© Колодницька Р.В., Москвін П.П. 2016

УДК 629.3:621.434
UDC 629.3:621.434

Колодницька Р.В., Москвін П.П.
Житомирський державний технологічний Університет, Україна

НОВІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПИЛЮВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА У ДВЗ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Мультифрактальний аналіз відеозображень слідів крапель альтернативних палив після розпилювання був виконаний. Були розглянуті біодизельне паливо та три його суміші з дизельним паливом в різних пропорціях. Результати аналізу показали можливе порушення порядку в сумішах з однаковою долею дизельного та біодизельного палив. В роботі також описана розроблена LP-модель для моделювання довжини конуса розпилювання для альтернативних палив, що базується на визначенні параметра довжини Егерса , який враховує фізичні властивості палив. Модель була застосована до аналізу розпилювання трьох біодизельних палив (метилових ефрів на основі ріпакової, соєвої і конопляної олій). Було показано, що довжина конуса розпилювання для біодизельного палива більша, ніж для дизельного, що підтверджується експериментальними даними. Параметри довжини Егерса альтернативних палив також оцінені в цій роботі.

Ключові слова: альтернативні палива, біодизельне паливо, розпилювання палива, мультифрактальний аналіз, LP-модель.

Постановка проблеми.

Проблеми глобального потепління, а також залежність від нафтових джерел приводять до необхідності швидкої заміни нафтових палив в автомомбільному транспорті на альтернативні. Серед альтернатив дизельному паливу сьогодні є не тільки біодизельне паливо, яке вже давно прижилося в Європі, але й інші більш сучасні замінники. Наприклад, компанія Вольво поряд з біодизельним паливом використовує відновлювальне біопаливо або HVO. В нашій країні поки ще недостатньо використовуються біопалива, хоча ДСТУ на біодизель був прийнятий ще в 2009 році (ДСТУ 6081:2009). В стандарті біодизель називають «дизельним біопаливом». Метиловий ефір ріпакової олії в країнах Європи та метиловий ефір соєвої олії в Америці є найбільш розповсюдженими дизельними біопаливами, що використовуються у звичайному дизельному ДВЗ. В той же час, розвивається виробництво біопалив другого покоління, що, виготовляються з продуктів, які не придатні для їжі, наприклад, з водоростів або відходів виробництва [1].

Данна робота сфокусована в основному на моделюванні розпилювання крапель біодизельного палива. Розпилювання рідини являє собою складний процес, багато деталей якого досі повністю не зрозумілі. У разі використання палива в дизельному двигуні, у нас є ще більші складності. І, нарешті, процес стає найскладнішим, коли ми замінюємо дизельне паливо на новий альтернативний вид, наприклад на біодизельне паливо. Властивості біодизельного палива зовсім інші, ніж дизельного палива. Саме тому ми повинні використовувати деякі комплексні методи аналізу, щоб зрозуміти різницю між розпилюванням дизельного та альтернативного палива (наприклад, біодизельного). Один з таких методів, ми вважаємо, є мультифрактальний аналіз (МФА), в який вчені ЖДТУ зробили значний вклад [2].

Інший момент, якому потрібно приділити увагу при розпилюванні альтернативних палив, пов'язаний з визначенням параметрів розпилювання. Одним із основних параметрів розпилювання палива є довжина конуса розпилювання. Цей параметр легко виміряти, і він є достатньо важливим, оскільки при збільшенні цього параметру (у випадку альтернативних палив) існує небезпека попадання палива на стінки камери згоряння. При виборі альтернативного палива важливо виконати розрахунки швидко, але на жаль методи і моделі, що напрацьовані у випадку дизельного палива для визначення довжини конуса розпилювання дають інколи хибні результати [3]. Отже, ще одне питання, яке буде розглянуто в даній статті – це ознайомлення з новою простою моделлю, що дає змогу визначити досить щвидко основний параметр розпилювання: довжину конуса розпилювання. Ми назвали цю модель LP- моделлю. Така назва пов'язана з використанням в моделі нового параметру, що має розмірність довжини («length parameter» (LP), тобто параметр довжини). Цей параметр побудований на таких властивостях палива, як густина, поверхневий натяг та кінематична в'язкість.

