

Шевченко А.П., Штрибець В.В., Маннапова О.В., Рященко О.І.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОДАВАННЯ ВОДНО-ПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ У СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Метою статті є розробка пропозицій щодо моделювання процесів подавання водно-паливних емульсій у судових дизельних двигунах для підвищення ефективності їх функціонування. Поставлена мета досягається шляхом аналізу особливостей роботи дизеля на водно-паливних емульсіях, а також процесів сумішоутворення та паливоподачі при роботі на водно-паливних емульсіях. Встановлено, що на теперішній час впровадження водно-паливних емульсій в експлуатацію у судових дизельних двигунах майже не реалізується. Доведено, що використання водно-паливних емульсій значно покращує експлуатаційні характеристики двигунів і є альтернативним паливом, оскільки вносить позитивні зміни у фізичний характер процесів подачі палива, сумішоутворення та згоряння, а також у механізм зносу і впливу навколишнього середовища на навколишнє середовище. Звичайно, використання водно-паливних емульсій водночас потребує певної зміни паливного обладнання і впровадження модуля підготовки транзиту водно-паливних емульсій, що може суттєво ускладнити установку двигуна. Досліджуючи рух водно-паливної емульсії в нагнітальному трубопроводі як двофазної рідини, визначені такі фізико-механічні властивості, як щільність, стисливість і швидкість поширення звуку. Найбільш суттєвим результатом є отримані залежності, що були наведені в статті в рамках моделювання процесів подавання водно-паливних емульсій у судових дизельних двигунах. Під час математичного моделювання було отримано залежності, що описують зміну тиску та швидкості в процесі нагнітання палива на кількох ділянках судових дизельних двигунів. Це дозволило виявити ряд локальних та інтегральних особливостей процесу, включаючи: обсяг палива, частку циклу подавання палива при посадці голки, кутове положення валу та максимальний тиск палива у порожнині насоса, на нагнітальному клапані та на інжекторі. Використання водно-паливних емульсій дозволяє знизити мінімальні стабільні швидкості на навантаженні та холостому ході, а також відповідати вимогам ДСТУ, що значно підвищує ефективність функціонування судового дизеля.

Ключові слова: судовий дизельний двигун, паливо, водно-паливні емульсії, математичне моделювання, викиди.

Постановка проблеми. На теперішній час впровадження водно-паливних емульсій (ВПЕ) в експлуатацію у судових дизельних двигунах майже не реалізується. Головним аргументом проти застосування ВПЕ є те, що вода призводить до корозії прецизійних елементів паливної апаратури і деталей циліндро-поршневої групи. Проте використання водно-паливних емульсій може підвищити паливну економічність нових дизелів на 3-7% (для старих – до 10-12%), знизити температуру процесу горіння, клапанів і поршня на 20-30 градусів і зменшити утворення вуглецю або розпушувати наявні відкладення. Для деяких типів дизельних двигунів вже було експериментально встановлено, що використання водно-паливних емульсій знижує утворення вуглецю в 1,5-2 рази і димоутворення в 2-5 разів. Тому доцільно використовувати ВПЕ для очищення деталей циліндро-поршневої групи і особливо паливної апаратури та її обприскувачів, що знижує витрати на паливо і масло, зменшує знос і перегорання випускних клапанів та знижує витрати на обслуговування.

При цьому, зазвичай сажа утворюється на стінках холодного циліндра та при використанні ВПЕ концентрація сажі зменшується в 1,5-2 рази [1]. Подібний ефект

спостерігається на швидкісних дизелях у більшому масштабі. Аморфна сажа адсорбує бензапірен на поверхні та стає капурогенною. Використання емульсії зменшує утворення аморфної сажі, тим самим знижуючи токсичність вихлопних газів. Використання ВПЕ знижує температуру вихлопних газів та самого дизеля, що дозволяє перевантажувати двигун більше часу, ніж за технічними умовами. Це особливо важливо для риболовецьких суден, які часто працюють в режимах перевантаження. Оксиди азоту утворюються в зоні високих температур при надлишку кисню, а ВПЕ знижує концентрацію кисню та температуру в камері згоряння. Використання емульсії допомагає зменшити утворення вуглецю та виділення оксидів азоту в атмосферу.

