

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ НА СУДНАХ

Горбов В.М., Мітенкова В.С.,

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (м. Миколаїв)

Вступ. В останні десятиліття спостерігається активне впровадження на транспорті та в стаціонарній енергетиці альтернативних палив (АП) замість нафтових. Це обумовлюється декількома причинами: постійне посилення законодавчих вимог щодо викидів шкідливих речовин на міжнародному та місцевому рівнях; прагнення багатьох розвинених країн, що не мають достатньої кількості власних викопних палив, забезпечити свою енергетичну безпеку; поступове (а іноді і стрімке) збільшення вартості сирової нафти, як наслідок і палив з даної сировини; а також прогнози вчених щодо відносно невеликої кількості запасів нафти на планеті (у першу чергу, порівняно з обсягом запасів вугілля). Часткове заміщення важких та легких нафтових палив альтернативними відбувається і в судновій енергетиці.

Постановка задачі та актуальність дослідження. Аналіз існуючого досвіду експлуатації суднових енергетичних установок (СЕУ) на АП та проектів на майбутнє в даній сфері дасть змогу виділити типи альтернативних палив, придатних для застосування на суднах, з урахуванням специфічних особливостей цього виду транспорту, обґрунтувати першочергові причини впровадження нетрадиційних палив на флоті, виділити основні проблеми та перспективи, пов'язані з застосуванням. Це є актуальним питанням, оскільки на основі детального аналізу можна визначити особливості проектування та експлуатації СЕУ на АП.

Метою статті є аналіз досвіду застосування найбільш розповсюджених на сьогоднішній день альтернативних палив у СЕУ, визначення зміни характеристик СЕУ при роботі на АП порівняно з традиційними нафтовими паливами.

Результати досліджень. У багатьох статтях, наукових доповідях та звітах використання АП розглядається як один зі способів покращення екологічних характеристик суден відповідно до існуючих законодавчих вимог. Таким чином, у першу чергу, основною метою впровадження альтернативних палив є вирішення екологічних проблем. Емісія із морських суден складає до 14 % всієї емісії від викопних видів палив та 16 % всіх викидів сірки від нафтових продуктів, що спалюються. Вона становить у середньому 10,12 млн. т NO_x та 8,48 млн. т SO_x на рік, відповідно [1]. Окрім оксидів азоту та сірки до атмосфери потрапляють оксиди вуглецю, сажа, леткі органічні сполуки, вуглеводні та інші небезпечні для навколишнього середовища та людини викиди.

Міжнародна морська організація ІМО на світовому рівні ввела регулювальний режим, який обмежує вміст сірки в морських паливах.

Додаток VI до Конвенції МАРПОЛ 73/78 діє в міжнародних та територіальних водах та забороняє використовувати паливо із вмістом сірки більше 4,5 %, а в Районах Контролю Викидів SO_x (SECA) це значення не повинно перевищувати 1,5 %. Згідно з Директивою Європейського парламенту 2005/33/ЄС максимальний вміст сірки в паливах, що використовуються пасажирськими суднами на регулярних рейсах, коли вони знаходяться в територіальних водах ЄС, не повинен перевищувати 1,5 %, а з 1 січня 2010 року вміст сірки у всіх сортах морського палива, що використовується на судах причалів портів ЄС та у внутрішніх водах, не повинно перевищувати 0,1 % [2]. У Греції та Іспанії прийняті обмеження для суден, що знаходяться у їх прибережних територіях за вмістом сірки в паливі – не більше 0,2 % в газойлі та не більше 1 % у важкому паливі [3].

Припустимий рівень викидів оксидів азоту при роботі суднових дизелів регулюється «Технічним кодексом за контролем емісії оксидів азоту від суднових дизельних двигунів», Додаток VI до Конвенції МАРПОЛ 73/78 (так звані обмежувальні криві Tier I, II, III). Вимоги цих стандартів наведені в таблиці [4]. Існують і більш жорсткі місцеві вимоги (Каліфорнійські правила, обмеження урядів Швеції та Норвегії). Зокрема, в Норвегії в 2007 році було введено штраф за викиди оксидів азоту 2,5 USD/кг, передбачалося, що у 2008 році штраф буде подвоєно [5].

Таблиця. Обмеження викидів оксидів азоту Додатком VI Конвенції МАРПОЛ

Обмежувальні криві Tier	Рік введення в дію	Обмеження NO_x , г/(кВт*год), в залежності від частоти обертання дизелів, об/хв		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17,0	$45 \cdot n^{-0,2}$	9,8
Tier II	2011	14,4	$44 \cdot n^{-0,23}$	7,7
Tier III*	2016	3,4	$9 \cdot n^{-0,2}$	1,96

* Стандарт буде діяти лише в Районах Контролю Викидів NO_x (NECA).

