

10.31653/smf47.2023.55-68

Мадей В.В.¹, Волков О.М.¹, Сторчак О.О.²¹Національний університет «Одеська морська академія»²Одеський національний морський університет

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛІВ МОРСЬКИХ СУДЕН ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Плавання морських суден неможливе без використання джерела механічної енергії. Навіть для невеликих вітрильних суден вітрила використовуються як додаткове джерело, яке забезпечує рух, а як основне – встановлюється тепловий двигун. Найпоширенішими тепловими двигунами з усіх, що використовуються на транспорті, є двигуни внутрішнього згоряння (дизелі) [1, 2]. Дизелі є джерелами механічної енергії автомобільного, залізничного, морського та внутрішнього водного транспорту, а також сільськогосподарської та мобільної (малогабаритної чи переносної) техніки [3, 4]. Саме дизелі в даний час набули домінуючого поширення на всіх без винятку суднах морських та внутрішнього водного транспорту, незалежно від їх водотоннажності, типу та призначення. Провідні дизелебудівні концерни та фірми випускають суднові дизелі в широкому діапазоні розмірів (діаметром циліндра від 0,1 м до 0,98 м), кількості циліндрів (від 4-х до 18-ти) та потужності (від 100 кВт до майже 100000 кВт) [5-7]. Отримання корисної енергії в будь-якому тепловому двигуні неможливо без використання палива. В суднових енергетичних установках (в парових котлах, газових турбінах та дизелях) найбільш розповсюдженим видом палива є рідке паливо нафтового походження. Розвиток дизелів, що під час експлуатації використовують рідке та газове паливо (двох паливні дизелі, або dual fuel) по-перше не має на теперішній час широкого виробництва та встановлення на суднах, по-друге як правило має поширення на суднах, в яких газове паливо транспортується як вантаж (на суднах газовозах), по-третє не виключає використання рідкого палива нафтового походження. Встановлення на суднах акумуляторних батарей забезпечує рух суден в обмежений час, тому впроваджується лише для суден внутрішнього водного транспорту, які здійснюють нетривалі перевезення та які мають можливість поновлення потужності батареї в разі її критичного зменшення. Використання

сонячних батареї не забезпечує рух транспортних суден та може виконувати лише функції додаткового постачання енергії на суднове допоміжне обладнання. Тому на найближчий час рідке паливо нафтового походження продовжить займати домінуюче положення серед джерел енергії для суднової енергетики [8-10].

Одночасно з цим на судах морського та внутрішнього водного транспорту активно впроваджуються альтернативні паливо, одним з найбільш розповсюджених з яких є паливо біологічного походження. Ці види палива характеризуються сумірними значеннями густини та в'язкості з паливом нафтового походження тому забезпечують створення паливних сумішей з ними, які в подальшому використовуються для роботи дизелів. Ефективне використання подібних сумішей неможливо без визначення найбільш раціонального складу паливних сумішей – відсоткового вмісту в них палива біологічного походження та найбільш раціональних режимів впорскування цих сумішей в циліндр дизеля. Розв'язання цих завдань сприятиме підвищенню ефективності використання в суднових дизелях палива біологічного походження та покращенню їх енергетичних, економічних та екологічних показників.

Постановка завдання. Використання паливних сумішей, до складу яких входить біопаливо, змінює перебіг робочого циклу в циліндрі дизеля та процес згоряння. Це призводить до зміни експлуатаційних показників дизелів, при цьому виникає завдання визначення фаз паливподачи (насамперед кута випередження подачі палива) за яких зміна цих показників підвищує ефективність роботи дизеля та покращує його екологічні показники. Розв'язання цієї задачі можливе шляхом проведення експериментів на основних експлуатаційних режимах роботи дизеля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час одним з найпоширеніших видів палива біологічного походження є біодизельне паливо (біодизель), яке отримують з рослинних жирів та олій шляхом їх обробки метанолом або етанолом [12-15]. Згідно з Євростандартом DIN EN 14214-2019 “Liquid petroleum products. Fatty acid methyl esters for use in diesel engines and heating applications”, таке паливо відносять до класу FAME. Це паливо рекомендують використовувати в дизелях автомобільного та залізничного транспорту та дизельних електростанціях. Водночас обмеження використання біодизельного палива на судах пов'язане з його невеликим терміном зберігання. Це обмежує його використання під час тривалих океансь-

