

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ЗАСТОСУВАННІ БІОДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Визначено раціональні параметри паливних систем низького тиску суднових енергетичних установок при використанні біодизельного палива з різної сировини та його сумішей з дизельним у різних пропорціях. Представлено принципову схему двопаливної системи енергетичної установки судна. Проведено співставлення гідродинамічних та масогабаритних характеристик паливних систем при використанні біодизельних палив та їх сумішей. Наведено основні характеристики робочого процесу суднового середньооборотного двигуна при роботі на біодизельному паливі, отриманого експериментальним шляхом.

Ключові слова: біодизельне паливо, паливні системи, швидкість фільтрації, швидкість сепарації, параметри робочого процесу двигуна.

Определены рациональные параметры топливных систем низкого давления судовых энергетических установок при использовании биодизельного топлива из различного сырья и его смесей с дизельным в разных пропорциях. Представлена принципиальная схема двухтопливной системы энергетической установки судна. Сопоставлены гидродинамические и массогабаритные характеристики топливных систем при использовании биодизельных топлив и их смесей. Приведены основные характеристики рабочего процесса судового среднеоборотного двигателя при работе на биодизельном топливе, полученного экспериментальным путем.

Ключевые слова: биодизельное топливо, топливные системы, скорость фильтрации, скорость сепарации, параметры рабочего процесса двигателя.

Ship power plants low pressure fuel systems sustainable parameters with using of biodiesel fuel from different materials and its mixtures with diesel fuel in various proportions are determined. Principle diagram of ship power plant's dual-fuel system is proposed. Hydrodynamic and mass-overall characteristic of fuel systems with using of biodiesel fuel and its mixtures are compared. Resulting by experimental investigation main work process parameters of ship medium-speed engine operating on biodiesel fuel are shown.

Key words: biodiesel fuel, fuel systems, filtration velocity, separation velocity, engine work process parameters.

Постановка проблеми. Питання раціонального використання природних ресурсів і захисту навколишнього середовища від забруднення створюють перед судновою енергетикою проблему пошуку, впровадження та ефективного використання альтернативних палив (АП). Існуючі міжнародні та локальні акти відносно обмеження емісії з суден передбачають зменшення шкідливих викидів у атмосферу [1-4]. Поступове впровадження АП, серед яких досить перспективною альтернативою дизельному паливу (ДП) є біодизельне (БД), дасть змогу знизити залежність від нафтових палив та вирішити проблеми, пов'язані з використанням останніх у суднових енергетичних установках (СЕУ). Впровадження на судах біодизельних палив повинно супроводжуватися розробкою детальних рекомендацій щодо особливостей проектування, вибору схемних рішень, комплектації обладнанням, обслуговування

під час експлуатації паливних систем (ПС) СЕУ. Розробка відповідних рекомендацій є **актуальною** науковою та практичною проблемою.

Аналіз досліджень і публікацій. Досвід експлуатації суден на БД та його сумішах з ДП у Франції, Німеччині, США, Канаді, Великобританії підтверджує можливість широкого впровадження цього відновлюваного палива в СЕУ [5; 6]. Перспективним для використання БД сегментом флоту є невеликі судна внутрішніх та прибережних районів плавання: рибальські, яхти, пасажирські, круїзні, дослідницькі, пороми тощо. Це паливо в суміші з дизельним використовують на деяких військових кораблях у Франції та Великобританії [6].

Можна визначити такі напрямки досліджень, пов'язані з можливістю використання біодизельного палива в енергетиці: вивчення фізико-хімічних та

теплофізичних якостей; особливості роботи та характеристики дизельних двигунів; взаємодія з елементами паливних систем; екологічні аспекти застосування в двигунах. Серед проектів та публікацій, пов'язаних з вивченням якостей таких палив можна виділити роботи з вивчення їх стабільності [7] та дослідження їх низькотемпературних властивостей [8]. Дані щодо робочих та екологічних показників і особливостей експлуатації дизельних двигунів на БД та його сумішах досить широко представлено у вітчизняних та закордонних публікаціях [9; 10]. Відомі роботи щодо вивчення взаємодії біодизельного палива з конструкційними та ущільнювальними матеріалами [11].

