



Проект «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України»



Серія навчально-методичних матеріалів

Модуль

БІОДИЗЕЛЬ ТА БІОЕТАНОЛ

Автори:

д.т.н., проф. **Дубровін В.О.**,

д.т.н., проф. **Голуб Г.А.**, к.т.н., доцент **Поліщук В.М.**,
к.т.н., доцент **Євса К.М.**, к.т.н., доцент **Марус О.А.**,
к.т.н., доцент **Драгнєв С.В.**, к.т.н. **Павленко М.Ю.**,
к.т.н. **Чуба В.В.**, д.т.н., доцент **Кухарець С.М.**

Редактор серії к.б.н. **Щербак С.Д.**

Публікацію підготовлено та видано в рамках виконання проекту «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України», що виконується Агенством ООН з питань промислового розвитку (ЮНІДО) за підтримки Глобального Екологічного Фонду (ГЕФ).

Зміст публікації не є відображенням офіційної позиції ЮНІДО або ГЕФ

Не для комерційного використання

Київ 2015

© ЮНІДО 2015

УДК [631.371] [620.92]

Дубровін Валерій Олександрович, Голуб Геннадій Анатолійович, Поліщук Віктор Миколайович, Сєра Катерина Михайлівна, Драгнєв Семен Васильович, Марус Олег Анатолійович, Сидорчук Ольга Валеріївна, Павленко Максим Юрійович, Чуба В'ячеслав Володимирович, Кухарець Савелій Миколайович.

БІОДИЗЕЛЬ ТА БІОЕТАНОЛ

Модуль містить актуальні узагальнення з розробки технології виробництва дизельного біопалива на основі рослинних олій та його використання в агропромисловому виробництві й можуть бути використані агропромисловими підприємствами та підприємствами сільськогосподарського машинобудування.

Dubrovin V.O., Golub G.A., Polishuk V.M., Syera K.M., Dragnev S.V., Marus O.A., Pavlenko M.Y., Chuba V.V., Kuhkarez S.M.

BIODIESEL AND BIOETHANOL

The module concerns issues of bio-fuel production focusing on the bio-diesel and bio-ethanol. The text gives valuable information on the bio-diesel and bio-ethanol production technologies, analyzes advantages and disadvantages, newest directions and trends in Ukraine. It is spoken in detail about efficiency and economic arguments of bio-diesel production at the agricultural enterprises and machine-building companies

Рецензенти:

Войтюк В.Д. – доктор технічних наук, професор, директор НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК;

Ловейкін В. С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструювання машин і обладнання.

Рекомендовано до друку вченою радою Механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол №6 від 10.02.2015 р.)

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Перспективи виробництва альтернативних палив для дизельних двигунів	6
2 Технології виробництва дизельного біопалива	9
3 Способи переміщення емульсії при виробництві дизельного біопалива	11
4 Огляд існуючого обладнання та ефективності виробництва дизельного біопалива	12
5 Технологічні вимоги до виробництва дизельного біопалива	14
6 Характеристика компонентів для виробництва дизельного біопалива ..	15
7 Варіанти організації цеху по виробництву дизельного біопалива в сільськогосподарському підприємстві	16
8 Організація процесу виробництва дизельного біопалива	17
9 Порядок розрахунку параметрів гідромеханічного змішувача та циркуляційного реактора для виробництва дизельного біопалива	20
10 Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двоступінчастому віджиманні рослинної олії	22
11 Економічна ефективність виробництва дизельного біопалива	25
12 Пакування, транспортування і зберігання	27
13 Модернізація системи паливоподачі дизельного двигуна для використання дизельного біопалива	27
14 Температурні режими нагріву дизельного біопалива в системі живлення дизельного двигуна	29
15 Вплив дизельного біопалива на експлуатаційні показники роботи дизельного двигуна	30
16 Виробнича перевірка роботи МТА на дизельному біопаливі	31
17 Організація використанням дизельного біопалива	31
18 Економічна ефективність використання дизельного біопалива	32
19 Інструкція по використанню дизельного біопалива на основі метилових ефірів жирних кислот	34
20 Особливості виробництва біоетанолу	34
21 Застосування біоетанолу в якості автомобільного палива	42
Контрольні питання	45
Список використаних джерел	47

АВТОРИ



**Дубровін В.О.
д.т.н., професор**



**Голуб Г.А.
д.т.н., професор**



**Поліщук В.М.
к.т.н., доцент**



**Сера К.М.
к.т.н., доцент**



**Драгнев С.В.
к.т.н., доцент**



**Марус О.А.
к.т.н., доцент**



**Павленко М.Ю.
к.т.н.**



**Чуба В.В.
к.т.н.**



**Кухарець С.М.
к.т.н., доцент**



ВСТУП

Україна належить до країн, які мають дефіцит власних енергоносіїв і може забезпечити свої потреби за рахунок власних енергоносіїв лише на 50 %, а в нафті – на 10-12 %, в природному газі – до 30 %, що створює загрозу енергетичній безпеці країни.

