

УДК 622.756.3

В.Г. Семенов, к.т.н., доц.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Р.В. Колодницька, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ ДЛЯ ДИЗЕЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Шляхом спалення проб рідких біопалив у калориметричній бомбі у середовищі стислого кисню визначена вища теплота згоряння ріпакової та соєвої олій, а також метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії (виробництво Німеччини та України). Отримані експериментальні дані підтверджують теоретичні розрахунки, що високоерукова ріпакова олія та її похідні мають більш високий енергетичний потенціал порівняно з низькоеруковою.

В умовах дефіциту рідких енергоносіїв нафтового походження і з метою зниження екологічної небезпеки відпрацьованих газів дизелів приходиться використовувати альтернативні палива з поновлюваних джерел сировини (рослинні олії та їх похідні). Перший прототип двигуна, що працював на арахісовій олії, показав ще в 1900 р. на виставці в Парижі Р.Дизель. В 1911 році він заявив: "Дизельні двигуни можуть працювати на рослинній олії і допомагати розвитку сільського господарства країн, які будуть використовувати це паливо".

Сучасний розвиток біодизеля почався в 1982 р. (Австрія). Першим типом біодизельного палива, що був впроваджений комерційно в 1998 р., був RME (ріпаковий метиловий ефір). Вивченням проблем, пов'язаних з біопаливом, займається Австрійський Інститут біопалива, який об'єднує дослідників ще з 21 країни Європи. Сьогодні провідні фірми світу вже випускають трактори, автобуси та персональні автомобілі, які надійно працюють на біодизелі. Сучасний біодизельний завод функціонує в Кентуккі (США), багато заводів працює в Німеччині та Швеції, в Чехії будуються 16 біодизельних заводів. Якщо в 1998 р. в Австрії біодизельний завод мав потужність 500 тонн/рік, то зараз це 10000 тонн/рік, в Ліворно (Італія) – 80000 тонн/рік, Ровен (Франція) – 120000 тонн/рік [1]. Дослідження з біопалива проводяться і в Україні: в «МАСМА», в Харківському політехнічному університеті, в УкрНДІхімпроекті, в Житомирському державному технологічному університеті [2].

В чому ж основна перевага біодизеля в порівнянні з нафтовими паливами? Як дослідила Національна лабораторія поновлюваної енергії США, раковий потенціал вихлопних газів для біодизеля на 90–94 % менший, ніж нафтових дизелів. Біодизель – це єдине альтернативне паливо, яке не тільки пройшло EPA Tier 1 Health Effects Testing, але й дозволяє не модифікувати дизельний двигун. Це пальне забезпечує зменшення на 80 % викидів CO₂, викидів SO₂ на 100 %, забезпечує значне зниження CO та сажі, в той же час викликає невелике зниження або підвищення окислів азоту в залежності від виду двигуна [3].

При обробці експериментальних даних і розрахунках робочого циклу дизельних двигунів важливе значення має знання точної величини нижчої теплоти згоряння палива Q_н. Значення Q_н обчислюється розрахунковим шляхом за величиною вищої теплоти згоряння Q_в, що визначається калориметричним методом в ізотермічному й адіабатичному режимах при постійному об'ємі [4]. Якщо для традиційних нафтових палив значення Q_в (Q_н) і розрахункові формули для їх визначення широко відомі [5], то для біопалив з рослинної сировини їх значення зібрані та систематизовані в роботі [6]. Хоча експериментальні значення Q_в (Q_н) та їхній розрахунок за формулою Д.І. Менделєєва дають задовільний збіг, був проведений прямий вимір Q_в за допомогою калориметра спалювання з бомбою рідинною типу В-08МА [4]. У преамбулі ГОСТ 21261-91 відзначено, що "дійсний стандарт поширюється на рідкі палива, вуглеводні і кисневмісні компоненти...", що дозволяє вважати методику визначення Q_в придатною і для кисневмісних (O_т = 9...10 %) рослинних олій та їхніх похідних.