ких чи морських переходів [16-18]. Ще одним недоліком біодизельного палива є його більш низька енергетична ефективність порівняно з рідким нафтовим паливом, що не дозволяє використовувати його як самостійне джерело енергії, і вимагає створення сумішей палива, в яких більша частина складається з нафтового палива, а біодизельне паливо використовується як добавка [19-21]. Однак досвід використання таких сумішей дозволяє поступово впроваджувати біодизельне паливо на судах із дизельними двигунами. Цьому також сприяє порівняні значення густини та в'язкості біодизельного та нафтового палива [22-24].

Однією з незаперечних переваг використання сумішей біодизельного та нафтового палива є покращення екологічних показників роботи дизелів на судах, особливо зниження концентрації оксидів сірки та азоту у випускних газах [25-27].

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на морському спеціалізованому судні класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн. В енергетичну установку судна входили дизелі 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo та 6EY18ALW Yanmar. Основні характеристики дизелів представлені у табл. 1.

Таблиця 1 Основні характеристики дизелів судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн

Параметр	5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo	6EY18ALW Yanmar
Діаметр циліндра, м	0,6	0,18
Хід поршня, м	2,4	–
Кількість циліндрів	5	6
Потужність на номінальному навантаженні, кВт	8050	800
Частота обертання валу, хв ⁻¹	89	900
Питома витрата палива у діапазоні експлуатаційних навантажень 45–100 %, г/(кВт·год)	0,187...0,174	0,198...0,183
Кількість у складі суднової енергетичної установки	1	3

Під час експлуатації дизелів в спеціальних екологічних районах з контролю емісії викидів сірки (Sulphur Emission Control Areas – SECAs) використовувалося паливо DMA, під час експлуатації дизелів за межами SECAs використовувалося паливо RME180 [28, 29]. Це забезпечувало вимоги Додатку VI Міжнародної конвенції MARPOL

та сприяло зменшенню забруднення довкілля оксидами сірки в цих районах. Основні характеристики палив наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Характеристики палив

Параметр	RME180	DMA	FAME B30
В'язкість за 50 °С, сСт	184	12.8	36.3
Густина за 15 °С, кг/м ³	928	896	914
Вміст сірки, %	0.48	0.082	0.018
Температура спалаху, °С	73	67	71
Теплотворна здатність, кДж/кг	40480	43420	36890

На судні була реалізована технологія, яка дозволяє застосовувати біодизельне паливо, як використання палива B30 класу FAME (таблиця 2). Це дозволяло як для головного двигуна 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo, також і для допоміжних 6EY18ALW Yanmar використовувати паливні суміші, основним компонентом яких було паливо нафтового походження (RME180 або DMA), як добавка – паливо біологічного походження FAME B30 [30, 31].

Принципова схема паливної системи, яка дозволяла використовувати суднові моторні палива DMA та RME180, а також біодизельне паливо FAME B30 наведено на рис. 1.

Робота головного двигуна 16 та допоміжних двигунів 10, 11, 12 була можлива на паливі DMA (під час знаходження судна в SECA) та на паливі RME180 (під час знаходження судна поза SECA). Крім того, дизелі могли працювати на суміші нафтового палива DMA, RME180 та біодизельного палива FAME B30. Вміст біодизельного палива FAME B30 в його суміші з паливом DMA або RME180 становив 15 %. Це значення було визначено як найбільш раціональне під час серії попередніх досліджень, проведених на суднах різного призначення, на різних дизелях та за умови використання різних сортів палива [11, 14, 31-33].

Подача палива до двигунів здійснювалася паливним насосом 3 (з RME180 паливного танка), паливним насосом 6 (з DMA паливного танка), паливним насосом 9 (з FAME B30 паливного танка). Очищення палива забезпечувалася у фільтрах 2, 5, 8. Необхідна концентрація біодизельного палива FAME B30 в його суміші з паливом DMA або RME180 забезпечувалася дозатором 15 залежно від показань витратоміра 13 та контролювалася мікроконтролером 14 [28, 34].

