

## **АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЯ ПІД ЧАС РОБОТИ НА НИЗЬКОЯКІСНИХ ПАЛИВАХ**

**Нестеренко Вікторія Валентинівна**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри «Енергетичне машинобудування»,  
Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету  
кораблебудування імені адмірала Макарова,  
e-mail: [vik6462@gmail.com](mailto:vik6462@gmail.com), ORCID: [0000-0002-5570-3059](https://orcid.org/0000-0002-5570-3059)

**Іванов Євген Миколайович**, магістрант,  
Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету  
кораблебудування імені адмірала Макарова,  
e-mail: [Jeka3127@gmail.com](mailto:Jeka3127@gmail.com)

**Іванов Микола Якович**, магістрант,  
Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету  
кораблебудування імені адмірала Макарова,  
e-mail: [ikvnj@gmail.com](mailto:ikvnj@gmail.com)

Проаналізовано основні напрямки поліпшення екологічних характеристик дизеля під час роботи на низькоякісних паливах. Увагу зосереджено на напрямку поліпшення екологічних показників за допомогою інтенсифікації процесу горіння.

Ключові слова: дизелі з об'ємним і об'ємно-плівковим сумішоутворенням, сумішоутворення, удосконаленням процесів сумішоутворення і згоряння.

Завдання скорочення викидів забруднювальних речовин із відпрацьованими газами дизелів вирішується в таких основних напрямках:

- очищенням, допалюванням і відновленням окремих хімічних компонентів за межами камери згоряння;
- удосконаленням процесів сумішоутворення і згоряння.

При удосконаленні двигунів відповідно першого напрямку потрібне розроблення, виготовлення та встановлення додаткових пристроїв, що пов'язано з ускладненням конструкції дизеля і підвищенням протитиску на випуску. У результаті ці заходи збільшують вартість двигуна і підвищують експлуатаційні витрати.

Ефективнішим і менш витратним є другий напрямок, який полягає у вдосконаленні робочого процесу дизеля.

Однією з основних причин підвищення витрати палива і погіршення екологічних показників дизеля при переведенні їх на важкі сорти палива є неповнота і несвоечасність здійснення процесу згоряння палива [1, 3]. Особливо виразно негативні явища, пов'язані із затягуванням процесу горіння, проявляються з підвищенням частоти обертання колінчастого валу. Це значно ускладнює вирішення завдання застосування важких палив у дизелях підвищеної швидкодії.

Розпочинаючи вирішення завдання з удосконалення робочого процесу, слід зазначити, що проблема одночасного і комплексного поліпшення паливної економічності та зниження шкідливих викидів у двигунах випуску до 1990 р. являла собою суперечливу задачу, яку неможливо розв'язати відомими способами регулювання і налаштування.

Наприклад, скорочення викидів оксидів азоту, зниження максимального тиску згоряння, швидкості наростання тиску згоряння за кутом колінчастого валу і шуму, що генерується процесом горіння, можна досягти за допомогою зменшення кута випередження подачі палива. Однак, наслідком цього буде збільшення питомої ефективної витрати палива, температури газів, що відпрацювали, викидів твердих частинок, монооксиду вуглецю і незгорілих вуглеводневих сполук.

Енергетичні, екологічні та економічні показники дизеля багато в чому визначаються якістю процесу сумішоутворення і конструкцією камери згоряння.

Передкамерні та вихрокамерні дизелі через свої конструктивні особливості мали помітно кращі екологічні характеристики, але мали підвищену витрату палива. Наприкінці минулого сторіччя провідні дизелебудівні підприємства припинили випуск двигунів із розділеними камерами згоряння, і основним типом двигунів стали дизелі з об'ємним і об'ємно-плівковим сумішоутворенням.

Головним недоліком струминного сумішоутворення є неможливість забезпечити необхідну рівномірність розподілу палива і окислювача в об'ємі камери згоряння і, як наслідок, перезбагачення осередку струменя паливом.

Тому основними напрямками поліпшення процесу сумішоутворення під час роботи на важких паливах є технічні рішення, спрямовані на усунення цього недоліку. До таких напрямків належать: .