Дослідженню були піддані наступні зразки біопалив [7]:

– зразок 1 – RME (ріпакометилові ефіри німецького виробництва, ерукова кислота

$$C_{22}:1 = 0,6 \%; \rho_{20^\circ} = 877 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

- зразок 2 - РОРВ (ріпакова олія рафінована високоерукова С22:1≈30 %; $\rho_{20^\circ} = 916 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$);
- зразок 3 - СОР (соєва олія, екструдер, $\rho_{20^\circ} = 916 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$);
- зразок 4 - РОР (ріпакова олія рафінована, С22:1≈10 %; $\rho_{20^\circ} = 915 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$);
- зразок 5 - МЕРО (метилові ефіри жирних кислот РОРВ (ріпакової олії рафінованої високоерукової)), $\rho_{20^\circ} = 874 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$);
- зразок 6 - МЕРО (метилові ефіри жирних кислот ріпакової олії рафінованої РОР, $\rho_{20^\circ} = 874 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$).

Калориметричні дослідження проводилися в лабораторії температурних та теплофізичних вимірів Харківського державного науково-дослідного інституту метрології (ХДНДІМ).

Результати досліджень

Розглянемо основні етапи та послідовність обробки результатів досліджень по визначенню Q_v зразків палив.

При визначенні ефективної теплоємності калориметра C_i (кДж/°С) в ізотермічному режимі по МІ 2096 спалюється особливо чиста кислота бензойна (C_6H_5COOH , $t_{пл} = 122,4^\circ C$) - зразковий захід для ТУ 6 - 09 - 4985, атестована за теплою згоряння при $25^\circ C$. Для бензойної кислоти чистотою не менш 99,9 % стандартна питома теплота згоряння складає 26454 кДж/кг при зважуванні в повітрі і 26434 кДж/кг для маси навішення, приведеної до вакууму. Необхідно відзначити, що усі виміри температури проводилися за допомогою кварцового термометра, для якого були визначені наступні константи:

- коефіцієнт кварцового термометра $K_T = 3,856$ Гц/°С;
- частота кварцового термометра у $0^\circ C$ - 100678,5357 Гц.

Для випадку, коли ефективна теплоємність калориметра з ізотермічною оболонкою визначена з похибкою, що менше 0,1 % [4], використовуються наступні вихідні дані і приймається наведений нижче порядок розрахунку вищої теплоти згоряння (табл. 4, 2).

Таблиця 1

Дані калориметричних вимірів

№ зразка	$t_k, ^\circ C$	$m \times 10^3, \text{ кг}$	$t_o, \text{ Гц}$	$t_n, \text{ Гц}$	$S^a, \%$	$W^a, \%$	$\rho_s, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\sum_{i=1}^{n-1} t_i, \text{ Гц}$
1	14,0	0,7748	0,670	8,764	0,01	0,03	877	214,930
	13,0	0,6872	0,726	7,974	[9]	[9]		195,232
2	13,5	0,6875	0,658	7,935	0,002	0,15	916	194,923
	14,0	0,6878	0,670	7,856	[5]	[6]		191,858
3	14,0	0,6982	0,755	7,989	0	0,15	916	195,061
	13,0	0,7116	0,779	8,127	[7]	[7]		198,499
4	18,0	0,6864	0,638	7,817	0,007	0,15	915	190,938
	18,5	0,6710	0,652	7,668	[5]	[6]		187,682
5	15,0	0,6842	0,621	7,830	0,01	0,03	874	192,653
	15,0	0,6940	0,648	7,482	[9]	[9]		196,478
6	15,0	0,6830	0,620	7,798	0,01	0,03	874	191,590
	16,0	0,6845	0,679	7,913	[9]	[9]		194,099

У табл. 1 наведені вихідні дані до розрахунку Q_v шести досліджуваних зразків палива, причому точність методу визначення Q_v оцінюється збіжністю, що визначається тим, що два результати виміру, отримані послідовно одним виконавцем, визнаються достовірними (з 95 %

довірчою імовірністю), якщо розбіжність між ними не перевищує 130 кДж/кг [4]. В табл. 1 позначено: t_k – температура навколишнього повітря в кімнаті, де проводяться теплотехнічні виміри, °С; m – удавана маса зразка палива в повітрі, кг; t_o – показання термометра, що відповідає температурі запалювання, Гц; t_n – показання термометра, що відповідає кінцевій температурі, Гц; $\sum_1^{n-1} t_i$ – сума температур калориметра в головному періоді, Гц; S^a і W^a – відповідно масова частка сірки і води у випробуваних зразках палив, %; ρ_s – густина випробуваних палив, кг/м³.