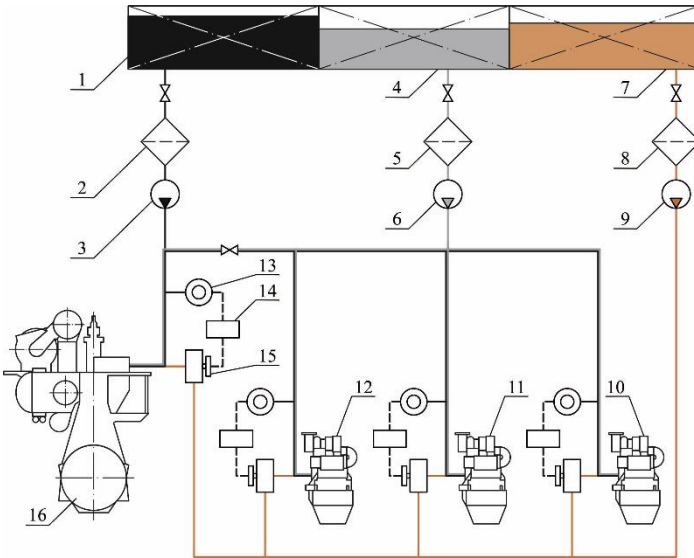


Рис. 1. Принципова схема паливної системи:

1 – RME180 паливний танк; 2, 5, 8 – паливний фільтр; 3, 6, 9 – паливний насос; 4 – DMA паливний танк; 7 – FAME B30 паливний танк; 10 – допоміжний двигун №3; 11 – допоміжний двигун №2; 12 – допоміжний двигун №1; 13 – витратомір; 14 – мікроконтролер; 15 – дозатор; 16 – головний двигун

Як контрольні показники, за якими оцінювались експлуатаційні показники суднових дизелів, обирались максимальний тиск згоряння p_z , питома ефективна витрата палива b_e та концентрація оксидів азоту в випускних газах NO_x . Їх визначення виконувалось за допомогою суднової системи моніторингу та діагностування. Вибір саме цих показників ґрунтувався наступним. Максимальний тиск згоряння характеризує енергетичну ефективність робочого циклу дизеля, з його збільшенням підвищуються всі основні показники роботи дизеля, насамперед середній індикаторний тиск та індикаторна/ефективна потужність. Максимальний тиску згоряння є обов'язковим показником, який контролюється під час експлуатації дизеля, при цьому також обов'язково ця величина визначається для кожного окремого циліндра, середнє для всіх циліндрів дизеля, а також відхилення цього значення для окремих циліндрів від середнього. Це відхилення не повинно перевищувати $\pm 3,5\%$. Питома ефективна витрата палива характеризує паливну економічність роботи дизеля та характеризує економічну доцільність вибору тих чи інших

параметрів паливopодачі. Також питома витрата палива прямопропорційно пов'язана з загальною витратою палива (годинною або добовою) та впливає на суднові запаси палива, показник, що є актуальним саме для суден морського транспорту, які здійснюють довготривалі морські або океанські переходи без можливості бункерування. Концентрація оксидів азоту в випускних газах є основним показником, що характеризує екологічні показники роботи суднових дизелів. Її значення регламентується відповідно вимог Додатку VI МАРПОЛ та залежить від швидкісного режиму роботи дизеля та року побудови судна.

Дослідження виконувались під час експлуатації дизелів 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo та 6EY18ALW Yanmar на суміші, яку склали паливо RME180 та біопаливо FAME B30 (з концентрацією 15 %), а також паливо DMA та біопаливо FAME B30. Під час досліджень кут випередження подачі палива для суднового дизеля 6EY18ALW Yanmar змінювався в діапазоні $-18 \dots -6$ °повороту колінчатого валу (пкв), для дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo – в діапазоні $-7 \dots -1$ °пкв. Саме цей діапазон рекомендований фірмами виробниками під час експлуатації дизелів, при цьому як найбільш раціональний для дизеля 6EY18ALW Yanmar рекомендований кут -14 °пкв, для дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo – кут -4 °пкв. Саме з такими кутами випередження впорскування експлуатувались дизелі під час використання палива без додавання до його об'єму палива біологічного походження, саме ці кути були обрані як «базові» під час випробувань з використанням паливних сумішей. Дослідження виконувались для наступних експлуатаційних режимів роботи дизеля 6EY18ALW Yanmar – $0,4N_{\text{енорм}}$, $0,55N_{\text{енорм}}$, $0,7N_{\text{енорм}}$, $0,85N_{\text{енорм}}$ та $0,6N_{\text{енорм}}$, $0,7N_{\text{енорм}}$, $0,8N_{\text{енорм}}$, $0,9N_{\text{енорм}}$ для дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo (де $N_{\text{енорм}}$ – номінальне навантаження відповідного дизеля).

