

УДК 662.7

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

Драгнєв С.В., канд. техн. наук, Желєзна Т.А., канд. техн. наук, Гайдай О.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2023.7>

Проаналізовано основні види альтернативних палив для використання на водному транспорті з метою декарбонізації судноплавства. Визначено перспективні види альтернативних палив та енергоносіїв для впровадження в секторі водного транспорту України.

The main types of alternative fuels for use in waterborne transport with the aim of decarbonizing shipping have been analyzed. Prospective types of alternative fuels and energy carriers for implementing in Ukraine's waterborne transport sector have been identified.

Бібл. 12, табл. 3, рис. 3.

Ключові слова: декарбонізація, альтернативні палива, низьковуглецеві палива, відновлювані джерела енергії, біопалива, суднове паливо.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ГТЗ – гідротермальне зрідження;

ДМЕ – диметилловий естер;

ДП – дизельне паливо;

ЗНГ – зріджений нафтовий газ;

СПГ – скраплений природний газ;

FAME – метилові етери жирних кислот;

HVO – гідроочищена рослинна олія;

ІМО – Міжнародна морська організація;

MDO – суднове дизельне паливо;

MGO – морський газойль;

SVO – пряма рослинна олія.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю глобальної декарбонізації економіки, зокрема транспортного сектору. Ефективним заходом в даному напрямку є перехід на низьковуглецеві та відновлювані палива, у тому числі на водному транспорті – сегменті, що важко піддається декарбонізації. **Метою** роботи є аналіз перспектив використання альтернативних палив на водному транспорті та розробка відповідних рекомендацій для України. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

Цілі з декарбонізації водного транспорту у світі та можливі заходи для їх досягнення

З огляду на глобальний курс декарбонізації економіки, сектор водного транспорту готується до переходу на нові технології та енергоносії, що матиме значний вплив на витрати, вартість активів та прибутковість. Судновласники вже відчувають збільшення тиску щодо скорочення викидів парникових газів від їхньої діяльності. У найближче десятиліття декарбонізацію в судноплаванні підштовхуватимуть три основні ключові чинники: правила та політики, доступ до інвесторів і капіталу, а також очікування вантажовласників і споживачів [1].

Міжнародна морська організація розробляє політики щодо скорочення викидів парникових газів для міжнародного судноплавства. Перші регулювання, зокрема, Індекс енергоефективності існуючого судна та Індикатор інтенсивності вуглецю набудуть чинності з 1 січня 2023 р. Одна з цілей цієї діяльності – до 2030 р. досягти зниження інтенсивності вуглецю всіх суден на 40% порівняно з рівнем 2008 р. Метою є скорочення викидів парникових газів за рахунок підвищення енергоефективності суден, а також впровадження нових технологій та палив з низьким або нульовим вмістом вуглецю. Хоча всі судна повинні відповідати мінімальним вимогам ІМО, комерційний тиск може підштовхнути судновласників до досягнення лідируючої позиції в області декарбонізації, оскільки очікується, що судноплавні компанії, що працюють із поганими показниками, будуть менш привабливими на ринку перевезень, а також матимуть проблеми з отриманням доступу до інвестицій. Доступні заходи щодо зменшення викидів парникових газів варіюються від легко досяжних операційних заходів до капіталомістких технічних рішень. Нові судна матимуть більше доступних опцій, ніж кораблі, які експлуатуються. В табл. 1 представлені доступні заходи декарбонізації судноплавства, із яких

найбільший потенціал скорочення викидів парникових газів має напрямок використання альтернативних палив та відновлюваної енергії.

Аналіз альтернативних палив на водному транспорті
Усі альтернативні види палива для водного транспорту стикаються з труднощами та перешкодами для їхнього використання, хоча складність подолання цих бар'єрів буде різною для різних видів палива. Типові ключові бар'єри включають високу вартість необхідних машин і обладнання, систем для зберігання палива на борту суден, необхідність у додатковому просторі для зберігання, низьку технічну зрілість, високу ціну на паливо, обмежену доступність палива, відсутність

глобальної інфраструктури бункерування (тобто заправки судна) та питання безпеки, зокрема, властивостей вогненебезпечності та вибухонебезпечності палив. На червень 2021 р. лише 0,5% суден у світі використовували альтернативні палива, але при цьому у 2021 р. 11,8% замовлень були на судна на альтернативному паливі. Із них 6,1% замовлень на судна на СПГ, 3,8% – на електричних акумуляторних батареях, 1,5% – на ЗНГ, 0,3% – на метанолі, 0,06% – на водні та 0,02% – на аміаку [1].

