залежно від вихідної сировини для виробництва. Декарбонізація таких видів палива, як водень, електрика та аміак, залежить від низьковуглецевої енергії та вихідних матеріалів. Способи подолання цих проблем можуть виходити за межі самого морського сектора. В даний час зацікавлені сторони не мають політичних стимулів для переходу на альтернативні види палива знизьковуглецевих відновлюваних джерел енергії.

Альтернативні види палива необхідні для декарбонізації міжнародного судноплавства. Однак нині немає єдиного маршруту, здатного забезпечити значне скорочення викидів по всьому ланцюжку постачання палива таким чином, щоб це було конкурентоспроможним за вартістю порівняно із звичайним судновим паливом на нафтовій основі. Необхідна довгострокова, послідовна та ефективна політична основа для сприяння впровадженню альтернативних рухових технологій. Зусилля щодо контролю викидів від судноплавства під керівництвом ІМО за останнє десятиліття мали першорядне значення, для досягнення мети нульового викиду в судноплавній галузі. ІМО та її держави-члени паралельно розглядають безліч державних та приватних ініціатив.

#### Список літератури:

1. UNCTAD. Review of Maritime Transportation 2020. Available online: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf) (accessed on 22 May 2022).
2. Balcombe, P.; Brierley, J.; Lewis, C.; Skatvedt, L.; Speirs, J.; Hawkes, A.; Staffell, L.; Adam, H.; Iain, S. How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Convers Manag.* 2019 № 182, p. 72–88.
3. Lee, T., and H. Nam. 2017. "A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies". *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 2017 № 33 (4): p. 253–262. doi:10.1016/j.ajsl.2017.12.009.

4. Bouman, E. A., E. Lindstad, A. I. Riialand, and A. H. Strømman. "State-of-the-art Technologies, Measures, and Potential for Reducing GHG Emissions from Shipping—a Review." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2017 № 52: p.408–421. doi:10.1016/j.trd.2017.03.022.
5. Dnv, G. L. (2018). Assessment of selected alternative fuels and technologies. DNV GL–Maritime.
6. Kuczyński, S., Łaciak, M., Szurlej, A., & Włodek, T. Impact of liquefied natural gas composition changes on methane number as a fuel quality requirement. *Energies*, 2020 № 19, p. 50-60.
7. Li, H., Mehmood, D., Thorin, E., & Yu, Z. Biomethane production via anaerobic digestion and biomass gasification. *Energy Procedia*, 2017 № 105, p. 1172-1177.
8. Li, H., Mehmood, D., Thorin, E., & Yu, Z. Biomethane production via anaerobic digestion and biomass gasification. *Energy Procedia*, 2017№ 105, p. 1172-1177.
9. Christensen, C. H., Johannessen, T., Sørensen, R. Z., & Nørskov, J. K. Towards an ammonia-mediated hydrogen economy?. *Catalysis Today*, 2006 № 111(1-2), p. 140-144.
10. Zamfirescu, C., & Dincer, I. Using ammonia as a sustainable fuel. *Journal of Power Sources*, 2008 № 185(1), p. 459-465.
11. NIST: National Institute of Standards and Technology. Chemistry WebBook, SRD 69, Thermophysical Properties of Fluid Systems. 2020. Available online: <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (accessed on 9 April 2021).
12. Zamfirescu, C., & Dincer, I. Ammonia as a green fuel and hydrogen source for vehicular applications. *Fuel processing technology*, 2009, № 90(5), p. 729-737.
13. Aziz, M., Putranto, A., Biddinika, M. K., & Wijayanta, A. T. Energy-saving combination of N<sub>2</sub> production, NH<sub>3</sub> synthesis, and power generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, № 42(44), p. 27174-27183.
14. Ozturk, M., & Dincer, I. An integrated system for ammonia production from renewable hydrogen: a case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, № 46(8), p. 5918-5925.
15. Liu, X., Elgowainy, A., & Wang, M. (2020). Life cycle energy use and greenhouse gas emissions of ammonia production from renewable resources and industrial by-products. *Green Chemistry*, 2020, № 22(17), p. 5751-5761.
16. Baltrusaitis, J. (2017). Sustainable ammonia production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2017, № 5(11), p. 9527-9527.
17. Bicer, Y., Dincer, I., Vezina, G., & Raso, F. Impact assessment and environmental evaluation of various ammonia production processes. *Environmental management*, 2017, № 59, p. 842-855.
18. NH<sub>3</sub>FUEL Association. 2010. "NH<sub>3</sub> Fuel Brochure." Assessed 29 October 2019. <https://nh3fuelassociation.org/wpcontent/uploads/2013/01/nh3brochuresept2010.pdf>
19. De Vries, N. (2019). Safe and effective application of ammonia as a marine fuel. 2019
20. Braissant, O., McLin, V. A., & Cudalbu, C. Ammonia toxicity to the brain. *Journal of inherited metabolic disease*, 2013, № p. 36, 595-612.
21. Zhang, M., Li, M., Wang, R., & Qian, Y. Effects of acute ammonia toxicity on oxidative stress, immune response and apoptosis of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* and the mitigation of exogenous taurine. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, № 79, p. 313-320.
22. Kojima, Y., & Yamaguchi, M. Ammonia storage materials for nitrogen recycling hydrogen and energy carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, № 45(16), p. 10233-10246.
23. Lu, B., Jin, Q., Chu, L., Pan, Y., Tao, X., Yang, L., & Shen, Y. Ammonia storage/release characteristics of CeSnWBaOx/TiO<sub>2</sub> catalyst in solving the problem of ammonia slip. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020, № 138, p. 67-75.
24. Lamb, K. E., Dolan, M. D., & Kennedy, D. F. Ammonia for hydrogen storage; A review of catalytic ammonia decomposition and hydrogen separation and purification. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, № 44(7), p. 3580-3593.
25. Cardoso, J. S., Silva, V., Rocha, R. C., Hall, M. J., Costa, M., & Eusébio, D. Ammonia as an energy vector: Current and future prospects for low-carbon fuel applications in internal combustion engines. *Journal of Cleaner Production*, 2021, № 296, p. 126-562.
26. Comotti, M., & Frigo, S. (2015). Hydrogen generation system for ammonia–hydrogen fuelled internal combustion engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2015, № 40(33), p. 10673-10686.
27. Lee, D., & Song, H. H. Development of combustion strategy for the internal combustion engine fueled by ammonia and its operating characteristics. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2018, № 32, p. 1905-1925.
28. Qyyum, M. A., Dickson, R., Shah, S. F. A., Niaz, H., Khan, A., Liu, J. J., & Lee, M. Availability, versatility, and viability of feedstocks for hydrogen production: Product space perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, № 145, p. 110-843. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110843>

