

## ТЕМА 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

### Основні питання

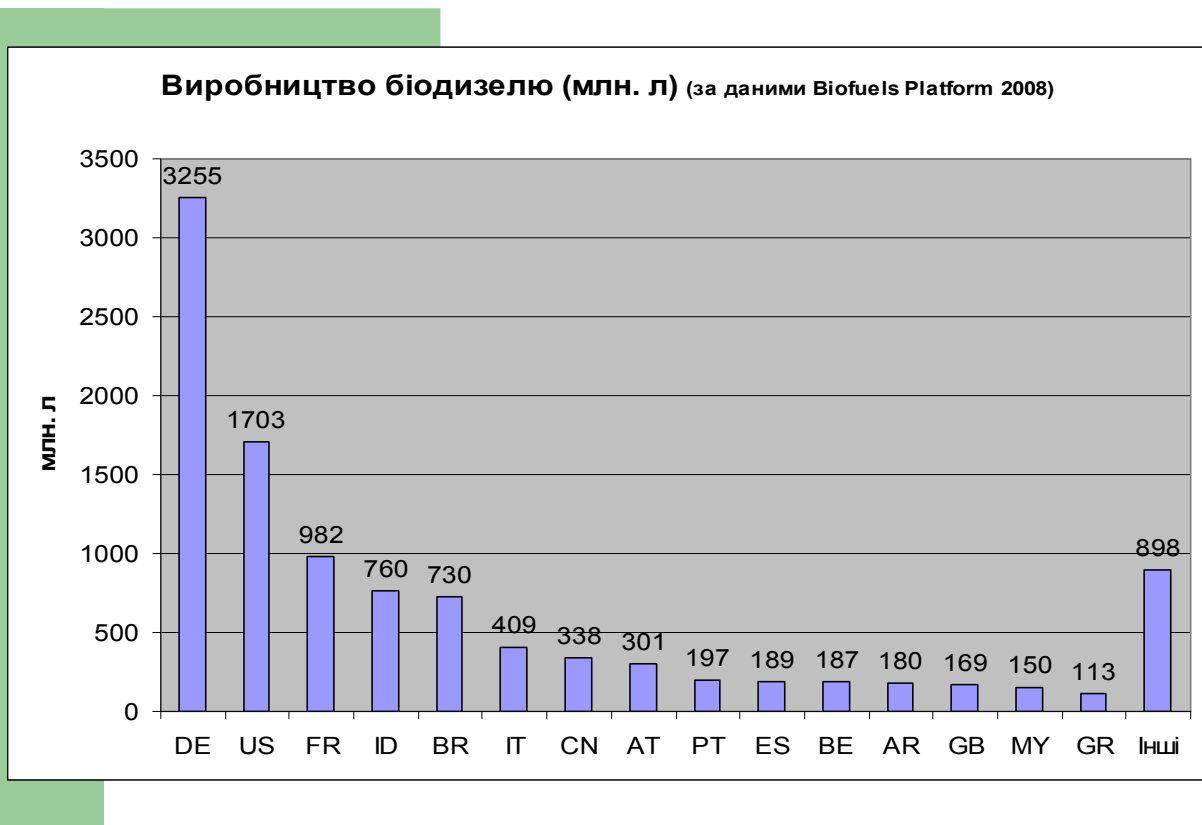
1. Загальні поняття та аспекти виробництва та використання біодизельного палива (біодизелю).
2. Переваги та недоліки виробництва та використання біодизелю.
3. Присадки рослинного походження.
4. Сировина для виробництва біодизелю.
5. Стан і потенційні можливості виробництва біопалива та теплоносіїв з рослинної олії.
6. Технології виробництва біодизелю.
7. Стандарти біодизельного палива.
8. Виробництво та споживання біодизельного палива у провідних країнах світу.
9. Перспективи виробництва біодизельного палива в Україні.

### 3.1. Загальні поняття, аспекти виробництва та використання біодизельного палива (біодизелю)

Найбільш розповсюдженим із біопалив у світі та й в Україні нині є **біодизель**. Згідно зі стандартами більшості країн світу до біологічного дизельного палива належать естери (ефіри) кислот, які одержують із рослинної олії (ріпакової, пальмової, соєвої, соняшnikової, кукурудзяної, арахісової тощо) і тваринних жирів.

На рис. 3.1 наведено досягнення країн з виробництва біодизелю у світі.

З перших спроб потрапити на ринок біопаливо наштовхнулося на жорстку опозицію автовиробників. Вони не давали гарантії на продукцію, власник якої заливав у бак біодизель замість традиційного палива нафтового походження. Але із зростанням цін на “чорне золото” та стурбованістю людства екологічними проблемами, власники автомобільних гігантів почали все уважніше ставитися до використання біопалива.



DE – Німеччина; ID – Індонезія; CN – Китай; ES – Іспанія; MY – Малайзія;  
 US – США; BR – Бразилія; AT – Австрія; BE – Бельгія; GR – Греція;  
 FR – Франція; IT – Італія; PT – Португалія; AR – Аргентина; TR – Туреччина.

Рис. 3.1. Схема виробництва біодизелю у світі

На комерційну основу виробництво біодизельного пального було поставлене на початку 90-х років XX століття, передусім у тих країнах, які оцінили реальні довготривалі вигоди від його застосування і прийняли відповідні державні рішення щодо його впровадження. У своїх останніх директивах Євросоюз прийняв план, згідно з яким на перспективу частка біопалива, що використовується європейським автопарком, повинна постійно зростати. Основною причиною, через яку Євросоюз увів такі жорсткі вимоги, стало зростання стурбованості населення екологічними проблемами (забруднення повітря великих міст, глобальне потепління, основною причиною якого вчені називають інтенсивне використання людиною викопного палива). За останні роки до названих проблем додалася ще одна – бажання забезпечити енерго-незалежність країн-членів ЄС. Саме ця причина сьогодні, як ніколи, є актуальною для України.

Термін “біодизель” досі не має чіткого визначення. Спочатку

біодизелем називали суміш 95-70% нафтового палива з 5-30% рослинної олії. Однак наявність гліцерину у таких сумішах призводила до утворення нагару на розпилювачах форсунок, закоксуванню поршневих кілець і прогоранню клапанів двигуна, що швидко виводило його з ладу (саме тому дехто вважає, що біодизель не можна використовувати у чистому вигляді, а тільки як добавку). Сьогодні **біодизелем** вважають біопаливо на основі рослинних і тваринних жирів (олій), а також продуктів їх естерифікації.

У наведеному посібнику цей термін трактується таким чином: **біопаливо дизельне** – паливо, виготовлене з використанням етилових або метилових ефірів жирних кислот, отриманих з рослинних олій та тваринних жирів.

### **3.2. Переваги та недоліки виробництва та використання біодизелю**

Використання біодизелю як моторного палива знижує емісію практично всіх шкідливих речовин, а саме: викиди вуглеводню у порівнянні з нафтовим аналогом скорочуються на 56%, твердих часток – на 55, оксидів вуглецю – на 43, оксидів азоту – на 5-10, сажі – на 60%. При цьому виділяється та сама кількість вуглекислого газу, що була спожита із атмосфери рослинами, які є похідною сировиною для виробництва олії. У чистому біодизельному паливі присутні не більше 15 ppm (проміле) сірки і воно не містить у собі ароматичних сполук. Завдяки природному походженню біодизельне паливо є менш токсичним, ніж нафтове, і при потраплянні у ґрунт чи воду не шкодить ні рослинам, ні тваринам.

Окрім того, біопаливо схильне до практично повного біологічного розпаду: у ґрунті або у воді мікроорганізми за 28 днів переробляють 99% біодизелю, що сприяє мінімізації забруднення річок та озер. Ефіри рослинних олій добре змішуються з нафтовим дизельним паливом, при цьому відсутнє розшарування навіть за наявності розчиненої води.

Серед інших **позитивних якостей біодизелю** є такі:

- якісні змащувальні властивості, яких не має традиційне паливо, при усуненні з нього сірчаних з'єднань. Біодизель, незважаючи на значно менший вміст сірки, завдяки своєму хімічному складу (зокрема, наявності кисню), має кращі змащувальні властивості;
- більш високе цетанове число (не менше 51);
- висока температура запалювання (вище 150°C), що робить біопаливо порівняно безпечним;

- повнота згоряння завдяки присутності до 10% кисню;
- значне (до 60%) збільшення ресурсу двигуна. Так, у Книгу рекордів Гіннеса у 2005 р. було занесено вантажний автомобіль, що проїхав на біодизелі B100 без ремонту оригінального двигуна понад 1,25 млн. км.

### **Біодизель має і недоліки, наприклад:**

- меншу енергоємність, а також більшу погодинну та питому ефективну витрату порівняно з нафтовим паливом. Оскільки теплота згоряння біодизелю нижча, ніж звичайного (37,8 і 42,7 МДж/кг відповідно), за об'ємом його потрібно на 9% більше (або на 15% за масою). У середньому 1 л біодизелю еквівалентний 0,9 л звичайного дизельного палива;
- відносно високу температуру помутніння. У холодну пору року необхідно або підігрівати біопаливо, що надходить з паливного бака в паливний насос, або працювати на паливних сумішах із допустимим вмістом біодизелю;
- агресивність стосовно гумових деталей;
- придатний не для всіх двигунів.

Можливі несправності двигуна та паливної системи при роботі на біодизельному пальному наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

### **Можливі несправності двигуна та паливної системи при роботі на біодизельному пальному**

<b>Складові та характеристики палива</b>	<b>Дія</b>	<b>Несправність</b>
Метиллові ефіри жирних кислот	Спричиняє висихання, затвердіння та руйнування гумових виробів, потрапляння в масло двигуна.	Протікання палива. Частіша зміна мастила двигуна.
Вільний метанол	Корозія алюмінію та цинку	Корозія паливної апаратури. Низька температура спалаху у закритій камері
Вільна вода в паливі	Перетворення метилових ефірів рослинної олії в жирні кислоти. Корозія. Збільшення електропровідності палива, розвиток мікроорганізмів.	Засмічення фільтра. Корозія паливної апаратури.
Вільний гліцерин	Корозія кольорових металів. Утворення осаду на рухомих частинах і на лакофарбовому покритті.	Засмічення фільтрів. Засмічення сопел паливних форсунок.
Моно- та	Така ж сама, як і гліцерину.	

дигліцериди		
Вільні жирні кислоти	Утворення електроліту та прискорення корозії цинку. Утворення солей органічних кислот. Утворення органічних з'єднань.	Корозія паливної апаратури. Засмічення фільтра. Відкладання осаду на деталях.
Збільшення густини палива	Збільшення тиску впорскування.	Зменшення ресурсу паливної апаратури.
Більша в'язкість за низької температури	Жорсткіші умови роботи паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Підвищене зношування деталей.	Підвищене зношування деталей ПНВТ. Погіршення показників впорскування палива. Необхідність застосування депресорних присадок.
Тверді частки	Погіршення змащувальної здатності палива.	Зниження ресурсу паливної апаратури.
Мурашина та оцтова кислоти	Корозія усіх металевих частин.	Корозія паливної апаратури.
Високомолекулярні органічні кислоти	Така ж сама, як і вільних жирних кислот.	Корозія паливної апаратури. Засмічення фільтра. Відкладання осаду на деталях.
Продукти полімеризації	Відкладання осаду, особливо в змішаних паливах.	Засмічення фільтра.
Фосфор	Вихід з ладу нейтралізаторів та каталізаторів системи випуску відпрацьованих газів двигуна.	Вихід з ладу, зниження рівня екологічної безпеки відпрацьованих газів.

Директивою Євросоюзу 2003/30 ES від 8 травня 2003 р. частка біопалива у загальному обсязі повинна становити у 2010 р. не менше 5,75%. На міждержавному рівні прийнято рішення про те, що з початку 2009 р., усі країни ЄС зобов'язані випускати та споживати біодизельне пальне. Своєю чергою керівництво цих країн надає виробникам біопалива різноманітні пільги.

Незначні затрати на адаптацію автотракторної техніки до застосування біодизельного пального у звичайному двигуні при використанні існуючих систем технічного обслуговування, засобів транспортування та заправки паливом сприяє успішному застосуванню його у сільському господарстві.

У табл. 3.2 наведено показники дизельних палив рослинного та мінерального походжень.

Таблиця 3.2

**Порівняльна характеристика якості дизельних палив  
рослинного та мінерального походжень**

Показники	Рафінади рослинних олій					Дизельне пальне
	соняшни-	соєва	ріпа-	бавов-	паль-	

	кова		кова	няна	мова	
Густина, кг/м <sup>3</sup>	924	923	915	916	913	839
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с, при 20°C	63	25	77	84	-	4
Нижча теплота згорання, МДж/л	36	39	37,2	34	38	42
Цетанове число	32	21	41	41	-	50
Температура спалаху, °C	320	220	305	318	295	60
Температура застигання, °C	-16	-11	-18	-4	-8	-22
Вміст сірки, %	0,005	0,005	0,005	-	-	0,5

У табл. 3.3 наведено елементарний склад ріпакової олії та дизельного пального.

Таблиця 3.3

### Елементарний склад ріпакової олії та дизельного палива

Показники	Вуглець	Водень	Кисень	Сірка
Ріпакова олія, %	78,3	12,8	8,8	0,005
Дизельне пальне, %	86,4	12,1	95	0,5

Як видно з табл. 3.3, за елементним складом у ріпаковій олії, порівняно з дизельним паливом, вміст вуглецю та сірки значно нижчий. Найбільша відмінність – порівняно високий вміст кисню у ріпаковій олії, водночас у дизельному пальному цей елемент відсутній.

Нині розроблено низку технологічних процесів виробництва біодизельного палива на основі рослинних олій. На підставі аналізу можна виділити три операції, які мають місце в усіх відомих технологіях приготування біодизельного палива: приготування суміші каталізаторів; змішування рослинної олії із сумішшю каталізаторів; відділення від рослинної олії, одержаного в результаті хімічної реакції, гліцерину. Однією з найскладніших є операція з перемішування рослинної олії і групи каталізаторів.

Найбільш простий і доступний спосіб використання ріпакової олії – розведення її дизельним паливом. Така суміш отримала назву біодизельної. Експериментальними дослідженнями вітчизняних та зарубіжних вчених встановлено: із зростанням вмісту ріпакової олії у біодизельній суміші час її згорання зростає, а при вмісті олії більше 60% процес згорання не встигає закінчитися до моменту відкриття випускного клапана двигуна. Для зменшення загального часу згорання у біодизельну суміш вводять активатори згорання (наприклад,

органічне з'єднання заліза – ферроцен).

Біопаливо із ріпакової олії використовується як моторне паливо у 2-х варіантах:

- сумішеве паливо, що складається із суміші ріпакової олії з дизельним паливом;
- у вигляді метилового ефіру ріпакової олії.

Сумішеве паливо має такі переваги: проста технологія отримання, котра реалізується у сільськогосподарських підприємствах без значних витрат; висока стабільність при збереженні; розчинність на молекулярному рівні.

Порівняльні фізико-хімічні характеристики ріпакової олії, сумішевого та дизельного палив наведені в табл. 3.4.

У порівнянні з дизельним паливом, у чистій ріпаковій олії густина більша на 9% , в'язкість вища у 25 разів, вміст сірки менший у 10 разів. У чистій ріпаковій олії температура застигання вища на 17°C, у порівнянні із зимовим паливом, та на 10°C нижча літнього дизельного пального. Сумішеве паливо за фізико-хімічними показниками займає проміжне положення.

Таблиця 3.4

#### Порівняльні фізико-хімічні характеристики палива

Показники	Ріпакова олія	Суміш олії та дизельного пального (25:75)	Дизельне паливо (ГОСТ 305-82 Л/З)
Нижча теплота згорання, МДж	37,2	38,3	41,8
Густина, кг/м <sup>3</sup> (20°C)	915	890	860/840
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с (20°C)	78	38,2	3,6/1,8 ... 5
Температура помутніння, °C	- 9	- 9	- 5/-25
Температура застигання, °C	-18	-16	-10/-35
Цетанове число	41	42	45
Йодне число, г/100г	9,7 ... 10,3	9,0	6,0
Кислотність, мг КОН/100 см <sup>3</sup>	6,1	6,0	5,0
Температура спалаху, °C	593	583	543
Вміст за масою, %:			
• вуглецю	78,3	80,3	86,4
• водню	12,8	12,9	12,1
• кисню	8,896	56,52	0
Здатність до 10 % залишку, % не більше	0,43	0,4	0,3

Масова частка сірки, %	0,05	0,16	0,5
Вміст фактичних смол, мг/100 см <sup>3</sup>	-	-	40/30

Більша в'язкість чистої ріпакової олії ускладнює її використання у двигунах, однак при підвищенні температури до 70-90 °С його в'язкість знижується до значень, які близькі до в'язкості дизельного пального.