Результати досліджень наведені в таблицях 3, 4.

Величини максимального тиску згоряння та питомої ефективної витрати палива під час використання суміші, що складалась з палива RME180 та біопаливо FAME B30 та суміші, що складалась з DMA та біопаливо FAME B30 за однакових навантажень на дизелі характеризувались збігом значень та їх відхилення одно від одного знаходились в межах похибки експерименту. Саме тому для цих показників (а саме максимального тиску згоряння p_z , МПа, та питомої ефективної витрати палива b_e , г/(кВт·год)) в таблицях 3, 4 наведені загальні

значення цих показників. Значення концентрації оксидів азоту в випускних газах під час використання різних сумішей відрізнялись одні від інших, тому в таблицях 3, 4 ці значення наведені окремо для кожного випадку (а саме під час використання суміші палива RME180 та біопалива FAME B30, а також під час використання суміші палива DMA та біопалива FAME B30).

Таблиця 3. Зміна експлуатаційних показників роботи суднового дизеля 6EУ18ALW Yanmar за різних кутах випередження подачі паливної суміші до складу якої входить паливо біологічного походження

Експлуатаційний показник		Кут випередження подачі палива, φ , $^{\circ}$ пкв						
		-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	$0,4N_{\text{ЕНОМ}}$	10,12	10,27	10,23	10,22	10,03	9,82	9,63
	$0,55N_{\text{ЕНОМ}}$	13,72	13,98	13,97	13,83	13,77	13,55	13,38
	$0,7N_{\text{ЕНОМ}}$	15,75	15,82	15,73	15,72	15,51	15,44	15,32
	$0,85N_{\text{ЕНОМ}}$	16,03	16,24	16,21	16,15	16,12	15,95	15,78
Питома ефективна витрата палива, b_e , г/(кВт·год)	$0,4N_{\text{ЕНОМ}}$	201,3	197,3	192,2	188,6	187,3	183,2	196,5
	$0,55N_{\text{ЕНОМ}}$	197,6	195,3	190,2	186,2	184,8	184,5	193,7
	$0,7N_{\text{ЕНОМ}}$	193,4	190,7	187,3	184,1	183,3	182,9	188,3
	$0,85N_{\text{ЕНОМ}}$	186,7	186,3	184,6	183,6	182,7	182,4	185,2
Концентрація NO_x^1 , г/(кВт·год)	$0,4N_{\text{ЕНОМ}}$	7,17	6,98	6,92	6,86	6,66	6,62	6,58
	$0,55N_{\text{ЕНОМ}}$	7,38	7,28	7,17	7,12	7,05	6,95	6,81
	$0,7N_{\text{ЕНОМ}}$	7,55	7,45	7,37	7,32	7,25	7,12	7,03
	$0,85N_{\text{ЕНОМ}}$	7,93	7,72	7,52	7,44	7,31	7,18	7,11
Концентрація NO_x^2 , г/(кВт·год)	$0,4N_{\text{ЕНОМ}}$	7,27	7,11	7,02	6,96	6,88	6,71	6,62
	$0,55N_{\text{ЕНОМ}}$	7,48	7,35	7,32	7,28	7,18	7,07	6,93
	$0,7N_{\text{ЕНОМ}}$	7,83	7,61	7,51	7,48	7,32	7,22	7,15
	$0,85N_{\text{ЕНОМ}}$	8,04	7,76	7,71	7,54	7,35	7,28	7,16

¹ – під час використання суміші палива RME180 та біопалива FAME B30;