Аналіз останніх досліджень. Актуальність використання фрактальної концепції для дослідження рідини та первинного процесу атомізації було продемонстровано в роботі [4]. Було

показано, що розпилювання потоку рідини є фрактальний об'єкт і атомізація рідини є фрактальним процесом. Фрактальна розмірність розпилювання нафтового палива була знайдена в [5]. Мультифрактальний характер розподілення розмірів крапель в процесі розпилювання був вивчений в [6]. У цій роботі ми застосовуємо мультифрактальний аналіз для аналізу розпилювання крапель біодизельного палива і дизельного палива та їх сумішей.

Існує також декілька моделей для прогнозування довжини конуса розпилювання, які можуть бути використані для дизельного палива [7,8]. Біодизельне паливо має інші термодинамічні властивості в порівнянні з дизельним паливом [9,10]. Експериментальні дані показують, що довжина рідкої серцевини та довжина конуса розпилювання в основному більша для біодизельного палива, ніж для дизельного палива [11-13]. Ця експериментальна тенденція не може бути точно відображена за допомогою KH або KH-RT моделей [12,14,15]. KH-ACT модель, що недавно була розроблена [12] дає хороший результат у випадку прогнозування конуса розпилювання для соєвого біодизельного палива. У той же час, ця модель достатньо складна, щоб бути застосованою для моделювання нового покоління біодизельного палива (наприклад, біодизельне паливо з конопляної олії [9,10,16]). Отже потрібно створити нову просту модель для прогнозування конуса розпилювання, яка бере до уваги особливості фізичні властивості палива.

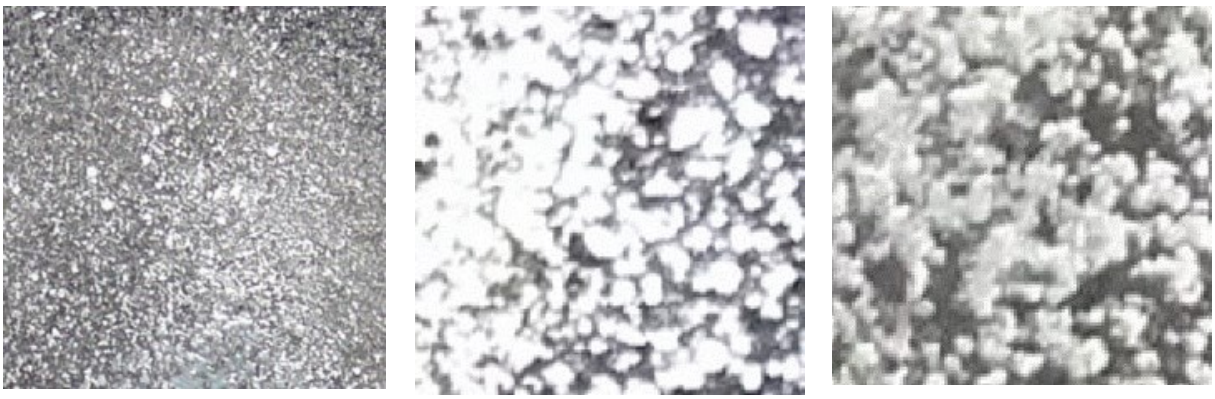
Ціль статті. Отже ціллю є аналіз розпилювання альтернативних палив за допомогою мультифрактального аналізу а також представлення методики визначення довжини конуса розпилювання за допомогою LP–моделі.

Мультифрактальний аналіз розпилювання палива.

Експериментальне дослідження впорскування крапель біодизельного палива, дизельного палива і сумішей біодизельного палива з дизельним паливом були виконано в лабораторіях ЖДТУ. Паливо було впорскнуто на скляні пластинки, що були вкриті шаром копоті. Для отримання більш докладної інформації про методи і обладнання цього експерименту див. [17].