За своїми хімічними та фізичними характеристиками альтернативні види палива суттєво відрізняються від традиційних палив для водного транспорту (табл. 2). Особливу небезпечними є властивості, пов'язані з ризиком пожеж та вибухів.

Табл. 1. Можливі заходи для декарбонізації судноплавства та їх потенціал [1]

Напрямок	Заходи	Потенціал скорочення викидів парникових газів
Паливо та енергія	Використання альтернативних палив та ВДЕ: СПГ, ЗНГ, біопалива, метанол, аміак, водень, енергія навколишнього середовища, електроенергія.	до 100%
Заходи після використання	Уловлювання та зберігання вуглецю	> 30%
Логістика та дигіталізація	Зменшення швидкості судна, утилізація суден, розмір судна, альтернативні маршрути.	> 20%
Техніка	Удосконалення техніки, утилізація скидного тепла, зниження номінальних параметрів двигуна, гібридизація акумуляторних батарей.	5...20%
Гідродинаміка	Покриття корпусу, оптимізація форми корпусу, повітряне змашування, очищення	5...15%

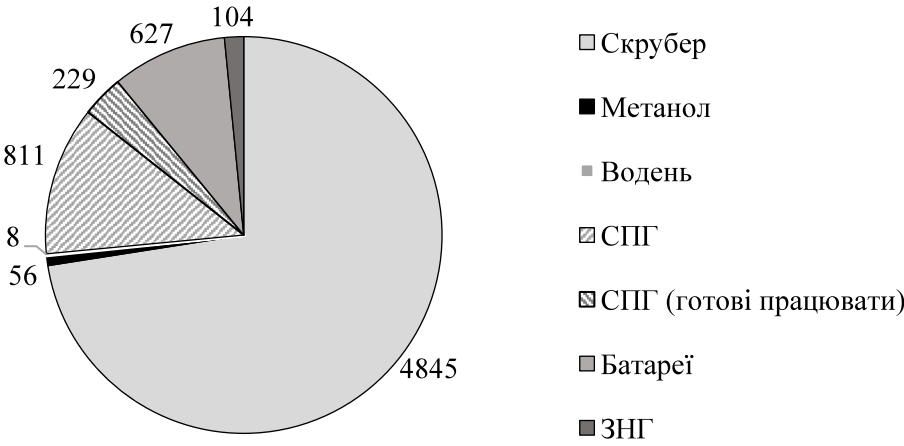


Рис. 1. Кількість суден у експлуатації та замовленні за видами альтернативних палив і використанням скруберів [2]

Наявність і доступність інфраструктури для постачання палив, їх зберігання та бункерування – важливий аспект для розвитку ринку альтернативних палив для водного транспорту. У багатьох портах вже є діючі термінали СПГ, метанолу та аміаку, які можна модернізувати для бункерування суден. Крім цього, будуються нові термінали. В Україні є діючий аміачний термінал у порту Південний із обсягом зберігання 120 тис. т, який може використовуватися і для перевантаження суден або барж із аміаком. Інформація щодо можливості прямого бункерування суден відсутня. Поблизу у Румунії наявний метанольний термінал у порту Констанца із обсягом зберігання понад 50 тис. т. У Болгарії у порту Русе на р. Дунай будується термінал СПГ для бункерування суден внутрішньої навігації із обсягом зберігання 1 тис. м³, що є частиною генерального плану СПГ для магістралі Рейн-Майн-Дунай.

Для переведення енергетичних установок суден на деякі альтернативні види палив, такі як, СПГ, метанол та аміак, необхідно провести складну і дорогу

модернізацію двигунів, їх паливної системи, встановити додаткові резервуари для палива, тощо. Виходячи з сучасних технологій, слід розрізняти суднопластво на короткі відстані та глибоководні довгі маршрути щодо застосовності та бар'єрів для різних видів палива. Глибоководні великі і потужні судна мають менше можливостей для вибору палив у порівнянні з сегментом перевезень на короткі відстані за постійними маршрутами, де можуть застосовуватися й малопоширені технології і палива, виготовлені з місцевої сировини, зокрема, біомаси. Розглянемо більш детально технології виробництва та використання найбільш перспективних видів альтернативних видів палива для водного транспорту.

