

Р.В. Колодницька, к.т.н., доц.  
Р.В. Васильєв, студ.

*Житомирський державний технологічний університет*

### МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ПАРАМЕТРІВ РОЗПИЛЮВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ БІОПАЛИВ НА ОСНОВІ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

*В статті розраховано значення густини, в'язкості та поверхневого натягу дизельних біопалив, що виготовлені з метилових ефірів олії мікрводоростей. Підраховано значення середнього діаметра крапель при розпилюванні цих палив у дизельних двигунах. Показано, що виходячи з результатів прогнозування, дизельні біопалива з мікрводоростей не уступають традиційним біопаливам на основі ріпакової олії.*

**Постановка проблеми.** У 2012 р. Верховна Рада України прийняла закон «Про розвиток виробництва та споживання біологічних палив». Згідно з цим законом, виробництво дизельного біопалива із вмістом ефірів жирних кислот планується досягти не менш як 2 % від усього обсягу виробництва дизельного палива у 2012 р. та 20 % – у 2015. Найбільш розповсюдженим дизельним біопаливом в нашій країні є метиловий ефір ріпакової олії [1]. Метилі або етилові ефіри олії прийнято також називати біодизельним паливом або біодизелем. Існує багато альтернатив ріпака як сировини для біодизеля. Це конопляна, соєва олія та ін. [1–3]. Але найбільш перспективним біодизельним паливом вважають біодизельне паливо із водоростей. Водорості є повністю поновлювальним та безвідходним джерелом енергії, біомаса може давати до 70–80 % олії, віджата макуха є корисною кормовою добавкою. При використанні відритих водоймищ можна отримати в 30 разів більше олії, ніж з ріпака при аналогічній площі вирощування останнього. Водорості є рослинами, що мають найшвидший темп росту на планеті: за добу вони можуть збільшити свій об'єм удвічі. За оптимальних умов вирощування вони можуть давати майже 22800 л/га палива в рік.

Крім вирощування у відкритих водоймах, існують технології вирощування водоростей в закритих фотобіореакторах. Для росту їм потрібно вуглекислий газ, сонячне світло, температура 26–27 °С та живлення. Основною проблемою, що стримує зростання біомаси у природних умовах є нестача сонячного світла, що проникає у товщу водно-рослинної суміші всього на декілька сантиметрів. Ця проблема вирішена при конструюванні біореакторів для вирощування водоростей у закритих приміщеннях, там біомаса освітлюється штучно, також підводиться вуглекислий газ і кормові добавки в пропорціях, оптимальних для швидкого зростання. Для того, щоб біодизельним паливам з водоростей конкурувати з іншими біопаливами, необхідно звести до мінімуму використання добрив і прісної води. Один із шляхів – це розмістити операції з вирощування водоростей поруч з очисними спорудами або об'єктами, які виділяють вуглекислий газ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фізичним властивостям біодизельного палива з олії мікрводоростей приділено порівняно мало уваги в доступних нам публікаціях. Наприклад, з роботи [4] зрозуміло, що олії водоростей відрізняються від інших олій, що використовуються як біопалива тим, що вони містять велику кількість (10–50 % за вагою) поліненасичених жирних кислот. Типові олії водоростей містять великий відсоток ейкозаптегової кислоти C20:5 (Eicosapentaenoic Acid). Олія мікрводоростей також може містити докозагексагенову кислоту C22:6 (Docosahexaenoic Acid) та арахідинову кислоту (C<sub>20</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>). Причому ейкозаптенова (ЕРА) та докозагексагенова (ДНА) кислоти, як правило, не входять до складу типових рослинних олій (наприклад, ріпака й сої) і мають відмінну структуру [4]. В роботі [5] було досліджено вплив різних фізичних властивостей для широкого діапазону біодизельних палив (БП) на його розпилювання та викиди у дизельному двигуні.

Окрема увага приділяється дослідженню впливу молекулярної структури БП на процес згорання палива [6], особливо на викиди окислів азоту при згоранні БП. Як правило, вважається, що згорання молекул БП з коротшими ланцюжками (більша затримка спалахування) призводить до більших викидів окислів азоту. Причина цьому – більша затримка спалахування палива. Але, якщо провести експериментальні дослідження викидів окремих молекул, з яких складається БП за умови однакової затримки спалахування, то, як було показано у [6], коротші ланцюжки жирних кислот призводять до зменшення викидів окислів азоту. У роботі [4] показано, що біодизельні палива на основі мікрводоростей, згораючи у двигуні John Deere 4024T як при 50 %, так і при 75 % навантаження, мають менші викиди NO<sub>x</sub>, ніж дизельне паливо, а також біопалива на основі ріпакової та соєвої олій.

