

О.І. Грабар, аспір.
Р.В. Колодницька, к.т.н., доц.
Ю.О. Подчашинський, к.т.н., доц.
Житомирський державний технологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗПИЛЮВАННЯ ПАЛИВА НА ОСНОВІ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ ШЛЯХОМ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ

Розглянуто можливості моделювання геометричних характеристик розпилювання палива, що містить ріпакову олію. Моделювання цих характеристик і визначення їх числових значень виконується на основі цифрової обробки відеозображень процесу розпилювання та відеозображень окремих нерухомих крапель палива. Результати моделювання можуть бути використані для покращення якості процесу розпилювання та підвищення ефективності використання палива, що містить ріпакову олію.

Одним з альтернативних джерел енергоносіїв є використання рослинних олій як палива для дизельних двигунів. Перш за все це – використання ріпакової олії, яка може успішно замінити дизельне паливо на основі нафтопродуктів та має ряд переваг в галузі екології.

Ріпакова олія як паливо може використовуватись у вигляді чистої олії холодного пресування або етерифікованої олії. При використанні чистої олії необхідне додаткове переобладнання двигунів апаратурою для впорскування ріпакової олії. На етерифікованій олії можуть працювати звичайні двигуни без переобладнання.

У порівнянні з дизельними паливами кінематична в'язкість у ріпакової олії вище в 14–25 рази, температура спалахування – в 2,8–3,1 рази. Тому відмінності в процесі розпилювання паливних сумішей неминучі. Таким чином, ряд аспектів використання палив з домішками ріпакової олії потребує додаткових наукових досліджень. Актуальність досліджень властивостей альтернативних видів палива рослинного походження підтверджується роботами [1], [2].

Метою даної статті є дослідження можливостей визначення геометричних характеристик процесів розпилювання палива, що містить ріпакову олію, шляхом цифрової обробки відеозображень.

Струмін палива, що розпилюється в двигуні, характеризується такими геометричними розмірами [3]: довжина струменя, ширина струменя, кут розсіювання. Ці показники залежать від параметрів впорскування палива, конструкції розпилювача, фізичних властивостей палива і газового середовища, режиму роботи двигуна.

Важливими показниками, що характеризують процеси подачі й розпилювання палива, є розмір крапель палива і однорідність розпилювання [3]. Розпилювання палива на дрібні краплі значно збільшує поверхню рідини. Це забезпечує швидке протікання тепло- і масообміну між паливом і повітрям в камері згорання та створює умови для ефективної роботи дизельного двигуна. Якість розпилювання палива залежить від параметрів впорскування палива, конструкції розпилювача, фізичних властивостей палива і газового середовища, режиму роботи двигуна. Якість розпилювання палива характеризується середнім діаметром крапель та кривою розпилювання, яка відображає графічну залежність між діаметром крапель та їх відносним вмістом у струмені палива.

Визначення даних показників, в принципі, можливе шляхом отримання і дослідження відеозображень процесів, що протікають в камері згорання двигуна, або шляхом зондування цих процесів променем лазерного чи іншого електромагнітного випромінювання. Така можливість підтверджується роботами [4], [5], [6], [7]. Однак для таких досліджень потрібно складне обладнання, яке створює умови, подібні до умов в камері згорання, та складна оптична система для реєстрації протікаючих процесів, оскільки краплі мають досить дрібні розміри. На жаль, таке обладнання є досить дорогим.

Пропонується дещо інший метод моделювання процесу розпилювання палива і визначення геометричних характеристик цього процесу. На стадії створення нових видів палива дослідження розпилювання струменя палива можна замінити дослідженням окремих крапель палива. Метод базується на визначенні геометричних розмірів окремих нерухомих крапель палива як рідини, що має певні фізичні властивості; обрахунку фізичних властивостей даної рідини та визначенні показників процесу розпилювання на основі отриманих даних та математичних моделей процесу розпилювання. Визначення геометричних розмірів крапель виконується шляхом обробки відеозображень цих крапель.