Метиловий ефір ріпакової олії (МЕРО) за своєю фізико-хімічною характеристикою (в'язкість-зольність) ближче до дизельного пального. При використанні МЕРО не потрібен підігрів палива, менше утворюються відкладення на деталях циліндро-поршневої групи. Якість МЕРО нормується європейським стандартом EN 14.214.2003 (Е).

Враховуючи, що у сумішевого палива вихід енергії за паливною складовою більший, ніж у МЕРО, а також беручи до уваги більш просту та дешеву технологію його отримання, було здійснено комплексні дослідження по сумішевому паливу з різним вмістом ріпакової олії. Дослідження проводилися на двигуні Д-240 Мінського моторного заводу. Під час роботи двигуна на біопаливі з вмістом олії від 0 до 100% було встановлено: оптимальний склад сумішевого палива за параметрами робочого процесу мав вміст у ньому 75% ріпакової олії.

Аналіз екологічних показників двигуна свідчить про зниження токсичних викидів при роботі на біопаливі. Окис вуглецю СО (чадний газ) на всіх режимах по навантаженню знижується приблизно у 2 рази, викиди вуглеводнів СН також знижуються у 2 рази. Кількість твердих часток (димність) на режимах максимального навантаження менша у 2 рази, димність на режимах малого навантаження знижується до 0. Винятковими є окиси азоту NO<sub>2</sub>, викиди котрих на режимах максимального навантаження при роботі на біопаливі збільшуються на 8%. Це, очевидно, зумовлено наявністю у біопаливі зв'язаного кисню.

Адаптація паливної системи енергетичного засобу до роботи на сумішевому паливі зводиться до встановлення невеликого за розмірами додаткового паливного баку для дизельного палива, необхідного для запуску та прогріву двигуна за низьких температур. Крім того, необхідним буде встановлення 3-ходового крана для переходу з одного палива на інше.

На рис. 3.2 наведено схему адаптації паливної системи двигуна для роботи на сумішевому паливі.



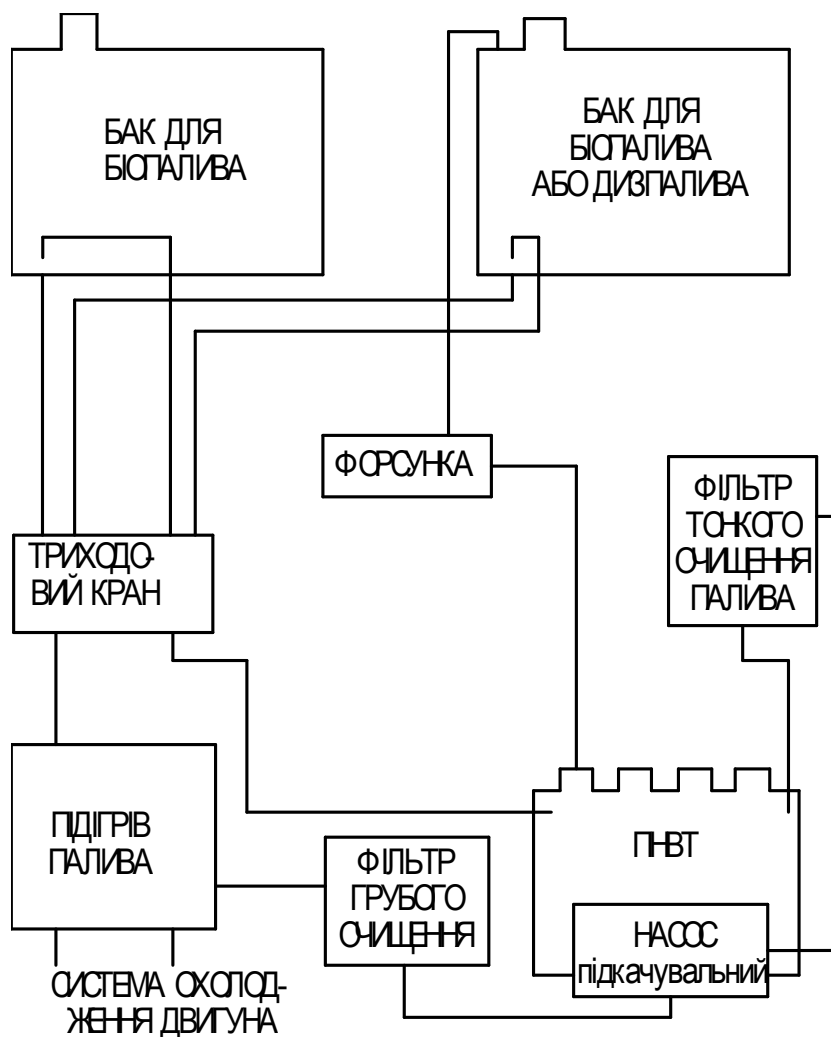


Рис. 3.2. Схема адаптації дизельного двигуна для роботи на біодизельній суміші

У Московському державному агротехнічному університеті ім. В.П. Горячкіна було проведено досліді із заміни дизельного пального на біодизельну суміш (при співвідношенні у ній компонентів 1:1). За даними досліджень, значно поліпилися екологічні якості двигуна. Викиди окисів азоту на номінальному режимі роботи двигуна скоротилися на 15-20%, сажі на 30-35%, окисидів вуглецю та вуглеводнів на 10-15%.

Для встановлення фізико-хімічних характеристик сумішей біодизелю з дизельним паливом проведено низку випробувань на двигуні. Метою цих випробувань було встановлення впливу добавки біодизелю в дизельне пальне на характеристики сумішей та показники двигуна. Випробування провадилися із вмістом біодизелю від 10 до 50% та від 50 до 100%. Із збільшенням добавки біодизелю в дизельне паливо відбувається збільшення щільності, в'язкості і температури спалаху у закритому тиглі. У табл. 3.5 наведено характеристики

сумішей та результати їх випробувань.

Таблиця 3.5

**Фізико-хімічні характеристики сумішей біодизелю з дизельним паливом та результати випробувань на двигуні**

Показники	Суміш біодизель: дизельне пальне										
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	0:100
Склад палива:											
- С	0,77	0,780	0,790	0,80	0,810	0,820	0,830	0,840	0,850	0,860	0,87
- Н	0,12	0,121	0,121	0,122	0,122	0,123	0,124	0,124	0,125	0,125	0,125
- О	0,11	0,099	0,089	0,078	0,068	0,057	0,046	0,036	0,025	0,015	0,004
- С/Н	6,42	6,47	6,52	6,57	6,62	6,67	6,72	6,76	6,81	6,86	6,90
- кг повітря/ кг палива	12,62	12,81	12,99	13,17	13,35	13,54	13,72	13,90	14,09	14,27	14,45
Густина (20°C), г/см <sup>3</sup>	0,885	0,878	0,873	0,868	0,862	0,858	0,852	0,847	0,842	0,835	0,83
В'язкість (20°C), мм <sup>2</sup> /с	7,62	6,84	6,46	6,04	5,64	5,04	4,98	4,69	4,38	4,22	4,00
Температу ра спалаху, °C	173	150	110	100	90	90	90	85	85	80	80
Нижча теплота згорання, МДж/кг	37,20	37,72	38,24	38,77	39,31	39,86	40,41	40,97	41,54	42,11	42,70
Результати випробувань дизеля при потужності 2 кВт і $E=10^\circ$ до верхньої мертвої точки											
ККД	0,239	-	-	-	-	0,236	0,235	0,239	0,237	0,235	0,238
То <sub>г</sub> , °C	357	-	-	-	-	336	331	327	335	337	337
Т <sub>кс</sub> , °C	587	-	-	-	-	546	540	511	506	499	488
NO <sub>2</sub> , чнм	507	-	-	-	-	444	433	-	420	417	395

Під час численних порівняльних випробувань максимальне зростання ККД двигуна при роботі на біодизелі порівняно з дизельним паливом становило близько 6%, що узгоджується з результатами роботи. Із зростанням концентрації біодизелю у суміші з дизельним паливом ККД двигуна поліпшується, при цьому знижується димність, але зростає рівень виділення оксидів азоту. Для зменшення рівня виділення оксидів азоту можливо використовувати регулювання по куту випередження впорскування палива. Характер зміни ККД двигуна дозволяє рекомендувати зменшення кута випередження впорскування як спосіб зниження виділення оксидів азоту при роботі на біодизелі задля збереження кращої економічності, ніж при роботі на дизельному

паливі.

У табл. 3.6 наведено деякі види сільськогосподарської техніки, адаптованої для роботи на біодизельному пальному.

Таблиця 3.6

**Види сільськогосподарської техніки,  
адаптованої для роботи на біодизельному пальному**

<b>Фірма</b>	<b>Вид техніки</b>	<b>Примітка</b>
Кейс	Трактори	Усі двигуни випущені серійно з 1971 року, але слід звертати увагу на рекомендації фірми-виробника з експлуатації.
КЛААС	Сільгосп-техніка	Зернові та кормозбиральні комбайни з заводу, нові серії випуску.
Дойц Фар	Двигуни	Усі двигуни, моделі лінії 1015 не допущені, можливо виготовлення на замовлення. Інтервали із заміни мастила зменшуються вдвічі. Двигуни з високим навантаженням не рекомендуються для роботи на біодизелі. У серійних двигунах шланг подачі пального та паливний насос стійкий до використання біодизелю, рекомендується їх щорічна заміна.
Фендт	Трактори	Можливо перекомплектація, нові трактори допущені.
Джон Дір	Трактори, комбайни	Загальна допустимість з 1967 року випуску.
Массей Фергузн	Трактори	Усі трактори зібрані після 1976 року, без обмеження. Рекомендується при низькому навантаженні здійснювати заміну мастила щонайменше раз у рік.
Мерседес	Трактори	Усі трактори, починаючи з 1988 року випуску
Нью Холланд	Тягачі	Усі трактори останніх років випуску, а також комбайни та самохідні косарки.
Заме-Ламборджіні	Трактори	Усі, починаючи з 1980 року випуску.

Використання метанолу як палива для дизелів є вельми привабливим. Це пояснюється наявністю сировини, налагодженого виробництва і відносною дешевизною метанолу. Якщо для бензинових двигунів використання метанолу як добавки до бензину (15 %) не є проблемою, то при використанні метанолу в дизелях виникають труднощі. Основною причиною є те, що дизельне паливо без спеціальних присадок не змішується з метанолом, що унеможлиблює його подачу в суміші з дизельним паливом у камеру згоряння.

Існує декілька способів використання метанолу у дизелі:

- безпосередня подача у впускний патрубок;

- подача продуктів конверсії метанолу (CO та H<sub>2</sub>) у впускний патрубок після реактора (термічного або термокаталітичного);
- подача безпосередньо у камеру згоряння.

Перший спосіб не забезпечує великого позитивного ефекту, другий – складний. Третій потребує вдосконалення паливної апаратури. Це пояснюється тим, що метанол має низьке цетанове число (менше 5), у порівнянні з цетановим числом дизельного палива (45-50), що ускладнює його самозаймання в камері згоряння дизеля.

Тому для забезпечення нормального згоряння необхідне використання запалювальної дози палива, наприклад, дизельного пального. Це потребує застосування двох паливних систем: першої – для подачі метанолу, другої – для подачі запалювального палива.

Пропонується ще один спосіб подачі метанолу у камеру згоряння при використанні серійної паливної апаратури.

Метанол використовується при виробництві біодизелю і до певної концентрації розчиняється у ньому. Було проведено дослідження визначення максимальної концентрації метанолу у біодизелі без наявності розшарування та випробування подачі метанолу у впускний патрубок і у камеру згоряння в суміші з біодизелем. Початок розшарування оцінювався візуально при появі межі розділу фаз. Дослідження виявили, що розшарування сумішей метанолу з біодизелем настає при 25% метанолу, а при вмісті 20% – розшарування настає приблизно через 30 днів. Слід зазначити, що потрібно використовувати зневоднений метанол. Також необхідно враховувати той факт, що згодом відбувається поглинання вологи з атмосфери, що призводить до розшарування сумішей.

Характеристики сумішей і результати випробувань наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

### **Фізико-хімічні характеристики сумішей метанолу з біодизелем і результати випробувань на дизелі**

Показники	Метанол: БІО ЕСТ								
	100:0	20:80	15:85	10:90	5:95	1:99	0,5:99,5	0,4:99,6	0:100
Склад палива:									
- С	0,375	0,691	0,711	0,731	0,750	0,766	0,768	0,768	0,77
- Н	0,125	0,121	0,121	0,121	0,120	0,120	0,120	0,120	0,12
- О	0,5	0,188	0,169	0,149	0,130	0,114	0,112	0,112	0,11
- С/Н	3,00	5,71	5,89	6,06	6,24	6,38	6,40	6,40	6,42

- кг повітря/кг палива	6,522	11,40	11,71	12,01	12,32	12,56	12,59	12,60	12,62
Щільність, (20°C), г/см <sup>3</sup>	0,79	0,863	0,870	0,875	0,879	0,882	0,883	0,881	0,884
В'язкість, (20°C), мм <sup>2</sup> /с	1,84	4,13	4,53	5,16	5,92	6,94	7,09	7,16	7,45
Температура спалаху °C	8					40	55	61	173
Нижча теплота	19700	34004	34816	35619	36414	37043	37122	37137	37200
Результати випробувань дизеля при потужності 2 кВт та $\xi=19^\circ$ до верхньої мертвої точки									
ККД	-	-	0,236	0,236	-	0,232	-	0,234	0,25
T <sub>ог</sub> °C	-	-	289	300	-	298	-	297	298
T <sub>кк</sub> °C	-	-	521	489	-	528	-	533	568
NO <sub>2</sub> , чнм			747	676		765		804	845

Із збільшенням частки метанолу відбувається зменшення щільності, в'язкості та знижується температура спалаху в закритому тиглі.

При подачі метанолу безпосередньо у впускний патрубок вже при невеликій концентрації метанолу (відношення метанолу до дизельного палива 0,35%) спостерігалось збільшення жорсткості роботи та різке погіршення ККД двигуна. Водночас двигун нормально працював при концентрації метанолу у суміші з біодизелем, що дорівнює 15%. Експлуатація автомобіля з дизельним двигуном на суміші такого складу не викликала нарікань на тягові характеристики двигуна.

Було виявлено таку загальну тенденцію, що із зростанням концентрації метанолу у суміші з біодизелем, ККД двигуна погіршується, але при цьому знижується рівень шкідливих викидів з відпрацьованими газами. При додаванні 10% метанолу оксиди азоту знижуються до 30%, димність – до 40%. Зменшення NO<sub>2</sub> можливо пояснити зниженням локальних температур, оскільки температура випаровування метанолу є високою. Це підтверджує зниження температури стінки вихривої камери згоряння. Слід зазначити, що використання цього способу має певні труднощі при переведенні двигуна на дизельне паливо, оскільки у фільтрі відбувається змішування суміші з дизельним паливом. Також спостерігається розшарування, що призводить до зупинки двигуна. Перед такою заміною необхідно повністю злити суміш з паливної системи двигуна.

### 3.2.1. Присадки рослинного походження

У двигунах широко застосовуються присадки різного призначення як для поліпшення паливної економічності, так і екологічних показників.

Використання вдало підібраних присадок з необхідною концентрацією призводить до поліпшення показників двигуна: підвищенню ККД двигуна, зниженню шкідливих викидів з відпрацьованими газами. Проте ті самі присадки не мають такої дії у сумішах з паливом рослинного походження, зокрема, з рослинними оліями.

У відповідь на запит із цього приводу на фірму LIQUI MOLY GmbH (Німеччина) рекомендувалося збільшити концентрації присадок.

Але навіть збільшення концентрації присадок не завжди призводить до поліпшення показників двигуна. У деяких випадках спостерігається їх погіршення.

