

УДК 620.92 (477.81)

**Р.М. Ігнатюк, О.П. Рижий, С.В. Морозюк***Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне***АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУТКУ БІОПАЛИВА НА РІВНЕНЩИНІ**

*У статті проведений поетапний аналіз основних способів отримання нетрадиційних видів палива та визначені основні підходи щодо інтенсифікації виробництва цих палив на теренах України. З метою вибору найоптимальнішої технології виробництва біопалива розглянуті різні способи отримання цього палива та проаналізовані експериментальні дослідження науково-дослідних установ США. Запропонована та обґрунтована принципово нова технологічна схема отримання біоетанолу.*

*Ключові слова:* біопаливо, диметиловий ефір, етанол, бутанол, альтернативні види палива, екологічні ДВЗ.

**Р.М.Игнатюк, А.П.Рыжий, С.В.Морозюк***Национальный университет водного хозяйства и природопользования  
ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ БИОТОПЛИВА НА РОВЕНЩИНЕ*

*В статье проведен поэтапный анализ основных способов получения нетрадиционных видов топлива и определены основные подходы к интенсификации производства этих топлив на территории Украины. С целью выбора оптимальной технологии производства биотоплива рассмотрены различные способы получения этого топлива и проанализированы экспериментальные исследования научно-исследовательских учреждений США. Предложена и обоснована принципиально новая технологическая схема получения биоэтанола*

*Ключевые слова:* биотопливо, диметиловый эфир, этанол, бутанол, альтернативные виды топлива, экологические ДВС.

**R. Ignatyuk, O. Ryzhyy, S. Morozyuk***The National University of Water and Environmental Engineering***ANALYSIS AND PROSPECTS OF BIOFUEL PRODUCTION IN THE RIVNE REGION**

*In the article the step by step analysis of the main ways to get non-traditional fuels and the basic approaches to intensification of production of these fuels in Ukraine. To select the most optimal technology biofuels considered various ways to obtain this fuel and analyzed experimental studies research institutions in the United States. Proposed and justified fundamentally new technological scheme for bioethanol.*

*Keywords:* biofuels, dimethyl ether, ethanol, butanol, alternative types of fuel, environmental engine.

**Постановка проблеми.**

Сучасний рівень розвитку машинобудівної галузі дозволяє використовувати різні види альтернативних палив, які по своїм характеристикам не поступаються традиційним, а беручи до уваги екологічний ефект від впровадження таких палив у виробництво, використання їх на часі. Хоча в даний час відомо багато видів цих палив і методів їх отримання, **метою даної статті** є поетапний аналіз основних способів отримання нетрадиційних видів палива та виявлення основних підходів щодо інтенсифікації виробництва цих палив на теренах України.

**Результати досліджень.**

Сьогодні частина біоетанолу виробляється із кукурудзи та цукрової тростини. Сировиною для виробництва біоетанолу також можуть бути різного роду сільськогосподарські культури із великим вмістом крохмалю чи цукру. Найкращий клімат для вирощування цукрової тростини у Перу та країнах Карибського басейну. У великих кількостях цукрову тростину також можуть виробляти Індонезія та деякі африканські країни (Мозамбик) [1].

Біоетанол в якості пального почали використовувати досить давно. Генрі Форд сконструював свій перший автомобіль, який використовував саме таке пальне, а в умовах дефіциту пального під час Другої світової війни в Німеччині спирт додавали до бензину.

Проте, тільки наприкінці ХХ століття з'явилися повномасштабні програми з використання біоетанолу, як пального для двигунів.

Суть технології виробництва біоетанолу полягає в тому, що сировина розмелюється до 180...200 мікронів, потім додається вода, і цю масу розділяють на дві реакції – крохмаль і клейковину. Із крохмалю, точніше крохмального молока, одержують звичайний етиловий спирт 96,5°. В цеху зневоднення з нього видаляються сивушні масла й альдегіди, потім масу нагрівають і пропускають через молекулярні сита, де за певної температури відбувається зневоднення [2].

Вихід кінцевого продукту із тони сировини (сухий помол) представлений в таблиці 1.

Вихід біоетанолу із 1 тони сировини [45]

Сировина	Етанол, л.	Суха барда, кг.	CO <sub>2</sub> , кг.
Пшениця	375	330	370
Жито	257	390	350
Ячмінь	330	430	320
Кукурудза	410	300	400

Нами пропонується принципова схема отримання біоетанолу із пшениці представлена на рисунку 2.