Відомо, що найбільший вплив на розмір крапель і однорідність розпилювання мають такі фізичні властивості палива, як в'язкість і поверхневий натяг [3]. Під дією початкових збурень та сил

аеродинамічного опору струмінь палива розділяється на окремі частини. Ці частини, рухаючись в газовому середовищі, деформуються і розпадаються на окремі краплі під дією сил аеродинамічного опору. Подальшому розпаду крапель протидіють сили поверхневого натягу. В'язкість зменшує збурення в струмені палива, з ростом в'язкості дрібність і однорідність розпилювання погіршуються. Сили поверхневого натягу протидіють руйнуванню сформованих дрібних крапель, але сприяють поділу на окремі краплі плівок й інших крупних часток палива. Щільність палива мало впливає на дрібність і однорідність розпилювання.

Для окремої нерухомої краплі, яка знаходиться на твердій поверхні або висить на нижньому отворі капілярної трубки, має місце баланс зовнішніх сил (сили гравітації) та внутрішніх сил (сили поверхневого натягу рідини). На основі фізичних законів відомий зв'язок між геометричними розмірами таких крапель та фізичними властивостями рідини, з якої утворено краплі [8], [9]. Використовуючи сучасні інформаційно-комп'ютерні технології для вимірювання геометричних розмірів крапель за їх відеозображеннями, можна виконати моделювання і визначити числові показники для таких фізичних властивостей палива, як в'язкість і поверхневий натяг.

Визначення поверхневого натягу можна виконати вимірюючи геометричні розміри краплі, що висить на нижньому отворі капілярної трубки (рис. 1). Вимірюються максимальний діаметр краплі d_{max} та діаметр краплі d_s на відстані d_{max} вгору від нижнього краю краплі (рис. 2).

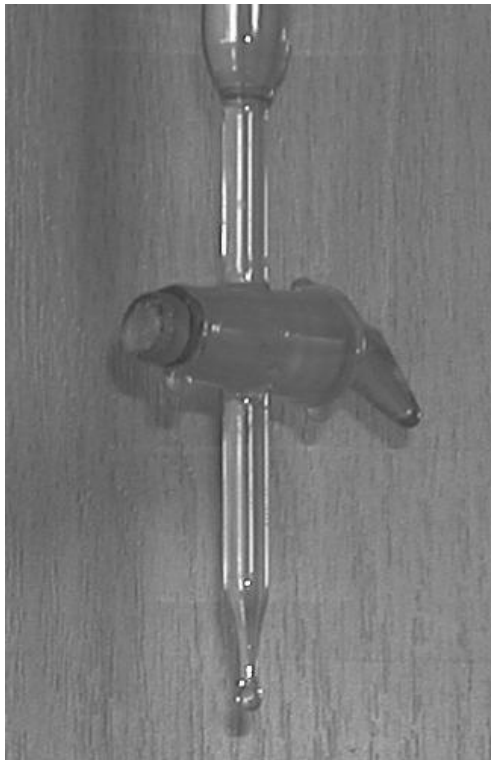


Рис. 1

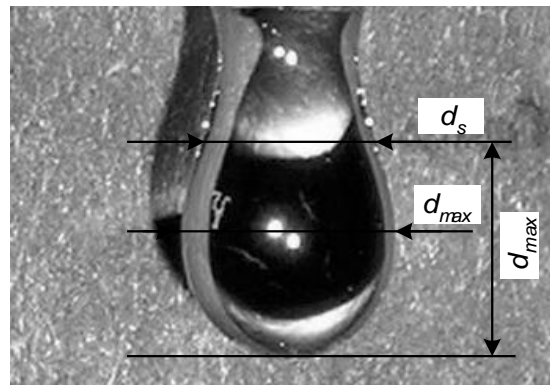


Рис. 2

Поверхневий натяг визначається за формулою [8], [9]:

$$\sigma = \frac{\rho g d_{max}^2}{H}, \tag{1}$$

де ρ – густина палива,

g – прискорення вільного падіння,

H – коефіцієнт форми краплі.