Скrapлений природний газ

Останніми роками серед альтернативних видів палива для водного транспорту найбільше розповсюдження отримав скrapлений природний газ, який являє собою природний газ, очищений та переведений у рідкій стан за рахунок охолодження до температури мінус 162°C.

Табл.2. Характеристики традиційних та альтернативних палив для водного транспорту [3, 4]

Характеристики	Дизельне паливо	СПГ	Метан	Метанол	ЗНГ ⁴⁾	Водень
Молекулярна формула	$C_n H_{1,8n}$; $C_8 - C_{20}$	$C_n H_m$; 90-99% CH_4	CH_4	CH_3OH	C_3H_8 та C_4H_{10}	H_2
Вміст вуглецю, мас. %	86,88	близько 75	74,84	37,49		
Густина при 16°C, кг/м ³	833... 881	431... 4641)	422,51)	794,6	505	0,08
Температура кипіння при 101,3 кПа, °C ²⁾	163...399	-160 (-161)	-161,5	64,5	-42	-253
Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	42,5	49	50	20	47	120
Нижча теплотворна здатність, ГДж/м ³	35	22		16		
Температура самозаймання, °C	257	580	537	464	457	585
Температура спалаху, °C ³⁾	52...96	-136		11	-60	
Цетанове число	>40	0		5		
Межі займистості, об. % у повітрі	1,0...5,0	4,2...16,0	1,4...7,6	6,72...36,5	2,1...9,6	4...59
Розчинність у воді	Ні		Ні	Повна		
Вміст сірки, %	Змінюється, <0,5 або <0,1	< 0,06	0	0		

1) Для метану/СПГ при температурі кипіння.

2) Для перерахунку кПа у рсі використовується множення на 0,145.

3) Найнижча температура, при якій паливо може випаровуватися з утворенням горючої суміші на повітрі.

4) На основі середнього складу.

СПГ займає близько 1/600 об'єму природного газу в газоподібному стані (за стандартних умов) і складається переважно з метану (CH_4) та з деякою кількістю етану (C_2H_6). СПГ використовується як дієвий спосіб для дотримання обмежень у районах контролю викидів на існуючих судах і планується для застосування на нових судах. Ключовою екологічною перевагою СПГ є скорочення викидів SOx , твердих частинок, NOx та CO_2 порівняно із традиційними нафтопродуктами. [5].

При використанні СПГ утворюються найменші викиди парникових газів серед викопних палив для водного транспорту (рис. 2). Можна досягнути і більшого скорочення парникових газів, якщо СПГ виробляти з відновлюваної сировини, наприклад, з біомаси шляхом її анаеробної ферментації у біогазовій установці з наступним очищенням біогазу до біометану – біо-СПГ.

Метанол, аміак, водень

Метанол (метиловий спирт) є гарною заміною бензину, використовується в сумішевих видах палива, а також може забезпечити хороший рівень продуктивності в дизельних двигунах. Для використання в дизельних двигунах необхідно подавати невелику кількість дизельного палива разом з метанолом або застосовувати покращувач запалювання. Також метанол використовують для виробництва біодизелю, метил-трет-бутилового етеру, диметилового етеру та у паливних елементах. У складі метанолу нема сірка, при його спалюванні викиди NOx утворюються у невеликій кількості, а викиди твердих частинок відсутні, тому це паливо вважається перспективним для водного транспорту. Однак, слід наголосити на токсичності метилового спирту.

Відновлюваний метанол можна виробляти двома шляхами. Біометанол отримують з біомаси, такої як відходи і побічні продукти лісового та

сільськогосподарського виробництва, біогаз зі звалищ, стічних вод, твердих побутових відходів, а також чорний луг целюлозно-паперової промисловості. «Зелений» е-метанол отримують з використанням CO_2 , що уловлюється з відновлюваних джерел (наприклад, використання біоенергетичних технологій із уловленням та зберіганням вуглецю і пряме уловлювання з повітря), та «зеленого» водню, тобто водню, виробленого з використанням відновлюваної електроенергії [7]. Наразі у світі виробляється менше 0,2 млн т/рік відновлюваного метанолу. При цьому як сировина, в основному, використовуються відходи та побічні продукти інших промислових процесів, що на даний момент забезпечує найкращий економічний ефект.