² – під час використання суміші палива DMA та біопалива FAME B30

Під час проведення досліджень контролювались та підтримувались в необхідному діапазоні також всі основні параметри роботи головного та допоміжних дизелів, а також параметри в системах, що забезпечують їх функціонування. До них були віднесені тиск в циліндрі наприкінці стиснення, температура випускних газів, середній індикаторний тиск, а також відхилення цих показників від середнього значення по всім циліндрам; частота обертання валу дизеля; фази газорозподілу (кути відкриття та закриття продувних та випускних

клапанів); тиск та температура охолоджуючої води та циркуляційного мастила на вході та виході з дизелів,

Візуалізація значень, що наведені в таблицях 3, 4 виконана в вигляді рис. 2-3. В зв'язку з односпрямованим перебігом процесів та сумірними значеннями результатів, на рис. 2-3 наведені лише дані, що відповідають максимальному навантаженню на дизелі, а саме $0,85N_{\text{еном}}$ для дизеля 6EY18ALW Yanmar та $0,9N_{\text{еном}}$ для дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo.

Таблиця 4. Зміна експлуатаційних показників роботи суднового дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo за різних кутах випередження подачі паливної суміші до складу якої входить паливо біологічного походження

Експлуатаційний показник	навантаження на дизель	Кут випередження подачі палива, ф, °пкв						
		-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	$0,6N_{\text{еном}}$	11,3	11,42	11,45	11,42	11,35	11,18	11,11
	$0,7N_{\text{еном}}$	12,73	12,88	12,92	12,85	12,82	12,72	12,48
	$0,8N_{\text{еном}}$	14,03	14,14	14,18	14,12	13,95	13,85	13,72
	$0,9N_{\text{еном}}$	14,62	14,74	14,75	14,7	14,55	14,38	14,28
Питома ефективна витрата палива b_e , г/(кВт·год)	$0,6N_{\text{еном}}$	185,6	183,7	182,1	178,6	177,3	177,3	182,3
	$0,7N_{\text{еном}}$	183,4	182,7	180,7	178,1	176,8	175,8	178,8
	$0,8N_{\text{еном}}$	180,7	179,6	178	177,2	175,7	174,6	177,3
	$0,9N_{\text{еном}}$	178,3	178,3	177,4	175,4	175,4	174	176,6
Концентрація NO_x^1 , г/(кВт·год)	$0,6N_{\text{еном}}$	11,82	11,64	11,48	11,38	11,22	11,05	10,86
	$0,7N_{\text{еном}}$	12,32	12,08	11,92	11,78	11,52	11,24	11,08
	$0,8N_{\text{еном}}$	12,84	12,68	12,62	12,52	12,45	12,28	11,62
	$0,9N_{\text{еном}}$	13,28	13,08	12,85	12,66	12,52	12,35	12,08
Концентрація NO_x^2 , г/(кВт·год)	$0,6N_{\text{еном}}$	12,45	12,37	12,21	11,97	11,88	11,79	11,65
	$0,7N_{\text{еном}}$	12,77	12,68	12,58	12,36	12,08	11,98	11,71
	$0,8N_{\text{еном}}$	13,28	13,05	12,88	12,72	12,54	12,34	12,21
	$0,9N_{\text{еном}}$	13,65	13,54	13,11	12,81	12,73	12,54	12,28

¹ – під час використання суміші палива RME180 та біопалива FAME B30;

² – під час використання суміші палива DMA та біопалива FAME B30

Висновки та перспективи подальших досліджень. Експерименти, що були проведені на суднових дизелях 6EY18ALW Yanmar та 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo дозволили визначити наступне.

1. В теперішній час в дизелях суден морського та внутрішнього водного транспорту, що виконують головних та допоміжних двигунів, як альтернативне паливо використовуються суміші палива біологічного походження з нафтовим моторним паливом. При цьому до основних підстав цього використання відноситься не лише прагнення

до зменшення витрати нафтових палив, а також, як головне, поліпшення екологічності роботи суднових дизелів та насамперед зниження викидів оксидів азоту з випускними газами.

2. Під час спалювання в циліндрі дизеля паливних сумішей, до складу яких входить біопаливо, змінюються (в порівнянні з експлуатацією дизеля лише на нафтовому паливі) процеси окислення та згоряння, що призводить до зміни термодинаміки процесу згоряння. Це стає підставою зміни основних експлуатаційних показників дизеля.