У 2012 році ІМО планує ввести до дії обмеження викидів «парникових» газів з суден (насамперед CO_2), так званий CO_2 -індекс для суден нової побудови [6]. Обговорюється можливість уведення обмеження і на інші групи викидів.

Іншими методами покращення екологічних характеристик суден, окрім використання АП, є такі: очищення вихідних газів двигунів за допомогою скрубберів та каталізаторів, удосконалення характеристик робочого процесу двигуна, використання нафтових палив із низьким вмістом сірки, при стоянці в порту подача енергії на судно із берегових джерел тощо. Кожний із цих методів має свої переваги і недоліки, вибір того чи іншого залежить від багатьох умов.

Альтернативні палива в СЕУ можна використовувати безпосередньо для спалювання в теплових двигунах та котлах або в якості джерела водню для паливних елементів. Можливість застосування різних видів альтернативних палив у СЕУ обумовлюється такими вимогами:

- фізико-хімічні показники палив (склад, в'язкість, теплота згоряння, цетанове число, вміст домішок і т. д.): чим ближчі ці показники АП до показників традиційних палив, які використовуються в СЕУ, тим менше доробок вимагає двигун і паливна система;

- організація бункерування: сировина для виробництва палива, об'єми промислового виробництва палива у світовому масштабі, розподіли підприємств з виробництва палив по всьому світу, організація доставки у порти;

- умови зберігання палива на судні: склад і масогабаритні показники паливної системи і апаратури, вимоги до обслуговування і ремонту, вибухонебезпечність, обмеження по застосуванню на окремих типах суден і в теплоенергетичному устаткуванні;

- екологічні характеристики: склад продуктів згоряння, дія на навколишнє середовище і здоров'я людей у разі витоків або випаровування;

- економічний ефект: витрати безпосередньо на паливо, на модернізацію існуючого або проектування нового устаткування паливної системи, вартість обслуговування та ремонту, міжремонтні ресурси і терміни служби устаткування, частина витрат на паливо в загальних експлуатаційних витратах на судно й енергетичну установку.

Сьогодні на судах використовуються водопаливні емульсії, зріджений нафтовий газ (ЗНГ), зріджений або стиснений природний газ (ЗПГ та СПГ), вугілля, водень, метанол (як джерело водню в паливних елементах), біодизель (БД) [7]. Найбільш перспективною реальною альтернативою традиційним судновим паливам є БД та ЗПГ.

Окрім газозовів, на ЗПГ сьогодні експлуатуються судна берегової охорони, судна для обслуговування газодобувних платформ, серія поромів для перевезення автомобілів та пасажирів, пасажирські судна, судна типу Ro-Ro та RoPax, катамарани, буксири, військові судна, багатофункціональне вантажне судно тощо. Природний газ у СЕУ найчастіше використовують у зрідженому вигляді на судах, але є приклади використання і СПГ. При використанні ЗПГ на судах застосовуються газодизельні двигуни (ГДД) фірм MAN B&W Diesel або Wartsila, або чисто газові двигуни, які виробляються фірмою Rolls-Royce.

На сьогоднішній день найбільший «газовий» флот у Норвегії (маються на увазі судна, де ЗПГ не перевозиться, але використовується як паливо). Це пов'язано з тим, що Норвегія володіє власними значними запасами природного газу, і не має проблем із бункеруванням, окрім того частина узбережжя цієї країни омивається Північним морем, недалеко знаходиться Балтійське, які належать до зони SECAs, а природний газ, як відомо, майже не містить сірки.

При використанні ЗПГ на судні принципово змінюється склад та конфігурація паливних систем (ПС) СЕУ. До складу ПС СЕУ для зрідженого природного газу входять приймальний криогенний трубопровід, бункерувальний пристрій, насос подачі палива до цистерн, вмістища для зберігання ЗПГ, регазифікаційна частина (один або декілька теплообмінників чи електричних нагрівачів для випаровування та підігріву природного газу (ПГ)), інше обладнання (фільтри, пристрої розподілу палива по споживачам, буферні цистерни тощо) [8].

При ескізному проектуванні ПС СЕУ ЗПГ вирішуються наступні завдання:

- визначення маси запасів газового палива та графіку витрати його протягом рейсу;
- визначення тиску зберігання ЗПГ;
- обираються кількість, матеріал, габаритні параметри, тип ізоляції та коефіцієнт заповнення паливних цистерн (ПЦ), розраховуються інші їх характеристики;
- проводяться гідравлічні розрахунки приймального трубопроводу, підбирається криогенний насос;
- добирається обладнання для регазифікації ЗПГ: тип та основні параметри випарників та підігрівників, розраховується площа поверхні теплообмінників, витрата теплоносіїв, необхідна електрична потужність (при застосуванні електричних підігрівачів);
- добирається інше обладнання паливних систем (арматура, фільтри, буферні цистерни тощо), розробляється принципова схема системи;
- визначається схема розташування основного обладнання паливних систем ЗПГ (в першу чергу криогенних цистерн) на судні.