Вимоги до змісту оксидів азоту у вихлопах суднових дизельних двигунів були різко підвищені Міжнародною конвенцією щодо запобігання забрудненню з суден [2].

Наприклад, на рис. 1 наведено розрахунок викидів (приблизно), який проведений з точки зору Південної Америки для перевезення 1 000 тон вантажу між Манаусом, Бразилія та Буенос-Айресом (Аргентина) або Сантосом (Бразилія). Для морських перевезень це означає, що застосовуються міжнародні правила, тобто максимальний вміст сірки в паливі не повинен перевищувати 3,5%, а для суден, побудованих після 2000 року, рівень викидів оксидів азоту 1-го рівня [5].

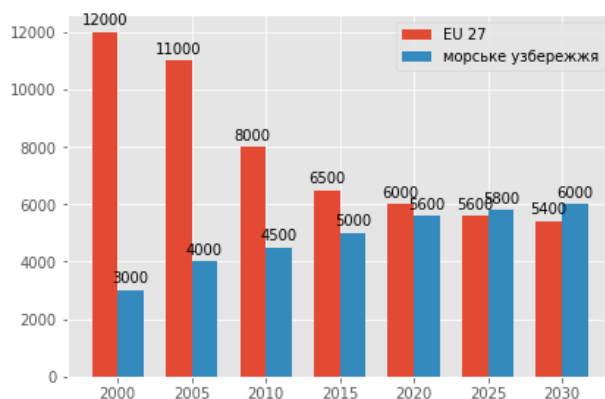


Рисунок 1 – Приклад розрахунку викидів оксидів азоту

У цьому контексті, застосування ВПЕ виявляється більш переважним, порівняно з використанням дорогих нейтралізаторів або заходів щодо дефорсування робочого процесу, які можуть призвести до втрати позитивних якостей високого газотурбінного наддуву у сучасних дизельних двигунах.

Увага повинна бути приділена впливу води на процеси горіння і механізм зносу. Каталітичний вплив води на ланцюгові реакції горіння покращує індикаторний процес ув циліндрі. Це відбувається за рахунок збільшення кількості активних центрів, а також дисоціації молекул води на атомарний водень і кисень при високих температурах, що сприяє реакціям окислення і горіння.

Підтверджується, що краплі води, які покриті оболонкою мікрокрапель палива, можуть вибухати, що поліпшує формування паливної суміші та процес перетворення паливної енергії. Також було досліджено додавання водорозчинних і нетоксичних присадок до палива, що допомагає поліпшити робочий процес. Наприклад, деякі присадки, які погано розчиняються в паливі, можуть бути розчинені у воді, такі як аміачна селітра або полівініловий спирт, що може збільшити цетанове число палива на 5%.

Існують суперечливі дані про знос двигуна, однак загальна тенденція полягає в тому, що знос зменшується на 23%. Це пояснюється тим, що в якісно приготівленій емульсії з високою дисперсією вода знаходиться в зв'язаному стані, що зменшує вуглеутворення та нейтралізує кислоти. Діаметри крапель води в емульсії порівнюються з зазорами в прецизійних елементах паливного обладнання, а водяна пара, що виходить з циліндра, має високу температуру. З цього

впливає, що значна кількість води не призводить до посилення корозійних процесів у двигуні. Однак, для уникнення можливості зрощення емульсії в щілинах елементів циліндро-поршневої групи та паливної апаратури, необхідно запускати, прогрівати та зупиняти двигун на чистому паливі.

Отже, всі вищезазначені факти свідчать про те, що використання ВПЕ значно покращує експлуатаційні характеристики двигунів і є альтернативним паливом, оскільки вносить позитивні зміни у фізичний характер процесів подачі палива, сумішоутворення та згоряння, а також у механізм зносу і вплив навколишнього середовища на навколишнє середовище. Звичайно, використання ВПЕ потребує певної зміни паливного обладнання і впровадження модуля підготовки транзиту ВПЕ, що може ускладнити установку двигуна.