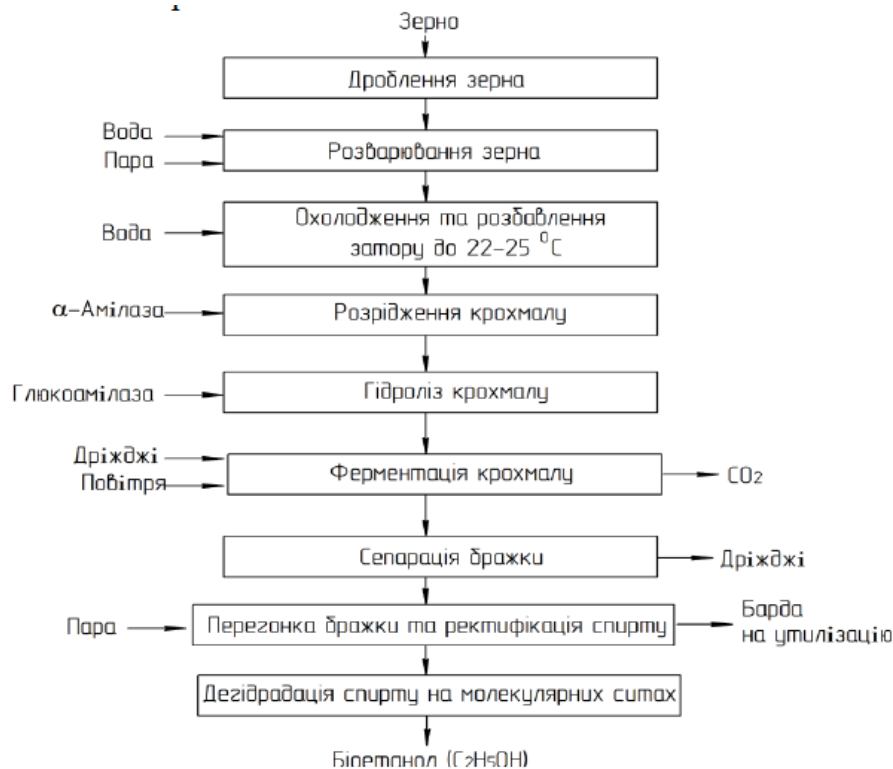
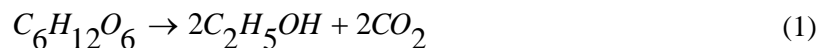


Рисунок 1 – Принципова схема отримання біоетанолу із пшениці

Крім цього етанол виробляють методом зброджування цукру, глюкози, сахарози за допомогою дріжджів з наступною перегонкою з метою обезводнення.

Це реакція представлена у вигляді наступного рівняння:



У результаті бродіння отримується розчин, який містить не більше 15% етанолу, так як в більш концентрованих розчинах дріжджові бактерії гинуть. Отриманий таким шляхом етанол потребує очистки та концентрування, шляхом дистиляції.

Вуглець, що міститься в етанолі, дозволяє більш повно спалювати вуглеводні палива. 10 % - й вміст етанолу в бензині дозволяє скоротити викиди аерозольних частинок до 50%, а викиди вуглекислого газу – на 30%.

У грудні 2007 року Університет Північної Дакоти та Центр Автомобільних Досліджень Міннесоти опублікували результати дослідження енергоефективності застосування біоетанолу в автомобільному транспорті [3-5]. У результаті досліджень проводились експерименти як на звичайних автомобілях, так і на автомобілях із гнучким вибором палива. Досліджувались суміші із вмістом етанолу в бензині від 2% до 85%.

Для звичайних автомобілів найбільш оптимальною сумішшю була суміш E30. У результаті її застосування споживання палива знизилось на 1% порівняно із бензином. Даний результат був отриманий на автомобілях Toyota Camry та Ford Fusion.

Для автомобілів із гнучким вибором палива найбільш оптимальною стала суміш E20. У результаті її застосування споживання палива знизилось на 15% порівняно із бензином. Даний результат був отриманий на автомобілі Chevrolet Impala.

Ще одним видом біопалива є біометанол, який виробляється з біомаси та використовується у якості біопалива.

Сировиною для цього палива є водорості, що найшвидше ростуть на планеті.

На початку 80-их років рядом європейських країн спільно розроблявся проект, який був орієнтований на створення промислової системи з використанням прибережних районів.

Початкове виробництво біомаси здійснюється шляхом культивування фітопланктону у штучних водоймах, що створюються на морському побережжі.

Вторинні процеси представляють собою метанове бродіння біомаси та подальше гідроксилювання метану з отриманням метанолу.