Біодизель - метиловий ефір ріпакової олії (RME) був виготовлений з ріпакової олії (м.Харьків). Дизельне паливо було взято з місцевої автозаправної станції (м. Житомир). Докладний аналіз молекулярної структури RME і моделювання властивостей біодизельного палива можна знайти в роботах [9, 10]. Моделювання було зроблено на передумові, що властивості компонентів RME залежать від кількості атомів вуглецю, а потім властивості RME були визначені зі значень молярної частки компонентів.

Зображення відбитків крапель трьох видів палива: дизельного палива, 50 % біодизеля та 50% дизельного палива, та 100 біодизеля на скляній пластині після впорскування показані на рисунку 1.



а) б) в)

Рис. 1. Відеозображення відбитків крапель розпилених палив, що бомбардували скляну пластинку, поверхня якої покрита шаром копоті

а) дизельне паливо, б) 50% дизель 50% біодизель в) біодизельне паливо

Зображення, аналогічні тим, що показані на рис. 1 були також одержані для сумішей: 30% та 75% біодизельного палива та дизельного палива. Таким чином, в цілому, ми використовували п'ять різних зображень в якості вхідних даних для мультифрактального аналізу. Аналіз було проведений з програмним забезпеченням, що було розроблено і протестовано на різних типах об'єктів [2].

Ключовим моментом в застосуванні мультифрактального аналізу (МФА) для опису стану об'єкта є вибір того фізичного параметру, який найбільш вірогідно характеризує його. Серед

можливих геометричних параметрів, ми вибрали площу відбитків бризок крапель палива, які видно на рисунках (див. рис.1, білий колір).

Далі був використаний метод огрублених розбиттів для отримання мультифрактальних спектрів відповідно до методики, що викладена в [18,19]. Були підраховані характерні функції мультифрактального аналізу для всіх зображеннь, (див. рис. 1) та узагальнені кореляційні функції. Ми вибрали число Реньї D_0 і параметр порядку Δ в якості найбільш інформативних параметрів. У таблиці 1 наведені ці параметри для різних видів палива, що розпилювалось: біодизелю (RME), дизельного палива і трьох різних сумішей біодизельного палива та дизельного палива.

Таблиця 1. Число Реньї D_0 та параметр порядку Δ для розпилювання різних палив

Палива	% RME	D_0	Δ
RME	100	2.688	0.445
30 RME	30	2.618	0.4114
50 RME	50	2.576	0.3585
75 RME	75	2.5989	0.471
Дизель	0	2.731	0.426

Як видно з таблиці 1, дизельне паливо та біодизельне паливо має дуже близькі характеристики. В той же час змішування дизельного палива в однакових пропорціях з біодизельним приводить до порушення порядку, що відображається у зменшенні параметрів мультифрактального спектру для розпилювального палива. Але ми не можем осказати, що біодизельне паливе краще розпилюється, ніж суміш його з дизельним паливом. Це б суперечило б відомим експериментальним дослідженням.

На заправках в Україні вже можна знайти паливо з додаванням до 10% біодизельного палива, але використання сумішевих палив з більшим вмістом біодизельного палива, а також чистого біодизельного палива потребує окремої уваги, оскільки відомі випадки пошкодження паливної апраратури відкладеннями біодизельного палива при невмілому використанні. Отже розпилювання біодизельного палива має бути досліджено більш детально з врахуванням властивостей палив, які використовуються.

LP-модель для моделювання довжини конуса розпилювання. Параметр довжини (LP).

Наступні палива використовувалися для наших досліджень: конопляний Метиловий Ефір (HME), що вироблений з конопляної олії в Евросоюзі [3], ріпаковий Метиловий ефір, що вироблений з ріпакової олії в Україні (RME) [9,10] та соєвий Метиловий Ефір (SME), що вироблений з соєвої олії [9,10]. Детальне описання складу і термодинамічних властивостей біодизельного палива надано в [9,10]. Таблиця 2 показує фізичні властивості біодизельного палива в порівнянні з властивостями дизельного палива за температури 80° С, які були визначені в [16].