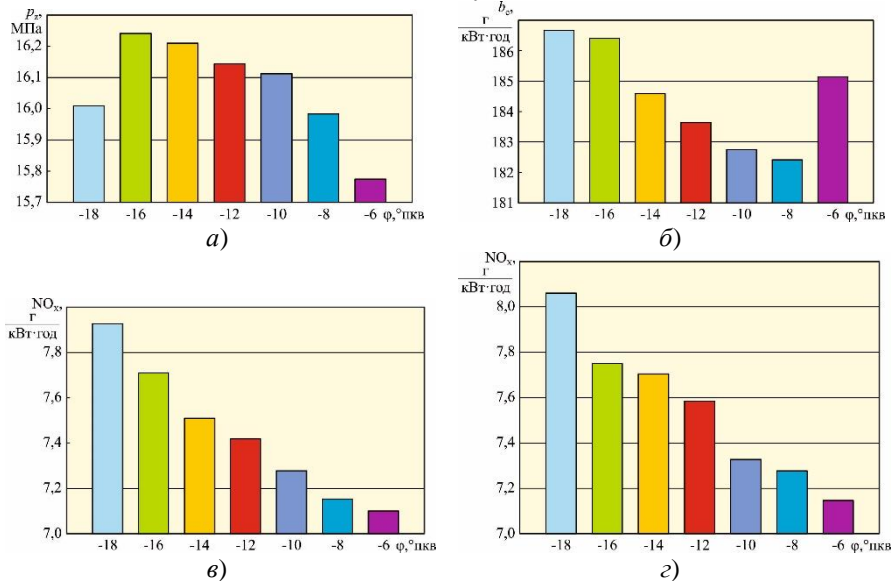


Рис. 2. Зміна експлуатаційних показників роботи суднового дизеля БЕУ18ALW Yanmar за різних кутах випередження подачі паливної суміші до складу якої входить паливо біологічного походження (під час навантаження $0,85N_{\text{ном}}$):

a – максимальний тиск згоряння p_z , МПа; $б$ – питома ефективна витрата палива b_e , г/(кВт·год); $в$ – концентрація оксидів азоту в випускних газах, NO_x , г/(кВт·год) (під час використання суміші палива RME180 та біопалива FAME B30); $г$ – концентрація оксидів азоту в випускних газах, NO_x , г/(кВт·год) (під час використання суміші палива DMA та біопалива FAME B30)

3. Підвищення ефективності використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, полягає не лише в визначенні оптимального вмісту біопалива в суміші, але також в визначенні оптимальних кутів процесу подачі паливної суміші (кутів випередження впорскування палива) зміна яких необхідна в зв'язку зі зміною складу паливної суміші, що потрапляє для спалю-

вання в циліндр дизеля. Обидва значення (вміст біопалива в паливній суміші та кут випередження впорскування) визначаються експериментальним шляхом та залежать від характеристик дизеля.

4. З метою підвищення ефективності використання паливних сумішей необхідно змішувати процес впорскування в бік верхньої мертвої точки, тобто знижувати кут випередження подачі палива, при цьому діапазон цієї зміни повинен відповідати рекомендаціям заводів виробників щодо можливих кутів впорскування палива.