Основними перевагами використання мікроскопічних водоростей є:

- ✓ висока продуктивність фітопланктону (до 100 т/га в рік);
- ✓ у виробництві не використовуються родючі землі та прісна вода;
- ✓ процес не конкурує із сільським господарством;
- ✓ енерговіддача процесу на стадії отримання метану становить 14, а на стадії отримання метанолу -7. [1].

Наступний різновид рідкого біопалива на основі бутилового спирту є біобутанол, який одержують разом з біоводнем шляхом бутилового або ацетонобутилового зброджування сільськогосподарських рослин.

Біобутанол може бути отриманий наступним чином:

- шляхом переробки цукру та крохмалу сільськогосподарських культур (біобутанол I покоління);
- шляхом переробки целюлози рослин (біобутанол II покоління);
- шляхом синтезу хімічної сировини (бутанол).

Завдяки своїм фізичним властивостям, економічності, безпечності, а також через те, що його застосування не потребує перероблення двигуна, бутанол може замінити бензин у якості палива.

Порівняно з етанолом, бутанол може бути змішаний в більших пропорціях з бензином і використовуватись в автомобілях без модифікації системи формування повітряно-паливної суміші.

Бутанол виділяє чистої енергії за робочий цикл більше, ніж етанол чи метанол і приблизно на 10% більше, ніж бензин.

У зв'язку із отриманням нових високоекономічних технологій виробництва біобутанолу, у даний час він все більше привертає увагу спеціалістів для застосування його у якості палива.

Серед переваг бутанолу перед метанолом можна виділити наступні:

- бутанол містить на 25% більше енергії у порівнянні з етанолом;
- бутанол безпечніший у використанні, оскільки випаровується у шість разів менше ніж етанол і має у 13,5 меншу летючість, порівняно із бензином;
- бутанол – менш агресивна речовина, порівняно із етанолом, оскільки може транспортуватись по існуючим паливним трубопроводам, тоді як етанол повинен транспортуватись залізничним чи водним транспортом;
- бутанол можна змішувати з бензином;
- бутанол може повністю замінити бензин, тоді як етанол може застосовуватись тільки як добавка до бензину із максимальним вмістом в суміші не більше 85% і лише після суттєвих переробок двигуна;
- виробництво бутанолу дозволить вирішити проблеми, які пов'язані з інфраструктурою постачання водню;
- при згоранні бутанол не виділяє оксидів сірки чи азоту.

Таким чином, біобутанол більш економічний порівняно із сумішшю етанолу з бензином, він покращує паливну ефективність автомобіля і збільшує пробіг на одиницю витраченого палива. Біоетанол отримується із тієї ж сировини – кукурудзи, цукрового буряка, сорго, маніоки, цукрової тростини, стебел кукурудзи та іншої біомаси, що й етанол.

Диметилловий ефір як хімічну речовину одержали порівняно давно й вивчили достатньо добре. Донедавна його використовували в парфумерії як пропелент, замінюючи шкідливі гази (заборонений фреон) та як холодоагент і розчинник.

У нормальних умовах це газ без кольору, майже не має запаху, в рідкому стані нагадує воду, хімічна формула -  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ ; густина за температури  $20^\circ\text{C}$  -  $2,091 \text{ кг/м}^3$ ; температури: кипіння -  $23,65^\circ\text{C}$ , спалаху в закритому тиглі -  $41,1^\circ\text{C}$ , самозаймання в повітрі -  $350^\circ\text{C}$ . Диметиловий ефір характеризується коротким напівперіодом існування в тропосфері (менше одного дня), не надходить у стратосферу, повністю розкладається на воду та діоксид вуглецю, нетоксичний, неканцерогенний, немутагенний [6].

Уперше про диметиловий ефір, як про альтернативне та екологічно чисте паливо для дизельних двигунів, було згадано на Міжнародному конгресі й виставці в Детройті 1995 року, після чого роботи в цьому напрямі почали інтенсивно розвиватися в цілій низці країн.

Перспективність цього виду палива визначається двома основними характеристиками:

- сировинною базою;
- високими експлуатаційними та екологічними властивостями.

Сировиною для одержання диметилового ефіру є природний газ, вугілля або біопаливо. Це похідна метанолу, який одержують у процесі перетворення газу в рідкий стан. Технологію виробництва диметилового ефіру розробили зарубіжні фірми: Haldor Topsoe (Данія), Air Products and Chemicals (США), NKK Corp. (Японія), BP (Велика Британія) та Російська академія наук [50-51]. Випуск диметилового ефіру в світі останніми роками різко зріс і становить десятки мільйонів тонн.