Уведення в енергетичний баланс України біологічних видів палива, які за своєю природою є відновлюваними ресурсами акумульованої сонячної енергії – одне з актуальних завдань сьогодення. Це дасть змогу зменшити використання викопних поновлюваних джерел енергії, забруднення природного середовища токсичними речовинами та парниковими газами.

Щорічний дефіцит палива для виконання основних польових робіт, який зумовлений більшими темпами росту цін на викопні види палива порівняно з ростом цін на сільськогосподарську продукцію, потребує зосередження зусиль на розробці методів та технічних засобів для забезпечення енергоавтономності сільськогосподарського виробництва.

Одним з основних напрямків вирішення енергетичної проблеми є перехід на використання палива з власних поновлювальних ресурсів для транспортних засобів із дизельними та карбюраторними двигунами внутрішнього згоряння, що безпосередньо пов'язані з вирощуванням олійних культур і рослин з великим вмістом крохмалю та цукру [6].

Виробництво дизельного біопалива найбільш доцільно організовувати в господарствах, які виробляють насіння ріпаку, мають склад паливно-мастильних матеріалів із заправною станцією, яка виконана із дотриманням вимог охорони праці та техніки безпеки. Це обумовлено тим, що при виробництві дизельного біопалива безпосередньо в господарстві зменшуються витрати на транспортування зерна ріпаку, а шрот ріпаку можна використати в якості білкової добавки до кормів у тваринництві.

Виробництво олійних культур займає одну із лідируючих позицій в структурі виробництва продукції рослинництва і взагалі всього сільськогосподарського виробництва України. В структурі валової продукції сільського господарства на дані культури в середньому припадає до 35 % від загального обсягу виробництва у всіх категоріях господарств. Для сільськогосподарських підприємств, головних виробників даної продукції, частка олійних культур досягає 60 % [73]. З точки зору продовольчої безпеки, обсяги внутрішнього виробництва повністю забезпечують внутрішню потребу у відповідній продукції, залишаючи певні об'єми для створення експортного потенціалу та сировини для виробництва біопалив.

Аграрний сектор економіки – значний споживач енергії, особливо нафтопродуктів. Для проведення сільськогосподарських робіт щороку потрібно майже 1,4 млн. т дизельного палива та 224 тис. т бензину [76]. У вирішенні цього питання привертає увагу дизельне біопаливо, як екологічно чистий вид палива, що відноситься до поновлюваних ресурсів, які можна виробляти на основі сировини, вирощеної на власному полі.



Сільське господарство може бути галуззю, яка забезпечує не тільки продовольчу безпеку країни, а й значною мірою може впливати на власну енергетичну автономність та може створити конкурентне середовище на ринку нафтопродуктів, що реалізуються в аграрному секторі.

Незважаючи на те, що прибуток від реалізації насіння ріпаку може перевищувати прибуток від виробництва дизельного біопалива, таке виробництво необхідно розвивати по тій причині, що ресурси викопного палива постійно зменшуються і це обумовлює стійкий ріст цін на дизельне паливо.

1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Розвиток виробництва дизельного біопалива в Україні здійснюється досить низькими темпами. Причинами гальмування даного процесу є відсутність чіткої стратегії розвитку, в якій були б враховані фактори впливу забезпечення енергетичної та продовольчої безпеки, зобов'язань про певну динаміку розвитку виробництва і використання біопалив, відсутність контролю за якістю біопалива на всіх етапах його виробництва та реалізації; несприятливі умови для залучення інвестицій, відсутність промислової бази для переробки зерна ріпаку, нестача коштів для стимулювання й реалізації енергоощадних та екологічно безпечних технологій, експорт значної частки вітчизняного зерна ріпаку, висока ціна на сировину. Така ситуація зумовлена тим, що нині виробництво дизельного біопалива не вигідне при його подальшій реалізації, однак економічно доцільне при споживанні самим виробником [20, 21].

