

1. *Bioenergy & Biobased Opportunities in Ukraine* / Tebodin Ukraine CFI: Report Number: 71834-B-R, 2013. – 80 p.
2. Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S., Tiffan D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. – Proc. of National. Academy of Science the USA, 2006. – V.103. – №30. – P. 11206–11210.
3. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси. – К.: Біоенергетична асоціація України, 2014. – 25 с.
4. Elsayed M.A., Matthews R., Mortimer N.D. Carbon and energy balances for a range of biofuels options. – Sheffield: Sheffield Hallam University, 2003. – 341 p.
5. Mortimer N.D., Cormack P., Elsayed M.A., Horne R.E. Evaluation of the comparative energy, global warming and socio-economic costs and benefits of biodiesel. – Sheffield: Sheffield Hallam University, 2003. – 132 p.
6. Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту в системі житлово-комунального господарства – К.: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.
7. Kovalko A.M., Evtukhova T.A., Novoseltsev A.V. ESCOs and cross-border energy services: ideas for international cooperation / Proceedings of World Energy Engineering Congress, Washington, 25-27 Sept., 2013, Atlanta: AEE, Ch.75. – P. 1–9.
8. Novoseltsev O., Kovalko O., Evtukhova T. Cross-border cooperation of energy service companies as a factor enhancing energy and economic safety / In book: Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems – G. Pivnyak, O. Beshta, M. Alekseyev (eds), London: Taylor & Francis Group, CRC Press. – 2013. – P. 37–46.
9. *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050*. – Paris: International Energy Agency, 2010. – 458 p.
10. *Oilseeds: World Markets and Trade* / United States Department of Agriculture Report, World Agricultural Outlook Board/USDA, July 2014. – 35 p.
11. *Agriculture, Bioenergy, and Food Policy in Ukraine – Analysis, Conclusions and Recommendations* / Edited by Strubenhoff H., Movchan V., Burakovsky I. – Kyiv: Institute for Economic Research and Policy Consulting, 2008. – 352 p.

УДК 621.436.12 : 629.341

С.В.Ковбасенко, канд.техн.наук, В.В.Сімоненко (Національний транспортний університет, Київ)

### Дорожні випробування автобуса, що працює на традиційному нафтовому паливі та дизельному біопаливі

В статті наведено методику проведення та результати дорожніх випробувань автобуса ПАЗ-32054 з дизелем 4Ч11,0/12,5 (Д-241) при роботі на традиційному нафтовому паливі та дизельному біопаливі. Встановлено доцільність використання метилових ефірів ріпакової олії в якості моторних палив для дизелів дорожніх транспортних засобів.

**Ключові слова:** дорожні випробування, автобус, дизель, метилові ефіри ріпакової олії.

В статье приведена методика проведения и результаты дорожных испытаний автобуса ПАЗ-32054 с дизелем 4Ч11,0/12,5 (Д-241) при работе на традиционном нефтяном топливе и дизельном биотопливе. Установлена целесообразность использования метиловых эфиров рапсового масла в качестве моторного топлива для дизелей транспортных средств.

**Ключевые слова:** дорожные испытания, автобус, дизель, метиловые эфиры рапсового масла.

**Вступ.** В умовах поступового виснаження нафтових родовищ, яке викликає значне підвищення цін на традиційні палива для двигунів дорожніх транспортних засобів, постає питання про використання альтернативних палив з відновлюваних ресурсів.

Однією з альтернатив для традиційних нафтових палив є дизельні біопалива рослинного походження, а саме метилові ефіри ріпакової олії

(МЕРО) [1].

Важливою і актуальною науково-технічною задачею є дослідження зміни паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників автобуса з дизелем при роботі на МЕРО, в порівнянні з традиційним нафтовим паливом, оскільки саме двигуни міських автобусів є одними з основних споживачів дизельного палива та забруднювачів довкілля.

