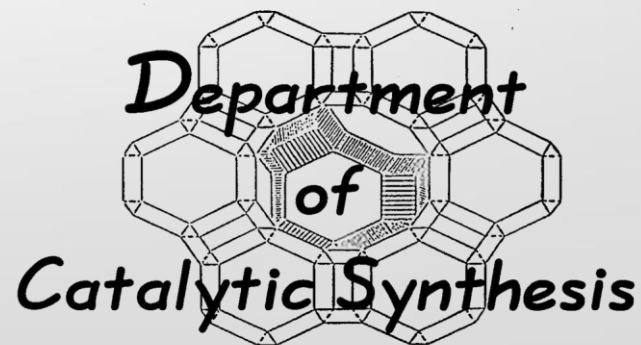




*ІНСТИТУТ БІООРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ ТА НАФТОХІМІЇ  
ім. В.П. КУХАРЯ НАН УКРАЇНИ*

# Етилові естери жирних кислот як вітчизняне українське біодизельне паливо. Чи існують якісь перспективи?

Сергій Коновалов, Степан Зубенко, Любов Патриляк, Віталій Євдокименко, Дмитро Каменських, Євген Полункін, Анжела Яковенко, Давід Давітадзе, Антон Левтєров



# Біодизельне паливо



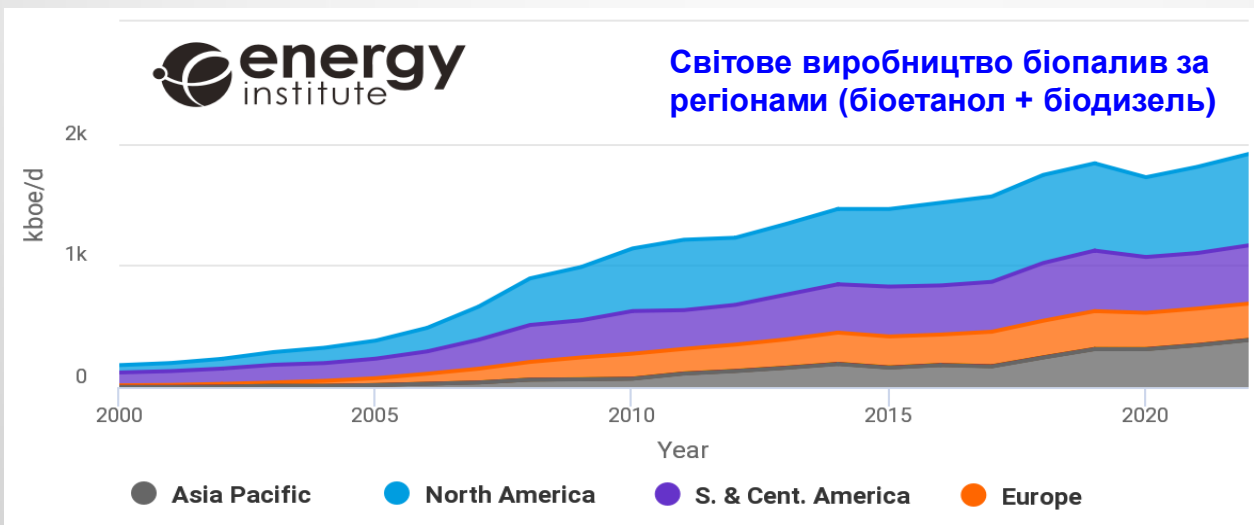
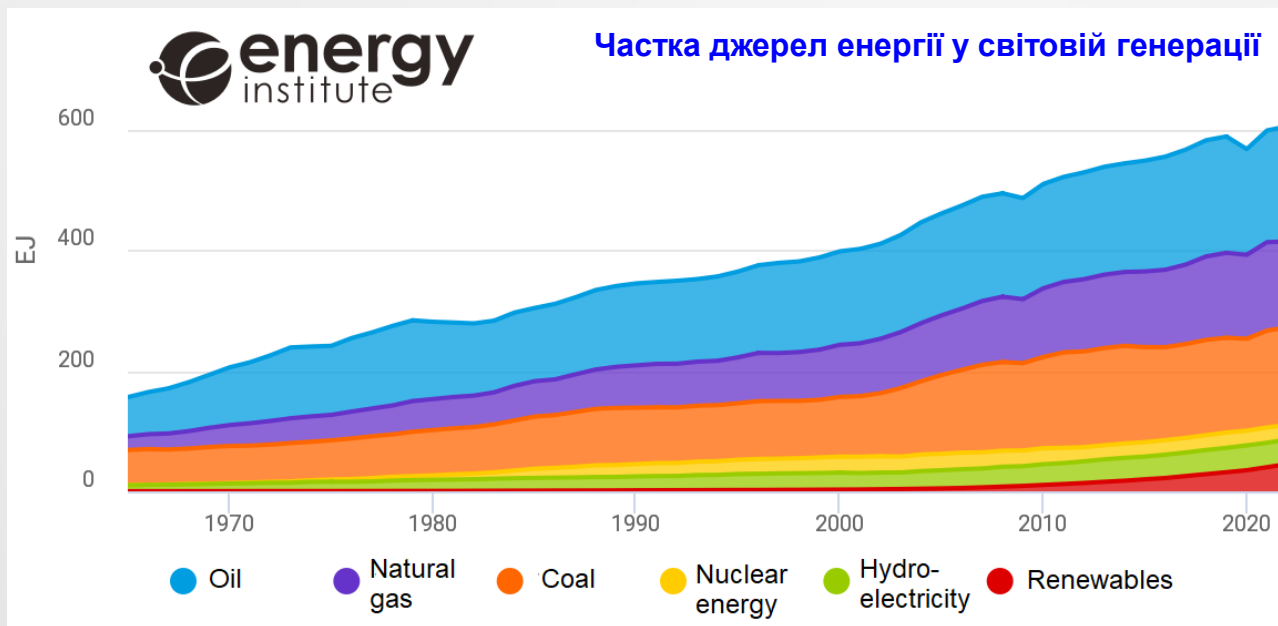
«Класичний» біодизель - метилові естери довголанцюгових жирних кислот (переважно C16-C18)  
(«FAME» – «Fatty acid methyl esters»)