Пшениця та ріпак є продукцією сільського господарства експортного спрямування, тому попит на них постійно зростає. Цей фактор спричиняє збільшення площі обробітку землі під цими культурами, а саме, з 2006 по 2013 рр. площа під пшеницю збільшилась на 69,1 %, під ріпаком – у 2,3 рази. Собівартість пшениці з 2006 до 2013 рр. зросла з 48,42 грн./ц до 133,9 грн./ц, ріпаку з 98,67 грн./ц до 283,26 грн./ц [76]. Одним з елементів, які впливають на собівартість продукції є витрати на дизельне паливо та бензин, в середньому їх частка складає 15%. Сільськогосподарські виробники у 2006 р. витрачали при вирощуванні пшениці дизельного палива на суму 184,36 грн. на 1 га, у 2008 р. – 285,48 грн., у 2011 р. – 409,79 грн., у 2013 р. – 376,19 грн.; при вирощуванні ріпаку витрати дизельного палива складали у 2006 р. – 181,44 грн. на 1 га, у 2008 р. – 300,27 грн, у 2011 р. – 475,10 грн., у 2013 р. – 504,9 грн. У собівартості 1 ц пшениці дизельне паливо становило у 2006 р. – 6,96 грн., ріпаку – 11,41 грн., у 2008 р. – 7,28 грн. та 14,03 грн., у 2011 р. – 11,74 та 27,62 грн., у 2013 р. – 11,03 грн. та 21,04 грн. Така ситуація пояснюється підвищенням ціни на дизельне паливо, яке за досліджуваний період зросла з 3,58 грн/л до 9,27 грн/л.

Оскільки ціни на паливо постійно зростають, причому швидше, ніж на сільськогосподарську продукцію, це значно впливає на формування ціни реалізації та отримання прибутку аграріїв. Аналіз статистичних даних свідчить, що у 2000 році сільськогосподарським виробникам потрібно було продати 4,6 т пшениці, щоб купити 1 т дизельного палива, ріпаку – 3,8 т, у 2006 році вже необхідно реалізувати 8,1 т пшениці чи 2,9 т ріпаку, у 2008 році – 9,1 тонн пшениці чи 3,2 т ріпаку, у 2013



році – 8 т пшениці чи 3,6 т ріпаку (рис. 1, 2). За останніх 13 років ціни на пшеницю зросли в 4,57 разів, на насіння ріпаку в 5,26 разів, а на дизельне паливо в 6,6 разів [58]. Суттєве зростання цін на ріпакове зерно викликане підвищеним попитом зі сторони експортерів.

Різниця обсягів продажу пшениці для купівлі дизельного палива та виробництва біопалива у 2000 р. становила 1,4 т, 2005 – 2,9, у 2011 р. – 1,2 т, у 2013 р. – 1,6 т. Аналізуючи обсяги продажу ріпаку для купівлі дизельного палива чи виробництва біопалива, було встановлено, що найбільша різниця спостерігалась у 2000 році – 1,2 т, у 2005 – 1 т, у 2008 – 1, у 2011 р. – 1,4 т, у 2013 році – 0,7 т [27]. Різниця в обсягах вирощування та продажу ріпаку та пшениці для купівлі чи виробництва палива є додатковим аргументом для переоцінки пріоритетів при виробництві сільськогосподарської продукції та енергоносіїв.