Необхідно відзначити особливості запису величин t_o , t_n і $\sum_1^{n-1} t_i$. Так, для t_o і t_n (табл. 2) необхідно читати: наприклад, для зразка палива №1, перший рядок, $t_o = 100774+0,558$ Гц, а $t_n = 100774+8,764$ Гц. Отже, виходячи з вищевказаних значень K_T і частоти кварцового термометра в 0 °С величина t_o дорівнює $(100774,558-100678,535)/3,856 = 24,902^\circ\text{C}$, а $t_n = (100782,764-100678,535)/3,856 = 27,030^\circ$. Довірче значення $\sum_1^{n-1} t_i$ для кожного з рядків у табл. 2 записується $25 \times 100774 + 214,9306$ Гц (перший рядок), аналогічним чином визначаються всі інші величини.

Загальними вихідними даними для всіх зразків палива є: $t_{об}$ – температура оболонки калориметра 27,5°С; m_c – маса посудини з водою 7,980 кг; m_2 – маса згорілого дроту для запалу зразка палива (рівна різниці мас дроту до і після спалювання), $0,006 \times 10^{-3}$ кг; q_2 – питома теплота згорання дроту для запалу: мідний круглий електротехнічний марки ММ діаметром 0,1...0,15 мм – 2510 кДж/кг; ρ_w і ρ_a – відповідно густина матеріалу гир для зважування навішення палива і густина атмосферного повітря 1.20 кг/м³.

Для обчислень, що наведені в табл. 2, використовуються наступні формули:

m_o – масу зразка палива (у кг) обчислюють у вакуумі за формулою:

$$m_o = m + m \left(\frac{\rho_a}{\rho_s} - \frac{\rho_a}{\rho_w} \right); \quad (1)$$

t' і t'' – відповідно початкова температура початкового періоду та кінцева температура кінцевого періоду, Гц;

Θ_o і Θ_n – відповідно середні температури початкового та кінцевого періодів реєстрації температури калориметра, Гц;

K – константа охолодження калориметра:

$$K = \frac{V_2 - V_1}{\Theta_n - \Theta_o}, \quad (2)$$

де $V_1 = \frac{t' - t_o}{n_o}$ і $V_2 = \frac{t_n - t''}{n_n}$ – відповідно середні швидкості зміни температури (температурний

хід) у початковому та кінцевому періодах відповідно за 30 с, Гц;

Δh – виправлення на теплообмін калориметра з навколишнім середовищем, Гц

$$\Delta h = K \left(\frac{t_o + t_n}{2} + \sum_1^{n-1} t_i - n\Theta_o \right) + nV_1, \quad (3)$$

де n_o , n , n_n – відповідно число вимірів у початковому, головному та кінцевому періодах;

Δt – виправлений підйом температури в експерименті, Гц:

$$\Delta t = (t_n - t_o + \Delta h). \quad (4)$$

Результати експериментального визначення теплоти згорання

№ зразка	$m_0 \times 10^3$, кг	t' , Гц	t'' , Гц	$\Theta_{o'}$, Гц	$\Theta_{n'}$, Гц	К	Δh , Гц	Δt , Гц	Q_B^a , кДж/кг	\bar{Q}_B^a , кДж/кг	Q_S^a , кДж/кг	Q_S^d , кДж/кг
1	0,7758	0,558	8,797	0,614	8,781	0,001	-0,07338	8,02102	40070	40075	40074	40086
	0,6880	0,611	8,017	0,669	7,997	0,00095	-0,09785	7,15005	40080			
2	0,6883	0,551	7,973	0,605	7,956	0,00099	-0,085169	7,19150	40298	40268	40268	40328
	0,6886	0,580	7,885	0,625	7,872	0,00086	-0,061573	7,18423	40239			
3	0,6990	0,642	8,029	0,697	8,011	0,00103	-0,09014	7,14106	39402	39374	39374	39433
	0,7124	0,676	8,164	0,728	8,148	0,000956	-0,08047	7,26773	39346			
4	0,6872	0,529	7,862	0,584	7,843	0,000976	-0,09689	7,08211	39747	39744	39744	39803
	0,6718	0,537	7,711	0,594	7,692	0,00109	-0,0945	6,92200	39740			
5	0,6850	0,527	7,822	0,574	7,842	0,00102	-0,04941	7,159387	40308	40340	40339	40351
	0,6949	0,550	8,009	0,599	7,997	0,000993	-0,06064	7,273158	40371			
6	0,6838	0,530	7,819	0,575	7,809	0,000978	-0,047207	7,130598	40216	40199	40198	40210
	0,6853	0,569	7,954	0,624	7,935	0,001001	-0,09348	7,14012	40182			