Спосіб виробництва – каталітична переестерифікації олій чи жирів, рідше естерифікація жирних кислот

«Відновлюваний» дизель - насичені вуглеводні лінійної та розгалуженої будови (переважно C12-C18)  
(«HDRD» – «hydrogenation derived renewable diesel»; також «HVO» – hydrotreated vegetable oils, «зелений» дизель тощо)

Спосіб виробництва – каталітичне гідрування олій, жирів, жирних кислот, талової олії (відходи целюлозно-паперової промисловості)

# Статистичні дані огляду світової енергетики (Energy Institute, London, 2023)



Частка біопалив у світовому виробництві по рокам

	2012	2016	2020	2022
біоетанол	66,6	64,1	56,7	55,7
біодизель	34,4	35,9	43,3	44,3

**Статистичні дані про виробництво та споживання біодизельного палива в країнах ЄС за даними щорічного огляду Міністерства сільського господарства США [Flach, B., Lieberz, S., Bolla S. A.: Biofuels Annual 2022 (European Union). USDA Foreign Agricultural Service. June 13, 2022)]**

<b>Table 10. Biodiesel (FAME) &amp; Renewable Diesel (HDRD) (Million Liters)</b>									
Calendar Year	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022f
<b>Beginning Stocks</b>	500	550	540	530	590	900	670	680	700
<b>Production</b>	13,944	13,555	13,058	14,464	15,200	16,260	15,784	15,590	15,460
<i>&gt;HDRD Production</i>	2,151	2,310	2,029	2,421	2,705	2,921	3,604	3,490	3,560
<b>Imports</b>	820	817	958	1,669	4,150	4,289	3,545	3,100	3,250
<b>Exports</b>	1,139	863	841	1,364	2,545	4,067	2,229	1,059	1,100
<b>Consumption</b>	13,575	13,519	13,185	14,709	16,495	16,712	17,090	17,611	17,610
<b>Ending Stocks</b>	550	540	530	590	900	670	680	700	700
<b>Production Capacity, Biodiesel (FAME) (Million Liters)</b>									
Number of Biorefineries	212	193	186	179	178	172	173	170	170
Nameplate Capacity	21,861	21,156	20,704	20,050	20,299	19,513	19,302	19,522	19,340
Capacity Use	53.9%	53.2%	53.3%	60.1%	61.6%	68.4%	63.1%	62.0%	61.5%
<b>Production Capacity, Renewable Diesel (HDRD) (Million Liters)</b>									
Number of Biorefineries	10	11	11	13	14	15	15	16	16
Nameplate Capacity	2,831	3,395	3,395	3,606	3,609	5,262	5,399	5,287	5,488
Capacity Use	76.0%	68.0%	59.8%	67.1%	74.9%	55.5%	66.8%	66.0%	64.9%
<b>Feedstock Use for Biodiesel (FAME) + Renewable Diesel (HDRD) (1,000 MT)</b>									
Rapeseed oil	6,300	6,300	5,850	6,300	6,000	6,200	5,600	5,900	6,000
UCO	1,570	1,950	2,200	2,400	2,600	2,980	3,330	3,230	3,700
Palm oil	2,060	2,000	2,020	2,425	2,330	2,250	2,620	2,550	1,800
Soybean oil	860	500	550	700	1,200	1,290	1,160	930	750
Animal fats	950	1,200	1,000	940	1,050	1,130	1,060	1,150	1,150
Sunflower oil	320	210	250	240	240	260	240	210	180
Other (pine oil, tall oil, free fatty acids)	310	415	304	429	607	768	602	645	714