Кількість робіт, у яких наводяться дані стосовно застосування біодизельних палив у судновій енергетиці, обмежена. Серед них можна виділити довідник із застосування БД на рекреаційних судах [12] та кінцевий звіт за проектом BioMeg, який було реалізовано в 2004 р. у провінції Квебек, Канада [5]. Протягом декількох місяців 12 пасажирських суден експлуатувалися на чистому БД (B100) та його сумішах з ДП з вмістом першого 5 % (B5) та 20 % (B20). Метою даного проекту, який координувався урядом Канади та місцевою владою Квебеку, було доведення можливості ефективної роботи суден на БД та його сумішах. Але серед даних, викладених у кінцевому звіті відсутня інформація щодо впливу БД та його сумішей на характеристики паливних систем СЕУ.

Метою даної статті є обґрунтування раціональних параметрів паливних систем у випадках використання в СЕУ B100 з різної сировини та різних зразків, сумішей з різним вмістом біодизельного палива; визначення параметрів робочого процесу судового середньооборотного дизельного двигуна (СОД) при роботі на БД.

Виклад основного матеріалу. Біодизельне паливо досить близьке за своїми фізико-хімічними характеристиками до ДП, його можна використовувати в тих же схемах і обладнанні з урахуванням специфічних характеристик. Можливий варіант, коли на судні існує одна паливна система для ДП, БД та їх сумішей, при почерговому використанні наведених палив та прийому паливних сумішей на борт у підготовленому стані. При іншому варіанті за аналогією з використанням важких та легких нафтових палив передбачається використання двох ПС зі взаємним резервуванням деякого обладнання та приготуванням паливних сумішей на борту. Обидва варіанти мають свої переваги і недоліки та область більш ефективного використання.

На рис. 1 зображено двопаливну систему з можливістю отримання сумішей на судні та резервуванням обладнання ліній ДП та БД, на приймальних трубопроводах B100 передбачено супутникові обігрівачі [13]. Особливістю схеми є застосування при підготовці палив комбінованих очисних установок з вбудованим підігрівачем, у яких відбувається фільтрація та сепарація. Змішувач розташований після витратних цистерн. Передбачено три лінії підводу палива до двигунів: ДП, БД, їх сумішей. У цистерні запасу B100 передбачено циркуляційний сепаратор для періодичного видалення води з палива при довготривалому зберіганні (вода може бути наявна у цистерні, або потрапляти різними шляхами протягом зберіганні) [14].

Для паливних систем розглядалися наступні характеристики: маса та об'єм запасів палива на рейс, потужність приводів насосів перекачування палива, швидкість фільтрації та сепарації. Розрахунки проводилися на основі розробленої математичної моделі паливних систем БД [14].

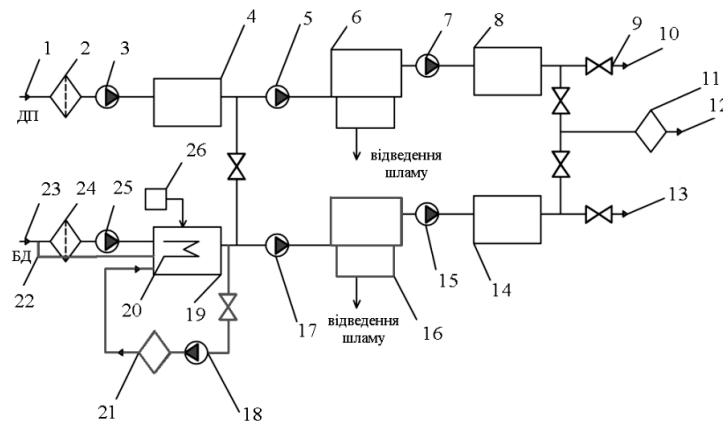


Рис. 1. Принципова схема паливної системи дизельної установки з можливістю роботи на дизельному та біодизельному паливах та їх сумішах з комбінованими установками очищення палива