ЗПГ – це альтернатива як дизельним, так і важким нафтовим паливам (ВП). Його можна використовувати і в головних двигунах і в дизель-генераторах. Перспективним сегментом суден для використання ЗПГ є відносно невеликі судна з рейсовими лініями, які пролягають переважно в районах із жорсткими екологічними обмеженнями, де є можливість бункерування ЗПГ. Вимоги щодо обмежень за розмірами пов'язані з відносно невеликою максимальною встановленою потужністю ГДД порівняно з дизельними МОД.

При використанні ЗПГ виникає проблема здійснення бункерування, оскільки далеко не у всіх портах є наявності термінали з ЗПГ. Іншим суттєвим недоліком використання ЗПГ на судні є значне збільшення масогабаритних показників паливних цистерн. Хоча теплота згоряння ЗПГ вища, ніж у нафтових палив, і потрібна менша (на 7-10 %) кількість палива [9], за рахунок значної маси паливних двокорпусних цистерн, яка у порожньому вигляді може становити до 80 % від маси вмістищ з паливом, маса СЕУ на ЗПГ є більшою за масу СЕУ, яка використовує рідке паливо [10]. Капітальні вкладення у будівництво суден із СЕУ, придатною для експлуатації на природному газі, можуть зростати до 30 % порівняно з

використанням ВП. Основні статті витрат, які зростають, це вартість ГДД та паливної системи ЗПГ.

У той же час при використанні природного газу значно зменшуються викиди шкідливих речовин у вихідних газах (сірка майже відсутня), річні експлуатаційні витрати зменшуються, оскільки вартість ЗПГ менша, ніж у нафтових палив. Природний газ є більш безпечним паливом, ніж нафтові, оскільки його температура спалаху не нижча 135°C, температура самозаймання 537 °C, що значно вище за аналогічні значення для дизельного та важкого палив. При зберіганні газу в зрідженому стані при дуже низьких температурах ймовірність самозаймання майже відсутня.

БД у чистому вигляді або як суміш у різних пропорціях із дизельним паливом (ДП) використовують на невеликих та середніх суднах прибережного або внутрішнього району плавання (пороми, пасажирські, круїзні, риболовецькі, дослідницькі судна, поліцейські катери та судна берегової охорони, яхти). У Франції біодизель використовують як добавку в кількості 30 % до палива для допоміжних суден військово-морського флоту, є проект використання сумішевих палив і для військових кораблів у Великій Британії. У США та Канаді на водному транспорті широко застосовується паливо В20 (суміш дизельного палива та біодизелю в пропорції 80:20). У Новій Зеландії було побудоване судно «Earthrace», що працює лише на біопаливі. На біодизельному паливі та його сумішах працюють двигуни таких виробників, як Cummins, Caterpillar, Wartsila, MAN B&W Diesel, John Deere. Урядом Канади був успішно реалізований проект із використання чистого біопалива та його сумішей з дизельними паливами на круїзних суднах у Квебеку. Дослідження, проведені під час реалізації проекту, підтвердили можливість ефективної експлуатації суден на біодизельних паливах та їх сумішах [11].

Біодизельні палива можна розглядати як альтернативу морським легким нафтовим паливам, причому для тих випадків, коли ДП є основним типом палива. Порівнювати БД із важкими паливами недоцільно, оскільки це однозначний програш БД за ціною, та обсяг виробництва біопалив у світі не є настільки значним, щоб конкурувати з цими паливами. Перспективним сегментом флоту, де можливо застосування біодизелю та його сумішей, є невеликі судна прибережного, змішаного та внутрішнього районів плавання з СОД або ВОД, з дизель-механічними та дизель-електричними передачами та водометними рушіями.

Біодизель за своїми фізико-хімічними якостями досить близький до звичайного дизельного палива. Тому основними задачами визначення раціональних параметрів обладнання паливних систем СЕУ при використанні БД є виділення основних характеристик паливних систем; визначення зміни даних характеристик у випадках використання в системах В100 (чистого біодизелю) з різної сировини, різних зразків В100, сумішей з низьким вмістом БД (до 20 %), сумішей з вмістом БД від 20 до 100 %;

надання рекомендацій щодо визначення характеристик універсальних та двопаливних паливних систем.