Запис (табл. 2) температур у Гц і переведення їх у °С аналогічні описаному для табл. 1.

Теплоту згоряння випробуваного зразка палива в калориметричній бомбі (Q_B^a) обчислюють за формулою :

$$Q_B^a = \frac{C_i \Delta t - q_2 m_2}{m}, \text{ кДж/кг}, \quad (5)$$

де \bar{Q}_B^a – середнє арифметичне двох вимірів, кДж/кг, Q_S^a – вища теплота згоряння випробуваного зразка палива.

Доданок $q_4 m_4$ у формулі (5) відсутній, тому що в експериментах полімерні ампули не використовувалися.

Вища теплота згоряння обчислюється за формулою:

$$Q_S^a = \bar{Q}_B^a - 94S^a + \Delta Q_S, \text{ кДж/кг}, \quad (6)$$

де 94 – теплота утворення сірчаної кислоти з двоокису сірки і розчинення сірчаної кислоти у воді на 1 % сірки, що перейшла при спалюванні палива в сірчану кислоту, кДж/кг; ΔQ_S – поправка, кДж/кг [4, табл. 2];

Q_S^d – вища теплота згоряння палива з урахуванням масової частки води W^a у ньому (табл. 1):

$$Q_S^d = Q_S^a \frac{100}{100 - W^a}, \text{ кДж/кг}. \quad (7)$$

Теплоту згоряння (кДж чи МДж) для рідких палив звичайно відносять до 1 кг при стандартних умовах: температурі 20 °С і тиску 101,3 кПа. При тепловому розрахунку робочого циклу двигунів внутрішнього згоряння ДВЗ користуються величиною Q_H , тому що відпрацьовані гази (ВГ) мають температуру більшу, ніж температуру конденсації водяної пари у ВГ, і, отже, теплота паротворення не може бути використана [13].

Для одержання з результатів калориметричного експерименту вищої теплоти згоряння зразків біопалив у стандартних умовах до величин Q_S^d необхідно додати поправку ΔQ_S [4], що представляє із себе добуток питомої теплоємності біопалив на діапазон температури (25 °С). Для всіх зразків біопалив прийняте усереднене значення $\Delta Q_S = 55$ кДж/кг. Таким чином, одержуємо остаточні значення вищої теплоти згоряння біопалив Q_B^E при стандартних умовах (результати округляємо до найближчого значення, кратного 10кДж/кг) (табл. 3).

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники досліджуваних зразків біопалив

Зразки палива	1	2	3	4	5	6
Показники	2	3	4	5	6	7
$Q_{B(S)}^E, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad t=25^\circ\text{C}$	40086	40328	39433	39803	40351	40210
$Q_B^E, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad t=0^\circ\text{C}$	40140	40380	39490	39860	40410	40270
$Q_H^E, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	37420	37710	36890	37210	37650	37530
$Q_B^B, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	40250	40320	39370	39930	-	-
$Q_B^M, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	40100	40220	39530	39870	40570	40260
$Q_H^M, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	37380	37540	36930	37230	37820	37530
С	0,7710	0,7803	0,775	0,7765	0,777	0,773
Н	0,1205	0,1183	0,115	0,117	0,122	0,121