**Метою даної роботи** є моделювання властивостей біодизельного палива з олії мікрводоростей, виходячи з молекулярної структури цього палива.

**Викладення основного матеріалу.** Як відомо, біодизельне паливо є сумішшю ефірів жирних кислот [1]. В даній роботі були проаналізовані властивості БП, що виготовлені з олій двох видів

мікродоростей: *Nannoch. Oculata* та *Isochrysis Galbana*. Значення густини та в'язкості метилового ефіру (МЕ) жирних кислот при 80 °С показані у таблиці 1. Також вона містить типові дані про відсоток жирних кислот у складі олії водоростей [4]. До складу біодизельного палива з мікродоростей може належати також МЕ арахідинової кислоти (C<sub>21</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>). Для порівняння у таблиці 1 показано також властивості МЕ ерукової кислоти.

Таблиця 1.

*Хімічний склад олії мікродоростей.  
Фізичні властивості метилового ефіру жирних кислот (80 °С)*

Метиліві ефіри жирних кислот	Склад олії <i>Nannoch. Oculata</i> , % [4]	Склад олії <i>Iso. Galbana</i> , % [4]	Густина, (кг/м <sup>3</sup> )	Поверхневий натяг, (мН/м)	Кінематична в'язкість, (мм <sup>2</sup> /с)
Міристинова (C14:0)	4	13	821	24,19	1,64
Пальмітинова (C16:0)	29	36	820	25,2	2,03
Пальмітинолеїнова (16:1)	24	32			
Стеарінова (C18:0)	9	1	821	25,82	2,53
Олеїнова (C18:1)	4	4	838	27,13	2,19
Лінолева (C18:2)	1	4	845	27,49	1,92
Ліноленова (C18:3)	1		860	28,23	1,81
Арахідинова (C20:4)	5				
ЕРА (C20:5)	22	7			
ДНА (C22:6)		3			
Ерукова (C22:1)			840	28,39	3,22
Інші жирні кислоти	1				
Всього	100	100			

Треба звернути увагу на явну опіску, яка була зроблена в роботі [4] у таблиці 1.3 [4], коли у складі *Iso. Galbana* була помилково вказана кислота C20:6, замість C22:6.

1. *Моделювання густини, поверхневого натягу та в'язкості МЕ окремих молекул.* Оскільки біопаливу на основі водоростей належить МЕ кислот, наприклад, МЕ (16:1), МЕ (C20:5), МЕ (C20:4) та МЕ (C22:6), властивості яких ще не достатньо вивчені, потрібно виконати додаткові дослідження з фізико-хімічних властивостей молекул цих кислот. В роботі [5] були досліджені фізичні властивості окремих молекул МЕ кислот за температури 80 °С залежно від кількості подвійних зв'язків, що показано у таблиці 2.

Таблиця 2

Показник	МЕ (C18:0)	МЕ (C18:1)	МЕ (C18:2)	МЕ (18:3)
Кількість подвійних зв'язків (ND)	0	1	2	3
Молекулярна маса	298,51	296,49	294,48	292,46
Парахор	819,6	807,7	798,2	783,9
Густина, кг/м <sup>3</sup>	821	838	845	860

Парахор, значення якого показано у таблиці 2 – це температурно незалежний параметр, який постійний для даної молекулярної структури [7].

1.1. *Моделювання густини окремих молекул.* Аналіз густини МЕ кислоти, що містить 18 атомів вуглецю (C18), показує (табл. 2), що густину молекули МЕ з ненасичених ефірів можна знайти за такою формулою:

$$\rho_{ME-unsat-CN18} = 12,6ND + \rho_0, R^2 = 0,9781, \quad (1)$$

де  $ND$  – кількість подвійних зв'язків у молекулі;  $\rho_0$  – густина молекули без подвійних зв'язків.