Аміак являє значний інтерес як потенційне паливо з нульовими викидами вуглецю для транспорту. За нормальних умов це безбарвний газ із різким задушливим запахом, легший за повітря і добре розчинний у воді. Порівняно з судовим паливом MGO, вміст енергії аміаку у рідкому стані становить менше половини за масою та приблизно 30% за об'ємом.

Аміак можна використовувати як судове паливо як у двигунах внутрішнього згоряння, так і в паливних елементах. Через високу температуру самозаймання аміак потребує вищого ступеня стиснення (35:1 і вище), ніж у типових дизельних двигунах (16-23:1). Важко сконструювати такий двигун, і тому для забезпечення більш стабільного горіння необхідно використовувати додаткове паливо з нижчою температурою самозаймання. Вважається, що двигуни з примусовим запалюванням на аміаку будуть використовуватися для невеликих суден, тоді як модифіковані двотактні (двопаливні) дизельні двигуни можуть підійти для великих кораблів. Спалювання аміаку або аміачних сумішей може призвести до

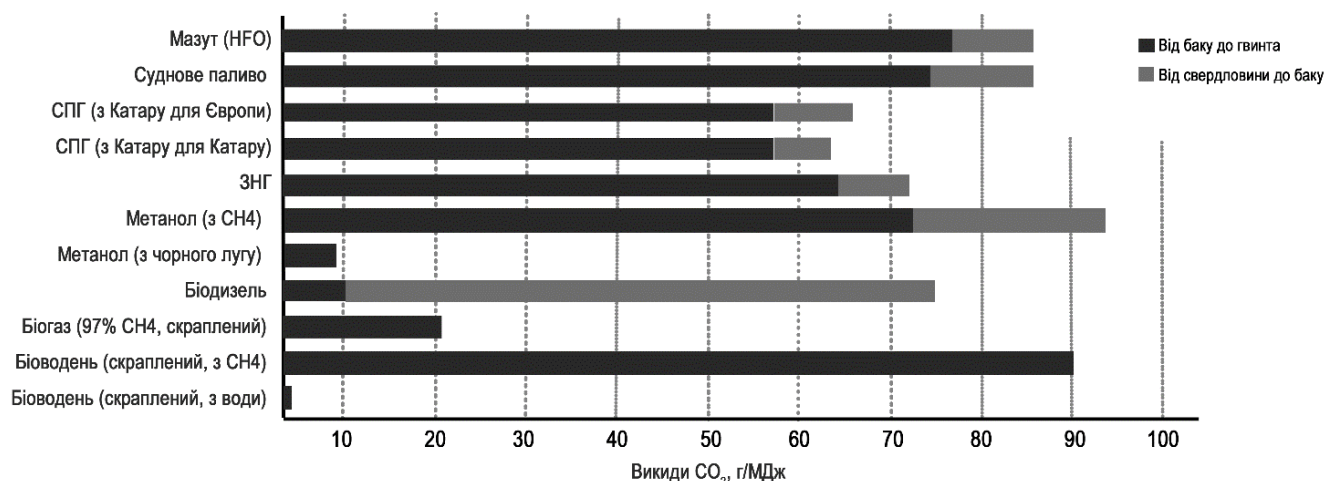


Рис. 2. Викиди CO_2 від традиційних та альтернативних палив на водному транспорті [6]

викидів оксидів азоту (NO_x), закису азоту (N_2O) і прямих викидів аміаку (NH_3). Але на сьогодні немає досвіду довгої експлуатації суднових двигунів на аміаку, тому недостатньо емпіричних даних щодо викидів від спалювання цього виду палива [8]. Очікується що комерційні двигуни на аміаку з'являться не раніше 2024 р.

Аміак, вироблений з природного газу, утворює такі ж викиди CO_2 як і суднове паливо MGO з низьким вмістом сірки (88 кг CO_2 /ГДж). Тому суттєве зменшення викидів парникових газів може бути досягнуто за умови виробництва аміаку із використанням відновлюваних джерел енергії [9].