Табл. 2

Фізичні властивості та LP біодизельного і дизельного палив при 80° С

	HME	SME	RME	Дизель
Густина	845	841	841	788
Кінематична в'язкість	$1{,}96\times10^{-6}$	$2{,}01\times10^{-6}$	$2{,}58\times10^{-6}$	$1{,}09\times10^{-6}$
Поверхневий натяг	$27{,}41\times10^{-3}$	$27{,}15\times10^{-3}$	27.82×10^{-3}	24.14×10^{-3}
LP [м]	1.18×10^{-7}	1.25×10^{-7}	2.01×10^{-7}	0.388×10^{-7}

Параметр довжини (LP) був введений для описання руйнування потоку рідини в роботі Егерса [21], тому і цій роботі він інколи називається парметром довжини Егерса. Він зв'язаний з утворенням шийки при руйнуванні в'язкої рідини та руйнуванням лігаментів (що відриваються від рідкої серцевини) і базується тільки на фізичних властивостях рідини:

$$LP = \frac{\nu_f^2 \rho_f}{\sigma}, \qquad (1)$$

де LP – параметр довжини (м); ν_f –кінематична в'язкість палива ($м^2$ $с^{-1}$); ρ_f – густина палива (кг $м^{-3}$); σ – поверхневий натяг палива (Н $м^{-1}$).

В роботі [16] ми успішно використали LP для описання розпилювання палива, нам вдалося зв'язати середній діаметр крапель при розпилюванні з LP параметром палив.

Аналіз наявних експериментальних даних дозволив визначити, що довжина конуса розпилювання для біодизельного палива буде пропорційною до LP^{01} . На основі цього була запропонувати нова емпірична модель для розрахунків довжини конуса розпилювання палив за умов, що релевантні для двигунів внутрішнього згоряння:

$$S_{tip} = A_{tip} LP^{0.1} t_{inj}^{0.5}. \quad (2)$$

$$A_{tip} = A d_{noz}^{0.5} P_{inj}^{0.36} \rho_a^{-0.29}, \quad (3)$$

де A =0.066 – коефіцієнт; A_{tip} – коефіцієнт розпилювання; d_{noz}– діаметр сопла (м); P_{inj} – тиск впорскування (Па); S_{tip} – довжина конуса розпилювання (м); ρ_a – густина газу в циліндрі (кг м $^{-3}$); t_{inj}– час після впорскування (мс);

Довжина конуса розпилювання для трьох типів біодизельного палива і дизельного палива, властивості яких наведені в таблиці 2, були розраховані за формулами (1), (2) і (3) при різних тисках впорскування та тисках у циліндрі. Рисунок 2 і рисунок 3 показують довжину конуса розпилювання залежно від часу впорскування, що спрогнозовано за допомогою рівняння (1) для SME, RME і дизельного палива. ефіру ріпакової олії (RME) та метилового ефіру соєвої олії (SME) в порівнянні з дизельним паливом. Результати моделювання показують, що довжина конуса розпилювання для Метилового ефіру конопляної олії дуже близькі до тих, що одержані для Метилового ефіру соєвої олії.