За формулою (1) визначалася густина молекули МЕ (C16:1), що дало значення 833 кг/м<sup>3</sup>. У міру збільшення молекулярної маси густина насичених жирних кислот та її ефірів зменшується. Було

проаналізовано дані з густини молекул МЕ жирних кислот, що наведені у роботі [7]. Густину МЕ насичених кислот ряду (C10, C12...C18) за температури 75 °С можна описати такою формулою:

$$\rho_{ME-sat-C10...C18} = 837,53NC^{-0,0055}, \quad R^2 = 0,9719, \quad (2)$$

де  $NC$  – кількість атомів вуглецю у молекулі кислоти.

Допускаючи, що залежність (2) дійсна для кислот з більшою кількістю атомів вуглецю, одержимо для МЕ (C20:0) густину 823,84 кг/м<sup>3</sup> та для МЕ (C22:0) – 823,41 кг/м<sup>3</sup> при 75 °С. Відомо, що при нагріванні жирних кислот об'єм їх збільшується [7], цей факт є дійсним і для метилових ефірів кислот.

У міру збільшення молекулярної маси густина насичених жирних кислот зменшується. Відомо, що МЕ кислот мають меншу густину, ніж відповідні їм кислоти. Залежність між густиною насичених кислот та МЕ кислот для ряду (C10, C12...C18) за 75 °С можна знайти за допомогою залежності:

$$\frac{\rho_{ME-sat-C10...C18}}{\rho_{Acid-sat-C10...C18}} = 1,096NC^{-0,0241}, \quad R^2 = 0,9812, \quad (3)$$

де  $NC$  – кількість атомів вуглецю у молекулі кислоти.

Допускаючи, що залежність (3) дійсна для МЕ кислоти з 20 атомами вуглецю та густина кислоти (C20:0) складає 824 кг/м<sup>3</sup> для 100 °С [7], одержуємо для МЕ (C20:0) густину 808,11 кг/м<sup>3</sup>.

Приймаючи лінійну залежність між густиною та температурою:  $\rho_{ME-sat-C20} = -0,6293t + 871,04$ , знаходимо значення густини МЕ (C20:0) за 80 °С, що склало 820,70 кг/м<sup>3</sup>. Для густини МЕ (C22:0) одержуємо залежність:  $\rho_{ME-sat-C22} = -0,6124t + 869,34$ , що дає значення густини 820,35 кг/м<sup>3</sup>. Але, оскільки одержане значення МЕ (C20:0) повинно бути меншим, ніж значення густини МЕ (C18:0) та МЕ (C16:0) (табл. 1), приймаємо густину МЕ (C20:0) рівною 820 кг/м<sup>3</sup> за 80 °С.

Далі було підраховано значення густини для ненасичених молекул МЕ (C20:4) та (C20:5) за допомогою одержаної залежності:

$$\rho_{ME-unsat-CN20} = 20NDB + \rho_0, \quad (4)$$

де  $\rho_0$  – густина молекули без подвійних зв'язків;  $NDB$  – кількість подвійних зв'язків.

Значення густини ненасичених молекул МЕ (C22) підраховуємо за залежністю:

$$\rho_{ME-unsat-CN22} = 18NDB + \rho_0. \quad (5)$$

де  $\rho_0$  – густина молекули без подвійних зв'язків,  $\rho_{0\text{ ME-(C:22)}} = 820,35$  кг/м<sup>3</sup>.

За допомогою залежності (5) одержуємо для МЕ (C22:6) густину рівну 928,35 кг/м<sup>3</sup>. Результати розрахунків показано у таблиці 3.

Таблиця 3

Параметр	ME (C20:0)	ME (C20:4)	ME (C20:5)	ME (C22:0)	ME (C22:6)
Кількість подвійних зв'язків	0	4	5	0	6
Густина, кг/м <sup>3</sup> 75 °C, 100 °C	823,84 (2), 75 °C 808,11 (3), 100 °C			823,41 (2) 75 °C	
Густина, кг/м <sup>3</sup> , 80 °C	820,70	900,702 (4)	920,702 (4)	820,35	928,35 (5)
Густина, кг/м <sup>3</sup> 80 °C (узгоджена)	820 (прийнята)	900 (4)	920 (4)		
Динамічна в'язкість, (мПа×с),	5,44 (6), 40 °C 2,25 (80 °C)			6,77 (40 °C) 2,73 (80 °C)	
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с, 80 °C	2,74	1,74	1,55	3,38	1,71

В таблиці 3 у дужках показані формули, за якими знаходились фізичні характеристики.