Водень – безбарвний газ без запаху, нетоксичний. Для використання на судах його можна зберігати у вигляді кріогенної рідини, стисненого газу або хімічно зв'язаним. Зріджувати водень можна при температурах до мінус 240°C , підвищуючи тиск до «критичного» – 13 бар. Щільність енергії на масу водню, із врахуванням нижчої теплоти згоряння 120 МДж/кг, приблизно в три рази перевищує щільність енергії мазуту. При цьому об'ємна щільність зрідженого водню (71 кг/м^3) становить лише 7% від показника мазуту. Це призводить до приблизно п'ятикратного збільшення об'єму порівняно з тією ж енергією, що зберігається у мазуті. При зберіганні водню у вигляді стисненого газу його

об'єм приблизно в 10...15 разів (залежно від тиску) перевищує об'єм такої ж кількості енергії у мазуті [6]. Інфраструктура розподілу та бункерування водню для водного транспорту поки що відсутня.

Світове виробництво водню становить понад 50 млн т/рік. Його можна виробляти шляхом риформінгу природного газу (наразі найпоширеніший метод, при уловлюванні утвореного вуглекислого газу можна досягти нульових викидів CO_2) або через електроліз води (при використанні відновлюваної електроенергії отримується «зелений» водень). Хоча паливні елементи вважаються ключовою технологією для використання водню, також розглядаються й інші варіанти, зокрема, газові турбіни або двигуни внутрішнього згоряння в автономній роботі або в системах, що включають і паливні елементи. Очікується, що додаткові капітальні витрати звичайних перетворювачів енергії, таких як поршневі двигуни, будуть подібними до двигунів, що працюють на СПГ. Резервуари для зберігання зрідженого водню на судах будуть дорожче, ніж резервуари для СПГ, через нижчу температуру зберігання і вищу якість ізоляції. Витрати на інше обладнання (наприклад, труби, вентиляцію, теплообмінники, насоси) будуть порівнянними з системами СПГ [6].

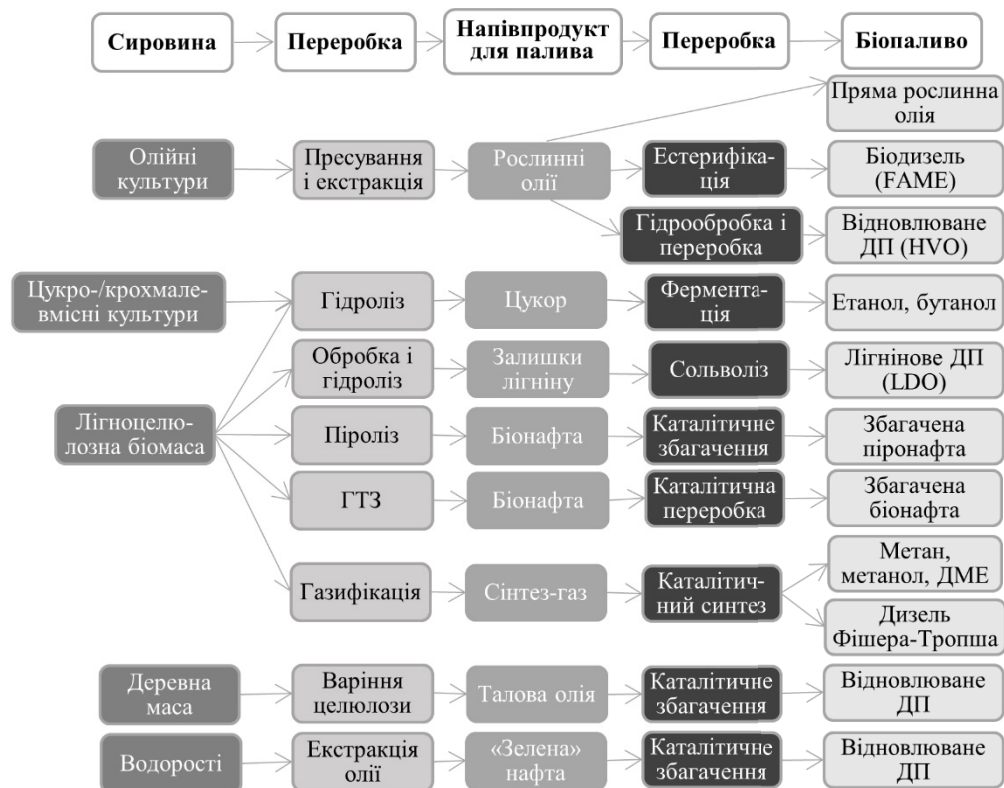


Рис. 3. Напрямки конверсії сировини у біопалива для водного транспорту [10]

Біопалива

Біопаливо для потреб транспорту отримують з первинної біомаси або залишків біомаси, які перетворюють на рідке або газоподібне паливо. Існує велика різноманітність процесів для виробництва традиційного (першого покоління) і вдосконаленого (другого і третього покоління) біопалива, що включає різні види сировини (олії, цукро-/крохмалевмісна біомаса, лігноцелюозна біомаса, деревна маса, водорості та ін.) та різні технології конверсії (естерифікація, гідрообробка, ферментація, сольволиз, термохімічні і каталітичні перетворення) (рис. 3). В табл. 3 наведено перелік основних властивостей біопалив для водного транспорту.