Коефіцієнт форми краплі визначається функціональною залежністю $H = f(d_s / d_{max})$, яка може бути обчислена за таблицею, наведеною в [9].

Також існує формула для визначення діаметра краплі [8]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6d_{min}\sigma}{\rho g}}, \tag{2}$$

де d_{min} – діаметр капілярної трубки,

та пов'язане з цією формулою безрозмірне число Бонда (Bond number):

$$Bo = \frac{d_{min}^2 \rho g}{\sigma}, \quad \text{або} \quad \frac{d}{d_{min}} = \sqrt[3]{\frac{6}{Bo}}.$$

Використовуючи формулу (2), отримуємо вираз для обчислення поверхневого натягу:

$$\sigma = \frac{d^3 \rho g}{6d_{min}}. \tag{3}$$

Для визначення в'язкості необхідно перейти до дослідження струменя рідини, що витікає з отвору і поступово розділяється на окремі краплі під дією коливань рідини, симетричних відносно осі струменя (рис. 3).

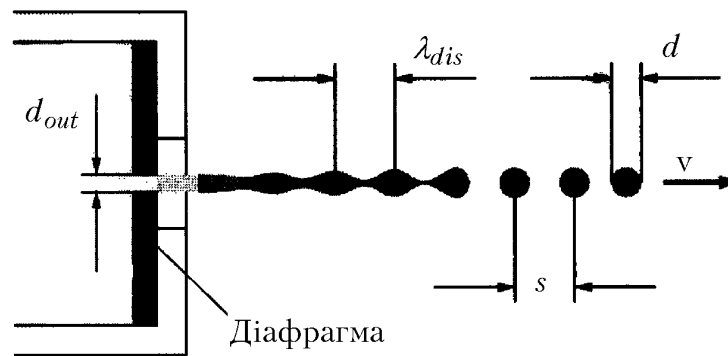


Рис. 3 [8]

Відповідно до [8]:

$$\lambda_{dis} = \sqrt{8\pi} r_{jet} \sqrt{1 + \frac{3\eta}{\sqrt{2\rho} r_{jet}\sigma}}, \tag{4}$$

де λ_{dis} – довжина хвилі, що утворюється під дією коливань рідини, симетричних відносно осі струменя,

$\lambda_{dis} = s$,

s – відстань між сусідніми краплями, на які розділився струмінь,

r_{jet} – радіус перетину струменя, $r_{jet} = d_{out}/2$,

d_{out} – діаметр перетину струменя,

η – в'язкість палива.

Радіус r та, відповідно, діаметр d крапель визначаються за формулами:

$$r = \left(\frac{3}{4} r_{jet}^2 \lambda_{dis}\right)^{1/3} \quad \text{або} \quad r = \left(\frac{3v_{jet}}{4\pi f_{dis}}\right)^{1/3}, \quad d = 2r,$$

де v_{jet} – швидкість руху струменя,

f_{dis} – частота коливань струменя, симетричних відносно його осі.

З цими формулами пов'язані безрозмірні числа Охнесорга (Ohnesorge number) $Oh = \eta / \sqrt{\rho \sigma d_{out}}$ і

Рейнольдса (Reynolds number) $Re = v_{jet} d_{out} \rho / \eta$.