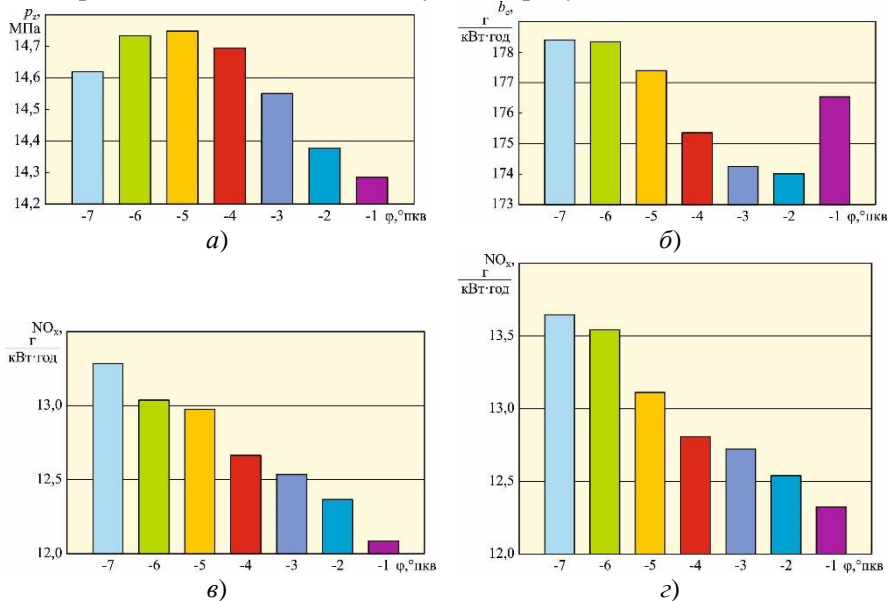


Рис. 3. Зміна експлуатаційних показників роботи суднового дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo за різних кутах випередження подачі паливної суміші до складу якої входить паливо біологічного походження (під час навантаження $0,9N_{\text{ном}}$):

a – максимальний тиск згоряння p_z , МПа; b – питома ефективна витрата палива b_e , г/(кВт·год); v – концентрація оксидів азоту в випускних газах, NO_x , г/(кВт·год) (під час використання суміші палива RME180 та біопалива FAME B30); z – концентрація оксидів азоту в випускних газах, NO_x , г/(кВт·год) (під час використання суміші палива DMA та біопалива FAME B30)

5. Під час зменшення кута випередження подачі палива зменшується емісія оксидів азоту на всьому діапазоні кута впорскування, що є позитивним фактором цього процесу. Одночасно з цим за цих умов відбуваються синусоїдальні зміни максимального тиску згоряння, при цьому зі зменшенням кута випередження зменшується тиск зго-

ряння, що відноситься до негативного фактору. Під час зменшення кута випередження подачі палива здійснюється зменшення питомої витрати палива, але за умови досягнення критичних значень кута випередження спостерігається зростання витрати палива.

6. Визначення оптимальних кутів випередження палива досягається експериментальним шляхом та сприяє забезпеченню експлуатаційних показників роботи суднових дизелів.

Перелік використаних джерел

1. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

2. Ратайчук О.В., Сагін С.В. Підвищення ефективності процесу наддува суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук. - техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 15-19. DOI : 10.31653/smf341.2020.15-19.

3. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виборн. журнал. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.

4. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення суднових важких палив // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 10-14. DOI : 10.31653/smf341.2020.10-14.

5. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 18-21. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21>.

6. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna. –2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

7. Сагін С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2011. – № 26. – Одесса : ОНМА. – С.116-125.

8. Мацкевич Д.В., Сагін С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двига-

теля // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – Одесса : ОНМА. – С.109-118.

9. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. Зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 -100.

10. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

11. Мадей В.В. Використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93-110. doi: 10.31653/smf44.2022.93-110.

12. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 69 - 80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.

13. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). –P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

14. Madey V. Assessment of the efficiency of biofuel use in the operation of marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – Vol. 2(1(64)). – P. 34–41. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.255959>.

15. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

16. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

17. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

18. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

19. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз основних способів зниження емісії оксидів азоту дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-141. doi: 10.31653/smf44.2022.132-141.

20. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

21. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology. – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

22. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.

23. Сагин С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств : науч. -техн. сб. – 2019. – Вип. 25. – Одесса : НУ «ОМА». – С. 79 - 89.

24. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 5-9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.

25. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2018. – Вип. 24. – С. 72 - 80.

26. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енерге-

тичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

27. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

28. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-142.

29. Сагін С.В., Кривий М.О. Розрахунок контактного тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 84-92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92.

30. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V., Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology. – 2022. – Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

31. Мадей В.В. Використання альтернативного палива в судових середньообертових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 45-53. doi: 10.31653/smf343.2021.41-53.

32. Мадей В.В. Використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93-110. doi: 10.31653/smf44.2022. 93-110.

33. Мадей В.В., Волков О.М. Оптимізація процесу паливоподачі дизелів суден морського транспорту під час використання паливних сумішей до складу яких входить біодизельне паливо // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 43-56. doi: 10.31653/smf45.2022.43-56.

34. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.