**Основна частина.** Ефективність використання дизельного біопалива досліджувалась у Національному транспортному університеті шляхом проведення експериментальних стендових випробувань дизеля 4Ч11,0/12,5 (Д-241) [2] та шляхом розрахунків на математичній моделі руху автобуса з дизелем в умовах міського їздового циклу [3]. Ця модель дозволяє оцінити зміну паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників автобуса з дизелем, враховуючи зміну завантаженості автобуса, умови дорожнього руху та потужності дизеля при русі в режимах заданого їздового циклу.

Аналіз результатів розрахунків на математичній моделі показав, що при використанні МЕРО витрата палива за цикл зростає майже на 12%,

викиди  $CO$  та  $NO_x$  підвищуються відповідно до 31% та 6%. При цьому спостерігається суттєве зниження викидів  $C_mH_n$  та димності до 23% та 19% відповідно. Сумарні масові викиди, приведені до викидів  $CO$ , знижуються до 3%.

Для перевірки достовірності результатів розрахунків на математичній моделі були проведені дорожні випробування автобуса ПАЗ-32054 з дизелем 4Ч11,0/12,5 (Д-241) (рис. 1) в умовах міського їздового циклу для автобусів.

Основні технічні характеристики двигуна та автобуса наведено в табл. 1.

Перед початком випробувань тепловий режим вузлів та агрегатів автобуса доведено до робочого стану шляхом пробігу 30 км при середній швидкості 45 км/год [4].



Рис. 1. Автобус ПАЗ-32054, обладнаний дизелем 4Ч11,0/12,5 (Д-241).

Таблиця 1. Основні технічні показники автобуса ПАЗ-32054 з дизелем 4Ч11,0/12,5

Найменування	Значення
Двигун	Чотиритактний дизель 4Ч11,0/12,5 (Д-241)
Номінальна частота обертання, $xv^{-1}$	2100
Робочий об'єм всіх циліндрів, л	4,75
Ступінь стиснення	16
Штатний кут випередження впорскування, град	26
Номінальна потужність, кВт	52,9

Найменування	Значення
Максимальний крутний момент, Н·м	268,8
Кількість місць для сидіння	21
Повна пасажиромісткість	39
Маса спорядженого автобуса, кг	5610
Повна маса автобуса, кг	8415
Розмір шин	8,25-20
Шасі (міст)	Р3АА (5,29)
КПП	САА3-3206 (I – 5,63; II – 2,64; III – 1,48; IV – 1,0; V – 0,81; 3.X. – 5,36)

Випробувальні заїзди на дорозі були виконані на традиційному дизельному паливі 3-0,2-(-25) з фізико-хімічними властивостями, що відповідають вимогам ДСТУ 3868-99 [5], та дизельному біопаливі (МЕРО) з фізико-хімічними властивостями, що відповідають вимогам ДСТУ 6081:2009 [6]. Фізико-хімічні властивості досліджуваних палив наведено у таблиці 2.

Згідно з регламентом дорожніх випробувань

визначалися такі показники і характеристики паливної економічності, як витрата палива в режимі міського їздового циклу та паливна характеристика усталеного руху.

Об'ємна витрата палива за міським їздовим циклом визначалася на прямолінійній ділянці шляху довжиною 1920 м з горизонтальним профілем та асфальтобетонним покриттям за допомогою об'ємного витратоміра з ціною поділки 1 мл, підключеного до системи живлення дизеля (рис. 2).

Таблиця 2. Фізико-хімічні властивості досліджуваних палив

№	Назва показника	Значення	Дизельне паливо		МЕРО	
			Значення згідно ДСТУ 3868-99	Фактичне значення	Значення згідно ДСТУ 6081:2009	Фактичне значення
1	Масова частка ефірів	%	–	–	96,5	98,1
2	Фракційний склад: 54% при температурі 94% при температурі	°C °C	280 370	271,5 362,5	–	–
2	Густина при температурі: 15°C 20°C	кг/м <sup>3</sup>	– 840	– 833,7	860-900 –	878,6 –
3	Кінематична в'язкість при температурі: 40°C 20°C	мм <sup>2</sup> /с	1,8-6,0	4,4226	3,5-5,0	4,31
4	Температура спалаху в закритому тиглі	°C	40	63	120	164
5	Масова частка сірки	мг/кг	0,2	0,200	10	10
6	Коксованість (10% залишку перегонки)	%	0,34	0,30	0,3	0,04
7	Цетанове число	–	45	47	51	52
8	Зольність	%	0,01	0,01	0,02	0,007
9	Масова частка води	мг/кг	відсутня	відсутня	500	200
10	Вміст механічних домішок	мг/кг	відсутні	відсутні	24	8
11	Випробування на мідній пластині (3 год за темп. 50°C)		витримує	витримує	клас 1	витримує
12	Кислотне число	мг КОН/г	витримує	витримує	0,5	0,4
13	Йодне число	г йоду / 100 г	6	6,4	120	68,7
22	Температура застигання	°C	–25	–26	–	–