Використовуючи формулу (4), отримуємо вираз для обчислення в'язкості:

$$\eta = \frac{1}{3} \left[\left(\frac{\lambda_{dis}^2}{8\pi^2 r_{jet}^2} - 1 \right) \cdot \sqrt{2\rho r_{jet} \sigma} \right]. \tag{5}$$

Результати обчислень за формулами (1), (3) та (5), а також інші дані про паливо, конструктивні параметри та параметри роботи дизельного двигуна можуть бути використані для оцінки якості розпилювання нових видів палива, наприклад на основі ріпакової олії. Така оцінка може бути отримана шляхом порівняння розрахованих фізичних властивостей досліджуваного палива з властивостями палива, для якого відомі геометричні характеристики процесу розпилювання.

Також, в принципі, можна задіяти математичні моделі, що описують процеси розпилювання рідини в газовому середовищі. В загальному вигляді ці математичні модулі наведені в [8], [10], а особливості їх використання для дизельного двигуна, що працює на ріпаковому маслі, обговорюються в [11], [12]. Але в цілому цей шлях ще потребує додаткових досліджень.

Розглянемо приклад визначення фізичних властивостей рідини на основі наведених формул з метою перевірки їх достовірності. В прикладі використовуються краплі води, для яких відоме значення поверхневого натягу ($\sigma_1 = 7,275 \cdot 10^{-2}$ Н/м). В результаті вимірювань геометричних розмірів краплі (рис. 1) отримуємо: $d_{max} = 3,59$ мм, $d_s = 2,92$ мм, $1/H = 0,54193$. За формулою (1) отримуємо значення поверхневого натягу $\sigma_2 = 6,85 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

За формулою (3) також можна отримати значення поверхневого натягу. Враховуючи, що $d_{min} = 1,00$ мм, маємо: $\sigma_3 = 7,57 \cdot 10^{-2}$ Н/м. Таким чином, відносна похибка вимірювань становить 4,1 %, що є цілком задовільним результатом.

Також експериментально були досліджені кути розсіювання струменя паливних сумішей на основі ріпакової олії. Розпилювання проводилось при кімнатній температурі та атмосферному тиску повітря, тому дослідження не потребували використання складного обладнання.

Розпилювання сумішей дизельного палива та ріпакової олії досліджувалося, використовуючи прилад КІ-562 [13]. Було досліджено розпилювання чистого дизельного палива, ріпакової олії та 8 їх сумішей. Для одержання сумішей була використана ріпакова олія, яка пройшла дві стадії очищення: відстій і фільтрування. Після дослідження кожної із сумішей прилад з форсункою промивався етиловим спиртом.

Отримані цифрові відеозображення процесу розпилювання були введені в цифрову ЕОМ і оброблені з метою визначення кута розсіювання сумішей (рис. 4).

