

УДК 621.433

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/40>**Урум Н.С.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Ліганенко В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Ткаченко В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Рященко О.І.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗПИЛЮВАННЯ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНИМИ ФОРСУНКАМИ

У роботі висвітлено енергетичні й екологічні характеристики суднових дизелів, які в більшості випадків залежать від якості сумішоутворення. Варто зазначити, що сьогодні в транспорті більшою мірою використовуються камери згорання об'ємно-плівковим та з об'ємним сумішоутворенням. Сучасні суднові дизелі відрізняє велика розмаїтість конструкцій і наявність додаткових механізмів, що, у свою чергу, збільшують механічні втрати та значно підвищують витрати палива. Щоб при порівнянні енергетичної ефективності ці механічні втрати не враховувати, у статті будемо використовувати індикаторні показники.

Акцентується увага на тому, що найбільш ефективними способами вдосконалення робочого процесу суднового дизеля є зменшення розміру краплі палива та інтенсифікація процесу обдуву краплі палива з газовим середовищем. Перший напрям здійснюється за допомогою підвищення тиску впорскування, а другий спосіб – додатковим збурюванням повітряного заряду в камері згорання. Найбільш достовірними є характеристики, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень. Розглянуто чисельне дослідження характеристик розпилювання палива дизельними форсунками при тисках упорскування від 50 до 300 МПа. Отримано значення сумарних і диференціальних характеристик розпилювання, що дають змогу визначити діаметр крапель палива в досліджуваному діапазоні тисків.

Таким чином, результати експериментального дослідження параметрів мікросумішоутворення при високих тисках впорскування палива можуть виявитися недостовірними. Тому для визначення характеристик розпилювання палива для сучасних транспортних дизелів, у яких застосовуються високі тиски впорскування, скористалися залежностями, представленими в монографіях О.С. Лишевського. Ці формули, що отримані в результаті обробки значного масиву достовірних даних, є типовими й широко застосовуються для розрахунків процесу мікросумішоутворення.

Виконано аналіз основних параметрів паливних систем високого тиску дизельних двигунів. Відомості за величиною тиску упорскування й діаметра розпилюючих отворів зведені в таблицю.

Ключові слова: дизельний двигун, економічність, екологічність, робочі процеси суднового двигуна, тиск.

Постановка проблеми. Показником енергетичної ефективності суднових дизельних енергетичних установок (СДЕУ) є питома ефективна витрата палива.

Сучасні суднові дизелі відрізняє велика розмаїтість конструкцій і наявність додаткових механізмів, що, у свою чергу, збільшують механічні втрати й значно підвищують витрати палива. Щоб при порівнянні енергетичної ефективності ці механічні втрати не враховувати, у статті будемо використовувати індикаторні показники.

Питома індикаторна витрата палива залежить тільки від якості здійснення робочого процесу

й кількості теплових втрат. Робочий процес у дизелі в загальному випадку можна представити у вигляді окремих складників, які є нерозривними, взаємозалежними та мають істотний взаємний вплив. До них відносяться процеси паливонадачі, сумішоутворення та згорання. Покращення характеристик цих процесів є важливим завданням в галузі суднобудування та експлуатації суднових енергетичних установок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розкриваючи тему статті, усі літературні джерела можна розділити на низку взаємопов'язаних груп:

– до першої групи джерел віднесемо роботи закордонних і вітчизняних авторів у галузі суднобудування (В.В. Андреев, А.М. Суслов, Г.А. Конкс);

– до другої групи джерел – роботи з теорії двигуна (Л.В. Грехов, Ю.Б. Свіридов, О.С. Лишевський);

– третя група робіт представлена дослідженнями з питань підвищення екологічності судових двигунів (С.А. Калашников, Р.В. Малов, Д.Д. Матієвський, В.І. Толшин).

Використання робіт зазначених авторів дало змогу провести дослідження характеристик розпилювання палива форсунками судового дизеля для підвищення його екологічності й економічності.