1.2. *Моделювання в'язкості окремих молекул.* У роботі [8] було одержано логарифмічне рівняння для прогнозування в'язкості біодизельного палива залежно від його хімічного складу (похибка прогнозування складала  $\pm 3\%$ ). Динамічну в'язкість метилового ефіру насичених кислот за 40 °C можна розрахувати згідно з [9]:

$$\mu_{ME\_sat} = 1,05 \times 10^{-4} M^2 - 0,0242M + 2,15; \quad S = 0,0145, \quad (6)$$

де  $\mu_{ME\_sat}$  – динамічна в'язкість ефіру (мПа×с);  $M$  – молекулярна маса (г/моль);  $S$  – стандартне відхилення.

За формулою (6) було знайдено значення динамічної в'язкості для ME (C20:0) за 40 °C, що складало 5,44 мПа×с, знаючи, що молекулярна маса ME (C20:0) складає 326,54 г/моль.

Для ненасичених ефірів за 40 °C при збільшенні кількості подвійних зв'язків в'язкість зменшується нелінійно. Було досліджено [9], що для ME ненасиченої кислоти (C:18) динамічна в'язкість корелює з кількістю подвійних зв'язків таким чином:

$$\mu_{ME-unsat-CN18} = 0,153NDB^2 - 1,15NDB + 4,73, \quad S = 0,0112, \quad (7)$$

де  $NDB$  – кількість подвійних зв'язків.

Знаючи в'язкість ME (C16:0), що складає 1,66 мПа×с, перетворимо формулу (7) таким чином:

$$\mu_{ME-unsat-CN16} = 0,153NDB^2 - 1,15NDB + 1,66. \quad (8)$$

За цією формулою було знайдено в'язкість ME (C16:1).

З іншого боку дані для кінематичної в'язкості ненасичених ME (C18) добре апроксимуються формулою за 80 °C:

$$\nu_{ME-unsat-CN18} = 2,53 \exp(-0,1135ND), \quad R^2 = 0,97. \quad (9)$$

Для ME ненасичених кислот (C20) кінематичну в'язкість можна підрахувати:

$$\nu_{ME-unsat-CN20} = 2,74 \exp(-0,1135ND). \quad (10)$$

Для ME ненасичених кислот (C22) у формулі (10) обирався коефіцієнт, що дорівнював 3,38.

Результати розрахунків за наведеними вище формулами показано у таблиці 3.

1.3. *Моделювання поверхневого натягу окремих молекул.* Наявність подвійних зв'язків призводить до збільшення поверхневого натягу. Цей натяг рідини, враховуючи ME кислот, можна оцінити за такою формулою [5, 7]:

$$\sigma^{0,25} = \frac{[P](\rho - \rho_v)}{M}, \quad (11)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг, мН/м;  $[P]$  – паракор,  $M$  – молекулярна маса рідини, г/моль;  $\rho$  – густина рідини, г/мл;  $\rho_v$  – густина насиченого пару рідини.

Густиною пари насиченого пару рідини тут можемо знехтувати, оскільки температура нижча від температури кипіння рідини. Значення паракорів для ефірів жирних кислот, що входять до складу олій водоростей, було підраховано за методикою [7], що становить 859 для ME кислоти (C20:0). Користуючись одержаними значеннями паракору, густини та молекулярної маси був підрахований поверхневий натяг кожного ефіру жирної кислоти за формулою (11), що показано у таблиці 4. За тією ж формулою (11) було визначено значення поверхневого натягу молекули ME кислоти (C16:1), що дало

21,274 мН/м, та молекули МЕ кислоти (C16:0), що дало 22,048 мН/м. Аналіз одержаних значень поверхневого натягу за методикою [7] показав, що вони занижені, порівняно зі значеннями, що отримані у роботі [5]. Тому далі був проведений уточнений розрахунок значень поверхневого натягу, базуючись на значеннях парахору, що були одержані в роботі [5].

1.4. Уточнення значень поверхневого натягу. Відповідно до даних, що одержані у [5], значення парахору для МЕ кислот (C8:0), (C10:0)...(C18:0) можна апроксимувати такою формулою:

$$[P]_{ME\_sat\_C8..C18} = 40,523NC + 89,503, R2 = 0,9999, \quad (12)$$

де  $NC$  – кількість атомів вуглецю у жирній кислоті, з якої виготовлений метиловий ефір.