Вода, яка вбирає в себе значну енергію для пароутворення, є важливою частиною ефективного робочого циклу випуску відпрацьованих газів. Однак, чим вищим є ступінь наддуву двигуна, тим менше енергії може бути перенесено. Практика підтверджує, що використання ВПЕ має значний позитивний вплив на роботу двигуна, що проявляється у зменшенні витрат палива та покращенні інших показників роботи. Для пояснення механізму позитивного впливу ВПЕ на роботу двигуна необхідно детальніше розглянути окремі підходи, зокрема зміну характеристик подачі палива, особливості розпилення палива, вплив приготування емульсії на мікрровибухи, накопичення додаткової енергії та удосконалення процесів горіння. При цьому робочі процеси подачі палива, розпалювання та утворення суміші при роботі на ВПЕ в першу чергу залежать від параметрів емульсії та особливостей процесу горіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання ВПЕ для дизельних двигунів є не досить дослідженою темою, яка залишається актуальною і сьогодні [1, 3 - 8]. Так, звіт за 2011 рік [3] є документацією по роботі, виконаній в рамках проекту "Розробка та випробування водно-паливних емульсій в якості палива для суднових двигунів для зниження викидів оксидів азоту та твердих частинок" (Udvikling og tests af vand/olieemulsioner som brændstof til skibsmotorer med henblik på reduktion NOx og partikler), спільний проект Danisco та MAN Diesel & Turbo, за часткового фінансування Датського агентства з охорони навколишнього середовища (Miljøsty). У роботі [4] доведено, що додавання води до дизельного палива знижує температуру згоряння і зменшує викиди оксидів азоту. Визначено, що найпоширенішими методами додавання води є пряме впорскування в циліндр, що комерціалізується в деяких суднових і стаціонарних дизельних двигунах, а також емульсії води в паливі. Емульговане паливо, завдяки підвищеному перемішуванню в дифузійному полум'ї дизеля, також може бути ефективним для одночасного зниження викидів оксидів азоту. Наприклад, у роботі [5] визначено, що зменшити викиди оксидів азоту можна багатьма методами, один з них – вода в паливній емульсії. За допомогою експерименту було проведено дослідження з підбору поверхнево-активної речовини. Результати експерименту показують, що 4 поверхнево-активні речовини, які найкраще підходять для дизельних двигунів – це tween 80 і span 80. Для цього експерименту потрібен певний вміст води варіації емульгатора з 10%, 15% і 20%. У цьому експерименті різні варіації води дуже впливають на продуктивність і викиди оксидів азоту. При використанні водної паливної емульсії 10% в SFOC було отримано збільшення на 216,2 г/кВт-год або 11,6% в порівнянні з паливом Pertamina Dex. Однак, вода, що використовується в паливних емульсіях з вмістом 15% і 20% SFOC, збільшує викиди порівняно з 10% емульсією. Вплив використання води в паливній емульсії призвів до зменшення викидів оксидів азоту. Вміст води в паливній емульсії зменшився на 50,5%. У цілому, рівень викидів дизельного двигуна, який використовує воду в паливній емульсії, було покращено до рівня Tier 3 специфікації правил ІМО.

Однак, наприклад, процес застосування ВПЕ з іншими фізико-механічними властивостями, температурними та в'язкісними характеристиками, що мають недостатньо інформації, на даний час не розглянуті в існуючих дослідженнях.

Метою статті є розробка пропозицій щодо моделювання процесів подавання ВПЕ у суднових дизельних двигунах для підвищення ефективності їх функціонування.

Основні результати дослідження. Математичне моделювання процесів подавання ВПЕ у судових дизельних двигунах може допомогти виявити особливості процесів паливозабезпечення, але для цього потрібна інформація про фізико-механічні властивості ВПЕ. При вивченні цих властивостей необхідно звернути увагу на відхилення, які можуть виникнути під час подачі палива з різним вмістом води в емульсії.