Випробувальні заїзди виконано в протилежних напрямках: по три заїзди в кожному напрямку на дизельному паливі та МЕРО. Швидкісний режим автобуса задано операційною картою згідно з ГОСТ 20306-90 (рис. 3).

Після проведення дорожніх випробувань автобуса в режимах міського їздового циклу було здійснено обробку результатів дослідження для визначення показників його паливної економічності.



Рис. 2. Об'ємний витратомір, підключений до системи живлення автобуса.

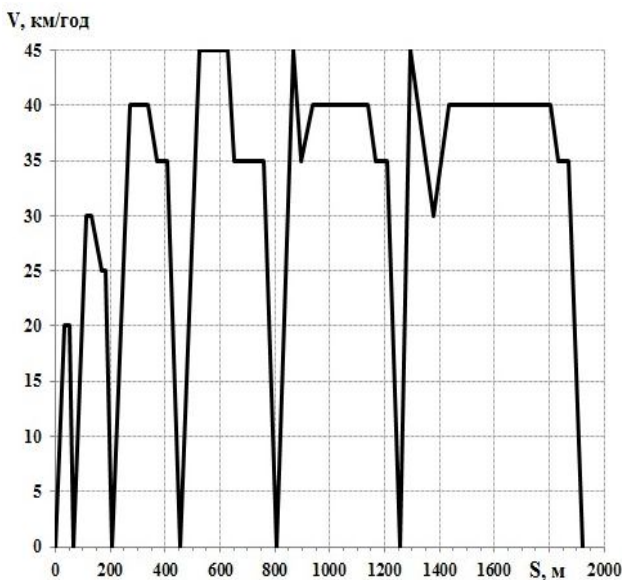


Рис. 3. Міський їздовий цикл для автобусів.

Об'ємна витрата палива за їздовим циклом

розраховувалась наступним чином: спочатку визначались значення витрати палива в кожному заїзді шести складових циклів руху, потім визначалися середні арифметичні значення витрати палива в шести складових ділянках їздового циклу. Сумарна об'ємна витрата палива в міському циклі розраховувалась за формулою:

$$\sum V_{нал} = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot V_{нал i}, \tag{1}$$

де  $\delta_i$ ,  $V_{нал i}$  – коефіцієнт вагомості та об'ємна витрата палива в  $i$ -й складовій ділянці їздового циклу.

Під час розрахунків приймалися наступні значення коефіцієнтів вагомості окремих складових їздового циклу [4]:  $\delta_1 = 2,9$ ;  $\delta_2 = 6,2$ ;  $\delta_3 = 14,3$ ;  $\delta_4 = 21,4$ ;  $\delta_5 = 21,3$ ;  $\delta_6 = 33,9$ .

Сумарну масову витрату палива в міському їздовому циклі було розраховано за формулою:

$$\sum G_{нал} = \sum V_{нал} \cdot \rho, \tag{2}$$

де  $\rho$  – густина палива, визначена експериментальним шляхом ( $\rho_{дн} = 0,834 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_{МЕРО} = 0,874 \text{ г/см}^3$ ).