Для ненасичених МЕ значення парахору залежить від кількості подвійних зв'язків, наприклад, для МЕ (C18):

$$[P]_{ME\_unsat\_C18} = -11,66ND + 819,84, R2 = 0,9941, \quad (13)$$

де  $ND$  – кількість подвійних зв'язків.

Було помічено, що парахор МЕ кислоти (C20) добре корелює з кількістю атомів водню у молекулі:

$$[P]_{MEunsat\_C20} = 5,5NH + 671,5, \quad (14)$$

де  $NH$  – кількість атомів водню у молекулі.

Уточнені значення парахору, що порашовані за формулою (14) та поверхневого натягу за формулою (11), показано у таблиці 4.

Таблиця 4

Параметр/МЕ кислоти	МЕ (C20:0)	МЕ (C20:4)	МЕ (C20:5)	МЕ (C22:6)
Кількість подвійних зв'язків	0	4	5	6
Молекулярна маса	326,5418	318,4786	316,4628	348,546
Парахор	859	815	804	834,4
Парахор (уточнене значення)	902,5*	858,5*	847,5*	917,84*
Густина, кг/м <sup>3</sup>	820	900	920	928,348
Поверхневий натяг, мН/м [5, 8]	22,11	22,75	22,85	26,98
Поверхневий натяг (уточнене значення), мН/м	26,38**	31,35**	32,51**	35,31**

Примітки: \* – уточнені значення парахору відповідно до методики [5]; \*\* – уточнені значення поверхневого натягу відповідно до методики [7]

Уточнене значення парахору для МЕ (C16:1) було встановлено рівним 727 та значення поверхневого натягу, що було розраховано за формулою (3), було прийнято 25,54 мН/м.

2. Оцінка густини, в'язкості та поверхневого натягу БП із мікрородоростей. Отже, знаючи фізичні властивості МЕ жирних кислот, з яких складається БП та масові частки МЕ у біодизельному паливі, можна визначити фізичні властивості самого біопалива. Як показано у [5] густину суміші можна знайти за формулою:

$$\rho_m = \sum_{i=1}^n y_i \rho_i, \quad (15)$$

де  $y_i$  – масова частка кожного компонента;  $\rho_i$  – густина кожного компонента.

Користуючись формулою (15) і даними таблиці (1), була знайдена густина для метилового ефіру олії водоростей *Nannoch. Oculata*, що склала 842,33 кг/м<sup>3</sup> та *Iso. Galbana* – 833,21 кг/м<sup>3</sup>.

Поверхневий натяг суміші можна знайти за такою формулою:

$$\sigma_m = \left[ \sum_{i=1}^n y_i (\sigma_i)^{1/4} \right]^4, \quad (16)$$

де  $y_i$  – масова частка складової частини;  $\sigma_i$  – поверхневий натяг кожного компонента.

Користуючись формулою (16) був підрахований поверхневий натяг МЕ олії водоростей *Nannoch. Oculata*, що склав 27,41 мН/м за 80 °С. Олія мікрородоростей *Nannoch. Oculata* містить 1 % інших кислот, для яких було прийнято середнє значення поверхневого натягу – 25,2 мН/м (використовувались дані для МЕ пальмітинової кислоти).

Для того щоб спрогнозувати кінематичну в'язкість суміші, можна використати відоме рівняння Арреніуса:

$$\ln[v]_m = \sum_{i=1}^n y_i \ln[v]_i, \quad (17)$$

де  $[v]_m$  – кінематична в'язкість суміші;  $[v]_i$  – кінематична в'язкість кожного компонента.

Користуючись формулою (17) та даними таблиць 1 та 3 було підраховано значення кінематичної в'язкості для МЕ олій водоростей, що показано у таблиці 5. В ній також наведена густина та поверхневий натяг олій водоростей, що розраховані за формулами (15) та (16) відповідно. Для порівняння таблиця 2 також містить фізичні властивості метилових ефірів олій: кокосової, ріпакової, соєвої та олії Captex 355, а також дизельного палива за даними [8] та фізичні властивості МЕ конопляної олії, що розраховані в роботі [3].

3. *Моделювання середніх діаметрів крапель при розпилюванні палива.* Для того, щоб охарактеризувати середній діаметр крапель при розпилюванні, використовують діаметр Заутера (SMD діаметр) [3]. SMD діаметр для біодизельного палива (МЕ олій) з мікрводоростей можна оцінити за формулою, що була запропонована Р.В. Колодницькою у роботі [2] і далі розвинута у роботі [3]:

$$SMD = \frac{l_v^{0,235}}{1000}, \quad (18)$$

де  $l_v$  – параметр довжини Егерса.