Відоме також використання як присадок терпенів (речовин рослинного походження, які отримують з хвойних порід дерев). Наведені результати випробувань дизельного палива у суміші з сосною олією (вміст терпенових спиртів до 75%) у діапазоні 0,05...0,2 мас. %. Добавка 0,2 мас. % соснової олії у дизельне паливо при роботі на дизель-генераторі 1ДТ12Т сприяла поліпшенню до поліпшення ККД двигуна на 4% і зниженню NO<sub>2</sub> на 33%, альдегідів на 83% і СО на 21%. Було висунуто припущення, що добавка терпенів (скипидару) до суміші рослинних олій з дизельним паливом забезпечить поліпшення згоряння у камерах двигунів.

Живильний скипидар (олія терпентинова) – це продукт переробки соснової живиці, що має температуру спалаху 34°C і температуру самозаймання 300°C, яка є нижчою, ніж у рослинних олій та дизельного палива.

Під час досліджень спостерігалось повне розчинення скипидару у суміші з різними рослинними оліями. Для перевірки можливості використання скипидару як добавки до олії було підготовлено суміш такого складу: скипидар – 5%, соняшникова олія – 10%, соєва олія – 5%, кукурудзяна олія – 5%, гірчична олія – 5% і дизельне паливо – 70%. Результати випробувань наведено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

#### Фізико-хімічні характеристики сумішей з добавкою скипидару і результати випробувань на дизелі

Параметри	ДТ	Скип:сон.ол.: соєв.ол. кукур.ол.: гірч.ол.: диз пал. – 5:10:5:5:5:70	Скип:ДП – 30:70
-----------	----	--	--------------------

Характеристики палива			
Щільність, г/см <sup>3</sup>	3,832	0,854	0,839
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	1,14	7,95	3,4
Температура спалаху в закритому тиглі, °С	35	80	67
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	42700	40990	40990
Результати випробувань при потужності двигуна 1,64 кВт			
ККД	0,223	0,222	0,221
Тог, °С	254	254	258
Коефіцієнт надлишку повітря	2,31	2,35	2,35
CO <sub>2</sub> , %	4,73	4,17	6,42

Економічність дизеля при роботі на суміші знаходиться на рівні економічності при роботі на дизельному паливі, що підтверджує можливість використання скипидару як присадки. Виявлена можливість роботи двигуна при вмісті скипидару, що дорівнює 30%.

При цьому спостерігається зниження димності і невелике зростання кількості оксидів азоту, що потребує, як уже наголошувалося, регулювання кута випередження впорскування палива.

Цікаво було порівняти ККД двигуна в одному випробувальному циклі під час роботи на дизельному паливі, біодизелі і суміші рослинної олії з дизельним паливом. Враховуючи, що олії відрізняються властивостями залежно від місця вирощування, то для чистоти експерименту для випробувань використовувалася соняшникова олія, котра слугувала сировиною для отримання біодизелю.

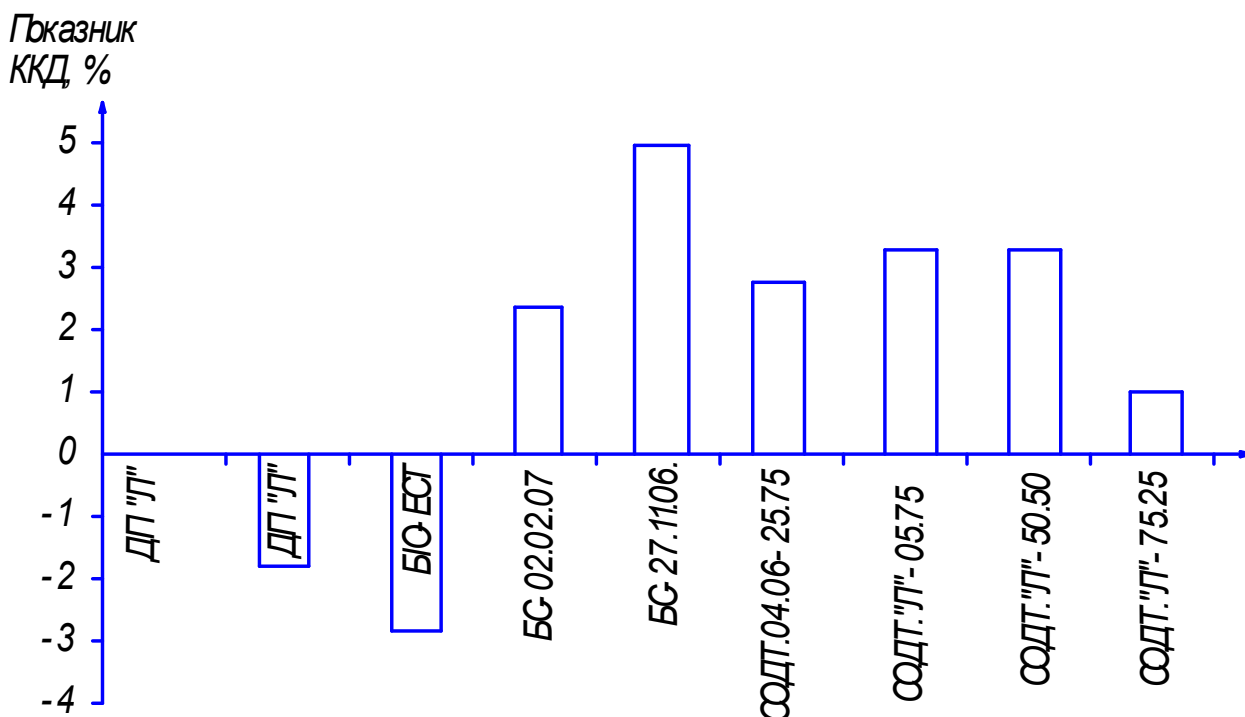


Рис. 3.3. Зміна ККД двигуна при роботі на різних видах палива рослинного походження:

*БЮ ЕСТ* – біодизель з соєвої олії; *БС (02.02.07)* – біодизель із соняшникової олії і дата отримання; *СО:ДП "Л" – 25:75* – суміш соняшникової олії з дизельним паливом марки "Л" у пропорції 25% до 75%. Нижча теплота згоряння приймалася для біодизелів, рослинної олії та дизельного палива, відповідно 37200, 37000, 42700 кДж/кг. Для розрахунків приймалася така вартість палива на 28.12.06 в євро/кг: *ДП* – 0,67; *СО* – 0,53; *БС* – 0,6, *БЮ ЕСТ* – 0,57.

У таблиці 3.9 наведено порівняння характеристик випробуваного ДП марки „Л”, БЮ Еста і стандарту на біодизель EN 14214.

Таблиця 3.9

### Фізико-хімічні характеристики видів палива

Характеристики	Дизельне паливо за ДСТУ3868-99	Біодизель БЮ ЕСТ, ПП «Хімпоста-чальник»	Біодизель EN 14214 (Європа)
Щільність $\rho$ (20°C), г/см <sup>3</sup>	0,831	0,884	-
Щільність $\rho$ (15°C), г/см <sup>3</sup>	-	0,887	0,86-0,9
В'язкість $\nu$ (20°C), мм <sup>2</sup> /с	4	7,3	-
В'язкість $\nu$ (40°C), мм <sup>2</sup> /с	-	4,73	3,5-5
Нижча теплота згоряння	42700	37200	-
Цетанове число	45	51	51 min
Т-ра спалаху в закритому тиглі	80	173	120 min



Температура помутніння °С	-12	-3	
Температура застигання °С	-24	-5	
Йодне число, г (12/100 г)	1	129,5	120 max
Вміст води, мг/кг	немає	300 мг/кг	500 max
Вміст фосфору, мг/кг	-	9	10 max

Одним із традиційних недоліків біодизелю є висока температура застигання. Нині проводяться дослідження щодо пошуку присадок, які б забезпечили зниження температури застигання до прийняттого рівня, що дозволить використовувати біодизель як щосезонне паливо.

Для споживачів використання того або іншого палива рослинного походження повинне визначатися економічною доцільністю на певний момент. Споживач сам повинен вирішувати, що йому вигідно: виготовляти біодизель з олій і застосовувати його в існуючих двигунах або після переробки систем двигуна, конструкції камери згоряння чи використовувати сирі нерафіновані олії. Наведені результати показують, що можливе широке використання сумішей різних видів палива. Це можуть бути суміші біодизелю з дизельним паливом. При цьому слід зазначити, що вже невелика частка біодизелю (5-10%) позитивно впливає на економічність двигуна і зниження димності. Визначальне значення має якість біодизелю.

Наявність добавки палив рослинного походження у суміші сприяє поліпшенню економічності по ККД двигуна, зниженню димності, але при цьому збільшується кількість оксидів азоту, що може бути компенсоване зменшенням кута випередження впорскування палива. При цьому динаміка зміни димності і оксидів азоту більш сприятлива для сумішей з наявністю палива рослинного походження, ніж для дизельного палива. Іншим способом одночасного зниження оксидів азоту і димності може бути добавка метанолу у біодизель, проте в цьому випадку спостерігається погіршення ККД двигуна.

### **3.3. Сировина для виробництва біодизелю**

Основною сировиною для виробництва біодизелю слугують жирні, рідше – ефірні олії різних рослин або водоростей. Також застосовуються відпрацьована рослинна олія, тваринні жири, риб'ячий жир і т. д. Виробництво олій з різної сировини з одного гектара наведено у табл. 3.10.

Таблиця 3.10

## Виробництво олії з різної сировини із 1 га землі на рік

Сировина	Урожайність, ц/га	Олії, л/га
Ріпак	28	1190
Соняшник	22	952
Соя	28	446
Насіння гірчиці	12	572
Льон	15	478
Кукурудза	50	172
Люпин	100	232
Конопля	150	363

Ріпак (Європа, у деяких регіонах – рапс) – урожайність близько 1190 л олії з гектара. Ріпак – універсальна культура, що займає близько 10% загальної площі посівів олійних культур у світі. На думку аграріїв в Європі, ріпак може становити гідну конкуренцію соняшнику. Майже не поступаючись соняшнику і значно перевершуючи сою за вмістом олії, ріпак здатний щорічно давати стабільні врожаї в середньому по 20-25 ц/га (середня врожайність соняшнику 10-12 ц/га). Поліпшуючи структуру ґрунту і його фітосанітарний стан, збагачуючи його азотом та іншими мікроелементами, ріпак є прекрасним попередником зернових (особливо пшениці), що значно збільшує їх врожайність.

Для виробництва біодизельного палива пальмова олія використовується з 1987 р. Проте через високу температуру помутніння (11°C) його використання обмежено країнами з тропічним кліматом.

Потенційні можливості використання інших олійних культур як сировини для отримання біодизельного палива ще не досить досліджені. Використання горіхових олій розпочато у Нікарагуа, досліді з використання бавовняної олії успішно здійснені у Греції. В Індії біопаливо одержують із горіхів, що ростуть на незручних для обробітку землях і тому мало використовуються. На територіях з помірним кліматом біодизельне паливо може бути отримане із соняшникової олії, рицини, конопель. В Англії для виробництва біодизельного палива, окрім ріпаку, використовують відпрацьовану рослинну олію, кількість котрої досягає 70 млн. літрів на рік. До складових сировинної бази з виробництва біодизелю можна також віднести сировину м'ясокомбінатів (тваринні жири), риб'ячий жир, водорості та іншу сировину.

Перспективним джерелом сировини для виробництва біодизелю є водорості. За оцінками Департаменту Енергетики США, з одного акра (4047 м<sup>2</sup> ~ 0,4 га) землі можна отримати 255 л соєвої олії, або 2400 л

пальмової олії. З такої самої площі водної поверхні можна виробляти до 3570 барелів біонафти (1 барель = 159 л). За оцінками компанії Green Star Products, з одного акра землі можна отримати 48 галонів соєвої олії, 140 галонів масла канולי та 10000 галонів із водоростей.

Департамент Енергетики США багато років досліджував водорості з високим вмістом олії за програмою “Aquatic Species Program”. Дослідники дійшли висновку, що Каліфорнія, Гаваї та Нью-Мексико є придатними для промислового виробництва водоростей у відкритих водоймах. Протягом 6 років водорості вирощувалися у водоймах площею 1000 м<sup>2</sup>. Водойма в Нью-Мексико показала високу ефективність щодо CO<sub>2</sub>. Врожайність становила більше 50 грамів водоростей з 1 м<sup>2</sup> у день. 200 тисяч гектарів водойм можуть виробляти паливо, достатнє для річної потреби 5% автомобілів США. 200 тисяч гектарів – це менш 0,1% земель США, придатних для вирощування водоростей. Технологія ще має достатньо проблем. Наприклад, водорості люблять високу температуру, для їх вирощування є сприятливим пустельний клімат, але необхідна певна температурна регуляція при нічних перепадах температур. Наприкінці 90-х років технологія не потрапила до промислового виробництва через низьку вартість нафти.

Існують технології, що дозволяють вирощувати водорості не лише у відкритих водоймах, але й у малих біореакторах, розміщених поблизу електростанцій. Відпрацьоване тепло ТЕС здатне покрити до 77 % потреб у теплі, необхідному для вирощування водоростей. Ця технологія не потребує спекотного пустельного клімату.

У 2006 році кілька компаній об’явили про будівництво заводів з виробництва біодизелю з водоростей:

- Global Green Solutions (Канада) за технологією компанії Valcent Products (США) – потужність виробництва 4 млн. барелей біонафти за рік;

- Bio Fuel Systems (Іспанія);

- De Beers Fuel Limited (ПАР) за технологією Greenfuel Technologies Corporation (США) – потужність виробництва 900 млн. галонів біодизелю за рік (водорості + соняшникова олія);

- Aquaflow Bionomic Corporation (Нова Зеландія) – потужність виробництва 1 млн. л біодизелю за рік.

В енергозалежних країнах розвитку виробництва та споживанню біопалива у сільському господарстві приділяється велика увага. Вважається, що в середньостроковій перспективі попит на насіння олійних культур у країнах ЄС ростиме швидше за попит на продукцію кормового і продовольчого ринків, виводячи аграрний сектор на новий

рівень припливу інвестицій (капіталу). Донедавна сільське господарство могло розраховувати лише на частину коштів, що витрачаються людством на продукти харчування. Але цих прибутків за помірних цін і попиту було недостатньо, тому підтримка аграрного сектору вимагала великого навантаження на бюджет держави. Можливість забезпечити споживачів екологічно чистою енергією надає сільському господарству новий напрям розвитку. Виробництво біодизелю дозволяє ввести в обробіток нові сільськогосподарські землі, що тривалий час не використовувалися, створити нові робочі місця.

В Україні для виробництва біодизелю використовується здебільшого ріпак. За оцінками Мінагрополітики, потенційні можливості України у вирощуванні ріпаку становлять орієнтовно 3 млн. га при середній врожайності 15-30 ц/га.

У низці областей України передбачається збільшення площі земель, на якій вирощуються олійні культури. Збільшення обсягів вирощування таких олійних культур, як ріпак та соя дасть змогу збільшити ресурси високобілкових кормів для тваринництва та птахівництва з одночасною організацією виробництва біодизельного пального, насамперед для потреб сільськогосподарських підприємств, а також на експорт.

Насіння ріпаку містить від 38 до 50% олії, 16-29% білка, 6-7% клітковини, 24-26% безазотистих екстрактивних речовин. Ріпак – надзвичайно цінна кормова культура. При його переробці з кожних 100 кг насіння одержують до 41 кг олії та 57 кг макухи. Гектар цієї культури (при врожайності 30 ц/га) забезпечує вихід 1,0-1,3 т олії й 1,6-1,8 т шроту, який містить близько 40% добре збалансованого за амінокислотним складом білка. У 100 кг ріпакового шроту міститься в середньому 90 кормових одиниць, коефіцієнт перетравності органічних речовин сягає 71%, водночас соняшникового – 56%. Під час переробки ріпакового насіння за безвідходною технологією, крім олії та макухи (шроту), одержують ще низку цінних продуктів. Зокрема, при очистці олії відбираються фосфати, які використовуються у виробництві харчових і кормових фосфатних концентратів. Їх застосовують у миловарінні, а також для одержання жирних кислот. З відходів дезодорації та відпрацьованого сорбенту виготовляють миючі пасти. Технологію переробки ріпаку наведено на рис. 3.4.