29. IEA. The Future of Hydrogen. 2019. Available online: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
30. Wang, Y., & Wright, L. A.(2021). A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation. World, 2021, № 2(4), p. 456-481. <https://doi.org/10.3390/world2040029>
31. Dawood, F., Anda, M., & Shafiullah, G. M. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. International Journal of Hydrogen Energy, 2020, № 45(7), 3847-3869.
32. Wang Y, Wright LA. A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation. World. 2021; № 2(4) p. 456-481. <https://doi.org/10.3390/world2040029>
33. IRENA. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. Availableonline: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition> (accessed on 25 May 2022).
34. Somerville, C. Biofuels. Current biology, 2007, № 17(4), p.115- 119. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.01.010>
35. Peng, Y., Li, X., Wang, W., Wei, Z., Bing, X., & Song, X. (2019). A method for determining the allocation strategy of on-shore power supply from a green container terminal perspective. Ocean & Coastal Management, 2019, № 167, p. 158-175.
36. Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J., Juandó, A., & Sarasquete, A. Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2016; № 230(1), p. 67-82.
37. IEA. Global Electricity Generation Mix by Scenario, 2018, Stated Policies and Sustainable Development Scenarios 2040. Available online: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electricity-generation-mix-by-scenario-2018-stated-policies-and-sustainable-development-scenarios-2040> (accessed on 12 April 2022).
38. IEA. Global Energy Review 2020. Available online: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity> (accessed on 12 April 2022).
39. Hsieh, I. Y. L., Pan, M. S., Chiang, Y. M., & Green, W. H. Learning only buys you so much: Practical limits on battery price reduction. Applied Energy, 2019, № 239, p. 218-224.
40. Eurostate. Wind and Water Provide Most Renewable Electricity. 2020. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200129-1> (accessed on 12 April 2022)
41. DNV. Decarbonization in Shipping. 2021. Available online: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/decarbonization-in- shipping/regulatory-overview.html> (accessed on 19 May 2022).

#### **Kirsanova V.V. COMPARATIVE REVIEW OF ALTERNATIVE FUELS FOR MARINE TRANSPORT**

*Maritime transport is the cheapest and most common mode of transport. international trade and plays an important role in economic development all over the world. Maritime transport is efficient in terms of fuel consumption per unit of distance; however, the global maritime sector accounts for approximately 3% of total anthropogenic greenhouse gas emissions. In accordance with strategy of the International Maritime Organization (IMO), it is planned to reduce total annual greenhouse gas emissions by at least 50% by 2050.compared to 2008, to achieve these goals, short, medium and long term activities with possible temporary stages. They can be divided into two broad categories: operational energy efficiency through innovative technologies and operation of ships on alternative fuels with low and zero carbon content. Considered the potential of some alternative fuels for decarbonization of water transport Advantages and disadvantages identified selected alternative marine fuels: liquefied natural gas (LNG), hydrogen, ammonia, biofuels and electricity. Today there is no single species fuel to achieve the required reduction in greenhouse gas emissions. Emission reductions vary greatly depending on production methods fuel. Alternative fuels using the carbon method production, will not ensure decarbonization. A system-wide perspective needs to be developed to provide an effective framework for developing optimal alternative propulsion technologies and facilitating their deployment. Efforts to control emissions from shipping, led by the IMO, are paramount to achieving zero-emission targets for the shipping industry. The IMO is also considering a variety of public and private initiatives.*

**Key words:** *maritime transport, decarbonization, hydrogen, methane, ammonia, liquefied natural gas.*