З олійної сировини виробляють три основних види біопалива: пряма (тобто необроблена) рослинна олія (SVO), біодизель (FAME) та відновлюване дизельне паливо (HVO), що використовуються як заміник дизельного палива або як компонент сумішевого палива. Технології виробництва SVO, FAME та HVO відпрацьовані та комерційно доступні. Пряма рослинна олія – олія, видобута з насіння олійних культур, що використовується як паливо без обробки. Дослідження показали, що SVO може бути застосована для заміни мазуту у двигунах з низькою частотою обертання. Слід відзначити, що тривале використання SVO призводить до надмірного зносу деталей двигуна. Крім цього це

біопаливом втрачає стабільність протягом тривалого зберігання, але додавання антиоксидантів може покращити ефективність тривалого зберігання.

Більш широко застосовується переробка олій у процесі естерифікації у метилові естери жирних кислот (FAME), які ще називають біодизелем. Окрім SVO, FAME також можна виробляти з використаної харчової олії та тваринних жирів. Біодизель має меншу в'язкість, ніж олії та характеризується хорошими змащувальними властивостями. FAME більше підходить для використання в судових двигунах і може використовуватися для заміни MDO або MGO. Завдяки швидкому біорозкладанню, розливи біодизелю не спричиняють проблем для навколишнього середовища. Теоретично можливо використовувати судові дизельні двигуни на 100% біодизельному паливі, але це вимагає певних налаштувань двигуна та його сертифікації, тому частіше FAME використовується у сумішевих паливах [12]. Хоча біодизель являє технічно можливу заміну для MDO та MGO, доступність олійної сировини та питання її сталості створюють труднощі для забезпечення потреб водного транспорту у такому паливі.

Модернізація судових двигунів для споживання нових видів палива потребує значних ресурсів та коштів. З іншої сторони, судовласники будуть готові переходити на нові палива, тільки якщо постачання палива гарантується протягом усього терміну служ-

Табл. 3. Основні характеристики обраних видів біопалива для водного транспорту [11]

Показник	Біодизель	Відновлюване ДП	Дизель Фішера-Тропша	Біонафта швидкого піролізу з деревини	Збагачена біонафта	Біонафта ГТЗ з деревини
Питома вага	0,88	0,78	0,765	1,1...1,3	0,84	1,1
Кінематична в'язкість при 40°C, сСт	4...6	2...4	2	40...100		
Цетанове число	47...65	>70	>70			
Змащувальні властивості, мкм		650	371			
Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	37,2	44,1	43	16		≈32
Температура помутніння, °C	-3...15	-5...-34	-18			
Температура застигання, °C	-5...10			-9...-36		
Вміст води, мас. %	0	0	0	20...35	0,1	8
Вміст кисню, мас. %	11	0	0	34...45	0,5	10...13
Вміст сірки, мас.	<0,0015	<0,0005	<0,1	0...0,05	<0,005	0

би їхнього суднового двигуна. Таким чином, якби нові види палива могли бути функціонально еквівалентними вже існуючим, вони були б повністю сумісні з існуючою паливною інфраструктурою без необхідності значних інвестицій у модифікацію інфраструктури. Для сумісності з існуючою нафтовою інфраструктурою тваринні жири і рослинні олії повинні пройти етап гідрообробки для перетворення в безкисневе вуглеводневе біопаливо. Такою альтернативою дизельному паливу, виготовленому з олійних культур, є гідроочищена рослинна олія (HVO, або відновлюване дизельне паливо), в якій рослинні олії або тваринні жири проходять термохімічну обробку воднем. HVO можна використовувати як пряму заміну дизельному паливу, оскільки воно є більш стабільним, ніж FAME, завдяки низькому вмісту кисню. Для виробництва HVO можна використовувати технологію гідроочищення існуючих нафтопереробних заводів. HVO пройшло випробування на суднових дизельних двигунах, воно сумісне з існуючою паливною інфраструктурою.