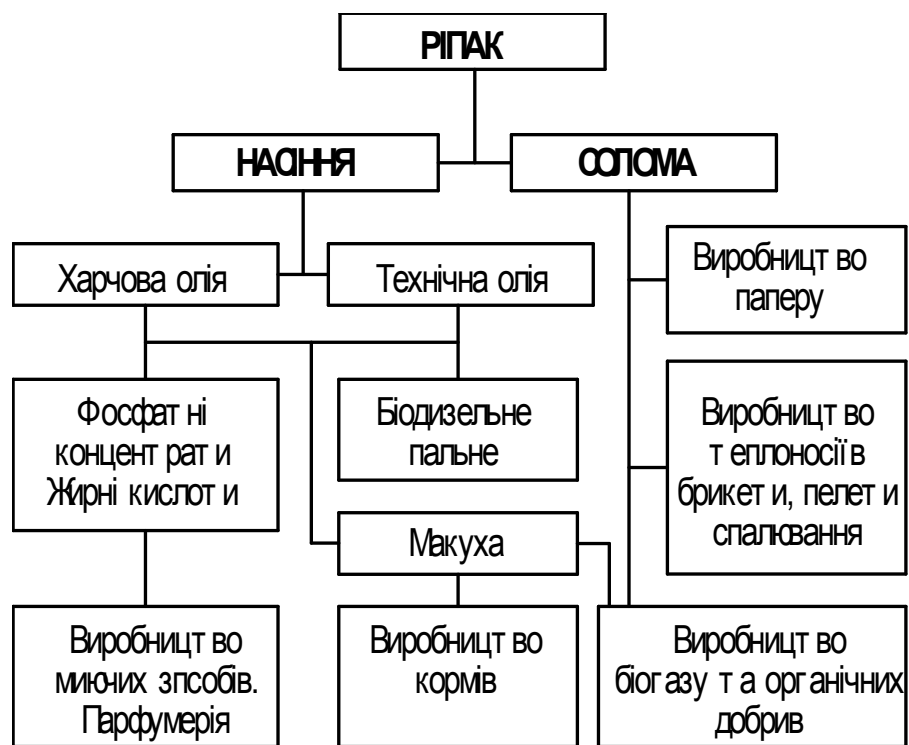


Рис. 3.4 Схема маловідходної технології переробки ріпаку

Завдяки ріпакові маємо можливість поновити запаси органічних речовин ґрунту при використанні його на сидерати. Приорювання зеленої маси у пожнивних посівах (240-260 ц/га) рівнозначне внесенню 18-20 т гною на гектар. Після збирання врожаю на кожному гектарі ґрунту залишається кількість органічних решток, еквівалентна 20 т гною.

Крім того, наукові дослідження свідчать про те, що ріпак є найкращим попередником для всіх сільськогосподарських культур (крім капустяних та цукрових буряків). Проникаючи у ґрунт до 3 м, коренева система ріпаку утворює повітряні проходи і таким чином розпушує ґрунт. Ріпак залишає у ґрунті кореневих решток у 6-7 разів більше, ніж пшениця і у 2 рази більше, ніж конюшина. З корінням озимого ріпаку на 1 га залишається у ґрунті 65 кг азоту, 34 кг фосфорної кислоти та 60 кг калію, що дорівнює майже 2 ц аміачної селітри, 1,7 ц суперфосфату та 1,5 ц калійної солі. Наприклад, урожайність озимої пшениці після ріпаку збільшується на 6-7 ц/га.

Використання біодизельного пального є вигідним як з економічної, так і з екологічної точок зору. Воно виробляється із сировини, яка щорічно відновлюється, неотруйне, легко біологічно розкладається, різко знижує викиди шкідливих вихлопних газів.

Перспективним напрямом розвитку сировинної бази біодизельного

пального в Україні є збільшення площ технічного ріпаку та виробництва ріпакової олії як сировини одержання пального та мастильних матеріалів. Зокрема, потреби сільськогосподарського виробництва у дизельному паливі можуть бути повністю забезпечені, якщо під посівами ріпаку буде зайнято 8-10% ріллі при належному рівні урожайності та переробки насіння ріпаку на біодизельне паливо.

Потенційні можливості існуючих сортів використовуються на 50% і менше. Тому важливим завданням господарників є зменшення втрат врожаю на всіх етапах технологічного циклу вирощування, збирання і переробки ріпаку.

За сукупністю позитивних властивостей ріпак стає стратегічною сільськогосподарською культурою. Використовуючи генетичну гнучкість культури, селекціонери мають можливості виводити сорти із заданими властивостями. Так, виведено сорти з низьким вмістом ерукової кислоти (до 2%), що важливо для виробництва біодизельного пального, а також глюкозинолатів (до 1%), що необхідно для харчових цілей і використання продуктів переробки на корм тваринам.

Стратегічне значення ріпаківництва полягає у високій енергетичній цінності врожаю як насіння, так і соломи ріпаку; можливості впровадження маловідходних екологічно безпечних технологій (рис. 3.5).

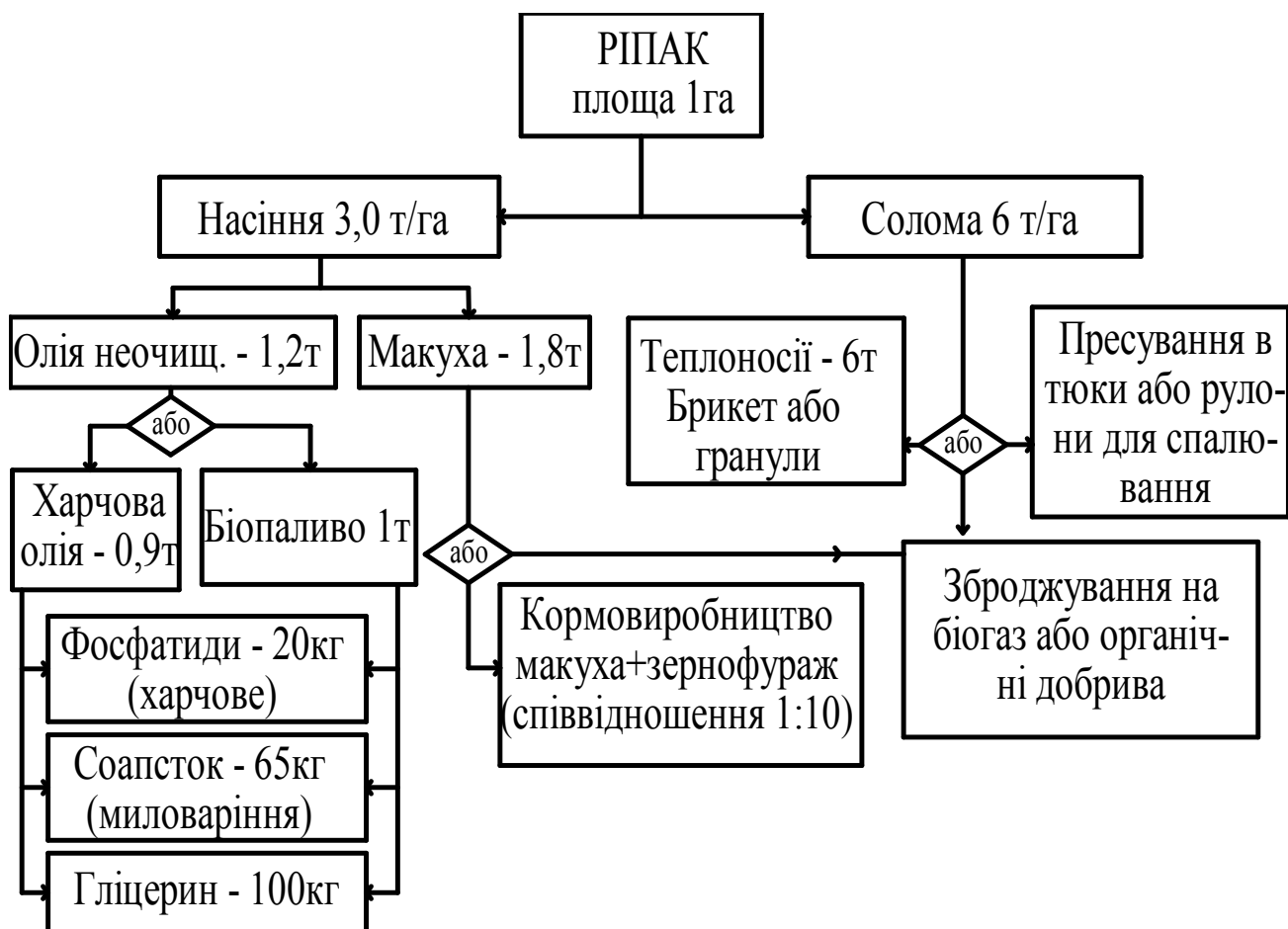


Рис 3.5. Орієнтовна структура продукції переробки ріпаку з площі 1 га при застосуванні маловідходних технологій

### 3.4. Стан і потенційні можливості виробництва біопалива та теплоносіїв з рослинної олії

Значний вплив на ефективність сільськогосподарського виробництва має його паливно-енергетична залежність, що зумовлена використанням нафтопродуктів і природного газу. Водночас світовий досвід та аналіз робіт вітчизняних науковців засвідчує можливості суттєвого зниження енергетичної залежності за рахунок вирощування і переробки олійних культур на біодизельне пальне, а також виробництва і використання теплоносіїв з побічної продукції рослинництва (соломи, зернових культур, ріпаку, стебла кукурудзи та соняшнику, макухи олійних культур, тощо) і тваринництва (жири).

Основними олійними культурами в Україні є соняшник, озимий і ярий ріпак. Найбільш придатними для вирощування соняшнику є природно-кліматичні умови степової зони України, а для ріпаку – умови лісостепової та поліської зон. Якщо насіння соняшнику

використовується переважно для харчових цілей, то насіння ріпаку – як для харчових, так і для технічних цілей.

Для сучасного рівня технологій вирощування і переробки ріпаку межа доцільності виробництва біопалива буде при врожайності насіння більше 2,5 т/га і раціональному використанні побічної продукції. Виведені в Україні сорти ріпаку, придатного для виробництва біопалива, дозволяють збирати більше 3 т/га насіння при належному рівні технологічної дисципліни. Потенційні можливості за ґрунтово-кліматичними та агротехнічними умовами становлять близько 40 ц/га. Враховуючи дефіцит енергоресурсів, сільське господарство може суттєво сприяти у вирішенні проблеми забезпечення виробництва паливом.

Кабінет Міністрів України затвердив Програму розвитку виробництва дизельного біопалива, згідно з якою обсяг виробництва насіння ріпаку повинен досягти у 2010 р. 7500 тис. т, з яких 25% направити на виробництво метилефіру.

### **3.5. Технології виробництва біодизелю**

Рослинна олія переестерифікується метанолом, рідше етанолом або ізопропанолом (приблизно у пропорції на 1 т олії 200 кг метанолу + гідроксид калію або натрію) при температурі 60 °С і нормальному тиску.

Для отримання якісного продукту необхідно дотриматися низки вимог:

1. Після проходження реакції переестерифікації вміст метилового ефіру повинен бути вище 96%.

2. Для швидкої та повної переестерифікації метанол береться з надлишком, тому метиловий ефір необхідно очистити від нього.

3. Використовувати метиловий ефір як паливо для дизельної техніки без попереднього очищення від продуктів омилення неприпустимо. Мило засмічує фільтр і утворює нагар, смоли у камері згоряння. При цьому сепарації і центрифугування недостатньо. Для очищення необхідна вода або сорбент.

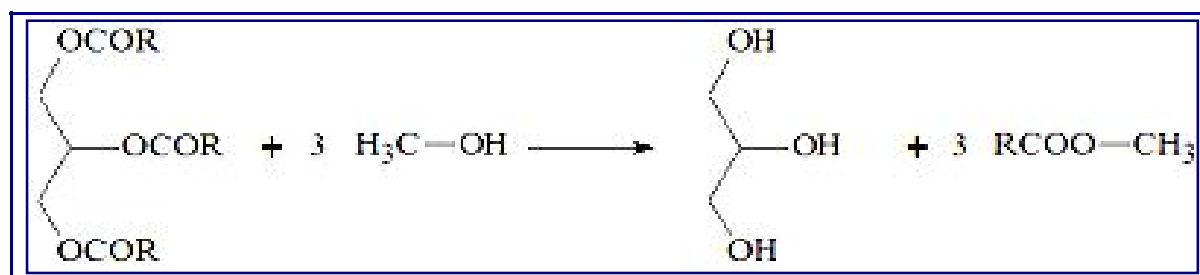
4. Заключний етап – сушка метилового ефіру жирних кислот.

Оскільки вода сприяє розвитку мікроорганізмів у біодизелі і призводить до утворення вільних жирних кислот, що спричиняють



корозію металевих деталей, зберігати біодизель більше 3 місяців не рекомендується, оскільки він розкладається.

З хімічної точки зору, біодизельне паливо є сумішшю метилових (етилових) ефірів насичених і ненасичених жирних кислот. У процесі (пере) естерифікації олії вступають у реакцію з метиловим (етиловим) спиртом у присутності каталізаторів (зазвичай лужних – NaOH, NaOCH<sub>3</sub> або KOH). У результаті утворюються складні ефіри, а також гліцеринова фаза (56% гліцерину, 4% метанолу, 13% жирних кислот, 8% води, 9% неорганічних солей, 10% ефірів) за рівнянням:



Біодизель застосовується на автотранспорті у чистому вигляді та у вигляді різних сумішей з дизельним паливом. У США суміш дизельного палива з біодизелем позначається літерою В; цифра при букві означає процентний вміст біодизелю. В2 – 2% біодизелю, 98% дизельного палива. В100 – 100% біодизелю. Застосування сумішей не потребує внесення змін до двигуна.

В очищену від механічних домішок олію додають метиловий спирт і луг, який слугує каталізатором реакції переестерифікації, а потім нагрівають отриману суміш. Після відстоювання та охолодження рідина розшаровується на дві фракції – легку і важку. Легка фракція є метиловим ефіром, важка – гліцерином.

Для отримання 1000 кг (1136 л) біодизельного палива необхідно витратити 50 кВт теплової і 25 кВт електричної енергії. Витрати сировинних компонентів становлять: 1040 кг (1143 л) ріпакової олії; 144 кг (114 л) 99,8%-го метанолу (цей компонент повинен бути присутнім з надлишком); 19 кг 88%-го їдкого калію (KOH); 6 кг допоміжного фільтруючого матеріалу; 105 кг води.

При цьому, крім кінцевого продукту, виходить 117 кг відпрацьованої води і 200 кг сирого гліцерину. Гліцерин є надзвичайно корисним продуктом, котрий можна використати у багатьох галузях промисловості. Галузі використання гліцерину:

1. **Сільське господарство.** Гліцерин використовують для обробки

насіння та сіянців. Розбавлені розчини гліцерину допомагають проростанню вівса та інших злаків. З метою обробки рослин та плодових дерев використовують суміш: дві частини гліцерину, одну частину формальдегіду та 17 частин води.

**2. Лакофарбова промисловість.** Гліцерин – цінний компонент полірувальних засобів, особливо лаків, що застосовують для кінцевої обробки. Крім того, велика кількість сортів туалетного мила містить гліцерин, котрий посилює їхню миючу здатність.

**3. Виробництво пластмасових мас.** Гліцерин є цінною складовою частиною при отриманні пластмас і смол. Ефіри гліцерину широко застосовують у виробництві прозорих пакувальних матеріалів.

**4. Текстильна та паперова промисловості.** Гліцерин у текстильній промисловості застосовують у прядінні, ткацтві та фарбуванні. Гліцерин надає тканинам еластичності та м'якості. Його використовують для отримання анілінових фарб, розчинників для фарб, а також як антисептичну та гігроскопічну добавки до фарб для друкування. Гліцерин широко застосовують для виробництва синтетичного шовку та шерсті. У паперовій промисловості гліцерин застосовують для виготовлення кальки, пергаменту, папірусного паперу та паперових серветок.