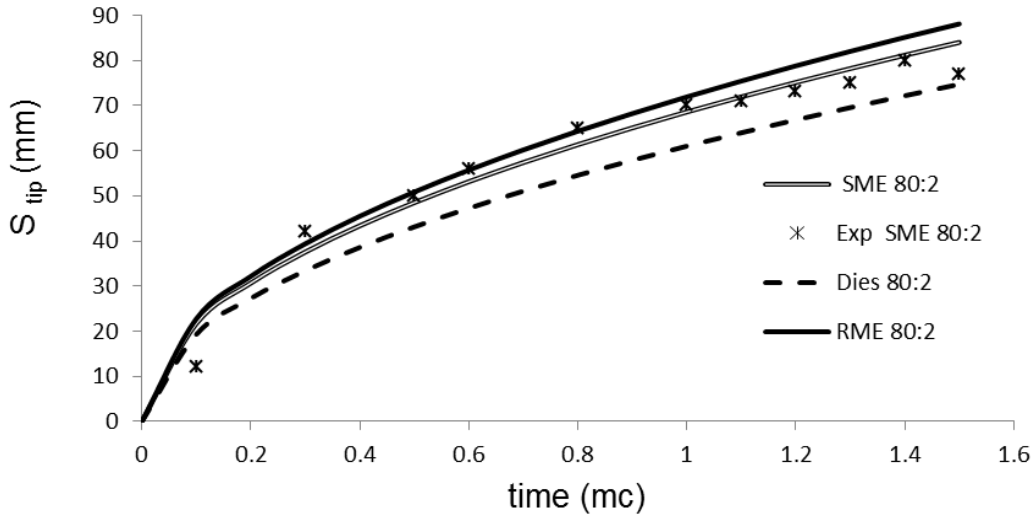


Рис. 2. Довжина конуса розпилювання S_{tip} в залежності від часу впорскування (time) , що розрахована за рівнянням (2) для SME (SME 80:2), та RME (RME 80:2), дизельного палива (Dies 80:2) та експериментальні дані S_{tip} для SME (Exp SME 80:2), що взяті з [14]. Тиск впорскування та тиск у циліндрі 80 МПа та 2 МПа відповідно

Теоретичні результати були підтверджені експериментальними даними [14] для форсунки з діаметром 0,5 мм з одним отвором. Наші результати показують, що RME має трохи довшу довжину конуса розпилювання, ніж SME або HME (графіки для HME дуже близькі до відповідних графіків для SME і не представлені на рисунках 2 та 3).

Із рисунків 2 - 3 витікає, що запропонована формула дає добре узгодження з експериментальними даними, які відомі для дизельного та біодизельного палива. За допомогою знайденого виразу було розраховано довжини конуса розпилювання при різних тисках впорскування та тисках в циліндрі для метилового ефіру конопляної олії (HME), метилового ефіру ріпакової олії (RME) та метилового ефіру соєвої олії (SME) в порівнянні з дизельним паливом. Результати моделювання показують, що довжина конуса розпилювання для Метилового ефіру конопляної олії дуже близькі до тих, що одержані для Метилового ефіру соєвої олії.

Описані вище підходи можуть використовуватися також для таких альтернативних палив як гідронізована рослинна олія (англ. “hydrogenated vegetable oil” (HVO)) та синтетичне дизельне паливо з біомаси (“gas to liquid” GTL). В таблиці 3 ми порівнюємо фізичні властивості та LP біодизеля (RME), суміші HVO 30 (30% HVO) та RME 30 (30% RME) з дизельним паливом.