**Для порівняння (2022 р.)**

Індонезія **9 млн. тонн (~28 % від споживання on/offroad)**

ЄС **13,5 млн. тонн (~7 % від споживання on/off road)**

# Біодизельне паливо в Україні



# Державні стандарти України, що регламентують вимоги до якості палив для дизельних двигунів

## НАЗВА НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТУ

**ДСТУ 7178:2010** Паливо альтернативне. **Естери етилові** жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання

**ДСТУ 6081:2009** Паливо моторне. **Ефіри метилові** жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги

**ДСТУ 7688:2015** Паливо дизельне Євро. Технічні умови

**ДСТУ 8695:2016** Паливо альтернативне для дизельних двигунів. Технічні умови

## ВИД ПАЛЬНОГО

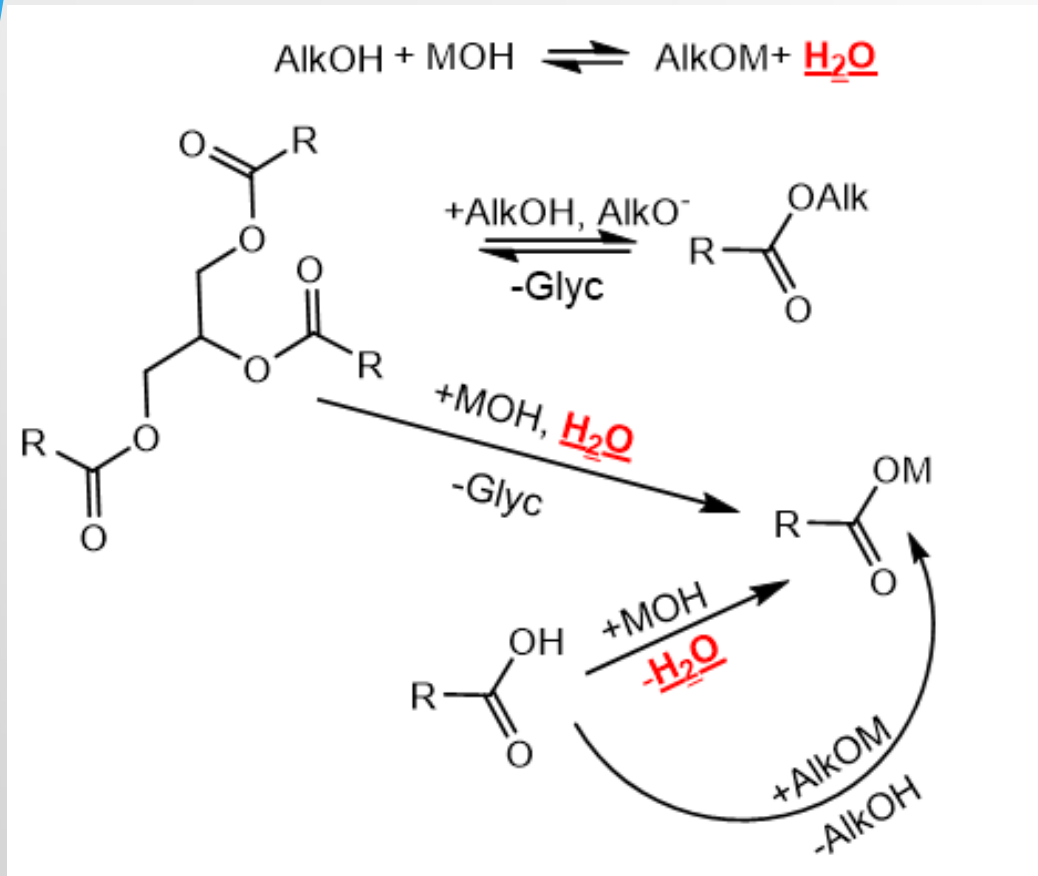
Етанольний біодизель **B100**

Метанольний біодизель **B100**

Мінеральне дизпаливо зі вмістом до 5 % (**B5**) чи 7 % (**B7**) метилових чи етилових естерів

Сумішеве біодизельне паливо **B10-B30** зі вмістом 7-30 % метилових чи етилових естерів

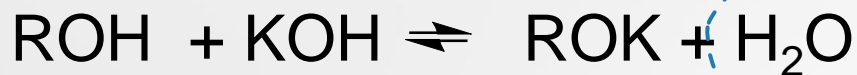
# Лужна переестерифікація триацигліцеролів олій



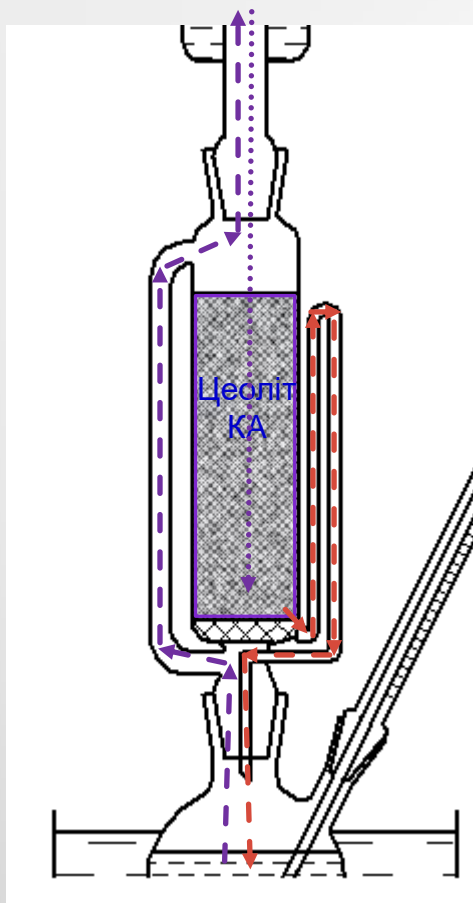
**R-C=O** – ацильний ланцюг жирної кислоти,  
**Alk** – алкільний ланцюг спирту,  
**M** – атом лужного металу,  
**Glyc** – гліцерин,

	pKa (25 °C/H <sub>2</sub> O)
H <sub>2</sub> O	14,0
CH <sub>3</sub> OH	15,4
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	16,0

# Одержання етилату калію як ефективного лужного каталізатора для виробництва етанольного біодизелю



Селективне Видалення  $\equiv$  Синтез алкоксиду



Каталітичний розчин етилату калію (**KOEt**)

- спиртово-водні пари (~98 % етанолу)
- спиртово-водні пари після конденсації
- зневоднений спирт



# Одержання етилату калію як ефективного лужного каталізатора для виробництва етанольного біодизелю



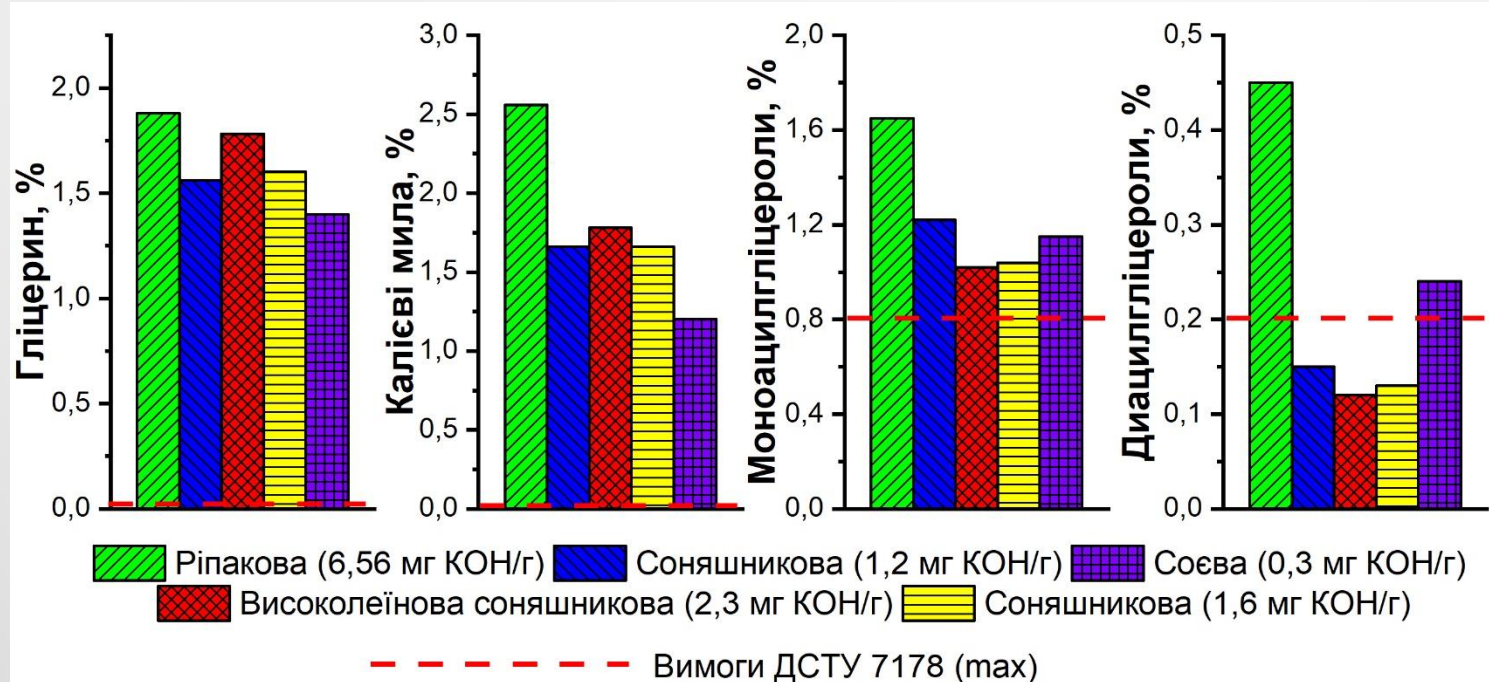
# Жирнокислотний склад та кислотність зразків олій