Досліджуючи рух ВПЕ в нагнітальному трубопроводі як двофазної рідини, визначено такі фізико-механічні властивості, як щільність, стисливість і швидкість поширення звуку. При цьому припускається, що фізична модель ВПЕ складається з двох обсягів: обсягу палива і обсягу води. Введені ряд припущень дозволили спростити задачу розрахунку швидкості поширення звуку в трубопроводі високого тиску в двофазному середовищі. Зокрема, припускається, що при якісному змішуванні води з паливом утворюються краплі води, які рівномірно розташовані в паливному середовищі. Тому можна припустити, що краплі розташовані на лініях елементарного струму з певним інтервалом. Крім того, передача імпульсу хвилі тиску забезпечується в межах центрального кута, що визначає частку середнього перерізу краплі, яка бере участь в передачі цього імпульсу.

Розрахунки дозволяють визначити коефіцієнт розсіювання хвилі тиску D у водній частині ВПЕ, що відповідає єдиній площі перетину трубки елементарного струму в межах 0,3-0,4. З урахуванням нерівномірності графіка швидкості хвилі тиску, значення D буде менше, і складатиме $2x_t/(x_v + x_t)$, що відповідає діапазону 0,25-0,4. Отже, можна записати

$$x = \sqrt{x_t^2}(1 - k_w) + Dx_v^2k_w, \quad (1)$$

де x – швидкість поширення звуку в емульсії,

x_v – швидкість поширення звуку в воді;

x_t – швидкість поширення звуку в паливі;

k_w – масова частка води в емульсії.

На рис. 2 показано результати порівняння експериментального дослідження з даними, отриманими шляхом застосування виразу (1).

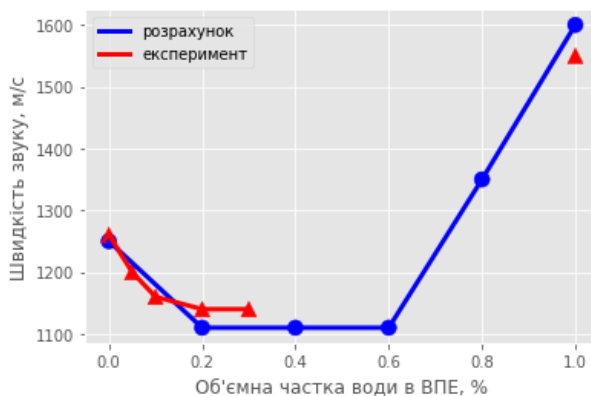


Рисунок 2 - Порівняння розрахункових і експериментальних даних

Щільність емульсії ρ можна визначити за допомогою пікнометричного методу, використовуючи закон адитивності, і ці значення можна використовувати для обчислень відповідно до наступного виразу

$$\rho = \rho_t - \rho_t(1 - k_v) + \rho_vk_v, \quad (2)$$

де ρ – щільність в емульсії,

ρ_v – щільність в воді;

ρ_t – щільність в паливі;

k_v – об'ємна частка води в ВПЕ.

Об'ємний вміст води найлегше виміряти в експерименті, а зв'язок між масою та об'ємною водоносістю слід визначати з використанням виразу

$$k_w = \frac{k_v}{\rho_t(1-k_v) + \rho_v k_v}. \quad (3)$$

Якщо використовувати вираз для крапельної рідини, можна визначити стисливість ВПЕ

$$\alpha = \frac{1}{\rho a^2}. \quad (4)$$

Після цього отримаємо результати, які збігаються з результатами, отриманими експериментально для вмісту води в емульсії до 30%. При збільшенні вмісту води стисливість має знижуватися, і після досягнення значення 1 коефіцієнт стисливості емульсії наближається до стисливості води. Цей факт можна пояснити міжмолекулярними взаємодіями між компонентами емульсії. Здається, що величина стисливості ВПЕ все ще залежить від якості емульсії, а саме від розміру крапель води. Можливо, цим пояснюється різниця між експериментом та розрахунком. Щоб з'ясувати механізм взаємодії фаз в емульсії, потрібно експериментально оцінити залежність стисливості ВПЕ від вмісту води в широкому діапазоні розмірів крапель води.