Відносна похибка вимірювань у кожній складовій їздового циклу визначалася із залежності:

$$\Delta = K \cdot \sigma \cdot \frac{100}{G_{нал i}} \cdot \sqrt{k}, \tag{3}$$

де  $k$  – кількість заїздів;  $G_{нал i}$  – середньоарифметичне значення масової витрати палива в  $i$ -й складовій їздового циклу, кг;  $K$  – поправочний коефіцієнт, що залежить від кількості заїздів. При  $k = 6$   $K = 1,06$ ;  $\sigma$  – стандартне відхилення, розраховане за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k G_{нал i}^j - G_{нал i}}{k - 1}}, \tag{4}$$

де  $G_{нал i}^j$  – масова витрата палива  $j$ -го заїзду  $i$ -ї складової їздового циклу, кг.

Результати розрахунків, отриманих під час проведення дорожніх випробувань, наведені в табл. 3.

Результати дорожніх випробувань свідчать про підвищення масової витрати дизельного біопаива за міським їздовим циклом на дорозі на 12% у порівнянні з традиційним нафтовим паливом (таблиця 3). Оскільки нижча теплота згоряння дизельного палива та МЕРО різні (згідно [7], 42,5 МДж/кг і 37,8 МДж/кг відповідно), доцільно також проаналізувати витрату палива автобуса в тепловому еквіваленті при роботі на дизельному паливі та МЕРО.

Як видно з табл. 3, витрата дизельного біопаива в тепловому еквіваленті практично однакова у порівнянні з традиційним дизельним паливом. Перевірку адекватності математичної моделі руху

автобуса з дизелем у режимах міського їздового циклу виконано шляхом порівняння результатів математичних розрахунків з результатами експериментальних досліджень. Розбіжність результатів, наведених у таблиці 4, не перевищує 5%, що підтверджує адекватність математичної моделі.

Паливну характеристику усталеного руху автобуса згідно з ГОСТ 20306-90 визначено на прямолінійній ділянці шляху довжиною 1000 м при русі з постійною швидкістю (таблиця 5). Випробувальні заїзди виконано в протилежних напрямках на традиційному паливі та МЕРО. Задану швидкість руху встановлено до виїзду на виміряну ділянку шляху.

Таблиця 3. Витрата палива за міським їздовим циклом під час проведення дорожніх випробувань автобуса ПАЗ-32054

Вид палива	Тривалість циклу, с	Витрата палива, мл/цикл	Витрата палива, кг/цикл	Витрата палива, МДж/цикл	Відносна похибка, %
Дизельне паливо	254,89	411,82	0,343	14,60	3,12
МЕРО	255,60	441,22	0,386	14,58	3,17

Таблиця 4. Порівняння результатів розрахунків на математичній моделі руху автобуса ПАЗ-32054 в умовах міського їздового циклу з результатами дорожніх випробувань

Паливо	Дорожні випробування			Розрахунок на математичній моделі			Похибка по витраті палива, %	Похибка по часу, %
	Час, с	Витрата палива		Час, с	Витрата палива			
		кг/цикл	МДж/цикл		кг/цикл	МДж/цикл		
Дизельне паливо	254,89	0,343	14,60	255,87	0,359	15,26	4,56	0,38
МЕРО	255,60	0,386	14,58	255,87	0,400	15,36	3,47	0,10

Таблиця 5. Паливна характеристика усталеного руху автобуса ПАЗ-32054 при роботі на дизельному паливі та МЕРО

Паливо	Швидкість, км/год	№ п/п	Час, с	Витрата палива, мл/км	Середній час, с	Середня витрата палива, мл/км	Середня витрата палива, кг/км	Середня витрата палива, МДж/км
Дизельне паливо	20	1	178,24	160	181,98	155	0,129	5,494
		2	185,72	150				
	30	1	115,38	136	117,90	140	0,116	4,945
		2	120,42	143				
	40	1	98,09	145	92,35	142	0,118	5,033
		2	86,61	139				
	50	1	73,10	167	73,93	153	0,128	5,423