Олія	Кислотне число, мг КОН/г	Жирнокислотний склад					
		C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	Інші
Соняшникова нерафінована-(1)	1,20	6,0	2,1	38,4	50,3	-	3,2
Соняшникова нерафінована-(2)	1,60	6,2	3,8	31,7	56,4	-	1,9
Соняшникова нерафінована високоолеїнова	2,30	3,8	2,0	82,7	9,5	-	2,0
Соняшникова рафінована	0,07	6,7	2,8	33,0	54,6	-	2,9
Сосва нерафінована	0,30	10,4	4,1	34,9	46,1	2,2	2,3
Ріпакова нерафінована	6,56	5,3	1,9	62,8	18,8	7,6	3,6
Соняшникова ВКО-(1)	0,80	6,9	4,9	30,7	54,7	-	2,8
Соняшникова ВКО-(2)	2,30	7,1	3,5	27,7	59,3	-	2,4
Соняшникова ВКО-(3)	5,60	6,9	2,8	33,2	53,7	-	3,4
Соняшникова високоолеїнова ВКО	1,04	4,4	2,6	81,7	6,1	-	2,8

\*ВКО - відпрацьована кулінарна олія  
вміст вологи у всіх зразках не перевищував 0,05-0,07 %

Згідно ДСТУ 7178 та ДСТУ 6081, «сировина для виробництва естерів має відповідати чинним в Україні нормативним документам » на соняшкову, соєву, ріпакову олію та тваринний жир

# Вміст небажаних компонентів у естровому шарі після лужної переестерифікації свіжих нерафінованих олій етанолом



## Вимоги нормативних документів до вмісту основних компонентів у біодизельному паливі

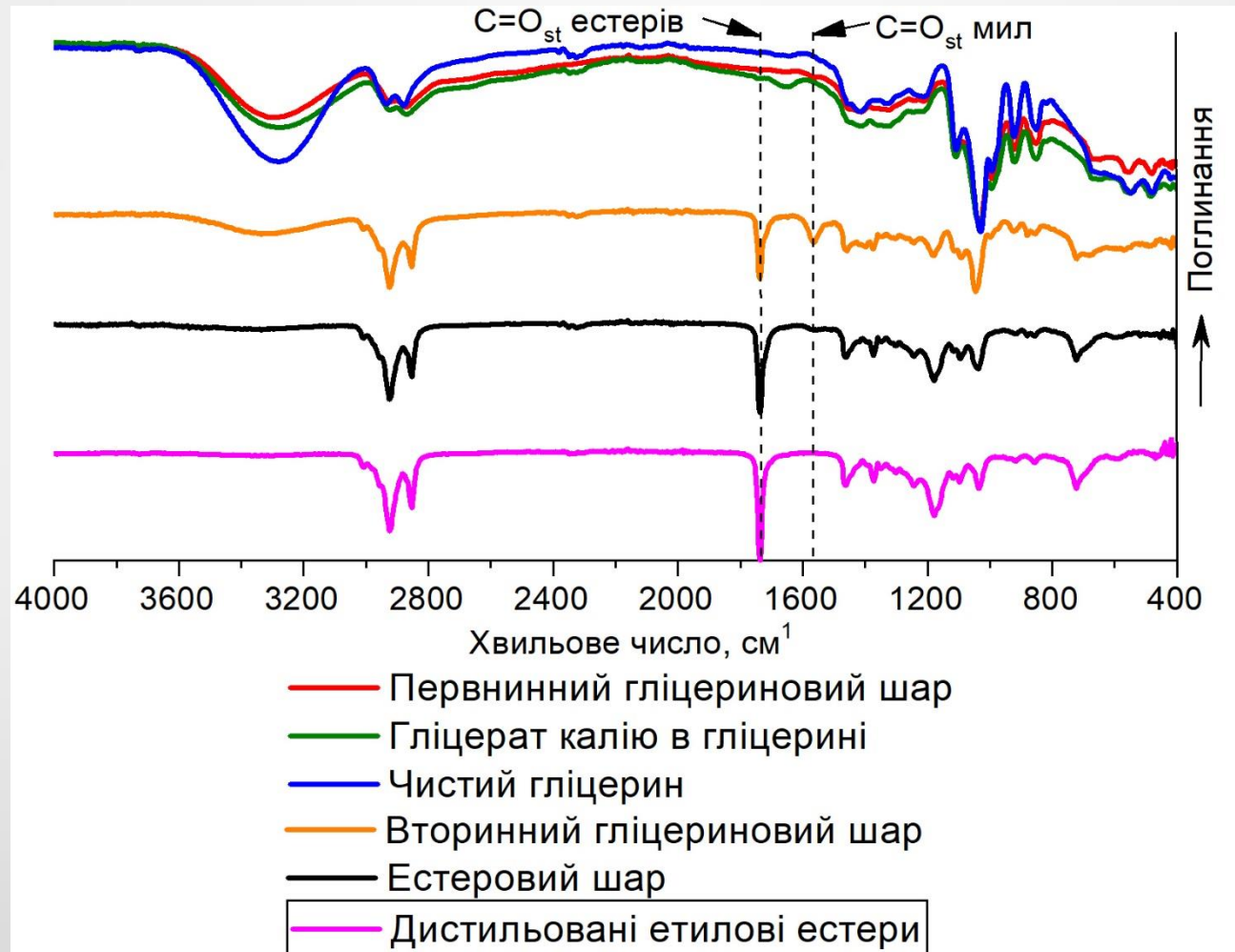
Характеристика	EN14124 (метилові естери)	ДСТУ 7178 (етилові естери)
Вміст етилових естерів, %	≥96,5	≥96,5
Вміст етанолу, %	≤0,20	≤0,20
Вміст гліцерину, %	≤0,02	≤0,02
Вміст моноацилгліцеролів, %	≤0,70	≤0,80
Вміст диацилгліцеролів, %	≤0,20	≤0,20
Вміст триацилгліцеролів, %	≤0,20	≤0,20
Кислотне число, мг КОН/г	≤0,50	≤0,50