1	2	3	4	5	6	7
О	0,1085	0,1014	0,110	0,1065	0,101	0,106
Молекулярна маса $M, \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$	295,4	946,9	875,4	902	316,9	302,7
Наближена сумарна формула	$C_{19}H_{35,3}O_2$	$C_{61,5}H_{111,1}O_6$	$C_{56,5}H_{100}O_6$	$C_{58,3}H_{104,7}O_6$	$C_{20,5}H_{38,4}O_2$	$C_{19,5}H_{36,3}O_2$
$L_0, \frac{\text{кг. пов.}}{\text{кг. палив.}}$	12,56	12,62	12,41	12,51	12,71	12,62
$M_0, \frac{\text{кмоль пов.}}{\text{кг. палив.}}$	0,433	0,435	0,428	0,432	0,438	0,435
$Q_H^{SM}, \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}$	48010	48160	47880	47850	47760	47930
$Q_H^{SMM}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	2143	2150	2138	2136	2132	2140
$Q_H^{SMK}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1585	1590	1581	1582	1577	1583

Рівняння для визначення теплоти згоряння Q_B^B запропоноване Бертрамом [7]:

$$Q_B^B = \Delta H_c = [11380 - (ИЧ) - 9,15(ЧО)] \cdot 4,1868, \text{ кДж/кг} \quad (8)$$

де ИЧ – йодне число, $\frac{\text{г} J_2}{100\text{г}}$; ЧО – число омилення, мг КОН/г.

У табл. 4 наведені результати експериментального визначення йодного числа [15] та числа омилення [16]. Йодне число – це кількість галоїду, у перерахуванні на йод, що приєднується до 100 г жиру або жирних кислот. Воно характеризує середній ступінь ненасиченості (наявності подвійних зв'язків) жирових речовин. Число омилення – це витрата в міліграмах їдкою калію на нейтралізацію вільних кислот і на омилення гліцеридів, що містяться в 1 г жиру [17].

Таблиця 4
Визначення йодного числа (ИЧ) та числа омилення (ЧО) зразків біопалив

№ зразка палив	ГОСТ 2070-82			ГОСТ 5478-90			Q_B^B , кДж/кг	δ , кДж/кг
	V_1 , см ³	m, г	ИЧ г $J_2/100\text{м}$	V_1 , см ³	m, г	ЧО, мг КОН/м		
1	22,8	0,1256	105,0	13,5	1,1688	182,7	40250	-110
	25,0	0,0998	104,5	14,0	1,1060	180,2		
			104,8			181,5		
2	26,7	0,0836	99,2	4,6	2,6011	179,5	40320	60
	26,3	0,0880	99,9	14,2	1,0693	181,1		
			99,6			180,3		
3	24,0	0,0933	125,0	7,0	1,9932	200,0	39370	120
	20,8	0,1210	129,8	17,0	0,5642	201,9		
			127,4			201,0		
4	22,9	0,0976	133,9	10,5	1,5975	187,2	39930	-70
	23,4	0,0950	130,9	6,8	2,1676	186,5		
			132,4			186,9		

Йодне число випробуваного біопалива обчислюють за формулою:

$$ИЧ = \frac{(V - V_1) \cdot F \cdot 0,01269}{m} \cdot 100 \frac{\text{г} J_2}{100\text{г}}, \quad (9)$$

де V і V_1 відповідно об'єми розчину тіосульфату натрію $0,1$ моль/дм³, витрачені на титрування в контрольному досліді ($V_{cp} = 33,3$ см³) випробуваного біопалива, см³; $F = 0,99$ – фактор розчину тіосульфату натрію $0,1$ моль/дм³; m – маса випробуваного біопалива, г.

При визначенні чисел омилення досліджуваних біопалив використовують формулу:

$$Q_O = \frac{28,055F(V - V_1)}{m} \frac{\text{мг КОН}}{\text{г}}, \quad (10)$$

де $28,055$ – маса гідроксиду калію, еквівалентна 1 см³ розчину соляної кислоти концентрації c (HCl) = $0,5$ моль/дм³, мг; $F = 1,015$ – відношення фактичної концентрації розчину соляної кислоти c до номінальної концентрації; V і V_1 відповідно об'єми розчину соляної кислоти, витрачені на нейтралізацію контрольної $V_{cp} = 21$ см³ і випробуваної проби, см³; m – маса випробуваного біопалива, г. У табл. 4 наведені розрахункові значення Q_B^E , округлені до найближчого значення, кратного 10 кДж/кг, і абсолютна похибка δ визначення вищої кислоти згоряння біопалив за Бертрамом.