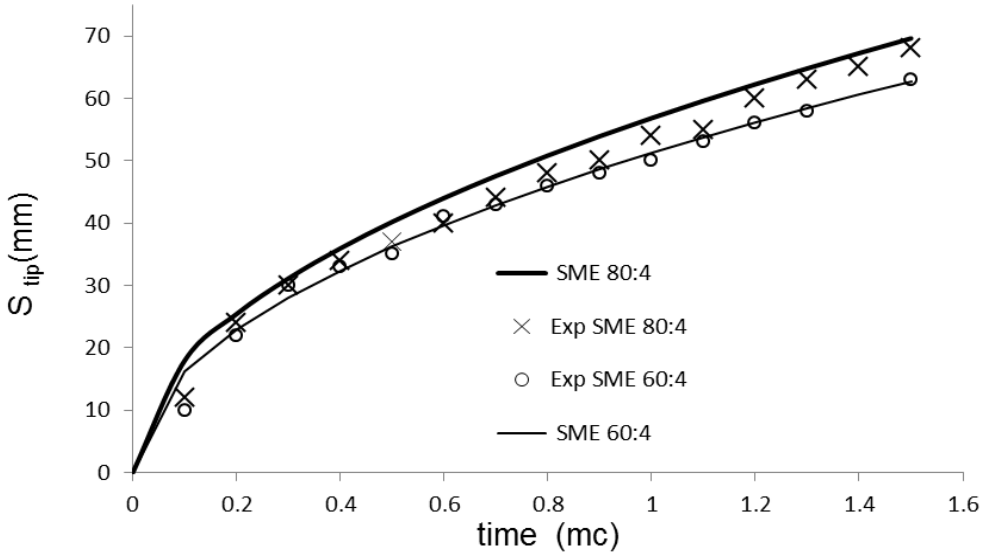


Рис.3. Довжина конуса розпилювання S_{tip} в залежності від часу (time) впорскування, що розрахована за рівнянням (2) для SME при тиску впорскування 60 МПа (SME 60:4) та 80 МПа (SME 80:4) та експериментальні дані S_{tip} для SME

Таблиця 3. Порівняння фізичних властивостей [21, 22] та *LP* біодизеля (RME), суміші HVO 30 та RME 30 з дизельним паливом

	B5	B30	RME	RME 30	Дизель	HVO 30
Густина(15°C)	831	851	879	853	837.5	812.2
Кінематична в'язкість (40°C)	2.38×10^{-6}	3.12×10^{-6}	4.47×10^{-6}	3.183×10^{-6}	2.681×10^{-6}	2.545×10^{-6}
Поверхневий натяг (20°C)	23.0×10^{-3}	25.00×10^{-3}	28×10^{-3}	31.3×10^{-3}	30.4×10^{-3}	28.0×10^{-3}
LP [м]	2.05×10^{-7}	3.31×10^{-7}	6.27×10^{-7}	2.76×10^{-7}	1.98×10^{-7}	1.88×10^{-7}
$LP^{0.1}$	0.210	0.220	0.240	0.221	0.214	0.213

Як ми можемо бачити з таблиці, найкращим замінником дизельного палива буде HV30 якщо за критерій якості розпилювання палива взяти значення LP. Найкраще це , видно коли порівнювати значення $LP^{0.1}$ для палив.

Висновки.

Був виконаний мультифрактальний аналіз слідів крапель після розпилювання у випадку альтернативних палив (біодизельного палива та його сумішей) з підрахуванням параматрів мультифрактального спектру. Число Реньї та параметр порядку показують можливість порушення порядку в сумішах, де біодизельне та дизельне паливо використовується у рівних пропорціях.

Була представлена нова LP- модель, що дає можливість щвидко порахувати довжину конуса розпилювання для біодизельних палив у порвівнянні з дизельним. Параметр, який ми назвали параметр довжини Егерса (LP), був введений, щоб визначити вклад властивостей палив у довжину конуса розпилювання. Модель дає хороше узгодження з експериментальними даними для біодизельного палива. Показано співпадання довжини конуса розпилювання для біодизельного палива з конопляної та соєвої олії. Параметри довжини Егерса підраховані також для широкого діапазону альтернативних палив, що можуть використовуватися у дизельних двигунах.

1. Колодницька Р.В., Аль К'юбезі М.. Моделювання випаровування крапель біодизельного палива. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк, 2015. Випуск № 52. С.33-40.
2. Moskvin, P., Kryzhanivskyy, V., Rashkovetskyi, L., Lytvyn, P., Vuichyk, M., Journal of Crystal Growth. 404:204–209 (2014).
3. Grabar, I.G., Kolodnytska, R.V., Semenov, V.G., Biofuel based on oil for diesel engines, ZDTU; 2011
4. Grout, S., Dumouchel, C., Cousin, J., Nuglisch, H., Inter. Journal of Multiphase Flow. 33:1023-1044 (2007).
5. Garcia, C. R. Fractals, 11:155-161 (2003).