Отже, отримані формули можуть бути використані для математичного моделювання процесів подачі водно-паливних емульсій. Збільшення активного удару плунжера на приблизно $0,8k_w$ призводить до збільшення максимального тиску уприскування. Це може позитивно позначитися на якості сумішоутворення та горіння для режимів, близьких до номінального. У часткових режимах підвищений активний хід плунжера ще більше посилює цей ефект та знижує міжциклову нестабільність процесів подачі палива, що також призводить до збільшення тиску уприскування.

Для вивчення особливостей подачі палива був проведений розрахунковий експеримент з використанням математичної моделі процесів подавання ВПЕ у суднових дизельних двигунах. Дослідження проводилося при номінальному режимі та при мінімально стійкій швидкості обертання колінчастого валу n_{kv} . У випадку мінімально стійкої швидкості, спостерігалися розриви безперервності палива, що чисельно описується обсягами насоса V_n та інжектора V_i (таблиці 1, 2 для дизельного палива та ВПЕ відповідно).

Таблиця 1 – Режими подачі дизельного палива

№	n_{kv} (мін ⁻¹)	h_s (см)	p_0 (МПа)	V_n (мм ³)	V_i (мм ³)
1	1000	0,54	9	-	-
2	340	-	-	21	3

Таблиця 2 – Режими подачі ВПЕ

№	n_{kv} (мін ⁻¹)	h_s (см)	p_0 (МПа)	V_n (мм ³)	V_i (мм ³)
1	1000	0,66	10,6	-	-
2	340	-	-	30	3

Під час математичного моделювання було отримано залежності, що описують зміну тиску та швидкості в процесі нагнітання палива на кількох ділянках суднових дизельних двигунів. Це дозволило виявити ряд локальних та інтегральних особливостей процесу, включаючи:

- обсяг палива, що вводиться в основній g_1 та додатковій g_2 ін'єкційній фазах;

- частку циклу подавання палива при посадці голки g_3 ;
- кутове положення вала, що відповідає початку l_1 та кінцю l_2 фази подачі палива, а також її тривалості l_3 ;
- максимальний тиск палива у порожнині насоса e_1 , на нагнітальному клапані e_2 та на інжекторі e_3 .

Наприклад, частка палива g_3 , що подається в період голкової посадки, становить приблизно 2% при швидкості посадки голки 85 см/с (замість 140 см/с для дизельного палива). При цьому має місце збільшення тривалості уприскування на 22% при затримці початкового кута подачі на 3,9 градуси кута повороту розподільного вала. Для досягнення цих результатів рекомендується введення транзитного модуля підготовки ВПЕ при режимах менше 50-60% навантаження, щоб забезпечити стабільний режим роботи навантаження. При цьому система автоматичного регулювання частоти сама вибере необхідну подачу палива. Крім того, при роботі в режимі мінімальної стабільної подачі згідно з ДСТУ 4317:2004 та ДСТУ EN ISO 8665:2018 [9, 10], подача у ВПЕ збільшується пропорційно вмісту води, а міжциклова нестабільність пропозиції зменшується, що дозволяє знизити мінімально стабільну швидкість. Крім того, максимальний тиск інжектора збільшується, а кількість палива за період посадки голки зменшується на 15-20%.