**5. Харчова промисловість.** Гліцерин застосовують для виготовлення екстрактів чаю, кави, імбирю та інших рослинних речовин; безалкогольних напоїв. Великі підприємства щороку застосовують більше 450 т гліцерину вищого сорту для приготування екстракту, котрий додає напоям “м'якість”. Гліцерин використовують для отримання гірчиці, желе та оцету.

**6. Медицина.** Виробництво фармацевтичних препаратів, а саме: для розчинення ліків та підвищення в'язкості рідких препаратів. Гліцерин є розчинником йоду, бромиду, фенолу та хлориду ртуті. Використовуючи гліцерин замість води, можна приготувати висококонцентровані медичні розчини. Антисептичні та консервуючі властивості гліцерину пов'язані з його гігроскопічністю, завдяки якій відбувається дегідратація бактерій.

**7. Електротехніка та радіотехніка.** У радіотехніці гліцерин набув широкого застосування у виробництві електролітичних конденсаторів; при обробці алюмінію та його сплавів.

**8. Воєнна справа.** Гліцерин використовують для отримання нітрогліцерину, з якого виробляють динаміт, бездимний порох та інші підривні речовини, котрі застосовують у мирних цілях.

**9. Тютюнова промисловість.** Завдяки високій гігроскопічності гліцерин використовують для регулювання вологості тютюну задля усунення неприємного смаку. У світовому виробництві тютюну щорічно використовують більше 12 тис. тонн 94-% гліцерину.

Базовими технологіями при виробництві біодизельного палива є:

- циклічна з використанням каталізаторів (рис. 3.6);
- безкаталізаторна циклічна (із застосуванням розчинників, як правило, тетрагідрофурана);
- багатореакторна безперервна (рис 3.7).

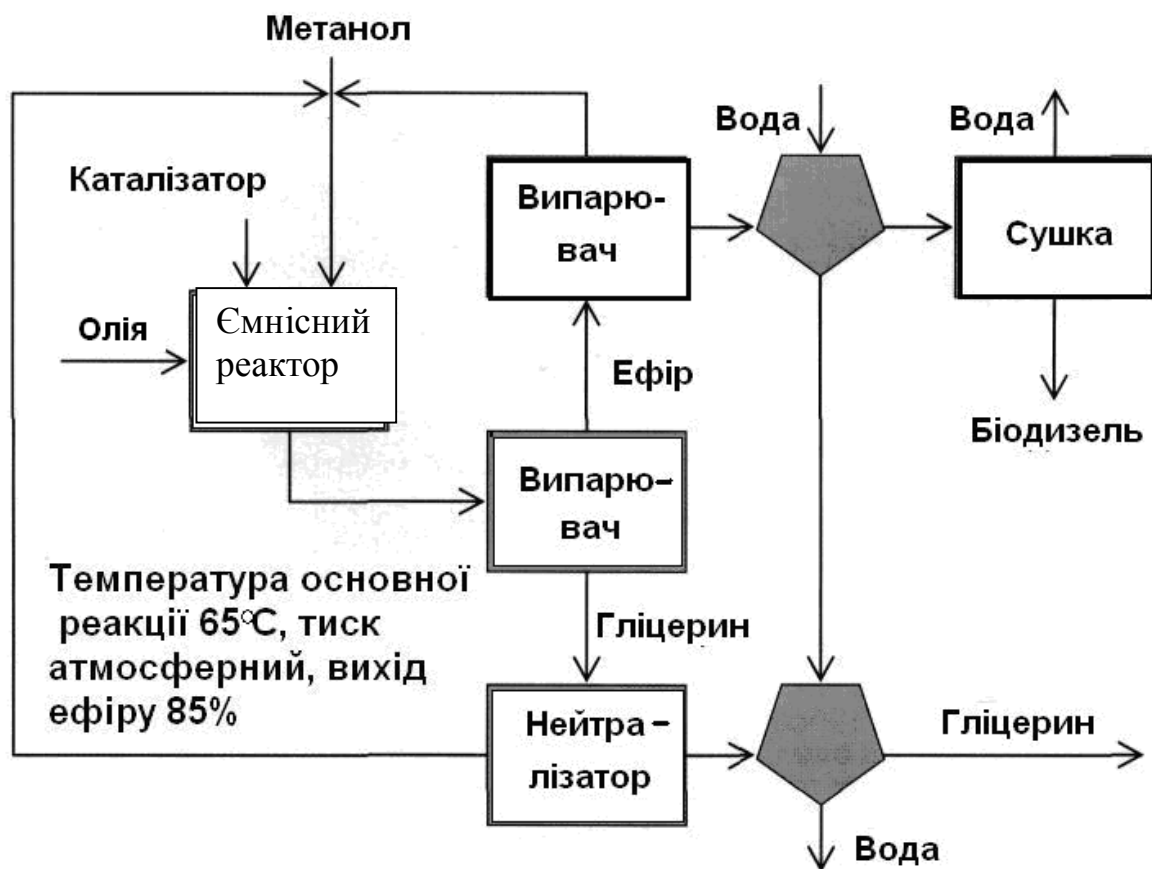


Рис. 3.6. Циклічна технологія з каталізатором

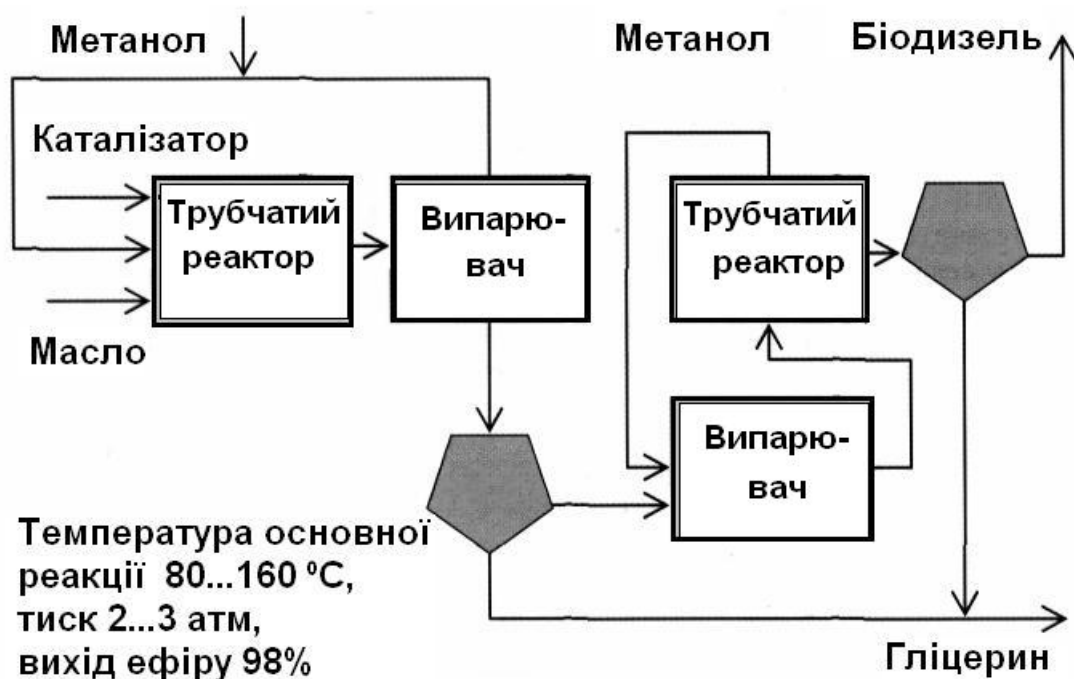


Рис. 3.7. Багатореакторна безперервна технологія

Переваги і недоліки перерахованих технологій наведені у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

### Базові технології отримання біодизельного палива

Назва технології	Характеристика	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Циклічна технологія з використанням каталізаторів	температура реакції близько 65°C, тиск атмосферний, час реакції – від 20 хвилин до 2 годин, кількість каталізатора – 1,5% від маси олії, вихід метилового ефіру близько 85% від загального обсягу біодизелю	<ul style="list-style-type: none"> <li>• відносна простота технологічного процесу</li> <li>• невисока вартість технологічної лінії</li> <li>• можливість використання сировини невисокої якості</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• невисокий вихід метилового ефіру</li> <li>• тривалість проходження реакції</li> </ul>

Безкаталі- заторна циклічна технологія	температура реакції 30°C, тиск атмосферний, час реакції – 5-10 хвилин, розчинник – тетрагідрофуран, вихід метилового ефіру близько 98% від обсягу біодизелю	<ul style="list-style-type: none"> <li>• високий вихід метилового ефіру</li> <li>• невисока температура і швидкість реакції</li> <li>• чистота продуктів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• дорожня і висока агресивність розчинників</li> <li>• необхідність використання додаткового устаткування</li> </ul>
Багатореакторна безперервна технологія	температура реакції – 80-160°C, тиск –2-3 атм, час реакції від 6-10 хвилин, кількість каталізатора до 1% від маси олії, вихід метилового ефіру до 98% від обсягу біодизелю	<ul style="list-style-type: none"> <li>• високий вихід метилового ефіру</li> <li>• безперервність процесу</li> <li>• швидкість реакції</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• складність технологічного процесу</li> <li>• достатньо висока вартість технологічної лінії</li> <li>• висока чутливість до якості сировини</li> </ul>

Вибір технології одержання біодизельного палива залежить від потрібних обсягів виробництва, виду початкової сировини та її якості, способів очищення від спиртів і каталізатора. При обсягах виробництва біодизельного палива від 500 до 5000 тонн на рік, особливо на заводах, що використовують сировину невисокої якості, має перевагу проста циклічна технологія з використанням каталізаторів (рис. 3.6). Для великих обсягів виробництва (понад 5 тис. т біодизелю в рік) рекомендується багатореакторна безперервна технологія, що висуває більш жорсткі вимоги до якості початкової сировини (рис. 3.7).

### 3.6. Стандарти біодизельного палива

Властивості біопалива ще не достатньо вивчені, тому більшість існуючих нині стандартів обмежується вказівкою граничних значень відсотка естерифікації, температури помутніння і застигання, кількістю загального і вільного гліцерину тощо. Вказані характеристики є компромісом між вимогами автомобілебудівників, які є прибічниками чистого палива (взагалі без домішок), і бажанням виробників біодизельного палива впроваджувати прості, екологічно чисті і недорогі технології виробництва. Очевидно, що більш жорсткі стандарти на біодизель призведуть до збільшення його вартості, водночас більш лояльні можуть призвести до усунення різних недоліків

при експлуатації транспортних засобів. Ці дві можливості, безумовно, вплинуть у подальшому на розвиток ринку і сприйняття біодизельного палива.

У світі найбільш популярними стандартами на біодизельне паливо є такі: Європейський стандарт – EN 14214:2003 (табл. 3.12)

Таблиця 3.12

**Європейський стандарт якості  
DIN EN 14214ТУ У 24.1-34582279-002:2006  
“БІОПАЛИВО ДИЗЕЛЬНЕ”**

№ з/п	Показники	Значення	Метод випробувань
1	Цетанове число, не менше	51	за ГОСТ 3122 або EN ISO 5165
2	Кінематична в'язкість за температури 40°C, мм <sup>2</sup> /с	3,5-5,0	за ГОСТ 33 або EN ISO 3104
3	Густина за температури 15°C, кг/м <sup>3</sup>	860-900	за ГОСТ 3900 або ISO 3675:1993
4	Температура спалаху °C, не менше	120	за ДСТУ 4455
5	Масова частка сірки, %, не більше	0,001	за ГОСТ 19121
6	Закоксування 10% залишку, не більше	0,30	за ГОСТ 19932 або EN ISO 10370
7	Зольність, %, не більше	0,02	за ГОСТ 1461 або ДСТУ ISO 6884 або ISO 3987
8	Вміст води, %, не більше	0,05	за ГОСТ 2477 або ДСТУ ISO 662 або ДСТУ ISO 8534 або EN ISO 12937
9	Випробування на мідній пластині	витримує	за ГОСТ 6321 або ISO 2160
10	Стабільність окислення за температури 110°C, годин, не менше	6,0	за ДСТУ ISO 6886 або EN 14112:2003
11	Кислотне число, мг КОН на г, не більше	0,50	за ДСТУ 4350 або EN 14104:2003
12	Йодне число, г йоду на 100 г, не більше	120	за ГОСТ 2070 або ДСТУ ISO 3961:2004 або EN 14111:2003
13	Масова частка ефірів, %, не менше	96,5	за ДСТУ ISO 5508
14	Масова частка метилового ефіру лінолеїнової кислоти, %, не більше	12,0	за ДСТУ ISO 5508

15	Масова частка метанолу, %, не більше	0,20	за ДСТУ ISO 5508
16	Масова частка моногліцериду, %, не більше	0,80	за ДСТУ ISO 5508
17	Масова частина дигліцериду, %, не більше	0,20	за ДСТУ ISO 5508
18	Масова частка тригліцериду, %, не більше	0,20	за ДСТУ ISO 5508
19	Масова частка вільного гліцерину, %, не більше	0,02	за ДСТУ ISO 5508
20	Загальний вміст гліцерину, %, не більше	0,25	за ДСТУ ISO 5508
21	Масова частка фосфору, %, не більше	10,0	за ДСТУ ISO 5508
22	Вміст механічних домішок	відсутні	за ГОСТ 6370

На основі аналізу зарубіжних стандартів і рекомендацій на біодизельне паливо УкрНІНП “МАСМА” розроблено майже єдиний чинний в Україні нормативний документ у наведеній галузі – СОУ 24.14-37-561:2007 “Ефіри метилові жирних кислот для дизельних двигунів”. Він дозволяє зробити висновок про те, що базою для розробки вітчизняного стандарту, що визначає технічні умови на біодизельне паливо, може стати європейський стандарт EN 14214:2003 “Автомобільні види палива. Метилові ефіри жирних кислот для дизельних двигунів (Fatty acid methyl esters – FAME). Вимоги і методи тестування”. При цьому на етапі освоєння виробництва нового для України продукту до цього документа можуть бути внесені такі поправки, що враховують реальні можливості вітчизняного виробника:

- збільшення гранично допустимого вмісту води у продукті з 0,05 до 0,15%. При використанні існуючої системи транспортування і зберігання біопалива води у ньому накопичується втричі більше, ніж встановлено стандартом. Тому необхідно або збільшувати гранично допустиму норму, або транспортувати і зберігати біодизельне паливо у спеціальних водонепроникних ємкостях окремо від тих, які використовуються для дизельного;

- збільшення гранично допустимого вмісту вільного гліцерину з 0,02 до 0,05%. Вимогу стандарту за цим показником встановлено, відповідно до здатності гліцерину вивільняти зв’язану воду. Якщо

гранично допустимий вміст води у паливі буде підвищено, з'явиться можливість збільшити і вміст вільного гліцерину;

- встановлення норми за мінімальним вмістом антибіотика, який використовується для запобігання зростанню мікроорганізмів у біодизельному паливі, що не використовується відразу після виготовлення;

- зниження мінімальної температури спалаху до 55°C. Більшістю національних стандартів цей показник встановлено на рівні 120°C, хоча для нафтового палива він дорівнює ~ 55°C. Встановлення єдиного показника не вплине на цетанове число та змащувальну здатність і одночасно дозволить збільшити граничну концентрацію спиртів з 0,2 до 0,5%;

- обмеження рівня зв'язаного гліцерину значенням 0,08%, що дозволить уникнути кристалізації моногліцеридів;

- введення обмежень на вільні жирні кислоти, мило і залишковий каталізатор, які в існуючих стандартах відсутні. Це актуально у разі, якщо використовується лужний каталізатор і промивка палива після реакції. Обмеження кількості золи у стандартах передбачає низький вміст цих компонентів. Проте у майбутньому, можливо, будуть використовуватися кислотні каталізatori, котрим віддають перевагу при операціях з відпрацьованою рослинною олією, або буде знайдено альтернативу для водяного промивання. У зв'язку з цим постає питання про введення відповідних норм;

- введення гранично допустимого пероксидного числа (максимального ступеня окислення палива, що використовується у дизельних двигунах). Для розробки норм цього показника необхідні подальші дослідження і випробування.