### Умови синтезів

- співвідношення етанол : триацилгліцероли олії **5.5 моль/моль (0,28 кг/кг)**
- **16-18 °С**;
- **1,1 %<sub>екв</sub> КОН** етилату + надлишок на нейтралізацію вільних жирних кислот (0.1 %<sub>екв</sub> КОН на кожні 1 мг КОН/г величини кислотного числа);
- **60 хв**

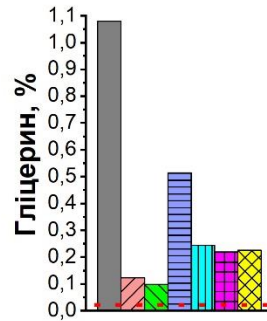
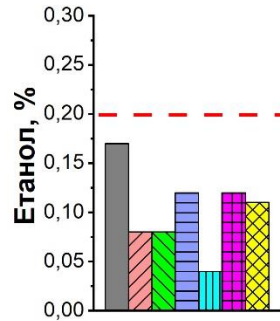
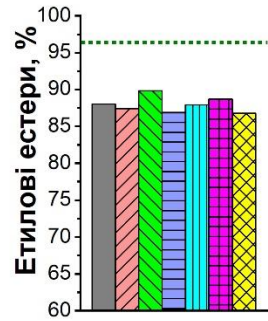
Переестерифікація проводилася безводним біоетанолом (<0.1 % H<sub>2</sub>O, близько 1 % денатуруючих граничних домішок)  
Завантаження етилату представлено у еквіваленті КОН відносно маси олії

# FTIR(ATR)-спектри продуктів переестерифікації використаних кулінарних олій етанолом

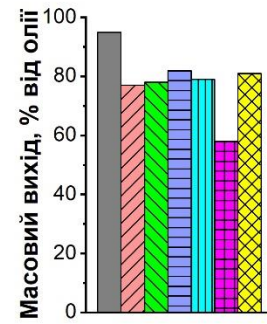
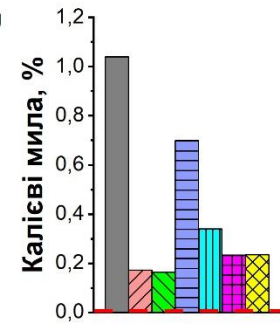
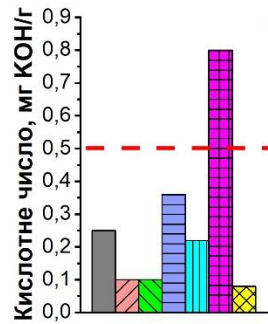
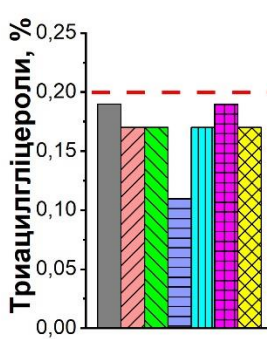
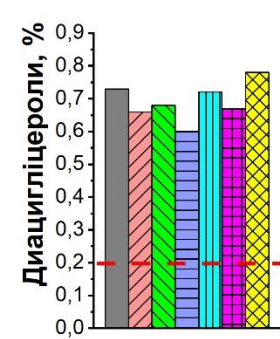
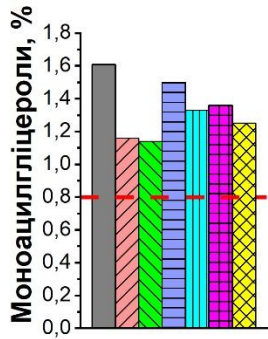


# Зміна складу зразків етилових естерів використаної кулінарної олії в результаті «сухої відмивки» з використанням доступних матеріалів

13



- - - Вимоги ДСТУ 7178 (min)  
- - - Вимоги ДСТУ 7178 (max)



**Умови синтезу**

- співвідношення етанол : триацилгліцероли олії **4.5 моль/моль (0,23 кг/кг)**
- **18 °C**;
- **1,12 %<sub>екв</sub> КОН** етилату;
- **60 хв**

Переестерифікація проводилася безводним біоетанолом (<0.1 % H<sub>2</sub>O, близько 1 % денатуруючих органічних домішок)  
Завантаження етилату представлено у еквіваленті КОН відносно маси олії

**Умови «сухої відмивки»**

- **5 %** адсорбента (Аеросил – 2 %)
- **50 °C**
- **30 хв** з перемішуванням

# Очистка етилових естерів відпрацьованих кулінарних олій

## Умови синтезів

**EE-1:** ВКО (2.3 мг КОН/г);  $R_{AO} = 4.5$ ; 18 °С; 1,60 %<sub>екв</sub> КОН етилату; 45 хв  
**EE-2:** ВКО (2.76 мг КОН/г);  $R_{AO} = 4.5$ ; 18 °С; 1,38 %<sub>екв</sub> КОН етилату; 45 min  
**EE-3:** ВКО (5.0 мг КОН/г);  $R_{AO} = 4.5$ ; 18 °С; 1,60 %<sub>екв</sub> КОН етилату; 45 min  
**EE-4:** ВКО (1,42 мг КОН/г);  $R_{AO} = 5.0$ ; 18 °С; 1,25 %<sub>екв</sub> КОН етилату; 45 min