Висновки. Результати проведених експериментів показали, що використання ВПЕ має позитивний вплив на робочий процес двигуна. Однією з основних переваг ВПЕ є значне зниження вмісту оксидів азоту у вихлопних газах, а також утворення меншої кількості вуглецю в камері згоряння та вихлопному тракті. Ці чинники допомагають знизити знос циліндро-поршневої групи та забезпечити більш високі показники надійності. Головне, що робота на ВПЕ дозволяє відмовитися від складних і дорогих установок для зниження викидів оксиду азоту. Підтверджується позиція, висунута на з'їзді СІМАС [11], щодо того, що ВПЕ може бути ефективною альтернативою дизельному паливу. Також можна стверджувати, що енергія, витрачена на виробництво якісного ВПЕ, може бути повернена у баланс виконаних робіт. Для оцінки якості емульсії водного палива у транзитному модулі можна використовувати залежності, що були наведені в статті в рамках моделювання процесів подавання ВПЕ у суднових дизельних двигунах. Використання ВПЕ дозволяє знизити мінімальні стабільні швидкості на навантаженні та холостому ході, а також відповідати вимогам ДСТУ 4317:2004 та ДСТУ EN ISO 8665:2018, що значно підвищує ефективність функціонування суднового дизеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mitsuhashi K., Takasaki K. Application of emulsified fuel to diesel engine. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. 1978. Vol. 15, No. 2. P. 142.
2. Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню з суден 1973 року : Конвенція Міжнар. мор. орг. від 02.11.1973 р. : станом на 26 верес. 1997 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_009#Text (дата звернення: 02.02.2024).
3. Andersen A., Kirsten Brauner Nyggard. Water-in-fuel emulsion as marine engine fuel for reduced NOx and particulate emissions : project / Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency. Copenhagen, 2011. 75 p. (Environmental Project No. 1380 2011). URL: <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2011/08/978-87-92779-30-4.pdf> (date of access: 02.02.24).
4. W. Addy Majewski. Water in Diesel Combustion. *DieselNet Technology Guide*. URL: https://dieselnet.com/tech/engine_water.php (date of access: 02.02.24).
5. Effect of Water in Fuel Emulsion on Performance and NOx of Diesel Engine / Beny Cahyono1 et al. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*. 2017. Vol. 1(4). 221–232 p. URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiJ7tzBqdWEAxV_IBAIHXgXCikQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fiptek.its.ac.id%2Findex.php%2Fijmeir%2Farticle%2Fdownload%2F2055%2F2270&usg=AOvVaw08qJhyAsc4JsTRe6NKcCMA&opi=89978449 (date of access: 02.02.23).

6. Scarpete D. Diesel-water emulsion, an alternative fuel to reduce diesel engine emission. a review. *Machines, technologies, materials*. 2013. Vol. 7. 13-16 p.
7. Yazid B. Tinjauan Penggunaan Air teremulsi dalam minyak bakar sebagai bahan bakar industri dan mesin diese : Apakah Menguntungkan atau Merugikan dan Apa Permasalahan Standarisasinya, 2015. P. 8
8. Prahara Alriga Julia. Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Emulsi dari Metanol Dengan Minyak Diesel Terhadap Performa, NOx dan Combustion Procces Pada Diesel Engine : bachelor's thesis / Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017. URL: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/2874> (date of access: 02.02.2024).
9. ДСТУ 4317:2004. Нафтопродукти. Паливо (клас F). Класифікація. Частина 1. Категорії палива для суднових двигунів. [Чинний від 2005-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 8 с. (Національний стандарт України).
10. ДСТУ EN ISO 8665:2018 Судна малі. Суднові головні поршневі двигуни внутрішнього згоряння. Вимірювання та декларування потужності (EN ISO 8665:2017, IDT; ISO 8665:2006, IDT) [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. IV, 20 с. (Національний стандарт України)..
11. Vollenweider, J., Geist, M., Schaub, M. Residual fuels in emission-controlled diesel engines: Background, developments and operational results. In: Proceedings of the 1995 CIMAC Congress. Interlaken, Switzerland.