Пряма заміна морського газойлю можлива за умови досягнення достатніх обсягів виробництва біопалива. Але навіть у сумішевому паливі біопаливо забезпечує зменшення викидів твердих часток та CO_2 . Слід відзначити, що для успішної реалізації проекту із заміщення викопних палив представники заводу-виробника суднових двигунів повинні підтвердити сумісність двигунів із біопаливами та обов'язкові умови для їх надійної експлуатації.

Біогаз, отриманий шляхом анаеробного бродіння, потенційно є сировиною для виробництва зрідженого біогазу. Єдиною технічною вимогою для цього є збагачення біогазу до біометану, зокрема, шляхом видалення CO_2 . Цей процес комерційно використовується у біометанових установках, які підключені до газових мереж. У подальшому біогаз може бути зріджений за технологією зрідження природного газу.

Отже, найбільш перспективними біопаливами для суден є дизельне біопаливо (наприклад, гідроочищена рослинна олія, метилові естери жирних кислот, паливо «біомаса в рідину») та зріджений біогаз, який в основному складається з метану. Біодизель, HVO і паливо «біомаса в рідину» найбільш підходять для заміни MDO/MGO, зріджений біогаз – для заміни СПГ, пряма рослинна олія – для заміни мазуту [6].

Висновки та рекомендації для України

З точки зору застосування альтернативних видів палива на водному транспорті, треба виділити перевезення на короткі відстані та глибоководні маршрути.

У першому випадку судна зазвичай працюють в обмежених географічних зонах на відносно коротких маршрутах із частими заходами в порти. Через порівняно низьку потребу в енергії, ці судна можуть бути гарними кандидатами для випробування нових видів палива, що характеризується високими витратами на енергоконверсію або зберігання. Глибоководне судноплавство включає великі океанські судна, які здійснюють довгі маршрути, часто без регулярного розкладу. Ці судна потребують використання палива, яке доступне у всьому світі. Енергоносії, що приводить у рух судно, повинен мати достатньо високу щільність енергії, щоб максимізувати доступний вантажний простір. Для цих суден СПГ може бути життєздатним варіантом, коли відповідна інфраструктура бункерування стане доступною в усьому світі. Біопаливо, метанол і зріджений нафтовий газ також можуть бути життєздатним вибором за умови, що вони будуть доступні в необхідних обсягах і відповідного рівня якості.

При визначенні перспективних альтернативних палив для водного транспорту для умов України розглянуто і враховано наступні аспекти: рівень розвитку технології та її складність; сумісність з існуючими двигунами, паливною системою суден та інфраструктурою бункерування; наявність/доступність сировинної та ресурсної бази; об'ємний енерговміст, стандартизація, ціна, скорочення викидів парникових газів протягом життєвого циклу палива (енергоносія).

За результатами порівняльного аналізу та оцінки, найбільш перспективними для водного транспорту України вбачаються наступні альтернативні палива: біометан, який може використовуватися у стисненому або скрапленому вигляді; біодизель (FAME) та гідроочищена рослинна олія (HVO); скраплений природний газ, а також застосування електричних силових установок з акумуляторними батареями. Розвиток кожного з цих напрямків потребує подальшого вивчення із проведенням науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *DNV Maritime forecast to 2050. Energy Transition Outlook 2021.*
<https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-to-2050-download.html>
2. *DNV Statistics.* <https://afi.dnv.com/Statistics>
3. *Karin Andersson, Carlos Márquez Salazar. Methanol as a marine fuel report, FCBI Energy, 2015.*
<https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/03/FCBI-Methanol-Marine-Fuel-Report-Final-English.pdf>