- підігрів палива;

- гомогенізація;

- підвищення тиску впорскування;

- застосування присадок до палива;

- збільшення рівня збурення повітряного заряду в камері згоряння. Оцінимо ефективність цих рішень з точки зору інтенсифікації робочого процесу.

Підвищена в'язкість палива призводить до істотного погіршення процесів паливоподачі та сумішоутворення. Для зниження в'язкості на судах встановлюють системи парового та електричного підігріву.

Відповідно до Правил Морського Регістру максимальна температура підігріву палива має бути не менше ніж на 15°C нижчою за температуру спалаху його парів, але не вищою за 95°C. Зазвичай на практиці температуру підігріву підтримують у межах 70-90°C

В процесі паливопідготовки високов'язкі палива перед подачею їх у двигун додатково піддають гомогенізації, тобто механічній, гідравлічній або ультразвуковій обробці з метою подрібнення асфальто-смолистих утворень, які знаходяться в них. У результаті такої обробки структура палива стає високодисперсною і однорідною: це позитивно впливає на процеси сумішоутворення і

згоряння. Відомо більше десятка різних конструкцій гомогенізаторів. Однак цей спосіб лише незначною мірою покращує процес сумішоутворення та згоряння, і не завжди вдається досягти однозначного позитивного результату.

Іншим способом зменшення в'язкості важких палив є змішання цих палив з мало в'язкими дизельними дистилятними паливами. Залишкові продукти переробки нафти являють собою колоїдні системи, в яких асфальтени укладені в оболонку, що складається зі смол і ароматичних вуглеводнів. Ці частинки мають однойменні електричні заряди, які запобігають їхньому злиттю.

Під час змішування важкого пального з дизельним, яке містить парафіно-нафтонові вуглеводні, відбувається розчинення оболонок, що призводить до коагуляції асфальтенів і розшарування суміші. Залежно від хімічного складу існує певна межа кількісного співвідношення важкого та дистилятного палив. Наприклад, якщо флотський мазут і дизельне паливо отримані з нафти одного родовища, то частка дизельного палива не може перевищувати 50%.

Однак для досягнення прийнятних (з погляду сумішоутворення) значень в'язкості необхідно збільшувати частку дизельного пального в суміші понад 70%, що робить таку паливну суміш нестійкою і схильною до осадкоутворення.

Для приготування якісних паливних сумішей застосовують гідродинамічні змішувачі (наприклад, УЗГС-000). Як показали результати практичного використання сумішей, одержуваний економічний ефект не виправдовує витрат, пов'язаних з ускладненням паливної системи, розв'язанням додаткових організаційних питань, пов'язаних з бункеруванням, зберіганням, підігріванням і очищенням важких палив.

Нині пріоритетним напрямком комплексного поліпшення економічних та екологічних показників за кордоном є роботи зі збільшення тиску впорскування палива [1, 4]. У дизелях знайшли застосування паливні системи з тиском впорскування 150 - 200 МПа і вище.

При підвищенні тиску впорскування поліпшується дисперсність і однорідність розпилювання, збільшується об'єм і довжина струменя. Якщо перші три параметри покращують процес сумішоутворення, то при збільшенні довжини струменя зростає ймовірність потрапляння крапель пального на відносно холодні стінки камери згоряння і циліндра, що не завжди сприятливо впливає на якість робочого процесу. Для усунення цього негативного явища використовують відомі способи, що скорочують довжину струменя. До них належать: зменшення діаметра розпилювальних отворів, застосування ступінчастого впорскування тощо. Однак ці технічні рішення значно ускладнюють паливну систему [2]. Крім цього, паливні системи з високими тисками впорскування потребують високої культури виробництва та обслуговування, застосування високоміцних зносостійких матеріалів, систем мікропроцесорного керування робочим процесом.

Вельми ефективним способом поліпшення струменевого сумішоутворення є застосування як присадки до палива води. Вода може подаватися у формі сунку у вигляді водопаливної емульсії або окремо. Приготування водопаливної емульсії проводять у спеціальних установках безпосередньо перед її подачею в

дизель. Зберігання готової емульсії недоцільне. При роздільній подачі компонентів змішування води з паливом відбувається в розпилювачі.