Формула (18) представляє середній діаметр крапель при розпилюванні палива у віртуальному дизельному двигуні і дає можливість оцінити вплив фізичних характеристик палива на розпилювання палива. Параметр довжини Егерса має розмірність довжини і залежить тільки від фізичних властивостей палива: кінематичної в'язкості, густини та поверхневого натягу:

$$l_v = \frac{v_f^2 \rho_f}{\sigma}. \quad (19)$$

Користуючись даними таблиці 2, а також формулою (18) було знайдено діаметри крапель (SMD) при розпилюванні палива для МЕ олій мікрводоростей, що наведені у таблиці 5. Також в ній для порівняння показані SMD для МЕ інших олій, в тому числі модифікованої олії Captex 355 [8].

Таблиця 5

Параметри біодизельного та дизельного палив (80 °C)

Параметри палива	МЕ (Captex 355)	МЕ (ріпакова олія)	МЕ (кокосова олія)	МЕ (конопляна олія)	МЕ (соєва олія)	МЕ (олія Nannoch. Oculata)	МЕ (олія Iso. Galbana)	Дизель-не паливо
Густина, кг/м <sup>3</sup>	824	841	877	845	841	849,9	835,31	788
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	0,81	2,58	1,41	1,96	2,01	1,956	1,978	1,09
Поверхневий натяг, мН/м	22,2	27,82	30,7	27,41	27,15	27,22	26,09	24,14
SMD (18), мікрон	16,25	26,69	20,7	23,55	23,87	23,61	23,88	18,13

Як показує таблиця 5, відмінність у фізичних властивостях біодизельного палива, що виготовлене з двох видів мікрводоростей заключається у тому, що біодизельне паливо з Nannoch. Oculata має більшу густину та поверхневий натяг, але меншу кінематичну в'язкість, ніж Iso. Galbana. Відповідно до формули (18) значення середнього діаметра крапель одержались у 1,01 раза меншим для Nannoch. Oculata, ніж для Iso. Galbana. З іншого боку, в роботі [4] фізичні властивості палива для підрахування середнього діаметра крапель при розпилюванні вираховуються наступним коефіцієнтом:

$$k_{elcob} = v_f^{0,385} \rho_f^{0,737} \sigma^{0,737}. \quad (20)$$

Виходячи з залежності (20), ми навпаки одержуємо, що значення середнього діаметра крапель при розпилюванні БП для Nannoch. Oculata більше в 1,04 раза, ніж для Iso. Galbana. Але у роботі [4] та в інших відомих нам роботах не було приділено достатньо уваги процесу розпилювання палив. У [4] було показано, що БП на основі Nannoch. Oculata має тенденцію мати найменшу питому витрату палива (brake specific fuel consumption), а також менші викиди окислів азоту, порівняно з іншими біодизельними паливами, як при 50 %, так і 75 % навантаження. В той же час використання БП на основі Nannoch. Oculata спричиняє більші викиди частинок сажі, ніж у Iso. Galbana, але викиди сажі залишаються меншими, ніж у дизельного палива. Наведені вище факти потребують подальших досліджень та проведення експериментальних випробувань.

Оскільки водоростеві олії палива містять великий відсоток кислот, що мають чотири та більше подвійних зв'язків, у біодизельних паливах має бути низька окислювальна стабільність, що буде

приводити до зниження строку зберігання цих палив. Але з іншого боку, біодизельні палива на основі водоростей мають мати хороші низькотемпературні властивості. Вирішенню цих проблем можуть бути присвячені майбутні дослідження.

#### Висновки:

1. Вперше було виконано моделювання густини, кінематичної в'язкості та поверхневого натягу окремих молекул, які містяться у біодизельних паливах з мікрowodоростей: метилового ефіру ейкозаптеенової кислоти (C20:5) та метилового ефіру докозагексагенової кислоти (C22:6).

2. Проведене моделювання фізичних властивостей БП з двох типів мікрowodоростей показало, що відмінність у фізичних властивостях розглянутих БП заключається у тому, що БП на основі олії з *Nannoch. Oculata* має більшу густину та поверхневий натяг, але меншу кінематичну в'язкість, ніж БП на основі олії з *Iso. Galbana*.