- 1 – приймальний трубопровід дизельного палива; 2, 24 – фільтри грубого очищення;
 3, 25 – насоси перекачування палива; 4, 19 – цистерни зберігання палива; 5, 17 – насоси установок очищення палива; 6, 16 – комбінована установка очищення палива (фільтр-сепаратор з вбудованим підігрівачем палива); 7, 15 – насоси подачі палив у витратні цистерни; 8, 14 – витратні цистерни; 9 – запірний клапан; 10 – дизельне паливо до двигуна; 11 – змішувач; 12 – суміш ДП та БД до двигуна; 13 – БД до двигуна;
 18 – насос сепаратора; 20 – занурений підігрівач палива; 21 – сепаратор;
 22 – супутниковий обігрівач; 23 – приймальний трубопровід БД; 26 – цистерна присадок для БД

У табл. 1 представлено результати розрахунків при використанні таких палив: ДП, ТЖМЕ – метиловий ефір з тваринного жиру, РМЕ – ріпаково-метиловий ефір, СМЕ – соєво-метиловий ефір, ПМЕ – пальмово-метиловий ефір, СНМЕ – соняшниково-метиловий

ефір, BOME – метиловий ефір використаної кухарської олії. Фізико-хімічні характеристики біодизельних палив, що являють собою метилові ефіри жирних кислот, приймалися згідно з [15] для ТЖМЕ, СМЕ, ПМЕ та СНМЕ, з [16] – для BOME та РМЕ. Дані

представлено у відносному вигляді, за одиницю прийнято відповідні значення для ДП. Аналіз наведених матеріалів свідчить про те, що залежно від первинної сировини потрібна маса палива може збільшуватися майже на 17 %. Відносний об'єм паливних цистерн

збільшується до 9,5 %, що пов'язано з більшою густиною біодизельних палив. Для перекачування В100 потрібна потужність насосів може збільшуватися до 50 %. Швидкість фільтрації може зменшуватися до 2,5 разів, сепарації – майже втричі.

Таблиця 1

Характеристики паливних систем СЕУ при використанні дизельного палива та В100 з різної сировини

Характеристика	Паливо						
	ДП	ТЖМЕ	РМЕ	СМЕ	ПМЕ	СНМЕ	ВОМЕ
Маса запасів палива	1	1,089	1,165	1,166	1,149	1,14	1,125
Ємність паливних цистерн	1	1,019	1,095	1,088	1,084	1,075	1,086
Потужність приводу насоса перекачування	1	1,287	1,529	1,486	1,526	1,456	1,509
Швидкість фільтрації	1	0,593	0,506	0,595	0,43	0,533	0,418
Швидкість осадження часток води в сепараторі	1	0,3944	0,3482	0,3885	0,3037	0,3763	0,3444

Також було проведено порівняння параметрів ПС при використанні В100 з однієї сировини 27 різних зразків, фізико-хімічні характеристики яких відповідають міжнародним стандартам якості і представлені в [7]. Різниця між значеннями густини розглянутих палив до 1,5 %, в'язкості – до 18,2 %. Пропорційно густині та в'язкості змінюється ємність паливних цистерн та швидкість фільтрації, відповідно на 1,54 % та 18,4 %. Потужність приводів перекачувальних насосів для різних В100 зростає лише на 3,5-4 %, а швидкість сепарації може зменшуватися майже на 22 %.

Аналогічні розрахунки було проведено і для сумішей дизельного палива та біодизельного з вмістом останнього до 30 %, такі суміші найчастіше використовуються в двигунах, їх фізико-хімічні характеристики представлено в [7]. Переважна кількість зразків – це В20. Залежно від вмісту БД в суміші (7-28 %) та його властивостей маса запасів палива збільшується на 2,7 %, ємність паливних цистерн – на 1,7 %, потужність приводів насосів – на 8,7 %, швидкість фільтрації та сепарації знижується на 22,3 та 24 %, відповідно, порівняно з дизельним паливом.