Для обчислення вищої (нижчої) теплоти згоряння за Д.І. Менделєєвим [6] необхідне знання відносних часток вуглецю С, водню Н і кисню О в досліджуваних біопаливах. Для цього методом рідинної хроматографії визначається жирнокислотний склад (ЖКС) зразків палив [7], [18], результати якої представлені у табл. 5. Причому, зразки біопалив № 5 і № 6 отримані за технологією виробництва метилових ефірів [11] відповідно до зразків № 2 та № 4. При визначенні ЖКС зразків № 2 та № 4 їх попередньо піддавали обробці метанолом [18]. Незначна розбіжність у якісному та кількісному складі метилових ефірів жирних кислот відповідно для зразків № 2, № 5 та № 4, № 6 можна пояснити деякою відмінністю [17], [18] технологій реакції переетерифікації ацилглицеринів досліджуваних біопалив. Аналогічна розбіжність у ЖКС вихідної ріпакової олії і біодизеля (МЕРО), отриманого з нього, відзначається в роботі [19].

Таблиця 5

Жирнокислотний склад досліджуваних зразків біопалива

Жирні кислоти, % \ Зразки палив	1	2	3	4	5	6
С 16:0	4,5002	3,0856	10,7201	4,0760	3,0315	3,9912
С 16:1	0,2552	0,1425	-	0,1985	0,1386	0,2305
С 16:2	0,0615	-	-	-	-	0,0540
С 17:0	0,0598	-	-	-	-	0,0473
С 17:1	0,1103	-	-	-	0,0851	0,1490
С 18:0	1,9077	1,3781	4,1098	1,5680	1,3616	1,5724
С 18:1	61,9624	23,0861	24,7071	49,5419	23,6453	48,0660
С 18:2	18,1013	20,5419	51,7292	19,2891	20,1212	19,0328
С 18:3	10,5674	8,4299	7,3375	9,5142	8,2954	9,4281
С 20:0	0,5208	0,6349	0,3953	0,6058	0,6339	0,6366
С 20:1	1,2014	8,3155	0,2552	4,9161	8,2764	5,2588
С 20:2	-	0,5141	-	0,2468	0,5030	0,2624
С 21:0	0,0697	0,1232	-	-	0,1131	0,0514
С 22:0	0,2287	0,6345	0,5104	0,3511	0,6321	0,3992
С 22:1	0,2385	31,2772	-	9,0469	30,9616	10,8191
С 22:2	-	0,4211	-	0,1366	0,5848	-
С 24:0	0,0865	0,4105	0,2355	0,1471	0,4734	-
С 24:1	0,1285	1,0050	-	0,3619	1,1430	-

На підставі даних, наведених у таблиці 5, були розраховані фізико-хімічні показники досліджуваних зразків біопалив (табл. 3). Там же наведена вища Q_B^M й нижча Q_H^M теплоти згоряння, обчислені за формулою Д.І. Менделєєва, Q_H^E – нижча теплота згоряння біопалив, розрахована за Q_S^d . Результати розрахунків округлені до найближчого значення, кратного 10 кДж/кг. У табл. 3 наведені також:

– нижча теплота згоряння 1 кмоль пальної суміші (для коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1,8$):

$$Q_H^{cm} = Q_H^E / M_1 = Q_H^E / \alpha M_0, \text{ кДж/кмоль};$$

– нижча теплота згоряння 1 м³ пальної суміші:

$$Q_H^{cmm} = Q_H^E / (22,4 M_1) = Q_H^E / (22,4 \alpha M_0), \text{ кДж/м}^3;$$

– нижча теплота згоряння 1 кг пальної суміші:

$$Q_H^{cmk} = Q_H^E / (M_1 + 1) = Q_H^E / (\alpha L_0 + 1), \text{ кДж/кг}.$$

Висновки

1. Отримано унікальні експериментальні дані з вищої теплоти згоряння біопалив (ріпакової та соєвої олій, а також метилових ефірів ріпакової олії – RME (Німеччина) і MEPO (Україна)).