REFERENCES

1. Mitsuhashi, K., & Takasaki, K. (1978). Application of emulsified fuel to diesel engine. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, 15(2), 142.
2. Mizhnarodna konventsia po zapobihannyyu zabrudnennyyu z suden 1973 roku [International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973]. (1997, September 26). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_009#Text (in Ukrainian)
3. Andersen, A., & Nyggard, K. B. (2011). Water-in-fuel emulsion as marine engine fuel for reduced NOx and particulate emissions (Environmental Project No. 1380 2011). Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2011/08/978-87-92779-30-4.pdf>
4. Majewski, W. A. (n.d.). Water in Diesel Combustion. DieselNet Technology Guide. https://dieselnet.com/tech/engine_water.php
5. Cahyono, B., Gunawan, G., Mawandha, A., & Tejakusuma, I. G. (2017). Effect of water in fuel emulsion on performance and NOx of diesel engine. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 1(4), 221–232. <https://iptek.its.ac.id/index.php/ijmeir/article/download/2055/2270>
6. Scarpete, D. (2013). Diesel-water emulsion, an alternative fuel to reduce diesel engine emission. A review. *Machines, Technologies, Materials*, 7, 13–16.
7. Yazid, B. (2015). Tinjauan penggunaan air teremulsi dalam minyak bakar sebagai bahan bakar industri dan mesin diesel: Apakah menguntungkan atau merugikan dan apa permasalahan standarisasinya? [Review of the use of water emulsified in fuel oil as industrial and diesel engine fuel: Is it beneficial or detrimental and what are the standardization issues?] (p. 8). (in Indonesian)
8. Julia, P. A. (2017). Pengaruh penggunaan bahan bakar emulsi dari metanol dengan minyak diesel terhadap performa, NOx dan combustion procces pada diesel engine [The effect of using methanol-diesel fuel emulsion on performance, NOx, and combustion process in diesel engines] [Bachelor's thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/2874> (in Indonesian)
9. DSTU 4317:2004. (2004). Naftoprodukty. Palyvo (klas F). Klyasyfikatsiia. Chastyna 1. Katehorii palyva dlia sudnovykh dvyhuniv [Petroleum products. Fuel (class F). Classification. Part 1. Categories of fuels for marine engines] (National Standard of Ukraine No. 4317:2004). Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (in Ukrainian)

10. DSTU EN ISO 8665:2018. (2019). Sudna mali. Sudnovi holovni porshnevi dvyhuny vnutrishnoho zhyrannia. Vymiriuvannia ta deklaruvannia potuzhmosti [Small craft. Marine propulsion internal combustion engines. Power measurements and declarations] (National Standard of Ukraine No. EN ISO 8665:2018). DP "UkrNDNTs". (in Ukrainian)
11. Vollenweider, J., Geist, M., & Schaub, M. (1995). Residual fuels in emission-controlled diesel engines: Background, developments and operational results. *In Proceedings of the 1995 CIMAC Congress*, Interlaken, Switzerland.

Shevchenko A.P., Shtrybets V.V., Mannapova O.V., Riashchenko O.I.

MODELING THE PROCESSES OF FEEDING WATER-FUEL EMULSIONS IN MARINE DIESEL ENGINES

The aim of the article is to develop proposals for modelling the processes of feeding water-fuel emulsions in marine diesel engines to improve their efficiency. This goal is achieved by analysing the peculiarities of diesel engine operation on water-fuel emulsions, as well as the processes of mixture formation and fuel supply when operating on water-fuel emulsions. It is established that at present, the introduction of water-fuel emulsions into operation in marine diesel engines is almost not being implemented. It is proved that the use of water-fuel emulsions significantly improves the performance of engines and is an alternative fuel, since it makes positive changes in the physical nature of the processes of fuel supply, mixture formation and combustion, as well as in the mechanism of wear and environmental impact. Of course, the use of water-fuel emulsions requires a certain change in fuel equipment and the introduction of a module for preparing the transit of water-fuel emulsions, which can complicate the installation of the engine. By studying the movement of a water-fuel emulsion in a discharge pipeline as a two-phase fluid, such physical and mechanical properties as density, compressibility, and sound propagation speed were determined. The most significant result is the obtained dependencies, which were presented in the article within the framework of modelling the processes of water-fuel emulsions supply in marine diesel engines. During the mathematical modelling, the dependencies describing the change in pressure and speed during fuel injection in several areas of marine diesel engines were obtained. This made it possible to identify several local and integral features of the process, including fuel volume, the proportion of the fuel supply cycle during needle seating, the angular position of the shaft, and the maximum fuel pressure in the pump cavity, at the injection valve, and at the injector. The use of water-fuel emulsions makes it possible to reduce the minimum stable speeds at load and idle, as well as to meet the requirements of DSTU, which significantly increases the efficiency of the marine diesel engine.

Keywords: marine diesel engine, fuel, water-fuel emulsions, mathematical modelling, emissions.