4. *DNV GL Strategic research & innovation position paper. The fuel trilemma: Next generation of marine fuels*, 2015.
<https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2015/06/DNV-GL-Position-Paper-on-Fuel-Trilemma.pdf>
5. *Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping* – IMO, 2016. <https://bit.ly/3BZFJo6>
6. *DNV GL – Maritime. Assessment of selected alternative fuels and technologies*. 2019.
<https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html>
7. *Innovation Outlook: Renewable Methanol*. IRENA, 2021 <https://bit.ly/3bLg3ka>
8. *Martin Cames, Nora Wissner, Jürgen Sutter. Ammonia as a marine fuel. Risks and perspectives*. Öko-Institut e.V., 2021. <https://en.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/210622-nabu-study-ammonia-marine-fuel.pdf>
9. *DNV GL – Maritime. Ammonia as a marine fuel*. White paper, 2020.
<https://www.dnv.com/Publications/ammonia-as-a-marine-fuel-191385>
10. *Biofuels for the marine shipping sector*. IEA Bioenergy, 2017. <https://bit.ly/3pei7o4>
11. *Mike Kass et al. Understanding the Opportunities of Biofuels for Marine Shipping*. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, 2018. <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/pub120597.pdf>
12. *Progress towards biofuels for marine shipping. Status and identification of barriers for utilization of advanced biofuels in the marine sector*. IEA Bioenergy: Task 39, 2021. <https://bit.ly/3bKIoHx>

PROSPECT FOR THE USE OF BIOFUELS IN WATERBORNE TRANSPORT

Drahniev S.V., Zheliezna T.A., Haidai O.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Marii Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.7>

The purpose of the work is to analyze prospects for the use of alternative fuels in waterborne transport and to develop relevant recommendations for Ukraine. An effective measure of decarbonization of the global economy, which is an urgent issue today, is the transition to low-carbon and renewable fuels. From the point of view of using alternative fuels in waterborne transport, it is necessary to distinguish the short-distance transportation and deep-sea routes. In the first case, ships usually operate in limited geographical areas on relatively short routes with frequent port calls. Such vessels are often good candidates for testing new types of fuel (energy carrier) characterized by high energy conversion or storage costs. Deep-sea shipping requires the use of fuel (energy carrier), which is available all over the world and has a sufficiently high energy density. When determining promising alternative fuels for Ukraine's waterborne transport, the following aspects have been taken into account: the level of technology development and its complexity; compatibility with existing engines, vessel fuel system and bunkering infrastructure; availability/accessibility of raw material and resource base; volumetric energy content, standardization, price, and reduction of greenhouse gas emissions during the life cycle of the fuel. According to the results of comparative analysis and assessment, the following alternative fuels are considered the most promising for Ukraine's waterborne transport: biomethane (compressed or liquefied), biodiesel and hydrotreated vegetable oil, liquefied natural gas, as well as electric power installations with accumulator batteries. The development of each of these directions requires further study with conducting research and development activity.

References 12, tables 3, figures 3.

Keywords: decarbonization, alternative fuels, low-carbon fuels, renewable energy sources, biofuels, vessel fuels.

1. *DNV Maritime forecast to 2050*. Energy Transition Outlook 2021. <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-to-2050-download.html>
2. *DNV Statistics*. <https://afi.dnv.com/Statistics>
3. Karin Andersson, Carlos Márquez Salazar. Methanol as a marine fuel report, FCBI Energy, 2015. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/03/FCBI-Methanol-Marine-Fuel-Report-Final-English.pdf>
4. *DNV GL Strategic research & innovation position paper*. The fuel trilemma: Next generation of marine fuels, 2015. <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2015/06/DNV-GL-Position-Paper-on-Fuel-Trilemma.pdf>
5. *Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping* – IMO, 2016. <https://bit.ly/3BZFJo6>
6. *DNV GL – Maritime*. Assessment of selected alternative fuels and technologies. 2019. <https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html>
7. *Innovation Outlook: Renewable Methanol*. IRENA, 2021 <https://bit.ly/3bLg3ka>
8. Martin Cames, Nora Wissner, Jürgen Sutter. Ammonia as a marine fuel. Risks and perspectives. Oeko-Institut e.V., 2021. <https://en.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/210622-nabu-study-ammonia-marine-fuel.pdf>
9. *DNV GL – Maritime*. Ammonia as a marine fuel. White paper, 2020. <https://www.dnv.com/Publications/ammonia-as-a-marine-fuel-191385>
10. *Biofuels for the marine shipping sector*. IEA Bioenergy, 2017. <https://bit.ly/3pei7o4>
11. Mike Kass et al. Understanding the Opportunities of Biofuels for Marine Shipping. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, 2018. <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/pub120597.pdf>
12. *Progress towards biofuels for marine shipping*. Status and identification of barriers for utilization of advanced biofuels in the marine sector. IEA Bioenergy: Task 39, 2021. <https://bit.ly/3bKIoHx>

Отримано 15.08.2022

Received 15.08.2022