Паливо	Швидкість, км/год	№ п/п	Час, с	Витрата палива, мл/км	Середній час, с	Середня витрата палива, мл/км	Середня витрата палива, кг/км	Середня витрата палива, МДж/км	
	60	2	74,75	139	61,93	184	0,153	6,504	
		1	62,20	184					
	70	1	53,50	243	53,62	226	0,188	7,993	
		2	53,73	208					
	МЕРО	20	1	182,60	163	181,92	164	0,143	5,405
			2	181,23	164				
30		1	99,57	154	102,69	154	0,135	5,091	
		2	105,80	154					
40		1	85,56	149	87,52	149	0,130	4,909	
		2	89,47	148					
50		1	76,19	162	75,82	166	0,145	5,471	
		2	75,44	169					
60		1	63,38	181	63,34	197	0,172	6,496	
		2	63,29	212					
70		1	55,23	239	55,84	240	0,210	7,933	
		2	56,45	241					

Графічна інтерпретація паливної характеристики усталеного руху автобуса показана на рис. 4. Аналіз цієї характеристики вказує на зростання масової витрати дизельного біопалива при всіх швидкостях руху в середньому на 12%, при цьому витрата палива в тепловому еквіваленті практично не змінюється.

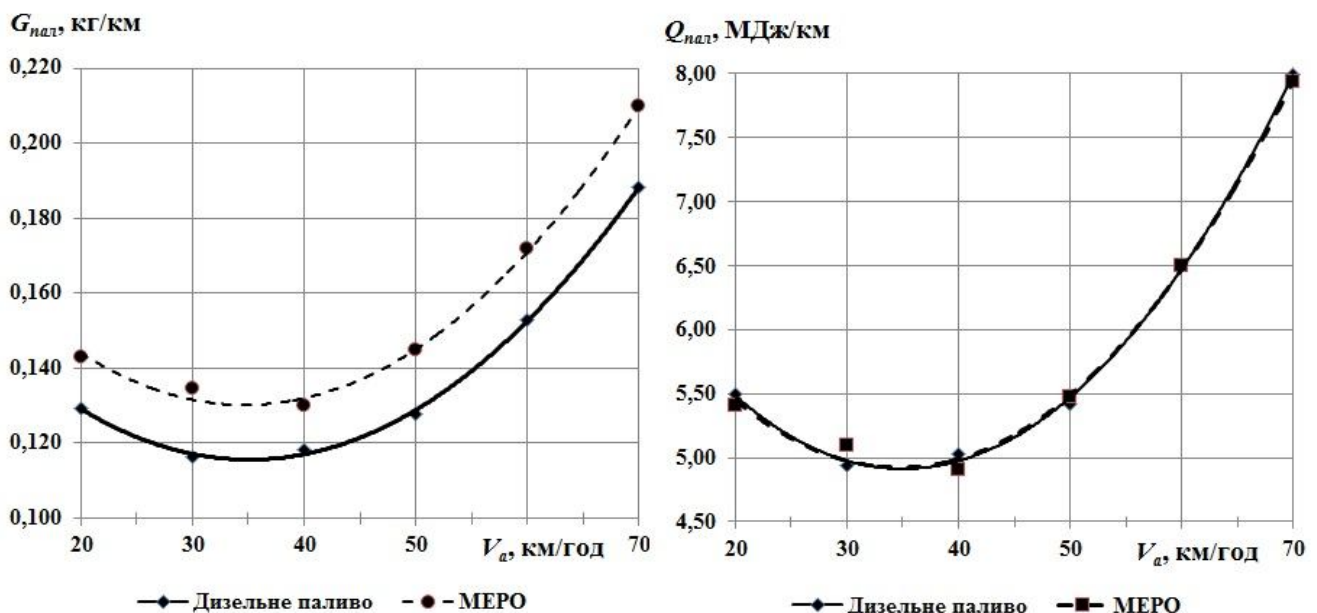


Рис. 4. Паливна характеристика усталеного руху автобуса ПАЗ-32054 при роботі на дизельному паливі та МЕРО.

**Висновки.** Порівняння результатів дорожніх випробувань та результатів розрахунків на математичній моделі підтвердили адекватність математичної моделі руху автобуса з дизелем в режимах міського їздового циклу.

За допомогою дорожніх випробувань встановлено, що при використанні МЕРО відбувається підвищення масової витрати палива на 12% в порівнянні з традиційним нафтовим паливом. При цьому витрата палива в тепловому еквіваленті практично не змінюється.