У літературі достатньо публікацій щодо випробувань високооборотних дизельних двигунів на БД та ДП, але

практично відсутня інформація щодо аналогічних експериментів на СОД. За участю автора статті було проведено випробування СОД 6ЧН 25/34 у науково-технічній лабораторії кафедри Суднових енергетичних установок та технічної експлуатації Одеського національного морського університету, основні результати якого представлено на рис. 2 [14; 17].

Висновки. 1. Встановлено, що характеристики паливних систем для біодизельного палива залежать від вихідної сировини, вмісту БД у суміші, фізико-хімічних показників.

2. Використання біодизельних палив у паливних системах СЕУ призводить до зростання маси запасів палива до 16 %, об'єму паливних цистерн – до 10 %, потужності приводів насосів – до 50 %, необхідної для підігріву палива енергії – в 1,6-3,2 рази, швидкість фільтрації та сепарації можуть зменшуватися на 60 % та 65 %, відповідно. При використанні сумішей з низьким вмістом БД ємність паливних цистерн та маса запасів палива збільшуються незначно, витрати енергії на перекачування палив зростають майже на 10%, швидкість фільтрації та сепарації знижуються на 22% та 24%, відповідно. Це буде визначати рівень раціональних параметрів паливних систем СЕУ при проектуванні та підборі обладнання.

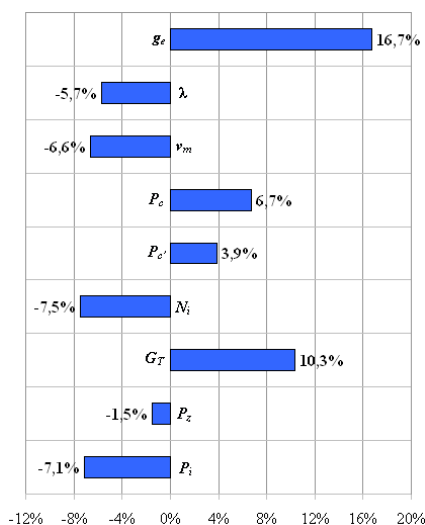


Рис. 2. Змінення основних параметрів робочого процесу двигуна 6ЧН 25/34 при переході на біодизельне паливо:

g_e – питома витрата палива, кг/(кВт·год); λ – ступінь підвищення тиску при згоранні;
 ν_m – максимальна швидкість зростання тиску при згоранні, МПа/град;
 P_c – максимальний тиск стиснення, МПа; P_c' – тиск початку згорання, МПа;
 N_i – циліндрова індикаторна потужність, кВт; G_T – годинна витрата палива, кг/год;
 P_z – максимальний тиск згорання, МПа; P_i – середній індикаторний тиск, МПа

3. Встановлено характер зміни параметрів робочого процесу двигуна при переведенні з дизельного палива на біодизельне (зменшуються: індикаторний тиск – на 7,1 %, максимальний тиск згорання – на 1,5 %, потужність – на 7,5 %, максимальна швидкість зростання тиску при згоранні – на 6,6 %, ступінь підвищення тиску при згоранні – на 5,7 %; збільшуються: витрата палива – на 10,3 %; тиск

початку згорання – на 3,9 %; максимальний тиск стиснення – на 6,7 %). Отримані результати дозволили розробити рекомендації щодо зміни характеристик настройки двигуна 6ЧН 25/34 при переведенні його з дизельного на біодизельне паливо, а також розширити існуючі уявлення про особливості використання в дизельних двигунах В100.