Біодизель не є таким паливом, використання якого потребує кардинальної зміни СЕУ. При порівнянні ДП, БД та їх сумішей вид та склад пропульсивної установки, тип двигуна, загальна структурна схема паливної системи не змінюються. Можливі наступні варіанти при використанні БД порівняно із ДП:

- змінюється модель двигуна на таку, виробники якої рекомендують застосовувати біодизель (Caterpillar, John Deere, Cummins та інші);
- на судні передбачається одна універсальна паливна система, придатна для обох палив, або дві системи зі взаємним резервуванням основного обладнання та можливістю приготування паливних сумішей на борту судна;
- двигун працює на В100 протягом рейсу увесь час або частково, використовуються суміші із різним вмістом БД (зазвичай 5-50 %);
- наявне або відсутнє додаткове обладнання для очищення вихідних газів двигунів;
- використовуються біодизельні палива з різної сировини, які відрізняються фізико-хімічними характеристиками та вартістю.

При використанні БД зростає питома витрата палива на двигун порівняно із ДП, відповідно зростає маса та об'єм паливних запасів. Вартість біодизелю вища за вартість ДП, для її зниження уряди ряду країн ввели пільги виробникам та дистриб'юторам біодизельних палив. Концентрація викидів оксидів азоту може збільшуватися до 10 %.

У той же час, значно зменшується вміст інших токсичних компонентів, майже повністю відсутня сірка. Мастильні якості БД кращі, ніж у дизельних палив (особливо ДП із низьким вмістом сірки). Температура спалаху біодизельного палива може в залежності від первинної сировини досягати 180–200 °С. Разом із тим, значення цієї характеристики для ДП у середньому лише 58–64 °С. Температура самозаймання ДП – 230–300 °С (літнє), В100 – 300–350 °С. Таким чином, за температурами спалаху та самозаймання В100 є більш безпечним паливом.

Висновки. Застосування АП у суднових енергетичних установках дасть змогу знизити залежність від нафтових палив та підвищити екологічну безпеку суден. Альтернативні палива в судновій енергетиці (при умові вирішення проблем, пов'язаних із бункеруванням, зберіганням палив та внесенням необхідних змін у конструкцію теплових двигунів і паливних систем) – це не майбутнє, а реальне сьогодення. У перспективі – збільшення обсягів споживання цих палив і поступова заміна ними нафтових палив, що традиційно використовують на судах.

Зріджений природний газ та біодизельні палива є на сьогоднішній день найбільш перспективною альтернативою важким та легким нафтовим паливам. За рядом показників вони програють традиційним паливам із нафти, але інші показники кращі. У ряді випадків значне покращення екологічних характеристик суден може компенсувати погіршення масогабаритних,

економічних та інших показників СЕУ. Для остаточного обґрунтування типу палива потрібно провести комплексну оцінку ефективності застосування альтернативних палив або докладні техніко-економічні розрахунки обраних варіантів (у залежності від наявної інформації щодо експлуатації суден або окремих основних елементів СЕУ).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фиделис В. Судовые двигатели и экология // Судостроение. – 2001. – № 5. – С. 29.
2. Возницкий В.В. Практика использования морских топлив на судах. – Библиотека судового механика. – Санкт-Петербург, 2006. – 124 с.
3. Trozzi C., Vaccaro R. Methodologies for estimating future air pollutant emissions from ships: Technical report / Contract N° ST-96-SC.204. – Rome, 1998. – 32 p.
4. Controlling emissions in two-stroke marine diesel // MER. – 2008. – November. – P. 16–21.
5. New legal driver for emission monitoring // The Naval Architect. – 2007. – September. – P. 18.
6. Mandatory CO₂ Index takes step closer // Shipping World & Shipbuilder. – 2008. – July/August. – P. 8.
7. Горбов В.М., Мітенкова В.С. Застосування альтернативних палив у СЕУ : стан та перспективи // Суднова енергетика : стан та проблеми : Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців. – Миколаїв : НУК, 2007. – С. 6–13.
8. Горбов В.М., Митенкова В.С. Особенности топливных систем СЭУ на природном газе // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 7(54). – С. 20–24.
9. Горбов В.М., Мітенкова В.С. Обґрунтування вибору типу палива для СЕУ на стадії ескізного проектування // Збірник наукових праць НУК. – 2008. – № 1. – С. 113–118.
10. Горбов В.М., Мітенкова В.С. Визначення раціональних характеристик паливних цистерн зрідженого природного газу для СЕУ // Збірник наукових праць НУК. – 2008. – № 6. – С. 81–85.
11. BioMer: Biodiesel demonstration and Assessment for tour boats in the Old Port of Montreal and Lacine Canal National Historic Site. Final report. – Québec. – 2005. – 67 p.