Існує два сорти диметилового ефіру: вищий і нижчий. Вищий сорт містить не менше 99,5% ефіру, його використовують у парфумерії; нижчий має не менше 95% ефіру, його застосовують як паливо для дизельних двигунів.

Диметиловий ефір має низку переваг, порівняно з іншими альтернативними паливами й дизельним паливом за п'ятьма показниками.

*Хімічний:* не має хімічних сполук - вуглець - вуглець, що знижує схильність до сажоутворення під час згоряння; вміст до 35% зв'язаного кисню забезпечує повноту згоряння диметилового ефіру (завдяки чому в камері згоряння немає нагару й сажистих частинок у відпрацьованих газах) та зниження температури горіння палива в камері згоряння і, як наслідок, зниження вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах, усуває димність відпрацьованих газів; добра самозаймистість у циліндрах дизельного двигуна (цетанове число ЦЧ=55...60 порівняно з ЦЧ=45...50 для дизельного палива, не кажучи вже про інші види альтернативних палив: метанол, етанол, а також природний газ), що робить його ідеальним як паливо для дизелів.

*Фізичний:* добра випаровуваність, що призводить до швидкої газифікації впорскуваного в циліндри палива й сприяє вдосконаленню процесу сумішоутворення, поліпшенню економічності за зниження тиску впорскування. За фізичними властивостями диметиловий ефір подібний до пропан-бутанових газів, які широко використовують як газоподібне паливо для двигунів внутрішнього згоряння. Його треба зберігати так само, як пропан і бутан, у зрідженому (скрапленому) стані в балонах під тиском  $1...1,5 \text{ МПа}$ , а технологія роботи зі скрапленими газами добре відпрацьована.

*Екологічний:* зниження рівня викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Так, за викидами менше стандарту Євро - 4: в шестеро - оксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), вчетверо - вуглеводнів (СН), вчетверо - твердих часток (сажа й кіптява) і на 20% - оксидів азоту; відсутність в диметиловому ефірі сірки, вирішує проблему вмісту оксидів сірки у відпрацьованих газах, що є однією з найактуальніших проблем використання нафтових дизельних палив; диметиловий ефір є екологічно чистим продуктом, який не завдає шкоди навколишньому середовищу, бо, потрапляючи в атмосферу, швидко розкладається на воду і діоксид вуглецю.

*Економічний:* підвищення ефективного ККД до 60...65% порівняно з 35...45% для двигунів, що працюють на рідкому паливі;

*Експлуатаційний:* зниження динаміки циклу й тиску згоряння, що підвищує надійність роботи двигуна й знижує на 10 дБ його шумність..

Найістотнішими недоліками диметилового ефіру як палива для дизельного двигуна є менша теплота згоряння та низька кінематична в'язкість.

Нижча теплота згоряння ДМЕ в 1,5 рази менша за теплоту згоряння дизельного палива ( $28900$  проти  $42500 \text{ кДж/кг}$ ), що призводить до збільшення витрати диметилового ефіру в 1,5...1,6 рази порівняно з дизельним паливом. Це потребує відповідного співвідношення цін диметилового ефіру і дизельного палива, щоб забезпечити його конкурентоспроможність.

Ще одним недоліком диметилового ефіру є також низька кінематична в'язкість, внаслідок чого ускладнюється герметизація рухомих вузлів ущільнення паливної апаратури, та незадовільні

мастильні властивості, що потребує застосування спеціальних протиспрацьовувальних присадок або ж принципово іншої системи подачі ефіру в камеру згоряння.

Переобладнання звичайних дизелів для роботи на диметилівому ефірі полягає в модернізації тільки паливоподавальної апаратури, спрямованої на збільшення об'ємного подачі палива та ущільнення лінії низького тиску для пристосування її до роботи на підвищеному тиску (1...2 МПа), а також наявності додаткових балонів низького тиску, які використовують для роботи зі зрідженим (скрапленим) газом. Для забезпечення однакового пробігу, об'єм балонів має бути в 1,7 разів більший, ніж об'єм баків із дизельним паливом [7].

Біодизельмайже не змішується з водою, має високу температуру кипіння та низьку пружність пари. Відносно висока температура займання біодизелю 150 °С робить паливо досить безпечним у плані протипожежної безпеки. Густина біодизелю 0,86 г/см<sup>3</sup>. Виготовлений із незабрудненої сировини, біодизель є нетоксичним. В'язкість біодизелю та звичайного дизельного пального однакова.

Найпоширенішим способом отримання біодизелю є переетерифікація рослинної олії [53].