За результатами дорожніх випробувань можна стверджувати, що метилові ефіри ріпакової олії суттєво розширюють паливну базу та можуть використовуватись як самостійне паливо для дизелів дорожніх транспортних засобів, зменшуючи використання палив нафтового походження.

1. Ковбасенко С.В. Перспективи виробництва і використання біодизельного палива в Україні / С.В. Ковбасенко, В.В. Сімоненко // Вісник НТУ, 2007. – №15. – Ч. 2. – С. 28–31.

2. Ковбасенко С.В. Експериментальні дослідження двигуна, який працює на традиційному та біодизельному паливах / С.В. Ковбасенко, В.В. Сімоненко // Вісник Національного транспортного університету. – К: НТУ, 2010. – Випуск 20. – С. 47–50.

3. Гутаревич Ю. Математична модель руху автобуса з дизелем в режимах міського їздового циклу при роботі на традиційному та біодизельних паливах / Ю. Гутаревич, С. Ковбасенко, В. Сімоненко // Systemy i ŋrodki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcijŋ naukowŋ Kazimierza Lejdy Monographia nr 4; Seria: Transport; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Jukaszewicza. – Rzeszyw: 2013. – С. 231–238.

4. *Автотранспортные средства.* Топливная экономичность. Методы испытаний: ГОСТ 20306 – 90. – [введен с 01.01.1992]. – М.: Изд-во стандартов, – 1991. – 34 с.

5. *Паливо дизельне.* Технічні умови. ДСТУ 3868-99 – [Чинний до 01-07-2014]. – К.: ДП Укр НД І НП "МАСМА", 1993. – 12 с. – (Національні стандарти України).

6. *Паливо моторне.* Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги. ДСТУ 6081:2009 – [Чинний від 01-03-2010]. – К.: ДП Укр НД І НП "МАСМА", 2009. – 14 с. – (Національні стандарти України).

7. *Девянин С.Н.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Х: Новое слово, 2007. – 452 с.

УДК 662.767.3

**Н.Б.Голуб**, канд.хім.наук, **І.І.Левтун** (Національний технічний університет України "КПІ", Київ)

### Підвищення вмісту ліпідів у клітинах *Chlorella vulgaris*

*Розглянуто вплив дії ультразвукового опромінення на розвиток культури Chlorella vulgaris та накопичення нею ліпідної фракції – сировини для одержання біодизельного палива. Визначено довжини хвиль ультразвукового опромінення, за яких не відбувається пригнічення росту біомаси мікродорості. Встановлено раціональні параметри культивування (освітленість, подача CO<sub>2</sub>, масообмін), за яких відбувається підвищення у 4 рази приріст біомаси та накопичення клітинами Chlorella vulgaris ліпідів до 70% по відношенню до культивування у стандартному середовищі Громова №6.*

**Ключові слова:** мікродорості, *Chlorella vulgaris*, ультразвукове опромінення, культивування, біодизельне паливо, ліпіди.

*Рассмотрено влияние ультразвукового излучения на развитие культуры Chlorella vulgaris и накопление ее клетками липидной фракции – сырья для получения биодизельного топлива. Определены длины волн ультразвукового излучения, при которых не происходит угнетения роста биомассы микродорослей. Установлены рациональные параметры процесса культивирования (освещенность, подача CO<sub>2</sub>, массообмен), которые приводят к увеличению прироста биомассы в 4 раза и накоплению клетками Chlorella vulgaris липидов до 70% относительно культивирования на стандартной среде Громова №6.*

**Ключевые слова:** микродоросли, *Chlorella vulgaris*, ультразвуковое излучение, культивирование, биодизельное топливо, липиды.

В Україні щорічно споживається близько 200 мільйонів тонн умовного палива, при цьому власний видобуток становить лише 80 млн тонн [1]. При такому балансі власної та імпортованої

енергетичної сировини актуальною проблемою стає його заміна на відновлювані джерела енергії, важливим потенційним ресурсом якого може стати біопаливо. Енергетичним джерелом другого