Переестерифікація проводилася безводним біоетанолом (<0.1 % H<sub>2</sub>O, близько 1 % денатуруючих органічних домішок)

Завантаження етилату представлено у еквіваленті КОН відносно маси олії та включає відповідний надлишок на нейтралізацію вільних жирних кислот (0.1 %<sub>екв</sub> КОН на кожні 1 мг КОН/г величини кислотного числа)

$R_{AO}$  – молярне співвідношення етанол : триацилгліцероли олії



Характеристика	Зразок				Вимоги ДСТУ 7178
	EE-1	EE-2	EE-3	EE-4	
Молярний ефективний вихід естерів, %	81,7	82,9	77,5	79,2	-
Масовий вихід верхнього шару після відгонки етанолу, % відносно олії	97,4	без відгонки спирту	87,5	без відгонки спирту	-
Масовий вихід дистиляту, % відносно олії	77	78	65	60	-
Склад дистильованих естерів					
Кислотне число, мг КОН/г	0,14	0,20	0,08	0,36	≤0,50
Вміст етилових естерів, %	97,6	98,7	99,2	98,2	≥96,5
Вміст етанолу, %	0,04	0,05	0,05	0,04	≤0,20
Вміст гліцерину, %	0,050	0,008	0,128	0,034	≤0,02
Вміст моноацилгліцеролів, %	0,08	0,05	0,08	0,04	≤0,80
Вміст диацилгліцеролів, %	0,01	0,01	0,00	0,03	≤0,20
Вміст триацилгліцеролів, %	0,00	0,00	0,00	0,00	≤0,20

# Порівняння способів очистки етилових естерів, одержаних лужною переестерифікацією високоякісної свіжої соняшникової олії на етилаті калію

Характеристика	Сирі естери (естеровий шар)	Відмивка водою	Видалення спирту під вакуумом	«Суха відмивка» адсорбентами (після видалення етанолу під вакуумом)				Відмивка водою + вакуумна дистиляція	Вимоги ДСТУ 7178
				KУ-2-8	Purolite СТ275	тальк	Активованний антрацит		
Колір	Жовитий	Світло-жовтий	Жовтий	Жовтий	Ледь жовтий	Жовтий	Світло-жовтий	Без кольору	-
Вміст естерів, %	83,8	96,7	95,8	н/а	н/а	н/а	н/а	97,6	≥96,5
Вміст гліцерину, %	1,56	0,001	0,145	0,001	0,000	0,008	0,000	0,012	≤0,02
Вміст МГ, %	1,22	0,87	0,91	0,91	0,19	0,85	0,72	0,19	≤0,80
Вміст ДГ, %	0,15	0,17	0,26	0,29	0,30	0,30	0,33	0,05	≤0,20
КЧ, мг КОН/г	-	0,24	0,24	0,12	0,36	0,04	0,16	0,14	≤0,50
Вміст мил, %	1,66	не детектується	0,069	≤0,044	≤0,058	≤0,023	≤0,045	0	≤0,004
Вміст К, %	0,20	не детектується	0,0084	≤0,0053	≤0,0070	≤0,0028	≤0,0055	0	≤0,0005 (K+Na)

### Умови «сухої відмивки»

- 10 % адсорбента
- 50 °С
- 30 хв з перемішуванням

# Властивості сумішевого біодизельного палива В30 та його компонентів

## Сумішеве паливо (В30)

Назва показника	Вимоги ДСТУ	Величина
1. Цетанове число	Не менше 51 (Л) Не менше 49 (З)	51
2. Густина (15 °С), кг/м <sup>3**</sup>	820 - 860	847
3. Кінематична в'язкість (40 °С), мм <sup>2</sup> /с	2,0 - 4,5	3,1
4. Температура спалаху в закритому тиглі, °С	Не нижче 55	72
5. Гранична температура фільтрованості, °С	Не вище -5 (Л) Не вище -20 (З)	-18
6. Зольність, % мас.**	Не більше 0,01	0
7. Масова частка води, %	Не більше 0,02	0,01-0,015
8. Масова частка механічних домішок, мг/кг	Не більше 24	0
9. Корозія мідної пластинки, клас	Не більше 1	1
10. Кислотне число, мг КОН/г	Не більше 0,2	0,11
13. Коксованість 10% залишку, % (мас.)	Не більше 0,30	0,13
14. Об'ємна частка естерів, %	20 - 30	27,1
15. Фракційний склад: - за t = 250 °С випаровується, %об., - за t = 250 °С випаровується, %об., - - 95% об. переганяється за температури °С	Не більше 65 Не менше 85 Не вище 360	31 > 85 346
16. Окиснювальна стабільність, г/м <sup>3</sup>	Не більше 25	22

## Етилові естери (В100)

Показник	Величина	Вимоги ДСТУ 7178
Вміст естерів, %	97,6	≥96,5
Вміст гліцерину, %	0,012	≤0,02
Вміст моноацил-гліцеролів, %	0,19	≤0,80
Вміст диацил-гліцеролів, %	0,05	≤0,20
Густина (15 °С), г/см <sup>3</sup>	873	860-900
Кінематична в'язкість (40 °С), мм <sup>2</sup> /с	4,17	3,5-5,0
Кислотне число, мг КОН/г	0,14	≤0,50
Йодне число, г I <sub>2</sub> /100 г	104,5	≤120


## ДП-3-Євро5-В0

Показник	Величина	Вимоги ДСТУ 7688
5. Гранична температура фільтрованості, °С	-16	Не вище -5 (Л) Не вище -20 (З)
15. Фракційний склад: - за t = 250 °С випаровується, %об., - за t = 250 °С випаровується, %об., - 95% об. переганяється за температури °С, не вище	61 97 270	Не більше 65 Не менше 85 Не вище 360



# Результати випробувань зразка етанольного біодизелю, одержаного з використаної олії соняшника (Випробувальна лабораторія нафтопродуктів ДВНЗ УДХТУ)

Випробувальна лабораторія нафтопродуктів ДВНЗ УДХТУ	Протокол випробувань 1/Д	
Форма Системи Управління ФСУ-7.5/01.03-21	Сторінок 2	Сторінка 1

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач ВЛН ДВНЗ УДХТУ  
  
О.Б. Шевченко  
«15» червня 2022 р.