Порівняно зі звичайним дизелем біодизель має перевагу у тому, що при його згорянні виділяється тільки така кількість CO<sub>2</sub>, яку рослини взяли з атмосфери. У таблиці 2 приведені дані про кількість речовин, які виділяються при використанні 100 л звичайного дизельного палива і 100 л такої ж кількості біологічного [8].

Таблиця 2

**Емісія речовин на 100 літрів палива [8]**

Показник	Дизельне паливо	Біодизельне паливо
Видобуток нафти, вирощування ріпаку, виробництво палива, транспортування		
Витрати нафти, л	117	20
Виділення CO <sub>2</sub> , кг	38	45
Виділення шкідливих для оточуючого середовища газів (як еквівалент CO <sub>2</sub> )	15	11
Виділення SO <sub>2</sub> , кг	0,17	0,06
Спалювання		
Виділення CO <sub>2</sub> , кг	265	
Виділення шкідливих для оточуючого середовища газів (як еквівалент CO <sub>2</sub> )	58	57
Виділення SO <sub>2</sub> , кг	0,33	-

Щодо України, то створення власної біодизельної галузі лише починається. Попри стрімке зростання, протягом останніх років, обсягів вирощеного ріпаку, левова його частина експортується в країни Європи, зважаючи на відсутність переробних потужностей в Україні.

Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні представлений у вигляді табл. 3 [9].

Таблиця 3

**Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні [9]**

Область	Біомаса зерново-бобових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняшника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукурудзи, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи овочів відкритого і закритого ґрунту, тис. МВт год/рік
Вінницька	2400	1197	2780	440
Волинська	200	0	170	200
Дніпропетровська	1040	6232	5940	820
Донецька	360	5244	3330	1060
Житомирська	470	3	320	300
Закарпатська	70	23	710	210
Запорізька	660	5720	3180	580
Івано-Франківська	150	0	360	190

Київська	1140	88	1530	910
Кіровоградська	950	4346	3580	310
Луганська	820	4320	2090	570
Львівська	170	0	270	310
Миколаївська	740	3598	1470	490
Одеська	1160	4484	3560	850
Полтавська	1830	2843	3660	500
Рівненська	200	0	310	230
Сумська	1120	488	1290	330
Тернопільська	1110	0	670	240
Харківська	1210	4466	2990	580
Херсонська	570	2260	2300	700
Хмельницька	1480	6	2490	330
Черкаська	1740	1466	3550	600
Чернівецька	290	7	1490	230
Чернігівська	700	71	950	360
АР Крим	130	1102	960	730
<b>Всього</b>	<b>21110</b>	<b>47964</b>	<b>49950</b>	<b>12070</b>

**Висновки.** Отже на основі вище наведеного встановлено, що в перспективі, біоенергетична ефективність України на достатньо високому рівні і для подальшого розвитку необхідно виділити її в окрему галузь народного господарства. Слід відмітити що в Україні існує достатній енергетичний потенціал для практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики.

### Література

1. Боблях С.Р. Відновлювальні джерела енергії / С.Р. Боблях, М.М. Мельничук, В.С. Мельник, Р.М. Ігнатюк. Монографія. – Луцьк: Волинський національний університет ім. Л. Українки, 2012. – 227 с.
2. Калмикова Ю Казахстанський біоетанол / Ю. Калмикова // Зелена енергетика. – 2008 № 2 (30). – С. 14.
3. U. S. Environmental Protection Agency. Part II? 40 CFP Part 80, 85, and 86 Control of Air Pollution from Nev Motor Vehicles: Tier 2 Motor Vehicle Emissions Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements; Final Rule. – 2000.
4. U. S. Environmental Protection Agency. Model Light Duty Gasoline Vehicle, Fuel Economy Test Results, personal communication, Robert Frennd, EPA Office of Transportation and Air Quality, Assessment and Standart Division. – 2006.
5. Final Report Entitled “Optimal Ethanol Blend-Level Investigation” ; EERC Fund 9495. – 21 p.
6. Окоча А. Диметилловий ефір – ще один вид альтернативного палива для дизельних двигунів / А. Окоча // Пропозиція. – 2009. - № 6. С. 110-114.
7. Біопалива (технології, машини та обладнання) / В. Дубровін, М. Корчемий, І. Масло, О. Шептицький, З. Пасторе, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В. Криворучко К.: ЦТІ « Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
8. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства. II томи. Лісостеп. Київ – 2004 р.
9. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії України. – Київ. – 2007.

Стаття надійшла до редакції 14.04.2016