Постановка завдання. Завданням статті є дослідження характеристик розпилювання палива форсунками судового дизеля для підвищення його екологічності й економічності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виробництво дизелів з розділеними камерами згоряння з початку двадцять першого століття припинено у зв'язку з підвищеною (на 20–25%) витратою палива.

При дослідженні об'ємного сумішоутворення процес отримання паливно-повітряної суміші умовно розділений на два складники – макросумішоутворення та мікросумішоутворення.

У макросумішоутворенні вивчаються процеси переносу краплі всередині струменя й по об'єму всієї камери згоряння. Тут визначаються параметри, які характеризують геометричні розміри та швидкість розвитку паливного струменя.

У мікросумішоутворенні досліджуються властивості, пов'язані з якістю паливно-повітряної суміші. Тут визначаються характеристики розпилювання, до яких відносяться дисперсність та однорідність.

Основним напрямом комплексного покращення економічних та екологічних характеристик дизелів є збільшення тиску впорскування палива. У паливних системах типу Common rail тиск впорскування становить 200–250 МПа й вище [2].

Дослідимо характеристики розпилювання палива дизельними форсунками при різних тисках впорскування.

Найбільш достовірними є характеристики, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень. Однак вивчення тонко розпилених струменів, що складаються з крапель діаметром 25–30 мкм та менше, супроводжується великими похибками.

На точність експериментального методу дослідження впливають такі фактори:

– складність отримання надійних фотореєстрацій краплі палива, що знаходиться всередині струменя;

– труднощі отримання рівномірної швидкості осадження краплі в процесі впорскування палива при високих тисках;

– у процесі осідання на закопчену пластинку відбувається злипання дрібних крапель унаслідок різних швидкостей руху;

– при уловлюванні крапель на закопчену пластину може відбуватися їх відскакування і вторинне дроблення;

– зерниста структура кіптяви, нанесеної на закопчену пластинку, не дає змоги виміряти краплі, діаметр яких менше часток сажі;

– при дослідженні якості розпилювання седиметричним методом (оцінка дисперсності за швидкістю осідання під дією сили ваги) відзначено, що не всі краплі діаметром 4–5 мкм досягають вимірювального пристрою. Помилка вимірів може досягати 16% і більше [5].

Узагальнюючи, необхідно відзначити, що використання звичайних мікроскопів не дає можливості вимірювати краплі діаметром менш 5 мкм, у зв'язку з тим що їх розмір стає меншим за довжину світлової хвилі.

Таким чином, результати експериментального дослідження параметрів мікросумішоутворення при високих тисках впорскування палива можуть виявитися недостовірними. Тому для визначення характеристик розпилювання палива для сучасних транспортних дизелів, у яких застосовуються високі тиски впорскування, скористаємося залежностями, представленими в монографіях О.С. Лишевського [6]. Ці формули, отримані в результаті обробки значного масиву достовірних даних, є типовими й широко застосовуються для розрахунків процесу мікросумішоутворення.

Виконаємо аналіз основних параметрів паливних систем високого тиску дизельних двигунів.

Відомості за величиною тиску впорскування й діаметра розпилюючих отворів зведено в таблицю 1.

Таблиця 1
Характеристики паливної апаратури систем високого тиску

Тиск впорскування, МПа	Діаметр розпилюючого отвору, мм
50	0,4
100	0,3
150	0,2
200	0,18
250	0,15
300	0,14

З даних, наведених у таблиці 1, видно, що зі збільшенням тиску впорскування застосовуються розпилювачі з меншим діаметром розпилюючих отворів.

На рисунку 1 представлена графічна залежність між величиною тиску впорскування й розміром розпилюючого отвору відповідно до даних, які наведені в таблиці 1. Аналітично, графічна залежність, зображена на рисунку 1, представлена формулою:

$d_c(P) = 0,586 - 3,653 \cdot 10^{-3} P + 7,475 \cdot 10^{-6} \cdot P^2$, (1)
де d_c – діаметр розпилюючого отвору; P – тиск упорскування палива.