ЛІТЕРАТУРА

1. Controlling emissions in two-stroke marine diesel [text] // MER. – 2008. – November. – P. 16–21.
2. Coping with SECAs through changing over fuel types [text] // MER. – 2008. – February. – P. 14–16.
3. Mandatory CO₂ Index takes step closer [text] // Shipping World & Shipbuilder. – 2008. – July/August. – P. 8.
4. The potential to cut CO₂ [text] // The Naval Architect. – 2009. – June. – P. 30–34.
5. BioMer: biodiesel demonstration and assessment for four boats in the Old Port of Montreal and Lacine canal national historic site [Electronic resource]. – Québec. – 2005. – 67 p. – Mode of access : http://www.sinenomine.ca/Download/BioMer_ang.pdf.
6. Scott, R. UK biodiesel study fuels debate on the practicalities for naval vessels [Electronic resource] / R. Scott. – Jane's International Defence Review, 2008. – V. 41. – June. – Mode of access : http://www.bmtdsl.co.uk/BMT/bmt_media/bmt_media/33/ArticlefromJanesCJanesInfoGroup.pdf.
7. Survey of the quality and stability of biodiesel and biodiesel blends in the united states in 2004 [Electronic resource] / [McCormick R. L., Alleman T. L., Ratcliff M. and others]. – National Renewable Energy Laboratory, USA, 2005. – 60 p. – Mode of access : <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/38836.pdf>.
8. Biodiesel cold weather blending study [Electronic resource] // The National biodiesel board, 2005. – Mode of access : http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/nbpf/pdfs/cftr_72805.pdf.
9. Васильев И. П. Результаты испытаний в дизельном двигателе смесей топлив растительного происхождения [текст] / И. П. Васильев // Экологические и ресурсосбережение. – 2007. – № 2. – С. 3–9.
10. Influence of alternative fuels on combustion indicators with diesel engines [text] / D. Bibic, A. Hribernik, I. Filipovic, B. Kegl // Goriva i maziva. – 2007. – V. 46. – № 3. – P. 205–222.
11. Frame, E. Elastomer compatibility testing of renewable diesel fuels [Electronic resource] / E. Frame, R. L. McCormick. – USA: National Renewable Energy Laboratory, 2005. – 21 p. – Mode of access : <http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/nbpf/pdfs/38834.pdf>.
12. Wedel von, R. Technical handbook for marine biodiesel in recreational boats [Electronic resource] / R. von Wedel. – Second edition. – California : CytoCulture International, Inc, 1999. – Mode of access : <http://www.cytoculture.com/Biodiesel%20Handbook.htm>.
13. Патент на корисну модель 51960 Україна, МПК F02M 31/00, F02M 37/00. Система підготовки дизельного та біодизельного палива для двигунів внутрішнього згорання / Горбов В. М., Митенкова В. С.; заявник та патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № u201000911; заявл. 29.01.2010.; надрук. 10.08.2010, Бюл. № 15, 2010 р.
14. Горбов В. М. Альтернативные топлива в судовой энергетике : [монография] [текст] / В. М. Горбов, В. С. Митенкова. – Николаев : НУК, 2012. – 316 с.
15. Clements, D. L. Blending rules for formulating biodiesel fuel [Electronic resource] / D. L. Clements. – University of Nebraska, 1996. – Mode of access : http://biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19960101_gen-277.pdf.
16. The physical & chemical characterization of biodiesel low sulfur diesel fuel blends [Electronic resource]. – The National Biodiesel Board University of Missouri, 1995. – 85 p. – Mode of access : http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19951230_GEN-253.pdf.
17. Ивановский, В. Г. Анализ параметров рабочего процесса судового среднеоборотного двигателя при работе на биодизеле [текст] / В. Г. Ивановский, Р. А. Варбанец, В. М. Горбов, В. С. Митенкова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 8 (65). – С. 102–106.

Рецензенти: **Романовський Г. Ф.**, д.т.н., професор;
Подгуренко В. С., к.т.н., доцент.

© Митенкова В. С., 2012

Дата надходження статті до редколегії 23.12.2012 р.

МИТЕНКОВА Віра Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри суднових і стаціонарних енергетичних установок Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна.

Коло наукових інтересів: використання альтернативних палив у судновій енергетиці.