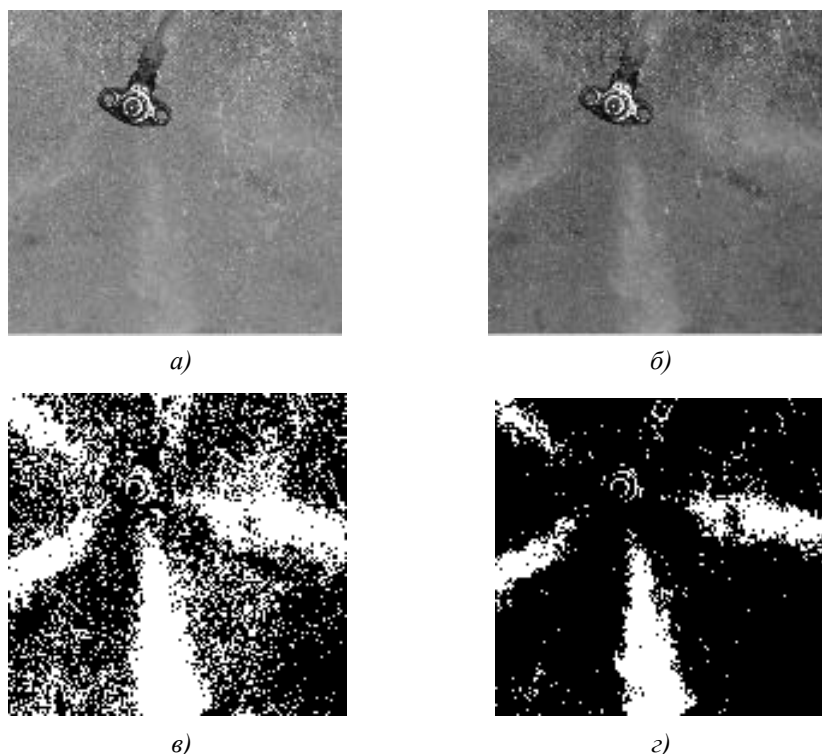


Рис. 4

Обробка відеозображень включає перетворення початкового кольорового відеозображення (рис. 4, а), у відеозображення в градаціях яскравості (рис. 4, б), з урахуванням особливостей кольору струменя і кольору фону; сегментацію за пороговим значенням яскравості (рис. 4, в); видалення шумів; виключення неоднорідностей об'єктів і фону на основі нелінійної рангової фільтрації (рис. 4, г); визначення кута розсіювання струменя палива. Визначення кута розсіювання можна проводити як в автоматичному, так і в ручному режимі, коли оператор безпосередньо на екрані монітора вказує опорні точки об'єктів на відеозображенні. Результати вимірювань задовільно узгоджуються з результатами розрахунку, що були виконані в [11].

Висновки

Розглянуто можливості моделювання геометричних характеристик процесу розпилювання палива, що містить ріпакову олію (довжина струменя паливної суміші, ширина струменя, кут розсіювання струменя, розмір крапель палива і однорідність розпилювання).

Запропоновано метод та створено діючий макет програмно-апаратного комплексу для моделювання геометричних характеристик розпилювання палива, що містить ріпакову олію. Цей метод базується на визначенні геометричних розмірів окремих нерухомих крапель палива як рідини, що має певні фізичні властивості; обчисленні фізичних властивостей даної рідини; та визначенні показників процесу розпилювання на основі отриманих даних та математичних моделей процесу розпилювання. Визначення геометричних розмірів крапель виконується шляхом обробки відеозображень цих крапель. Це дозволяє на першому етапі досліджень обійтись без складного обладнання, яке створює умови, подібні до умов в камері згорання, та без складної оптичної системи для реєстрації протікаючих процесів, оскільки краплі мають досить дрібні розміри.

Створений програмно-апаратний комплекс також дозволяє безпосередньо вимірювати геометричні характеристики розпилювання в звичайних умовах (при кімнатній температурі та тиску повітря).

Результати моделювання геометричних характеристик розпилювання палива можуть бути використані для покращення якості процесу розпилювання та підвищення ефективності використання палива, що містить ріпакову олію.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Марченко А.П., Семенов В.Г.* Альтернативное биотопливо на основе производных рапсового масла // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 3. – С. 31–32.
2. *John W. Goodrum, Mark A. Eitman.* Physical properties of low molecular weight triglycerides for the development of bio-diesel fuel models // Bioresource Technology, Elsevier Science Limited. – 1996. – N 56. – P. 55–60.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Учебник для вузов / Под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1985. – 311 с.
4. *Seang Wock Lee, Jin Kusaka, Yasahiro Daisho.* Spray characteristics of alternative fuels in constant volume chamber (comparison of spray characteristics of LPG, DME and n-dodecane) // JSAE Review, Elsevier Science Limited. – 2001. – N 22. – P. 271–276.
5. *Milan Marcic.* Diesel spray liquid phase measuring device // Sensors and Actuators A, Elsevier Science Limited. – 2001. – N 87. – P. 124–130.
6. *Sovani S.D., Chou E., Sojka P.E. and others.* High pressure effervescent atomization: effect of ambient pressure on spray cone angle // Fuel, Elsevier Science Limited. – 2001. – N 80. – P. 427–435.
7. *Абрамчук Ф.И., Марченко А.Н., Разлейцев Н.Ф.* Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности // Под ред. А.Ф. Шеховцева. – К.: Техника, 1992. – 272 с.
8. *Arnold Frohn, Norbert Roth.* Dynamics of Droplets. Springer Verlag Berlin, 2000. – 292 p.
9. *Adamson A.W.* Physical Chemistry of Surfaces. John Wiley & Sons Inc., New York, 4th edition, 1982.
10. *Лышевский А.С.* Процессы распыления топлива дизельными форсунками. – М.: Машгиз, 1963. – 180 с.
11. *Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Ільченко А.В.* Дослідження процесів утворення паливної суміші на основі ріпакової олії // Вісник ЖІТІ. – 2003. – № 1(24) / Технічні науки. – С. 21–24.
12. *Kolodnytska R.* An evaluation of models for biodiesel injection sprays // Proceedings of the International Scientific Conference “Mechanics 2004”. – Rzeszow (Poland). – 2004.
13. Паспорт прибора КИ-562 для испытания и регулировки форсунок. – М.: Внешторгиздат, 1988. – 8 с.