Усі суб'єкти господарювання, які розробляють або освоюють серійне виробництво біопалива або планують виробляти його за ліцензією, повинні керуватися такими нормативними документами:

- ГОСТ 15.001-88 Система розробки та постачання на виробництво. Продукція виробничо-технічного призначення;

- ДСТУ 2960-94 Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення;

- ДСТУ 3021-95 Випробування та контроль якості продукції. Терміни та визначення;



- ДСТУ 3278-95 Система розробки та постачання продукції на виробництво. Основні положення визначення;

- ДСТУ 4311:2004 Система розробки та постачання продукції на виробництво. Продукція нафтопереробки і нафтохімії. Основні положення.

Вплив домішок на якість біодизельного палива наведено в табл. 3.13.

Таблиця 3.13

**Вплив домішок на якість біодизельного палива**

Домішка	Критичний вміст	Проблеми, зумовлені наявністю домішок	Зменшення впливу
Вода	понад 0,15%	корозія деталей системи паливоподачі та паливних баків; розвиток мікроорганізмів, що засмічують фільтри і призводять до корозії	подвійне очищення, вакуумування, додавання антибіотика
Вільний гліцерин	понад 0,05%	утворення відкладень, вивільнення води і зв'язаного гліцерину з палива	промивання
Зв'язаний гліцерин	понад 0,3%	утворення вуглецевих частинок на паливних форсунках і поршневих кільцях, кристалізація	дотримання технології
Спирт	понад 5%	зниження цетанового числа і температури спалаху, зменшення змащувальної здатності палива.	промивання з подальшим вакуумуванням
Жирні кислоти, мила	понад 0,02%	золотворення	
Пероксиди водню	понад 70 одиниць	окислення біопалива, руйнування гумових прокладок, утворення нерозчинних клеїв і осадів	

Капітальні вкладення при будівництві біодизельного заводу зазвичай нижче тих, що необхідні для зведення біоетанольного, і багато в чому залежать від виду запланованої для переробки сировини. Існує низка опублікованих у літературі досліджень обсягу капітальних вкладень різних заводів (наприклад, Shumaker, Agri-Industry Modeling&Analysis Group Independent Biodiesel Feasibility Group, BIOX, Lurgii ін.). Одну з оцінок капітальних витрат при будівництві заводу з попередньою обробкою олійної сировини наведено на рис. 3.8, 3.9. Точність оцінки  $\pm 25\%$ .

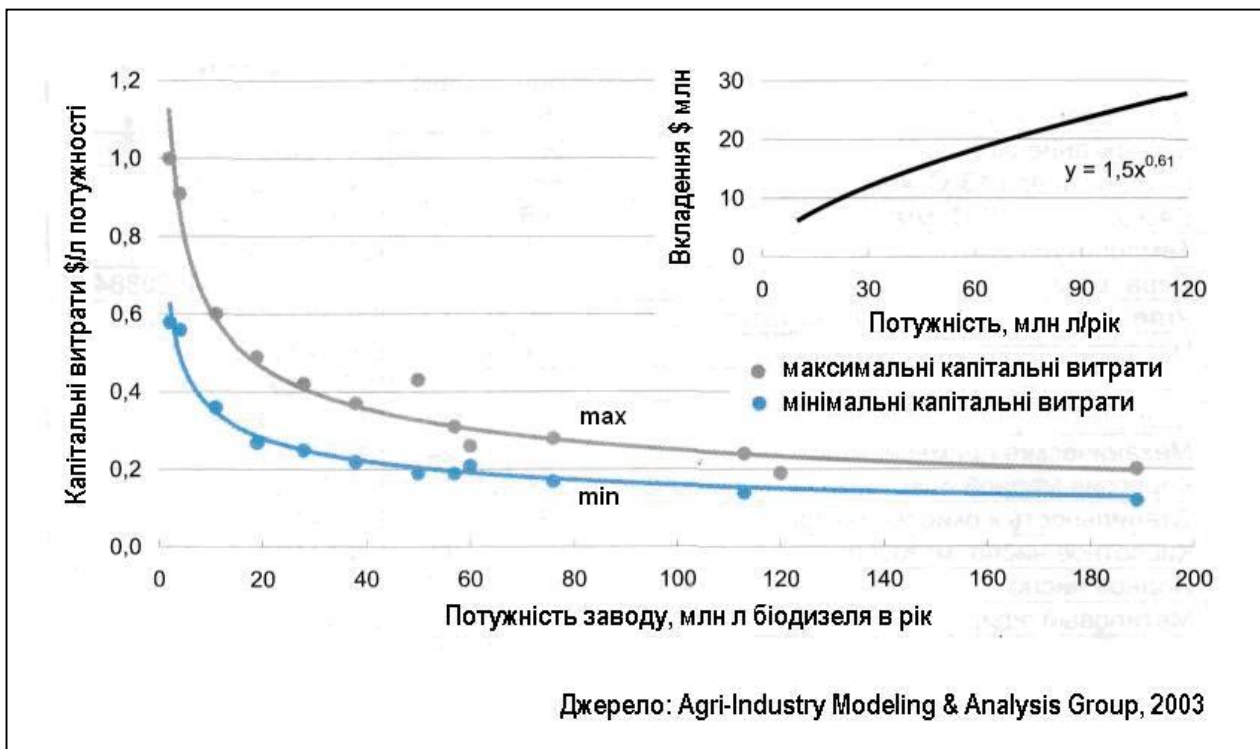
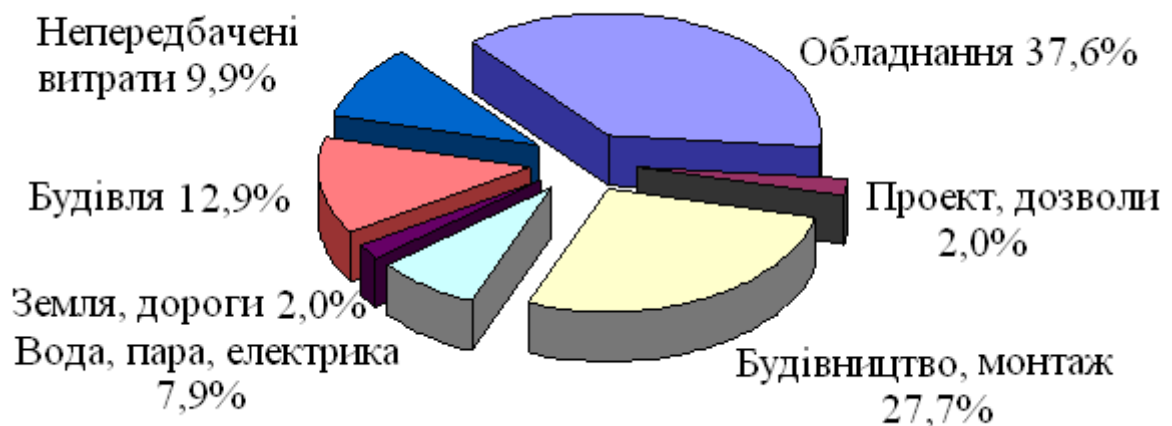


Рис. 3.8. Залежність капітальних затрат на будівництво заводу від потужності виробництва біодизелю

Як бачимо з рис 3.8 при будівництві заводу потужністю менше 15 млн. л біодизелю в рік відносні витрати зростають, а тому з економічної точки зору доцільно будувати більш потужні заводи.



Джерело: Agri-Industry Modeling & Analysis Group, 2004

Рис. 3.9. Структурна схема затрат на будівництво заводу з виробництва біодизелю

Графічне зображення на рис. 3.9 свідчить про те, що при

будівництві заводу потужністю 1,9 млн. т біодизелю в рік більше третини капітальних затрат припадає на обладнання, зокрема, із 1,1 млн. доларів капітальних витрат 0,4 млн. доларів витрачається на обладнання.

При цьому незалежно від обсягів вкладень єдиним способом отримати прибутковий біодизельний завод є здійснення ретельного і детального планування перед початком будівництва. При цьому необхідно:

- здійснити детальне дослідження кон'юнктури ринку стосовно всіх продуктів (не тільки основних продуктів реакції, але й жирних кислот та інших побічних продуктів). Така інформація може істотно вплинути на економіку заводу;

- змодельовати розвиток ринку, звертаючи увагу не тільки на оптимістичні тенденції до збільшення попиту на біопаливо, але і, наприклад, на можливість обвалу цін на гліцерин;

- розглянути можливість інтеграції заводу у вже існуючі індустріальні комплекси. Зокрема, для компаній, які серйозно зацікавлені виробництвом біопалива, має сенс паралельне розміщення заводів з виробництва біоетанолу і біодизелю на одному майданчику. Це дозволяє: врахувати особливості сівозміни (ріпак, як правило, чергується з пшеницею); забезпечити гнучкість використання сировини; скоротити бюрократичну тяганину при оформленні дозволів на виробництво; забезпечити можливість використання для виробництва біодизелю власного етанолу замість небезпечного, з екологічної точки зору, метанолу; скоротити експлуатаційні витрати;

- порівняти переваги і недоліки кожного з варіантів розміщення заводу. При цьому вибір майданчика, як правило, визначається: наявністю ділянки землі площею 4-8 га (з буферною зоною); можливістю отримання дозволів державних органів на будівництво хімічного виробництва; наявністю доступу до дешевої сировини (80% собівартості – ціна сировини); наявністю автомобільних і залізничних доріг, здатних забезпечити мінімальні транспортні витрати і зручність відвантаження продукції споживачеві; наявністю води, електрики, а також робочої сили;

- передбачити забезпечення технологічної гнучкості заводу. Біодизель – це все ще молодий продукт, який повинен досягти зрілості. Тому вимоги до нього будуть суттєво змінюватися головним чином через проблеми, пов'язані з особливостями його застосування на транспорті. До того ж, споживач (наприклад, компанія, яка займається

компаундуванням палива) може висувати додаткові вимоги, які відрізняються від встановлених у нормативних документах;

- отримати реальні зобов'язання від основних потенційних клієнтів. Необхідно пам'ятати, що довгострокові контракти на основні продукти можуть забезпечити більш суттєву норму прибутку;

- проаналізувати можливості попередньої обробки сировини, уважно поставитися до вибору каталізатора і проблеми забезпечення безпеки праці та екологічної безпеки виробництва.

Розробка та постачання біодизельного палива на виробництво передбачає:

- розробку технічного завдання;
- затвердження технічної, технологічної та нормативної документації – технологічних регламентів, технічних умов (ТУ), стандартів організацій України (СОУ), державних стандартів України (ДСТУ);
- виготовлення і випробування лабораторних, дослідних, дослідно-промислових партій з підписанням протоколів випробувань;
- приймання результатів роботи державною приймальною комісією;
- підготовку та освоєння виробництва.

Деякі із зазначених робіт можна суміщати, а також змінювати їх послідовність або доповнювати іншими роботами. При цьому виробник повинен підтвердити відповідність продукції вимогам безпеки, охорони здоров'я та навколишнього середовища. На жаль, вказаних вимог часто не дотримуються. Зокрема, багато компаній не мають ліцензій на роботу з метиловим спиртом. Нерідко сирий гліцерин, в якому міститься до 15% метанолу, виливається на поля як "добрива". Безумовно, що такий шлях освоєння виробництва біодизельного палива завдає великих збитків навколишньому середовищу.

### **3.7. Виробництво та споживання біодизельного палива у провідних країнах світу**

Останніми роками в умовах галопуючих цін на традиційні енергоносії світова біодизельна індустрія процвітає. Зокрема, в ЄС існує єдиний стабільний і постійно зростаючий рік у рік ринок біопалива з уніфікованими стандартами і зобов'язаннями. Трійку його лідерів очолює Німеччина, що випускає більше 44% від загального обсягу

європейського біодизелю. Далі йдуть Італія і Франція – 14 і 13% відповідно. При цьому в Німеччині з 1997 по 2007 р. потужності виробництва біодизелю збільшилися з 0,2 до 3,5 млн. т. В Італії виробництво біодизельного палива теж збільшилося у 2007 р. більше ніж удвічі, а після введення в експлуатацію трьох нових заводів загальна потужність зросла до 1,2 млн. т. У Франції виробництво біодизелю забезпечується шістьма заводами, один з яких знаходиться у Німеччині. Розміри інвестицій та орієнтовну собівартість виробництва різних видів біопалива наведено в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

**Розміри інвестицій та орієнтовна собівартість виробництва різних видів біопалива**

Біопаливо	Інвестиції		Собівартість виробництва			
	EUR/КВТ Т		EUR/л		EUR/ГД ж	
	найбли жча перспектива	віддал ена перспектива	найбли жча перспектива	віддал ена перспектива	найбли жча перспектива	віддал ена перспектива
Рапсовий біодизель	1 50	1 10	0,5 0	0 ,20	1 5	
Етанол (цукрові культури)	2 90	1 70	0,3 2-0,54		1 5-25	
Етанол (деревина)	3 50	1 80	0,1 1-0,32	5 -15		
Метанол	7 00	5 30	0,1 4-0,20	0 ,10	9 -13	
Диметилловий ефір			0,2 7		1 4	
Дизель Фішера-Тропша	7 20-770	5 00-540	0,11-0,32		5-5	
Піролізна олія (без переробки в дизпаливо)	1 000	7 90	0,06-0,25		4-8	
ГТП-дизель	5 35	4 00	0,16-0,24		5-7	

Це дасть можливість збільшити сумарний обсяг виробництва до 900 тис. т у рік, для чого буде потрібно додатково 620 – 750 тис. га рапсових плантацій. Державна підтримка сільського господарства,

пільгове оподаткування, посилення екологічного законодавства у багатьох енергозалежних країнах (у першу чергу, європейських) зробили виробництво і продаж біодизелю вигідним виробництвом.

На рис. 3.10 наведено виробництво біодизелю країнами світу у 2008 році, що становить 16,084 млн.т., а в таблиці 3.15 – динаміку виробництва біодизельного палива у країнах ЄС протягом 2005-2008 років.

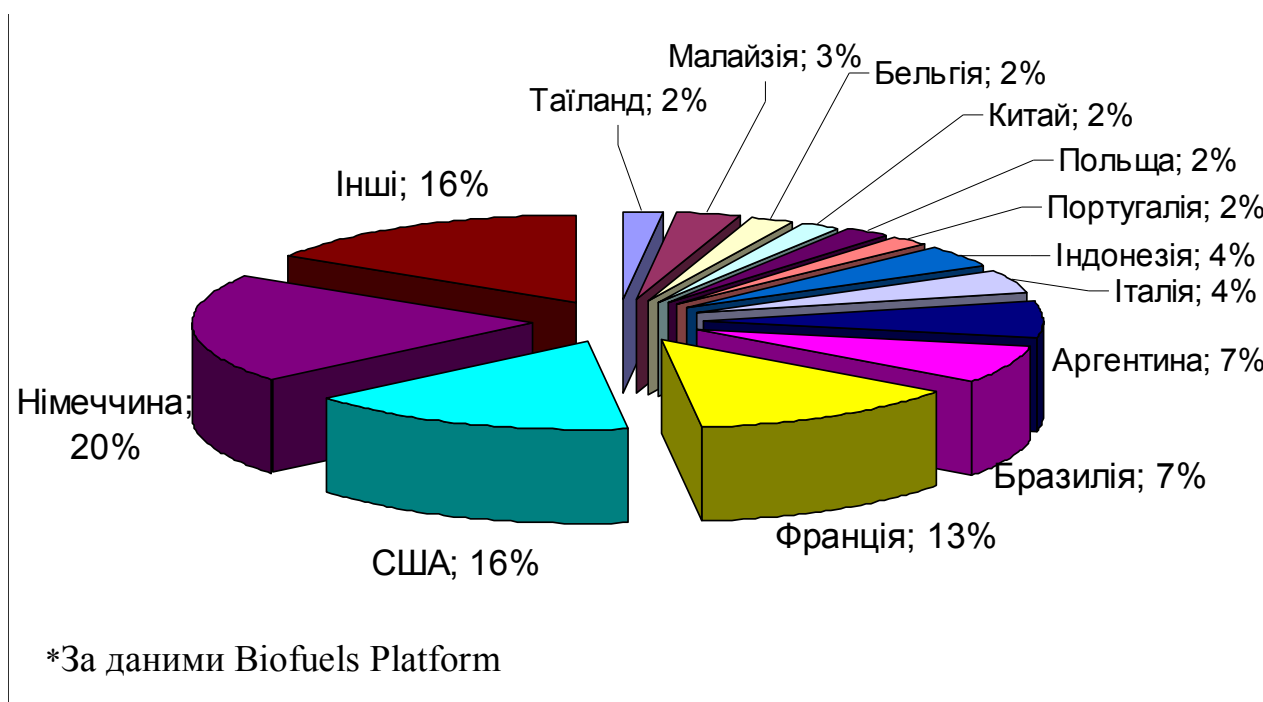


Рис. 3.10. Виробництво біодизелю країнами ЄС у 2008 р.