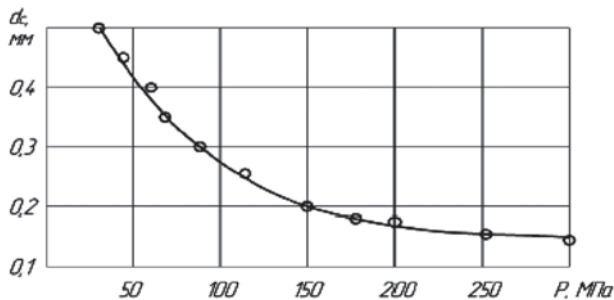


Рис. 1. Залежність між тиском палива в паливній системі високого тиску й розміром отвору в розпилювачі

Визначимо характеристики розпилювання палива в незбудженому повітряному середовищі без урахування процесу теплообміну.

Для розрахунку й аналізу дисперсності розпилювання палива дизельними форсунками скористаємося залежностями, які запропоновані Розінім і Раммлером [4; 7].

Вихідна формула має вигляд:

$$\Omega = 1 - e^{-\left(\frac{z}{a_m}\right)^n}, \quad (2)$$

де Ω – відношення об'єму крапель від мінімального до цього діаметра z до сумарного об'єму всіх крапель; a_m – постійна розміру в рівнянні Розіна-Раммлера; z – поточний діаметр краплі; n – показник неоднорідності розпилення.

Чисельні дослідження характеристик розпилювання виконані з використанням інформаційних технологій за методикою, представленою в праці [7]. На рисунку 2 наведена сумарна, а на рисунку 3 диференціальна характеристика розпилювання при різних тисках впорскування.

Розрахунки проводилися при таких умовах:

- щільність палива $\rho_2 = 852 \text{ кг/м}^3$;
- кінематична в'язкість палива $\gamma = 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- тиск повітря $P_2 = 0,13 \text{ МПа}$.

На рисунку 2 позначено: Ω – відношення об'єму краплі, що має діаметри від мінімального до даного, до сумарного об'єму всіх крапель; d_k – діаметр крапель.

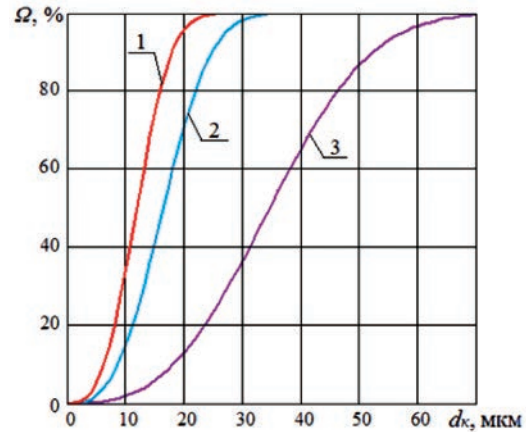


Рис. 2. Сумарна характеристика розпилювання: 1 – тиск впорскування 300 МПа, 2 – 150 МПа, 3 – 50 МПа

На рисунку 3 позначено: $\frac{d\Omega}{dd_k} \%$ – щільність розподілу ймовірності отримання краплі цього діаметра.

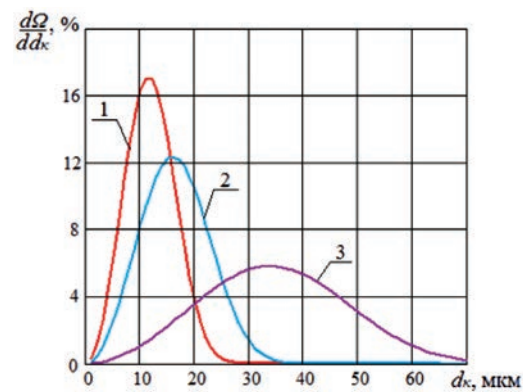


Рис. 3. Диференціальна характеристика розпилювання: 1 – тиск впорскування 300 МПа, 2 – 150 МПа, 3 – 50 МПа

З рисунків 2 та 3 видно, що з підвищенням тиску палива розпилювання стає тонше й однорідніше, що забезпечує більш якісне мікросумішоутворення.