2. Дані експерименту добре співвідносяться з даними вітчизняних та закордонних дослідників.

3. Одержали підтвердження дані розрахункових досліджень автора про те, що високоерукова ріпакова олія та її похідні мають більш високий енергетичний потенціал, ніж низькоерукова ріпакова олія.

4. Не більше 0,4 % складає розбіжність у значеннях вищої теплоти згоряння, визначеної калориметричним методом і розрахованої за рівняннями Бертрама та Менделєєва.

5. Вищу (нижчу) теплоту згоряння біопалив можна визначати за йодним числом, числом омилення та жирнокислотним складом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. W. Korbitz. New trend in developing Biodiesel World-wide. // Asia Bio-Fuels. Evaluating & Exploiting the Commercial Uses of Ethanol Fuel Alcohol & Biodiesel. Singapore / 22-23 April 2002.
2. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Ільченко А.В. Дослідження процесів утворення пальної суміші на основі ріпакової олії // Вісник ЖІТІ. – 2003. – № 1 (24) – С. 21–24.
3. Biodiesel: the clean, domestically produced, alternative to petroleum <http://biodiesel.com>
4. ГОСТ 21261-91. НЕФТЕПРОДУКТЫ. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. – Издательство стандартов, 1992. – 23 с.
5. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
6. Семёнов В.Г. Определение теплоты сгорания биотоплив растительного происхождения // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса, 2001. – Вып. 5. – С. 218–221.
7. Семёнов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Збірка наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – № 3 – С. 177–197.
8. Рафальсон А.Б. Разработка усовершенствованной технологии рафинации рапсового масла: Автореферат дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Л., 1987. – 28 с.
9. ГОСТ 8988 – 77. МАСЛО РАПСОВОЕ. Технические условия. – М. – 22 с.
10. ГОСТ 7825 – 76. МАСЛО СОЕВОЕ. Технические условия. – М. – 10 с.
11. ДСТУ 3868-99. ТОПЛИВО ДИЗЕЛЬНОЕ. Технические условия. – Киев.: Госстандарт Украины, 1999. – 11 с.
12. Стандарт Германии DIN V 51606. Жидкие топлива. Дизельное топливо из метиловых эфиров растительных масел (RME). – 3 с.
13. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Под. ред. А.С. Орлина, М.К. Круглова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.

14. Практическое руководство по переработке и использованию сои / Под редакцией Д. Эриксона: Пер. с англ. под ред. М. Доморощенковой. – «Макцентр. Издательство», Москва, 2002. – 672 с.
15. ГОСТ 2070-82. НЕФТЕПРОДУКТЫ СВЕТЛЫЕ. Метод определения йодных чисел и содержания непредельных углеводов. – М.: Госстандарт, 1990. – 7 с.
16. ГОСТ 5478-64. МАСЛА РАСТИТЕЛЬНЫЕ И НАТУРАЛЬНЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ. Определение числа омыления. – М.: Госстандарт, 1990. – 4 с.
17. *Тютюнников Б.Н.* Химия жиров. – М.: Изд-во «Пищевая промышленность». – 632 с.
18. ГОСТ 30418-96. МАСЛА РАСТИТЕЛЬНЫЕ. Метод определения жирнокислого состава. – Минск: Госстандарт, 1998. – 9 с.
19. *Mittelbach M., Worgetter M., Pernkopf J., and Junek H.*, – Diesel fuel derived from vegetable oils: preparation and use of rape oil methyl ester. *Energy Agric.*, 1983. – P. 368–384.

СЕМЕНОВ Володимир Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ДВЗ Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Наукові інтереси:

- процеси впорскування, випарювання, сумішоутворення та згоряння паливно-повітряної суміші у циліндрі дизеля;
- дослідження фізико-хімічних показників альтернативних палив рослинного та тваринного походження.

Тел. р.: (0572) 40-08-48,

E-mail: vsemen@land.ru

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

Наукові інтереси:

- проблеми міцності та руйнування матеріалів;
- комп’ютерне моделювання;
- альтернативні види палив рослинного походження.

Подано 05.10.2003