Таблиця 3.15

**Динаміка виробництва біодизельного палива у країнах ЄС у 2004-2008 рр.**

Країна	Обсяги виробництва, тис. т			
	2004	2005	2006	2008
Німеччина	1035	1669	2662	2819
Франція	348	492	743	1815
Італія	320	396	447	595
Бельгія	—	1	25	277
Польща	—	100	116	275
Португалія	—	1	91	268
Данія	70	71	80	100
Швеція	1,4	1	13	131
Австрія	57	85	123	213
Іспанія	13	73	99	207
Великобританія	9	51	192	192
Словаччина	15	78	82	146

Греція	—	3	42	107
Угорщина	—	—	—	105
Чехія	60	133	107	104
Нідерланди	—	—	18	101
Фінляндія	—	—	—	85
Литва	5	7	10	66
Румунія	—	—	10	65
Латвія	—	5	—	30
Ірландія	—	—	4	24
Болгарія	—	—	4	11
Кіпр	—	—	1	9
Словенія	—	—	11	9
Мальта	—	2	2	1
Всього по країнах ЄС	1933	3176	4882	7755

Перевагою виробництва біопалив другого покоління є те, що як сировину використовуватимуть відходи сільськогосподарського виробництва, а не харчові культури, на відміну від виробництва біопалива першого покоління (рис. 3.11).

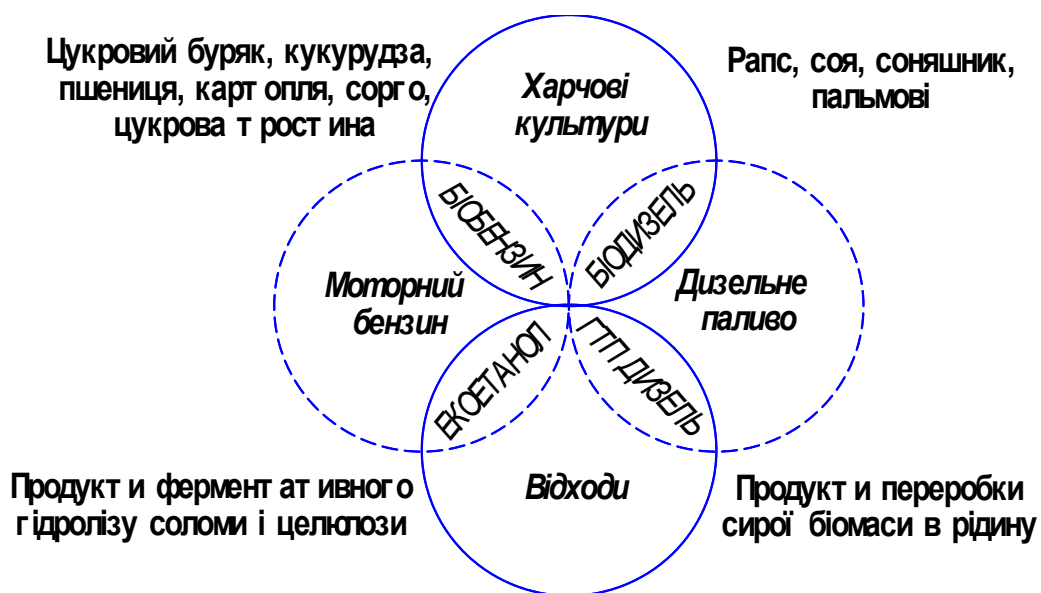
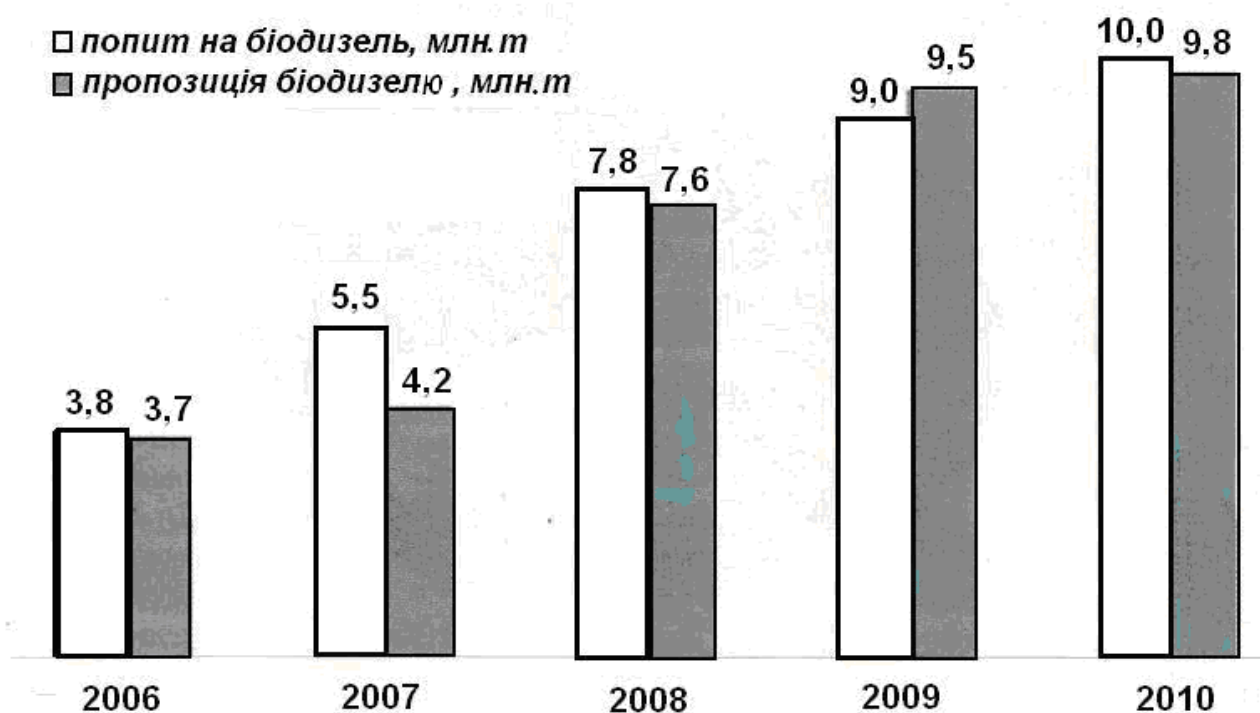


Рис. 3.11. Сировина для виробництва біопалива першого та другого поколінь

Біодизельне паливо може використовуватися у вихрових і передкамерних дизельних двигунах, а також у двигунах з безпосереднім вприскуванням, як у чистому вигляді (в адаптованих двигунах), так і в сумішах з нафтовим паливом без змін конструкції двигуна. Як уже зазначалося, біодизельні суміші позначаються літерою В і цифрою, що означає процентний вміст біодизелю. Хоча змішування може відбуватися у будь-якій пропорції, юридичні тонкощі

оподаткування призвели до виникнення двох основних типів такого палива: B2 – B5 і B30 (для громадського транспорту). Попит та пропозицію на біодизель в Європі наведено на рис. 3.12.



Джерело: GTZ, 2006

Рис. 3.12. Попит та пропозиція на біодизель в Європі

Перед початком експлуатації двигуна на біодизельному паливі необхідно промити фільтри грубого і тонкого очищення, а також замінити гумові паливні шланги та прокладки на полімерні. У деяких випадках буде потрібно частіше змінювати моторне мастило, що здатне розріджуватися при попаданні у нього біодизельного палива. При холодному пуску, можливо, дещо зросте шумливість двигуна. Крім цього:

- підвищення густини і кінематичної в'язкості сприяє збільшенню далекобійності паливного факела і діаметра крапель палива, що розпиляється, поліпшує попадання палива на стінки камери згоряння та гільзи циліндра;
- менший коефіцієнт стискування забезпечує збільшення кута випередження вприскування палива і максимального тиску у форсунці;
- високе цетанове число сприяє скороченню періоду затримки запалювання і менш “жорсткій” роботі двигуна;



- підвищена температура спалаху в закритому тиглі (120°C і більше) забезпечує пожежну безпеку;

- наявність кисню (10%) дозволяє інтенсифікувати процес згоряння і забезпечити більш високу температуру в циліндрі дизельного двигуна, що сприяє підвищенню індикаторного та ефективного КПД двигуна.

Для збереження номінальних параметрів двигуна при переобладнанні на біодизельне паливо потрібне регулювання паливної апаратури для збільшення циклової подачі палива. Деяке збільшення викидів NO<sub>2</sub> можна компенсувати зменшенням дійсного кута випередження впорскування палива, рециркуляцією відпрацьованих газів, подачею води на впуск.

### **3.8. Перспективи виробництва біодизельного палива в Україні**

Обмеженість в Україні традиційних енергоносіїв, зростання забруднення довкілля спонукають наукові товариства до пошуків нових екологічно чистих видів палив. Одним із таких напрямів є виробництво дизельного палива з рослинної олії.

Протягом останніх трьох років середньорічне споживання дизельного палива в Україні становить близько 6,5 млн. т, а до кінця 2010 р. згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2030 року, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України, зросте до 7,7 млн. т.

Для гарантованого здійснення сільськогосподарських робіт за технологічними нормами щороку необхідно близько 1870 тис. т дизельного палива і 620 тис. т бензину. Для виробництва такої кількості пального використовується близько 4,5 млн. т нафти, що переважно імпортується. У зв'язку з тим, що постійне зростання її вартості призводить до підвищення вартості нафтопродуктів, а отже, і сільськогосподарської продукції, традиційний варіант задоволення потреби сільськогосподарського виробництва завдяки тільки нафтопродуктам малоперспективний.

Доцільніше перейти до забезпечення сільськогосподарських товаровиробників біопаливом, що виробляється з рослинної олії. На користь зазначеного варіанта свідчить досвід таких країн, як Німеччина, Франція, Австрія, Чехія, де для вирощування ріпаку використовується 10-14% ріллі.

За даними Міжнародної асоціації олійних культур (UFOP), у 2003 р. сумарне виробництво біодизельного палива становило 2,1

млн. т. Частка цього палива у країнах – членах ЄС зростає від 2% у 2005-му до запланованих 8% у 2020 р. Директива ЄС, яка набула чинності в 2009 р., зобов'язує всі країни – члени Європейського Союзу – довести мінімальну частку палива з біомаси у загальному обсязі продажу в кожній країні у 2010 р. до 5,75%. На ці вимоги орієнтується сьогодні й Україна. У нас діють вітчизняні стандарти стосовно дизельних палив, які відповідають європейському стандарту EN-590-93 та частково стандарту EN-590-2000. Як член Женевської угоди, Україна з 1999 р. застосовує правила Європейської економічної комісії ООН щодо обов'язкової сертифікації транспортних засобів із дизельними двигунами.

Основні екологічні вимоги стосовно дизельних палив зводяться до обмеження:

- вмісту ароматичних вуглеводнів, особливо токсичних поліциклічних вуглеводнів;
- сірковмісних сполук до тисячних часток відсотка;
- емісії продуктів неповного згоряння: монооксиду вуглецю, вуглеводнів, твердих частинок та оксидів азоту. У зв'язку з ратифікацією Україною Кіотського протоколу (він стосується проблем зниження емісії парникових газів) актуалізується питання зменшення викидів в атмосферу діоксиду вуглецю автомобільним транспортом.

В Європі біодизельне паливо здебільшого – це продукт із ріпаку. Існує кілька напрямів використання цієї рослини для виробництва біодизельного палива. Головні з них такі.

**Перший напрям** – це одержання сирової олії та її ретельна фільтрація. Двигун працює на чистій ріпаковій олії. Цей шлях обрали фахівці в Німеччині, створивши спеціальні двигуни або ж конструктивно модифікувавши традиційні. За цим варіантом біодизельне паливо використовується здебільшого сільськогосподарськими виробниками для роботи власної техніки. Так фермери або кооперативи фермерів спільно вирощують ріпак, посівні площі якого сягають 10-12% орних земель. Малопотужні приватні установки виробляють із нього 300-3000 т за рік біопалива кожна. Уряд країни від 2001 р. надає кожному фермерові дотацію до 360 євро за кожен гектар, де вирощується ріпак для біопалива. Перевага віддається транспортним засобам, адаптованим до роботи на біопаливі. Передусім воно використовується у зонах напруженого екологічного стану (міський транспорт, маневрові тепловози, судна,

які працюють на водоймах з обмеженим водообміном).

У Німеччині виготовляється кілька вітчизняних марок дизельних двигунів для роботи на чистій ріпаковій олії. Головними постачальниками цих двигунів є відомі фірми “Дойц Фар” та “Елко” (всього їх дев’ять). Сьогодні ФРН забезпечує завдяки ріпаковій олії приблизно 5% своїх потреб у дизельному паливі.

**Другий напрям** – це одержання сирої олії, її ретельна фільтрація та централізовано регламентоване додавання чистої олії (5-40%) до товарного дизельного палива. При цьому не потрібно створювати двигуни, адаптовані до ріпакової олії. Головним споживачем біопалива є морський, військово-морський та автотранспорт. Зокрема, це муніципальні автобуси, експлуатація яких заборонена у деяких великих містах і в окремих регіонах за умови споживання ними традиційного вуглеводневого палива. При цьому штрафи за недотримання норм викидів токсичних речовин перевищують різницю вартості біологічного та нафтового дизпалива. Виходячи із такої схеми, біодизельне паливо, наприклад, у Франції чи Італії виробляється здебільшого централізовано на потужних установках 5-10 тис. т/рік.

**Третій напрям** – одержання ріпаково-метилових естерів (РМЕ) – продукту відносно простого каталітичного синтезу на основі ріпакової олії та метилового спирту.

У процесі реакції переестерифікації олії жири вступають у реакцію з метиловим (етиловим) спиртом за наявності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються складні ефіри, а також гліцеролова фаза. Біодизельне паливо можна використовувати в будь-яких дизельних двигунах (вихро-камерних і передкамерних, а також із безпосереднім упорскуванням) як самостійно (в адаптованих двигунах), так і в суміші з дизельним паливом.

Цим шляхом пішли більшість країн – членів ЄС. На нього орієнтується сьогодні й Україна. Відзначимо, що РМЕ використовуються у Бельгії, Італії, Німеччині, Швеції, Франції та інших країнах Європи. Ці естери додають до товарного дизельного палива у концентраціях 20-30% без додаткової конструктивної модифікації двигуна.

У відділі гомогенного каталізу Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України здійснюються дослідження щодо обов’язкової добавки 5-25% РМЕ до товарних марок вітчизняного літнього дизельного палива. Виконані стендові випробування на

стаціонарних двигунах марок 1 Ч8,5/11 та ЯМЗ-236 засвідчили, що у разі використання цього палива знижується емісія вуглеводнів і  $\text{CO}_2$ , натомість інтенсивність утворення оксидів азоту не змінюється. Однак відзначено і деяке збільшення викидів так званих озоноруйнівних компонентів: ароматичних вуглеводнів, олефінів та альдегідів. Виявлено також поступове закоксування розпилювачів форсунок паливної апаратури (характерне за умови вмісту РМЕ 15-25%). Для вирішення цієї проблеми розроблено Інститутом біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України залізовмісну присадку ІБОНХ-2 на основі вітчизняної сировини. Одноразове використання присадки у складі сумішевого біопалива (0,2% мас.) дає змогу повністю очистити розпилювачі форсунок під час роботи дизельних двигунів. До того ж, присадка характеризується протинагарними та протидимними властивостями. Дуже важливо, що за наявності РМЕ (10-25%) поліпшуються мастильні властивості низькосірковмісного (так званого екологічно чистого) дизельного палива Л-0, 10-40 за ДСТУ 3868-99. Це унікальна обставина, оскільки зниження сірковмісних сполук у вуглеводневому паливі спричиняє значну втрату його мастильних властивостей у прецизійних парах тертя плунжерних паливних насосів.