## Протокол випробувань № 1/Д від «15» червня 2022 р.

Лабораторія з випробувань нафтопродуктів ДВНЗ УДХТУ, атестат про акредитацію № 20769 від «22» грудня 2020 р., дійсний до 02 травня 2024 року, 49005, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 8, тел. (096) 887-79-05  
Проведено у закріпленій сфері акредитації **WFO- based ethyl esters**  
випробування зразка:

Заявник випробувань: **ІБОНХ ім. В.П. Кухаря НАН України, відділ №10**  
На відповідність: **ДСТУ 6081:2009**  
Зразок зареєстровано у ВЛН: **24.05.2022 р. за № 1/Д**  
Дата проведення лабораторних випробувань: **24.05-15.06.2022 р**  
Умови проведення випробувань: **Температура 21°C Вологість 72 % Атмосферний тиск 100,2 кПа**

## Результати випробувань

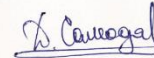
№ п/п та найменування показників вимірювання	Норми згідно НД	Результати випробувань	Позначення НД на метод випробувань
1	2	3	4
1. Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	860-890	880,8	ДСТУ ГОСТ 31072
2. Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, у межах	3,5-5,0	4,81	ДСТУ ГОСТ 33
3. Температура спалаху у закритому тиглі, °С, не менше ніж	120	174	ДСТУ ISO 2719
4. Коксованість 10 % залишку перегонки, %, не більше ніж	0,30	0,93	ГОСТ 19932
5. Цетанове число, не менше ніж	51	51	ДСТУ 8735
6. Зольність, % мас., не більше ніж	0,02	0,00042	ГОСТ 1461
7. Масова частка води, %, не більше ніж	0,05	відсутність	ГОСТ 2477
8. Вміст механічних домішок, мг/кг (%), не більше ніж	24 (відсутність)	відсутність	ГОСТ 6370
9. Випробування на мідній пластинці (3 год за температури 50 °С)	Витримус клас 1	витримус, клас 1	ГОСТ 6321
10. Кислотне число, мг КОН на г, не більше ніж	0,5	0,37	ГОСТ 5985
11. Йодне число, г йоду на 100 г, не більше ніж	120	4,09	ГОСТ 2070

Випробувальна лабораторія нафтопродуктів ДВНЗ УДХТУ	Протокол випробувань 1/Д	
Форма Системи Управління ФСУ-7.5/01.03-21	Сторінок 2	Сторінка 2

1	2	3	4
12. Фракційний склад:			
- температура початку перегонки, °С		205	
- 5 % переганяється при температурі °С		284	
- 10 % переганяється при температурі °С		303	
- 15 % переганяється при температурі °С		303	
- 20 % переганяється при температурі °С		311	ГОСТ 2177
- 25 % переганяється при температурі °С		316	
- 30 % переганяється при температурі °С		318	
- 35 % переганяється при температурі °С		322	
- 40 % переганяється при температурі °С		324	
кінєць кипіння °С		327	

Примітка: 1. Цей протокол випробувань стосується тільки наданого зразку підданого випробуванням.  
2. Протокол випробувань складено у двох примірниках на 1 аркуші кожний і направлено Заявнику та ВЛН ДВНЗ УДХТУ.  
3. Протокол не може бути використаний в рекламних цілях, повністю або частково передрукований чи розмножений без дозволу Заявника та ВЛН.  
4. Відповідальний за збір проби - Заявник.

Технік III категорії ВЛН



Д.О. Самодай

Провідний інженер ВЛН



А.О. Мусіна

## Склад зразка етилових естерів за результатами ГХ-аналізу (ІБОНХ ім. В.П. Кухаря НАН України)

Характеристика	Значення для зразка, %		Вимоги ДСТУ 7178
	Відмиті естери	Дистильовані естери	
<b>Вміст етилових естерів, %</b>	92,4	95,5	≥96,5
<b>Вміст гліцерину, %</b>	н/а	0,007	≤0,02
<b>Вміст МГ, %</b>	н/а	0,33	≤0,80
<b>Вміст ДГ, %</b>	н/а	0,10	≤0,20
<b>Вміст ТГ, %</b>	н/а	0,00	≤0,20
<b>Вміст етанолу, %</b>	н/а	0,02	≤0,20
<b>Вміст ВНТ, %</b>	0,20	0,20	-

## ВИСНОВКИ

Загальні перспективи виробництва біодизельного палива (включаючи метанольний біодизель) обмежені відсутністю відповідних державних політик, таких як встановлення обов'язкових вимог до рівня блендування та/чи різноманітних програм держпідтримки.

Технічні труднощі у виробництві етанольного біодизелю лужною переестерифікацією олій можуть бути подолані за умови застосування етилату калію як ефективного лужного каталізатора з вибором відповідних технік очистки. Останні, залежно від характеристик вихідної олії, можуть включати видалення спирту під вакуумом, відмивку водою, «суху відмивку» адсорбентами та вакуумну дистиляцію у різних поєднаннях.