ГРАБАР Ольга Іванівна — аспірантка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- нелінійні явища та моделі;
- синергетика;
- нові технології, прискорені сертифікаційні дослідження в умовах складного температурно-силового навантаження.

КОЛОДНИЦЬКА Руслана Віталіївна — кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- проблеми міцності та руйнування матеріалів;
- екологічна безпека автомобільного транспорту.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 07.09.2004

Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Подчашинський Ю.О. Моделювання геометричних характеристик розпилювання палива на основі ріпакової олії шляхом цифрової обробки відеозображень

Грабар И.Г., Колодницкая Р.В., Подчашинский Ю.А. Моделирование геометрических характеристик распыления топлива на основе рапсового масла путем цифровой обработки видеоизображений

Grabar I.G., Kolodnytska R.V., Podchashinsky Yu.A. The modelling of geometrical characteristics of fuel atomization of rapeseed oil by digital videoimages processing

УДК 621.43:004.932

Моделювання геометричних характеристик розпилювання палива на основі ріпакової олії шляхом цифрової обробки відеозображень / І.Г. Грабар, Р.В. Колодницька, Ю.О. Подчашинський

Розглянуто можливості моделювання геометричних характеристик розпилювання палива, що містить ріпакову олію. Моделювання цих характеристик і визначення їх чисельних значень виконується на основі цифрової обробки відеозображень процесу розпилювання та відеозображень окремих нерухомих крапель палива. Результати моделювання можуть бути використані для покращення якості процесу розпилювання та підвищення ефективності використання палива, що містить ріпакову олію.

УДК 621.43:004.932

Моделирование геометрических характеристик распыления топлива на основе рапсового масла путем цифровой обработки видеоизображений / И.Г. Грабар, Р.В. Колодницкая, Ю.А. Подчашинский

Рассмотрены возможности моделирования геометрических характеристик распыления топлива, содержащего рапсовое масло. Моделирование этих характеристик и определение их численных значений выполняется на основе цифровой обработки видеоизображений процесса распыления и видеоизображений отдельных неподвижных капель топлива. Результаты моделирования могут быть использованы для улучшения качества процесса распыления и повышения эффективности использования топлива, содержащего рапсовое масло.

УДК 621.43:004.932

The modelling of geometrical characteristics of fuel atomization of rapeseed oil by digital videoimages processing / I.G. Grabar, R.V. Kolodnytska, Yu.A. Podchashinsky

The possibilities of the modelling of geometrical characteristics of fuel atomization of rapeseed oil are considered. The modelling of these characteristics and determination of numerical values based on digital processing of videoimages of fuel atomization and videoimages of separate motionless drops of fuel. The given results can be used for improving quality of the process of fuel atomization and increase of effectiveness of use of rapeseed oil.