Висновки. Аналіз збудженого стану газового середовища в камері згоряння суднових дизелів свідчить, що одночасно з осередненим обертальним рухом у циліндрі збуджуються пульсації широкого спектра частот.

У результаті розрахунку встановлено, що найбільш потужними і стійкими пульсаціями в циліндрах суднових дизелів є поперечні радіальні й тангенціальні газодинамічні коливання з частотою в діапазоні від 800 до 10 000 Гц.

Проведено чисельне дослідження характеристик розпилювання палива дизельними форсунками при тисках упорскування від 50 до 300 МПа. Отримано значення сумарних і диференціальних характеристик розпилювання, що дають змогу визначити діаметр крапель палива в досліджуваному діапазоні тисків.

Список літератури:

1. Конкс Г.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. Москва : Машиностроение, 2005. 502 с.
2. Андреев В.В. Общая технология судостроения. Ленинград : Судостроение, 1984. 184 с.
3. Суслов А.Н. Внедрение CALS-технологий в судостроении. *Судостроение*. 2001. № 6. С. 61–64.
4. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Москва : Легион-Автодата, 2005. 344 с.
5. Свиридов Ю.Б. Смесеобразование и сгорание в дизелях. Ленинград : Машиностроение, 1972. 220 с.
6. Лышевский А.С. Распыливание топлива в судовых дизелях. Ленинград : Судостроение, 1971. 245 с.
7. Калашников С.А. Экологически безопасные технологии на водном транспорте. Новосибирск : Сиб. гос. универ. водн. трансп., 2016. 241 с.
8. Толшин В.И. Оценка характера изменения концентрации NOx при рециркуляции отработавших газов дизеля. *Двигателестроение*. 2002. № 1. С. 32–34.

Urum N.S., Lihanenko V.V., Tkachenko V.V., Riashchenko O.I. STUDY OF DIESEL FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS

The paper highlights the energy and environmental characteristics of marine diesels, which in most cases depend on the quality of the mixture. It is worth noting that today in transport combustion chambers with volume film and with volume mixing are used more. Modern marine diesels are characterized by a great variety of designs and the presence of additional mechanisms, which, in turn, increase mechanical losses and significantly increase fuel consumption. In order to compare these energy losses when comparing energy efficiency, we will use indicator indicators in the article.

Emphasis is placed on the fact that the most effective ways to improve the working process of marine diesel are to reduce the size of a drop of fuel and intensify the process of blowing a drop of fuel with a gaseous medium. The first direction is carried out by increasing the injection pressure, and the second method by additional perturbation of the air charge in the combustion chamber. The most reliable are the characteristics obtained as a result of experimental studies. A numerical study of the characteristics of fuel spraying by diesel injectors at injection pressures from 50 to 300 MPa is considered. The values of the total and differential characteristics of the spray are obtained, which allow to determine the diameter of the fuel droplets in the investigated pressure range.

Thus, the results of the experimental study of the parameters of micromixing at high fuel injection pressures may be inaccurate. Therefore, to determine the characteristics of fuel spraying for modern transport diesels, which use high injection pressures, used the dependences presented in the monographs of OS Lyshevsky. These formulas, which were obtained by processing a large array of reliable data, are typical and widely used to calculate the process of micromixing.

The analysis of the main parameters of high pressure fuel systems of diesel engines is performed. Information on the magnitude of the injection pressure and the diameter of the spray holes were summarized in the table.

Key words: diesel engine, economy, ecological friendliness, working processes of ship engine, pressure.