Присутність води в паливі чинить позитивний фізичний і хімічний вплив на процеси сумішоутворення і згоряння. Відбувається більш тонке розпилювання. У результаті мікрОВибухів частинок води спостерігаються реактивні ефекти і дроблення асфальто-смолистих речовин, що містяться у важких паливах. Хімічна дисоціація молекул води на водень і гідроксильну групу (ОН) сприяє поліпшенню процесу згоряння.

Під час роботи дизеля на важкому паливі + вода, при порівнянні з безводним паливом, відзначається значне зменшення димності (у 3-4 рази), знижується теплонапруженість деталей циліндро-поршневої групи, збільшується термін служби випускних клапанів [5].

До недоліків застосування відносяться необхідність здійснення пуску і зупинки двигуна на дизельному паливі, а також підвищену складність паливної системи і збільшення ймовірності відмов деталей паливної апаратури у зв'язку з підвищеними навантаженнями через збільшення циклової подачі, а також корозією прецизійних деталей. Перераховані проблеми і труднощі технічного та організаційного характеру, виявлені в процесі ширококомасштабної дослідної експлуатації, стримують широке впровадження ВПЕ.

За наявними відомостями, дія на паливний струмінь електричного або магнітного поля сприяє поліпшенню об'ємного сумішоутворення. Однак практичне здійснення такого впливу в умовах камери згоряння реального дизеля є досить складним інженерним завданням [2].

Значний вплив на якість паливно-повітряної суміші у камері згоряння чинить збурений повітряний заряд. Турбулентний рух середовища умовно можна представити у вигляді суми двох складових - усередненої та пульсаційної швидкості. На макросумішоутворення більшою мірою впливає усереднений вихровий рух повітряного заряду, а на мікросумішоутворення - пульсації газового середовища.

У дизелях для поліпшення процесу струменевого сумішоутворення застосовують:

- осьове закручування повітряного потоку під час наповнення циліндра свіжим зарядом. Воно здійснюється за допомогою спеціальних тангенціальних і гвинтових впускних каналів, і ширм на впускних клапанах.;

- організацію вихрового руху повітря в камері згоряння за рахунок його видавлювання робочого тіла з надпоршневого зазору при підході поршня до верхньої мертвої точки [2].

Недоліками першого способу є значне зниження інтенсивності вихору до кінця такту стиснення і зменшення наповнення циліндра свіжим зарядом внаслідок підвищення опору руху повітря на впуску.

До недоліків другого способу відносять залежність інтенсивності вихроутворення від швидкості руху поршня (в районі ВМТ швидкість поршня дорівнює нулю) і, як наслідок, недостатнього впливу збуреного повітряного заряду на паливний струмінь.

Пульсації газового середовища інтенсифікують процеси обдування і тепломасообміну крапель розпиленого палива з повітряним зарядом і можуть бути досить ефективним засобом поліпшення якості робочого процесу.

Іншою, не менш значущою складовою робочого процесу, є процес згоряння. Повнота та своєчасність здійснення цього процесу визначає екологічні, енергетичні та ресурсні показники дизеля. Розглянемо відомі способи інтенсифікації горіння крапель розпиленого палива. До них насамперед належать:

- присадки до палива;
- присадки до повітря;
- омагнічування та електризація палива;
- іонізація повітря за допомогою коронного розряду;
- плазмове запалювання;
- використання радіоактивних ізотопів;
- додаткове збурення робочого тіла в камері згоряння.

Використання в якості присадок до палива води, водню, бензину, кисневмісних палив (диметилового ефіру, спиртів і рослинних олій) сприяє збільшенню повноти згоряння палива і покращує екологічні показники дизельних двигунів. Але, цей напрям пов'язаний з певними технічними та організаційними проблемами, і тому поки що не знайшов широкого практичного застосування.

Металоорганічні сполуки, що вводяться в незначних кількостях у вигляді присадок у паливо, слугують ефективним засобом сповільнення процесу утворення частинок сажі в камері згоряння. Серед безлічі пропонованих до застосування присадок відомі сполуки барію, стронцію, фероцену, кальцію, марганцю, міді. Найефективнішими є антидимні присадки, які містять у своєму складі сполуки барію (димність зменшується на 40-60%), і до менш ефективних відносяться присадки зі сполуками марганцю та міді.