**ДАЛІ – ДОДАТКОВІ СЛАЙДИ**

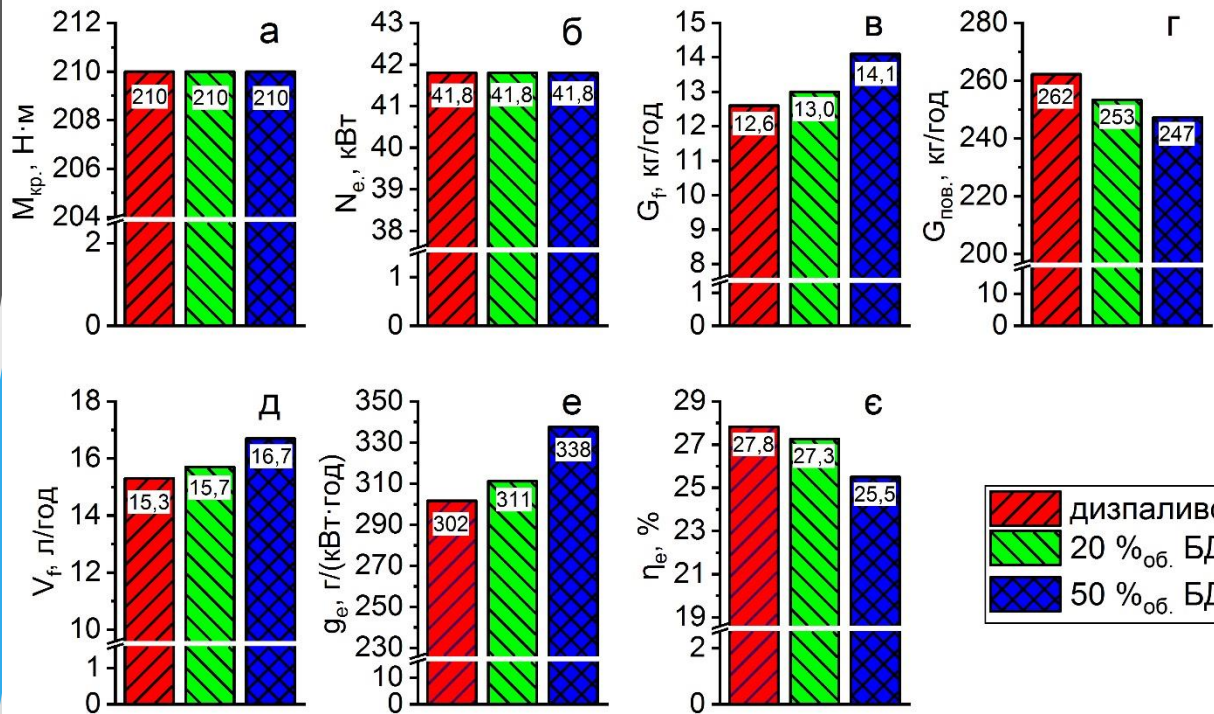
# Склад та властивості очищених різними способами естерів крупної партії 2022 р. (400 л, «БІОТЕХ ЛТД», с. Городище, Броварський район)

Характеристика	Спосіб очищення			Вимоги ДСТУ 7178
	пряма відмивка гарячою водопровідною водою	Відмивка гарячою водопровідною водою після видалення спирту під вакуумом (водострум. насос, 80 °C)	Вакуумна дистиляція (160 °-210 °C, ротаційний вакуумний насос) після видалення спирту під вакуумом (водострум. насос, 80 °C)	
Колір	світло-коричневий	світло-коричневий	без кольору	-
Вміст естерів, % (в т.ч. метилових, %)	93,8±0,8 (1,8)	94,8±1,4 (1,9)	99,8±2,7 (2,0)	≥96,5
Вміст гліцерину, %	0,00	0,00	0,037	≤0,02
Вміст спирту, %	<0,05*	<0,05*	<0,05*	≤0,2
Вміст моногліцеридів, %	0,90	0,21	0,05	≤0,8
Вміст дигліцеридів, %	0,87	0,22	0,00	≤0,2
Вміст мил, %	≤0,013	≤0,014	-	0,0005**
Кислотне число, мг КОН/г	0,38	0,14	0,04	≤0,50
Кінематична в'язкість (40 °C), мм <sup>2</sup> /с	4,33	4,33	4,21	3,50-5,00
Густина (15 °C), кг/м <sup>3</sup>	877	877	873	860-900

Склад та деякі властивості очищених зразків етилових естерів соняшникової олії (виготовлено на потужностях «БІОТЕХ ЛТД», с. Городище)

\* не аналізували за відсутністю необхідності, методи очистки гарантовано дають продукти зі слідовим вмістом етанолу чи повною його відсутністю

\*\* регламентується вміст (K+Na) не більше 5 мг/кг (наведена гранична величина в перерахунку на калієві мила)



## Стендові моторні випробування (суміші В20 та В50 на основі етилових естерів ВКО соняшника)

Рисунок 2.4 – Зміна крутного моменту (а), ефективної потужності (б), масової витрати палива (в), масової витрати повітря (г), об'ємної витрати палива (д), питомої ефективної витрати палива (е) та коефіцієнту корисної дії (є) під час роботи стендового дизельного двигуна на дизпаливі та біопаливних сумішах

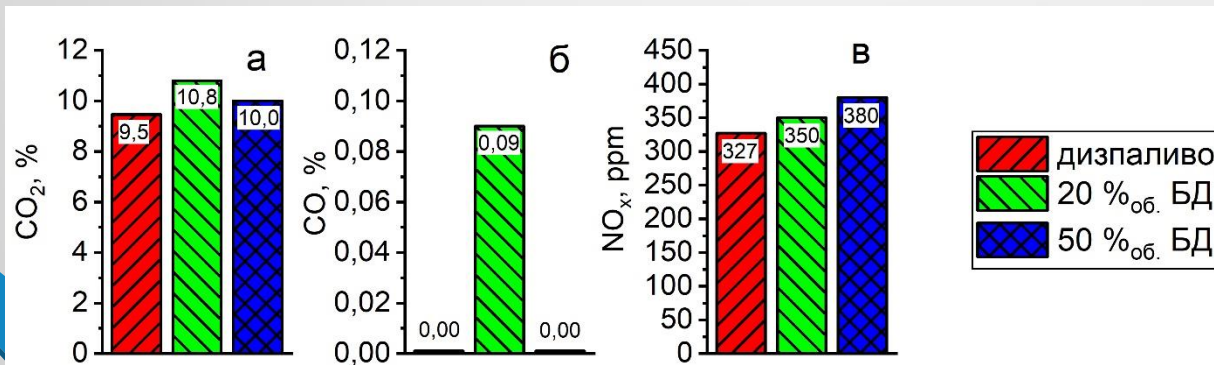


Рисунок 2.5 – Зміна вмісту  $CO_2$  (а),  $CO$  (б) та  $NO_x$  (в) у вихлопах стендового дизельного двигуна під час роботи на дизпаливі та біопаливних сумішах