Враховуючи необхідність ефективного використання біопалив в енергетичному балансі України, у січні 2000 р. було прийнято Закон України № 1391-XIV “Про альтернативні види рідкого та газового палива”, який визначає правові, соціальні, економічні, екологічні та організаційні засади виробництва і споживання альтернативних видів рідкого й газового палива на основі залучення нетрадиційних видів енергетичної сировини та спрямований на створення необхідних умов для розширення виробництва і споживання цих видів палива в Україні. У грудні 2006 року Кабінет Міністрів України затвердив Програму розвитку виробництва дизельного біопалива.

Передбачається, що виконання Програми у повному обсязі дасть змогу довести виробництво дизельного біопалива до 623 тис. т на рік, що сприятиме зменшенню імпорту нафти до 1,88 млн. т та відповідно скороченню витрат валютних ресурсів на суму більше 4,5 млрд. грн.

При цьому додаткові надходження до державного бюджету від сплати податку на додану вартість за реалізацію 623 тис. т дизельного біопалива, а також інших податків до державного та місцевого бюджетів становитимуть близько 0,53 млрд. грн., виходячи з орієнтовного розрахунку ціни дизельного біопалива до

3250-3950 грн. за 1 т.

У травні 2009 року Верховна Рада України затвердила Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива”. У законі сказано, що діяльність у сфері виробництва та використання біологічних видів палива може здійснюватися суб’єктами господарювання всіх форм власності відповідно до законодавства України.

Суб’єкти господарювання, що використовують різні технології виробництва біологічних видів палива, мають рівні права на доступ до ринку біологічних видів палива.

Якщо орган, на який буде покладено реалізацію вимог закону не знівелює своїми підзаконними актами суті статей Закону, то виробництво біопалива в Україні розвиватиметься прискореними темпами.

В Європі, враховуючи реальні можливості вирощування олійних культур для енергетичних потреб, пріоритетне значення має ріпакова олія, а соняшникова займає другу позицію. У деяких європейських країнах (Австрія, ФРН, Франція) та в провідних господарствах України врожайність ріпаку сягає 40 ц/га, що дає змогу одержувати близько 1,5 т олії з 1 га посівної площі.

Нині Україна, незважаючи на високі темпи зростання виробництва олійних культур, значно поступається країнам Європи за показником валового виробництва ріпаку. Зокрема, у 2006 р. у Німеччині його зібрано 3,9 млн. т, у Франції – 3,5 млн. т., в Україні – 0,6 млн. т.

В Україні ріпак – це не екзотична культура. До 1910 р. на наших сільськогосподарських угіддях під цю культуру відводили 30-40 тис. га орної землі. Саме з нього одержували олію за власними технологіями для харчових і технічних цілей (соняшник тоді висівали на значно менших площах). Наприкінці 30-х років минулого століття основний клин товарних посівів ріпаку, переважно озимих сортів, сформувався у регіонах Західної України, Полісся та Лісостепу – 120-130 тис. га. Потім його культивування почали прискорено скорочувати і до кінця 50-х років вирощування ріпаку знаходилося на мінімальному рівні.

Нині в Україні цю культуру висівають у всіх регіонах. Проте, незважаючи на тривалу державну агітацію за ріпак, масового поширення він так і не набув. Причина полягає у тому, що не

вирішеними залишаються питання як технічного, так і технологічного рівня. Ось деякі з них. Ріпак є культурою з малим за розміром насінням. Для його сівби і збирання потрібна спеціальна техніка (або ж слід конструктивно модифікувати традиційну), інакше втрати будуть значними. Придбання зарубіжної техніки потребує чималих коштів, які має не кожне агропідприємство в економічних умовах сьогодення. Крім того, наше сільське господарство потерпає від низького рівня виробничої культури. Агротехнологій часто не дотримуються з економічних причин, через обмежені фінанси. Звідси й маємо середньостатистичну врожайність ріпаку на рівні 12-15 ц/га. Це лише 25-30% закладеного в ньому потенціалу продуктивності.

На думку фахівців, основними факторами, які зумовлюють екстенсивний рівень ведення галузі ріпаківництва, є складний фінансовий стан сільськогосподарських підприємств, низький рівень культури землеробства, недотримання комплексу елементів технології вирощування.

Слід зважати і на кліматичні умови України. Адже культивують ріпак як озимий, так і ярий. Продуктивнішим є озимий, який за врожайністю майже в 1,5 раза перевищує ярий.

Галузь ріпаківництва в Україні на сучасному етапі продовжує функціонувати на екстенсивній основі. Врожайність озимого ріпаку становить всього 30% потенційної і 40% середньоєвропейської, ярого – відповідно 20-25 і 25-35%.

У країнах Західної Європи нагромаджено певний досвід щодо промислового виробництва чистої ріпакової олії та синтезу на її основі ріпаково-метилових естерів (РМЕ). Цьому сприяє будівництво великих централізованих переробних підприємств; розміщення невеликих цехів на рівні аграрних, а також інших зацікавлених підприємств.

Розглянемо декілька можливих варіантів вартості біодизельного палива залежно від потужності переробних заводів.

**Варіант 1.** Будівництво заводів для виробництва біодизелю потужністю 50-100 тис. т на рік. За такої потужності потрібно переробляти близько 300 тис. т ріпаку, який можливо виростити за умов урожайності 15 ц/га на площі 100-120 тис. га.

Це зумовлюватиме проблему доставки сировини, а також використання ріпакового шроту й водночас перегляду сівозмін.

Розрахунки показують, що виробництво біодизельного палива з ріпаку із зазначеною потужністю заводу може бути рентабельним при

ціні 2000-2300 грн./т та за умови, що його виробництво буде налагоджено на комплексному використанні основної і побічної продукції замкнутого циклу – від вирощування сировини до випуску й реалізації біопалива, з урожайністю насіння ріпаку не нижче 20 ц/га та при реалізації ріпакового шроту як корму для тварин, використанні соломи для господарських і енергетичних потреб та гліцерину як побічної вихідної продукції.

З точки зору одержання максимальної економічної ефективності виробництва біодизельного палива, необхідно створювати регіональні зони концентрованого вирощування ріпаку з визначеним обсягом посівної площі, формувати відповідну інфраструктуру (агротехсервісні комплекси, елеватори нового покоління, комбікормові заводи тощо), а також розвивати тваринницьку галузь.

Наші розрахунки свідчать, що витрати на виробництво біодизелю на заводах з потужністю 50-100 тис. т на рік завжди будуть високими, а ціни для споживачів біодизелю без дотування державою – здебільшого нерентабельними, якщо не будуть прийняті економічно обґрунтовані відстані перевезення сировини, не забезпечуватиметься реалізація побічної продукції, здійснюватимуться непередбачені витрати на техніко-технологічні послуги тощо.

**Варіант 2.** Розглянемо економічну доцільність будівництва заводу з виробництва біодизелю потужністю 5-7 тис. т на рік. Основна перевага таких заводів – вони можуть комплектуватися обладнанням вітчизняного виробництва, вартість якого на порядок нижча від зарубіжного. Значною перевагою є й те, що українські виробники пропонують інноваційні технології з виробництва біодизелю, які забезпечують високу якість біопалива, мають значно меншу матеріаломісткість та у 2-3 рази меншу енергоємність на виробництво 1 т біодизелю. Такий завод у змозі споруджувати на кооперованій основі виробників насіння ріпаку, забезпечуючи потребу сільгоспвиробників одного або двох районів області. Як показують розрахунки, за умов реалізації насіння ріпаку за ціною 2000 грн. вартість 1 л біодизелю буде в межах 3,1-3,5 грн. При виробництві біодизельного палива на кооперативних засадах, коли на завод надходитиме насіння ріпаку за нормативно-розрахунковою собівартістю, вартість виробництва біодизелю буде більш ніж у 2 рази нижчою його вартості при закупівлі насіння ріпаку за ринковою ціною. Господарства-засновники спорудженого заводу матимуть можливість економити обігові кошти при 100%-му забезпеченні

біодизельним паливом.

**Варіант 3.** Виробництво біодизельного палива безпосередньо в господарстві задля власних потреб.

У сільськогосподарських формуваннях, які інтенсивно нарощують виробництво ріпаку, де потреба у дизельному паливі становить від 200 до 400 т на рік, виробництво такого обсягу біодизельного палива з власного врожаю ріпаку собівартістю в межах 800 грн./т, на базі використання вітчизняного інноваційного обладнання або за наявності у господарствах оліє-екстрактних цехів як перехідного варіанта дає можливість організувати економічно вигідне виробництво біодизелю. При цьому собівартість виробництва біодизелю на базі інноваційного обладнання із власного ріпаку може становити близько 2,5-2,7 грн./л, що значно дешевше від ціни дизельного палива. Одночасно практично повністю розв'язується проблема ефективного використання ріпакового шроту для тваринництва. Слід відзначити, що за цих умов не порушуються рекомендації вчених про оптимальне співвідношення ріпаку в сівозміні конкретного господарства. Це сприяє збереженню родючості ґрунту як основного багатства України та є ефективним щодо застосування в країні відновленого джерела енергії – біодизельного палива.

Позитивного результату щодо зниження собівартості виробництва біопалива досягають країни Західної Європи за умов створення корпоративних формувань з виробництва і переробки біосировини. Корпоративні об'єднання підприємств – виробників і переробників біоенергетичної сировини – завдяки замкнутому технологічному циклу отримання біопалива вигідно конкурують з традиційними видами палива саме своєю незалежністю від кон'юнктури ринку на паливно-мастильні матеріали.

Таке об'єднання підприємств у регіональні корпорації з замкнутим технологічним циклом виробництва біопалива за схемою *виробництво біосировини – переробка біосировини – виробництво біопалива – реалізація біопалива* та взаємопов'язаним з чітко налагодженим плануванням виробництва і централізованим фінансуванням усіх робіт із виробництва біоенергетичної сировини та біопалива дає змогу створити належні умови для стабільної роботи об'єднаних підприємств та зниження собівартості виробництва біопалива шляхом розміщення виконання на цих підприємствах корпоративних замовлень.



Для організації, наприклад, корпоративного формування з виробництва біодизельного палива слід об'єднати такі профільні підприємства, утворивши ефективний кластер:

- підприємства сільського господарства із виробництва ріпаку, де його виробництво не буде основним видом продукції, а корпоративним замовленням на певну кількість насіння товарного ріпаку для завантаження потужностей корпоративних підприємств, що переробляють насіння на олію;

- переробні підприємства з переробки насіння на олію, але виробництво ріпакової товарної олії для цього підприємства не повинно бути основним видом продукції, а лише корпоративним замовленням на певний обсяг олії для завантаження корпоративних підприємств із виробництва біодизельного палива;

- підприємства-виробники, що переробляють олію на біодизельне паливо, де виробництво біодизельного палива буде основним видом продукції.

Виробництво біодизельного палива корпоративне формування планує таким чином, щоб взаєморозрахунки між своїми підприємствами зумовлювали стимулюючий характер виробництва біоенергетичної сировини, а саме:

- для зменшення енергетичного складника собівартості основної продукції підприємств сільського господарства, що виробляють ріпак, корпоративні підприємства-виробники біодизельного палива мають у першу чергу їм передавати частину своєї продукції (біодизельне паливо) в обсягах, які б покривали енергетичні потреби цих підприємств;

- переробні підприємства-виробники ріпакової олії мають у першу чергу передавати підприємствам-виробникам насіння ріпаку частину своєї побічної продукції – шрот в обсягах, які б здебільшого покривали потреби у кормах цих корпоративних підприємств – виробників насіння ріпаку.

Зазначений комплексний підхід щодо розв'язання проблеми взаєморозрахунків і водночас ціноутворення на біодизельне паливо дає можливість суттєво зменшити основні складники вартості біодизельного палива завдяки досягненню підвищення врожайності ріпаку з 1 га посівної площі, зменшення вартості переробки ріпаку на олію, зменшення енерговитрат на його вирощування, виробництво побічних, крім біодизельного палива, продуктів переробки ріпаку – харчового, кормового, фармацевтичного та іншого спрямування.

У рамках корпоративного об'єднання виробників і переробників біоенергетичної сировини в більшості районів України на базі комплексних багатофункціональних технологічних ліній є можливість включити виробничі потужності господарюючих суб'єктів усіх форм власності і господарювання з вирощування високоенергетичних культур та їхньої переробки. Це сприятиме нарощуванню земельних ресурсів для виробництва біосировини, створенню та розвитку виробничої інфраструктури вирощування насіннєвої продукції ріпаку, створенню та розвитку інфраструктури виробництва ріпакової олії, біодизельного палива та інфраструктури застосування біопалива в транспортній галузі.

У нинішній фінансово-економічній ситуації, що склалася в аграрній сфері, підприємства, які спеціалізуються на вирощуванні насіння ріпаку, передусім використовують сприятливу кон'юнктуру реалізації насіння ріпаку на експорт.

Необхідна державна підтримка розвитку виробництва біопалива на корпоративних засадах щодо захисту від ризиків на етапі проведення пілотного проекту і в перші роки становлення корпорацій біоенергетичної галузі України.

У найближчому майбутньому Україна має можливість лідерства серед держав СНД, використавши набутий досвід Європейських країн щодо виробництва біодизельного палива та розвиток конкуренції, яка має місце на ринку біопалив в Україні.

Таким чином, на нинішньому етапі для налагодження виробництва біодизельного палива в Україні першочерговими є такі завдання:

- формування інфраструктури ринку біодизельного палива;
- створення високоврожайних, адаптованих до умов України гібридів ріпаку;
- розвиток сучасних високоврожайних технологій вирощування ріпаку (створення агровиробничої культури, забезпечення страхового захисту врожаїв, технічна модернізація агропідприємств);
- створення регіональних зон концентрованого вирощування ріпаку з дотриманням оптимізації структури посівних площ;
- узагальнення світового досвіду щодо розміщення та реалізації потужностей з переробки насіння ріпаку до чистої олії і синтетичних РМЕ (передусім техніко-економічне обґрунтування двох варіантів створення великих

централізованих переробних підприємств і великих цехів на рівні аграрних та інших зацікавлених підприємств);

- нагромадження власного експериментального досвіду щодо типів дизельних двигунів, у яких доцільно використовувати чисту ріпакову олію, синтетичні РМЕ та сумішеві палива із залученням до товарних дизельних палив цих біологічних складників;
- гармонізація вітчизняних стандартів до Європейських дизельних палив.

Саме такий підхід гарантуватиме стабільність якості біодизельного палива у процесі виробництва та застосування його у дизельних двигунах.

Загалом, як би там не було, але перехід на економічно чисті види палива продиктований вимогами сьогодення, тому Україна не може ізолюватися від цих загальносвітових тенденцій.

### **Основні терміни та поняття**

*Біодизель. Енергонезалежність. Вільний метанол. Метанове число. Сумішеве паливо. Оксиди азоту. Цетанове число. Рапсова олія. Соняшникова олія. Присадки. Скипидар. Ефірні олії. Ріпак (рапс). Пальмова олія. Біореактор. Біонафта. Сівозміна. Гліцерин. Густина. Кінематична в'язкість.*

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Поясніть загальні поняття та аспекти виробництва та використання біодизельного палива.
2. Охарактеризуйте переваги та недоліки виробництва та споживання біодизелю.
3. Які позитивні якості хімічного складу біодизелю?
4. Назвіть коло проблем, які можуть виникнути при використанні біодизелю як пального для автомобіля.
5. Чим відрізняється біодизель від біоетанолу?
6. Які ви знаєте фізико-хімічні суміші біодизелю з дизельним паливом?
7. Як змінюється ККД двигуна при збільшенні добавки біодизелю в дизельне паливо?
8. Поясніть фізико-хімічні характеристики сумішей метанола з біодизелем та результати випробувань на двигуні.
9. Які результати випробувань суміші соняшникової олії з дизельним паливом?

10. Охарактеризуйте присадки рослинного походження. Яку економічну ефективність вони мають?
11. Назвіть сировину для виробництва біодизелю.
12. Охарактеризуйте комплексне використання основної і побічної продукції ріпаківництва.
13. Проаналізуйте перспективи виробництва і переробки ріпаку в Україні.
14. У чому полягає структура продукції переробки врожаю ріпаку?
15. Проаналізуйте стандарти біодизельного палива.
16. Де і як відбувається споживання біодизельного палива?