Найвні відомості про вплив присадок на зношування циліндро-поршневої групи і деталей паливної апаратури суперечливі. За одними даними більшість антидимних присадок не викликає підвищеного зношування. За іншими відомостями, (наприклад, під час згоряння сполук барію), утворюються тверді частинки, що мають абразивні властивості, які спричиняють інтенсивне зношування. Є відомості про підвищення температури відпрацьованих газів на 20-50°C. Немає повної ясності і з розв'язанням проблем, пов'язаних з організацією процесів зберігання, бункерування і змішування присадок з паливом, що також стримує їх практичне використання.

У разі застосування присадок до важких палив на основі поверхнево активних речовин у кількості 0,2-0,3% істотних поліпшень екологічних показників не відбулося.

Як присадки до повітря досліджували подачу у всмоктувальний колектор води, рідкого палива, водневмісного газу, відпрацьованих газів. Під час роботи двигуна на дизельному паливі ці присадки знижують шкідливі викиди, зокрема зменшують концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах. Однак, під час роботи дизелів на важких паливах ефективність їх застосування незначна.

Попередня обробка палива електричним і магнітним полем перед подачею в дизель виявилася малоефективною і на практиці не застосовується.

Використання таких нетрадиційних способів інтенсифікації робочого процесу, як коронний розряд, плазмове запалювання і нанесення на стінки камери згоряння радіоактивних ізотопів, поки що становлять більшою мірою науковий, ніж практичний інтерес.

Як було зазначено, основною причиною погіршення економічних та екологічних показників дизеля під час переведення їх на важкі сорти палива є неповнота і несвоєчасність його згоряння.

Організація додаткового спрямованого руху повітряного ряду в циліндрі дизеля чинитиме позитивний вплив на процес макросумішоутворення. Але цього буде недостатньо для інтенсифікації процесів горіння окремих крапель розпорошеного палива в третьому і особливо в четвертому періоді. Зважаючи на свої малі розміри (5-50 мкм), краплі, що горять, миттєво підхоплюватимуться повітряним потоком, і ефект їхнього обдування зрештою зведеться до нуля: Тому ефективнішим у цьому разі буде використання пульсаційної складової турбулентного руху повітряного заряду. Під час дії на краплинну суспензію газодинамічних коливань краплі, маючи певну масу, відставатимуть від коливального руху газового середовища і, отже, будуть ним обдуватися. Це має інтенсифікувати процес горіння розпиленого палива і сприяти його своєчасному згорянню.

Тому головним напрямом інтенсифікації процесу згоряння важкого палива можна вважати спосіб додаткового збурення повітряного заряду в камері згоряння, а саме збудження в ній потужних газодинамічних коливань на такті робочого ходу.

### **Література**

1. Нестеренко В.В., Лисих А.Ю. Теоретичні передумови застосування альтернативних палив як екологічно безпечних енергоресурсів. //Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 80): матеріали Міжнародної наукової інтернет - конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Ополе, Польща. 19-20 вересня 2023р. – С. 214-216.

2. Григурко І. О., Анастасенко С. М., Доценко С. М. Проектування технологічних процесів в судновому машинобудуванні (Практикум). «Новий світ – 2000», Львів, 2017. – 348с.

3. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko. Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil. // Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means, 2020: - Kaunas, Lithuania, 2020, pp. 671-675

4. О.І. Грабовенко, С.М. Доценко, В.В. Нестеренко, І.А. Швець Використання рослинної олії в якості палива в середньообертovому дизельному двигуні. Двигуни внутрішнього згоряння, №2 (2022), - с. 79-86

5. S. Dotsenko, V. Nesterenko, A. Lysykh, O. Hrabovenko, I. Shvets Mathematical modelling of emissions of toxic components of a medium speed diesel engine when operating on soybean oil. 27rd International Scientific Conference on Transport Means 2023 04.10. - 06.10.2023: – Palanqa, Lithuania, 2023.