6. Zhou, W.X. and Yu, Z.H., Physical Review-Series. E 63 (I, Part A) 16302 −16312 (2001).
7. Roisman, V.I., Araneo, L., Tropea, C., International journal on multi-phase flow 33:904-920 (2007).
8. Kolodnytska, R.V., Karimi, K., Crua, C., Heikal, M.R., Sazhina, E.M., Internal combustion engines 1:42−46 (2008).
9. Sazhin, S.S., Al Qubeissi, M., Kolodnytska, R., Elwardany, A., Nasiri, R., Heikal, M.R. Fuel. 115:559−572 (2014).
10. Kolodnytska, R., Al Qubeissi, M., Sazhin, S.S., 25th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Chania, Greece, 1 - 4 September 2013.
11. Higgins, B.S.,Mueller, C.J.,Siebers, D.L., SAE 01−0519:135-148 (1999).
12. Som, S., Longman, D.E., Ramirez AI, Aggarwal S.K,. Fuel 89:4014−4024 (2010).
13. Chen, P.C., Wang W.C., Roberts, W.L., Fang T., Fuel 103:850-861 (2013).
14. Park, S.H.,Kim, H.J., Suh, H.K., Lee, C.S., International Journal of Heat and Fluid flow 30:108−116 (2009).
15. Chen, L., Liu, Z., Sun, P., Huo, W. Fuel 153:355-360 (2015).
16. Kolodnytska, R.V. Visnik Shydno Ukrainskogo Natyonalnogo Universitetu 6(148):41−46 (2010)
17. Simulation of Biofuels Combustion in Diesel Engines [online]. http://dx.doi.org/10.5772/52333
18. Vstovsky, G.V., Found. Phys. 27:1413 -1444 (1997).
19. Feder, J. Fractals. Plenum Press, 1988.
20. Eggers, J. Rev. Mod. Phys. 69:865-929 (1997).
21. Dragomirov, P., Sauerhering, J., Schmidt, J., Rottengruber, H., Tschцke, H., Hadler, J., Backofen, D., Sep. 1.-4. 2013, 25th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems.
22. Millo, F., Debnath, B. K., Vlachos, T.,Ciaravino, C., Postrioti L., Buitoni G., 2015, Fuel. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.096.

REFERENCES

1. Kolodnytska RV, Al Qubeissi M. “Modelling of evaporation of biodiesel droplets”. Interuniversity collection "Naukovi dodanti ". Lutsk, 2015. Issue № 52. C.33-40.
2. Moskvin, P., Kryzhanivskyy, V., Rashkovetskyi, L., Lytvyn, P., Vuichyk, M., Journal of Crystal Growth. 404:204−209 (2014).
3. Grabar, I.G., Kolodnytska, R.V., Semenov, V.G., Biofuel based on oil for diesel engines, ZDTU; 2011
4. Grout, S., Dumouchel, C., Cousin, J., Nuglisch, H., Inter. Journal of Multiphase Flow. 33:1023-1044 (2007).
5. Garcia, C. R. Fractals, 11:155-161 (2003).
6. Zhou, W.X. and Yu, Z.H., Physical Review-Series. E 63 (I, Part A) 16302 −16312 (2001).
7. Roisman, V.I., Araneo, L., Tropea, C., International journal on multi-phase flow 33:904-920 (2007).
8. Kolodnytska, R.V., Karimi, K., Crua, C., Heikal, M.R., Sazhina, E.M., Internal combustion engines 1:42−46 (2008).
9. Sazhin, S.S., Al Qubeissi, M., Kolodnytska, R., Elwardany, A., Nasiri, R., Heikal, M.R. Fuel. 115:559−572 (2014).
10. Kolodnytska, R., Al Qubeissi, M., Sazhin, S.S., 25th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Chania, Greece, 1 - 4 September 2013.
11. Higgins, B.S.,Mueller, C.J.,Siebers, D.L., SAE 01−0519:135-148 (1999).
12. Som, S., Longman, D.E., Ramirez AI, Aggarwal S.K,. Fuel 89:4014−4024 (2010).
13. Chen, P.C., Wang W.C., Roberts, W.L., Fang T., Fuel 103:850-861 (2013).
14. Park, S.H.,Kim, H.J., Suh, H.K., Lee, C.S., International Journal of Heat and Fluid flow 30:108−116 (2009).
15. Chen, L., Liu, Z., Sun, P., Huo, W. Fuel 153:355-360 (2015).
16. Kolodnytska, R.V. Visnik Shydno Ukrainskogo Natyonalnogo Universitetu 6(148):41−46 (2010)
17. Simulation of Biofuels Combustion in Diesel Engines [online]. http://dx.doi.org/10.5772/52333
18. Vstovsky, G.V., Found. Phys. 27:1413 -1444 (1997).
19. Feder, J. Fractals. Plenum Press, 1988.
20. Eggers, J. Rev. Mod. Phys. 69:865-929 (1997).
21. Dragomirov, P., Sauerhering, J., Schmidt, J., Rottengruber, H., Tschцke, H., Hadler, J., Backofen, D., Sep. 1.-4. 2013, 25th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems.
22. Millo, F., Debnath, B. K., Vlachos, T.,Ciaravino, C., Postrioti L., Buitoni G., 2015, Fuel. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.096.