3. Як показало моделювання, біодизельне паливо, що виготовлене з розглянутих олій мікрowodоростей, має здатність утворювати менші краплі при розпилюванні палива, порівняно з іншими біодизельними паливами. Але цей факт потребує експериментального підтвердження.

4. Оскільки олії мікрowodоростей містять великий відсоток кислот, що мають чотири та більше подвійних зв'язків, у біодизельних паливах на основі цих олій має бути низька окислювальна стабільність, що буде призводити до зниження строку зберігання цих палив з одного боку, але до покращання низькотемпературних властивостей – з іншого. Аналіз цих властивостей БП з мікрowodоростей може бути темою майбутніх досліджень.

#### Список використаної літератури:

1. *Грабар І.Г.* Біопалива на основі олій для дизельних двигунів : монографія / *І.Г. Грабар, Р.В. Колодницька, В.Г. Семенов.* – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 152 с.
2. *Колодницька Р.В.* Чи можуть автомобілі їздити на чистій ріпаковій олії? / *Р.В. Колодницька* // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2006. – № 2–3. – С. 26–31.
3. *Колодницька Р.В.* Моделювання розпилювання біодизельного палива на основі конопляної олії / *Р.В. Колодницька* // Вісник СХУ імені Володимира Даля. – 2010. – № 6 (148). – С. 41–46.
4. *Bethany Fisher* Characterization of gaseous and particulate emissions from combustion of algae based methyl ester biodiesel- Thesis for the Degree of Master of Science- Fort Collins, Colorado, 2009.
5. *Ejim C.E.* Analytical study for atomization of biodiesels and their blends in a typical injector: Surface tension and viscosity effects / *C.E. Ejim, B.A. Fleck, A. Amirfazli.* – Fuel 86 (2007). – Pp. 1534–1544.
6. The influence of molecular structure of fatty acid monoalkyl esters on diesel combustion / *A. Schonborn, N. Ladommatos, J. Williams and ol.* // Combustion and Flame. – 156 (2009). – Pp. 1396–1412.
7. Химия жиров / *Б.Н. Тютюнников, З.И. Бухитаб, Ф.Ф. Гладкий Ф.Ф. и др.* – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1992. – 448 с.
8. 1999. Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition / *C.A.W. Allen, K.C. Watts, R.G. Ackman and ol.* – Fuel, 78. – Pp. 1319–1326.
9. *Allen C.A.W.* Prediction of biodiesel fuel atomization characteristics based on measured properties / *C.A.W. Allen* // Thesis. Dalhousie University-Daltech. Halifax, Nova Scotia. Canada. 1998. – P. 220.

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

Наукові інтереси:

- моделювання розпилювання палива у дизельних двигунах;
- альтернативні палива та екологічна безпека автомобіля;
- проблеми руйнування матеріалів;
- композитні матеріали на основі натуральних волокон.

ВАСИЛЬЄВ Руслан – студент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- біодизельні палива на основі мікрowodоростей.

Стаття надійшла до редакції 29.08.2012

**Колодницька Р.В., Васильєв Р.В.** Моделювання фізичних властивостей та параметрів розпилювання дизельних біопалив на основі мікроводоростей

**Колодницкая Р.В., Васильев Р.В.** Моделирование физических свойств и параметров распыливания биотоплив на базе микроводорослей.

**Kolodnytska R.V., Vasilev R.V.** The algae biodiesel physical property and spray parameters modeling

УДК 629.3:621.43

**Моделирование физических свойств и параметров распыливания биотоплив на базе микроводорослей / Р.В. Колодницкая, Р. В. Васильев**

В статье выполнено моделирование плотности, вязкости и поверхностного натяжения биодизельных топлив, изготовленных из масла микроводоростей. Рассчитано также значение среднего диаметра капель при распыливании этих топлив в дизельных двигателях. Показано, что исходя из результатов прогнозирования, БП из масла микроводоростей не уступают традиционным биотопливам на основе рапсового масла.

УДК 629.3:621.43

**The algae biodiesel physical property and spray parameters modeling / R.V. Kolodnytska, R.V. Vasilev**

The modelling of micro-algae biodiesel density, viscosity and surface tension was performed. The spray middle diameters of droplets in diesel engine were counted. It was shown that the property of algae biodiesel can be compare with traditional biodiesel based on rapeseed oil.