Колодницкая Р.В., Москвин П.П. **Новые подходы к анализу и моделированию распыливания альтернативного топлива в двс для автомобильного транспорта.**

Мультифрактальний анализ видеоизображений следов капель альтернативных топлив после распыливания был выполнен. Были рассмотрены биодизельное топливо и три его смеси с дизельным топливом в разных пропорциях. Результаты анализа показали возможное нарушение порядка в смесях с одинаковой долей дизельного и биодизельного топлива. В работе также описана разработанная LP -модель для моделирования длины конуса распыливания для альтернативных топлив, основанная на определении параметра длины Егерса, который учитывает физические свойства топлива. Модель была применена к анализу распыливания трех биодизельных топлив (метиловых ефиров на основе рапсового, соевого и конопляного масел). Было показано, что длина конуса распыливания для биодизельного топлива больше, чем для дизельного, что подтверждается экспериментальными данными. Параметры длины Егерса альтернативных топлив также были оценены в этой работе.

Ключевые слова: альтернативные топлива, биодизельное топливо, распыливание топлива, мультифрактальный анализ, LP −модель

© Колодницька Р.В., Москвін П.П. 2016

R. Kolodnytska, P. Moskvin. **New approaches to spray analysis and modelling of the alternative fuels for automotive diesel engine.**

Multifractal analysis of video images of tracks of alternative fuels drops after injection was performed. Biodiesel and three biodiesel and diesel blends are used in our analysis. The analysis showed a possible disturbance in mixtures when 50% diesel and 50% biodiesel are used. A LP-model for biodiesel spray penetration under conditions relevant to internal combustion engines is suggested. A parameter referred to as "Length parameter" is introduced to define the fuel properties. The model predictions are validated for Hemp oil Methyl Ester (HME), Rapeseed oil Methyl Ester (RME) and Soybean oil Methyl Ester (SME) comparing with those of diesel fuel under different injection conditions and ambient pressures. The model is shown to produce a good agreement with the experimental data that available both for diesel and biodiesel fuels. It has been found that the spray penetration for Hemp oil Methyl Ester is very close to that of Soybean oil Methyl Ester.

Key words: alternative fuel, biodiesel, biodiesel fuel, biodiesel spray, multifractal analysis, LP-model

АВТОРИ:

КОЛОДНИЦЬКА Руслана Віталіївна, к.т.н., доцент, кафедра автомобілі та автомобільне господарство, Житомирський державний технологічний Університет, Україна, e-mail: ruslanakolod@gmail.com.

МОСКВІН Павло Петрович, доктор фізико-математичних наук, професор, кафедри фізики та вищої математики, Житомирський державний технологічний Університет, Україна, e-mail: moskvin_pp@mail.ru

AUTHORS:

R. KOLODNYTSKA, PhD., Assoc. Professor of Automotive Engineering Department, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail ruslanakolod@gmail.com.

Pavlo MOSKVIN, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Physics and Higher Mathematics Department, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: moskvin_pp@mail.ru

Стаття надійшла в редакцію 03.04.2016р.