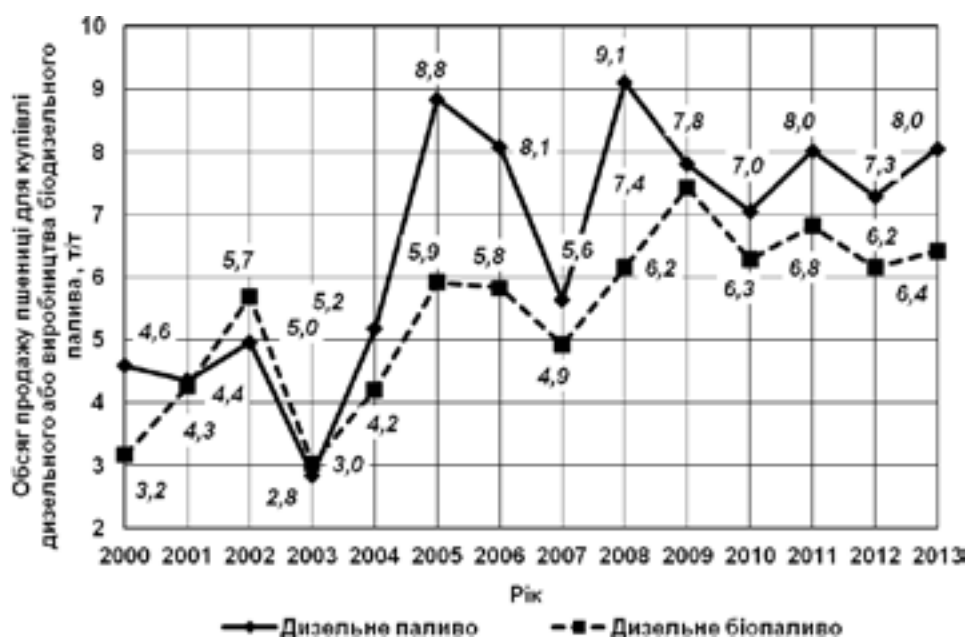


Рис. 1 Обсяг продажу пшениці для купівлі дизельного або виробництва біодизельного палива

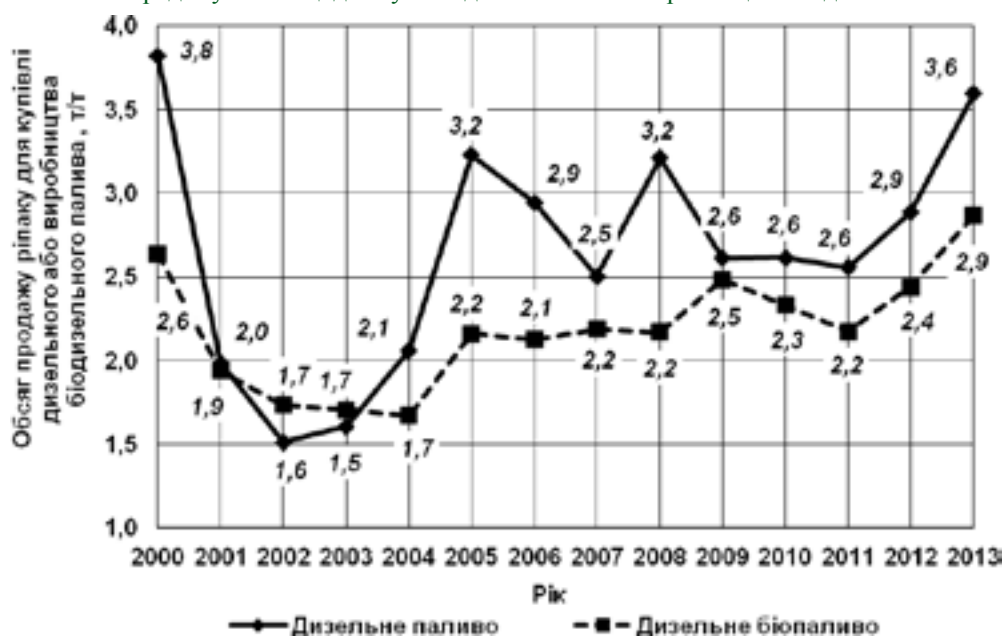


Рис. 2 Обсяг продажу ріпаку для купівлі дизельного або виробництва біодизельного палива



Середнє значення потреби в площі під ріпаком для забезпечення виробництва дизельного біопалива палива в кількості, необхідній для вирощування пшениці на одному гектарі становить 0,085 га, а для вирощування ріпаку – 0,096 га.

Узагальнюючи викладене, можна сказати, що один гектар посівів ріпаку забезпечує дизельним біопаливом для обробітку близько десяти гектарів угідь, а враховуючи, що дизельне біопаливо необхідне також для вирощування самого ріпаку, співвідношення площі під ріпаком та площі під пшеницею має становити 1 до 9.

Експортуючи ріпак, а не переробляючи його, українські виробники створюють робочі місця в інших країнах, втрачають можливості як для виробництва власного біопалива, так і ріпаковий шрот, який міг би йти на годівлю худобі.

На основі статистичних даних про споживання дизельного палива в сільському господарстві та валового збору ріпаку нами здійснено оцінку можливостей заміни дизельного палива на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку в дизельне біопаливо, шляхом розрахунку частки дизельного палива, яка може бути замінена на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку (рис. 3).

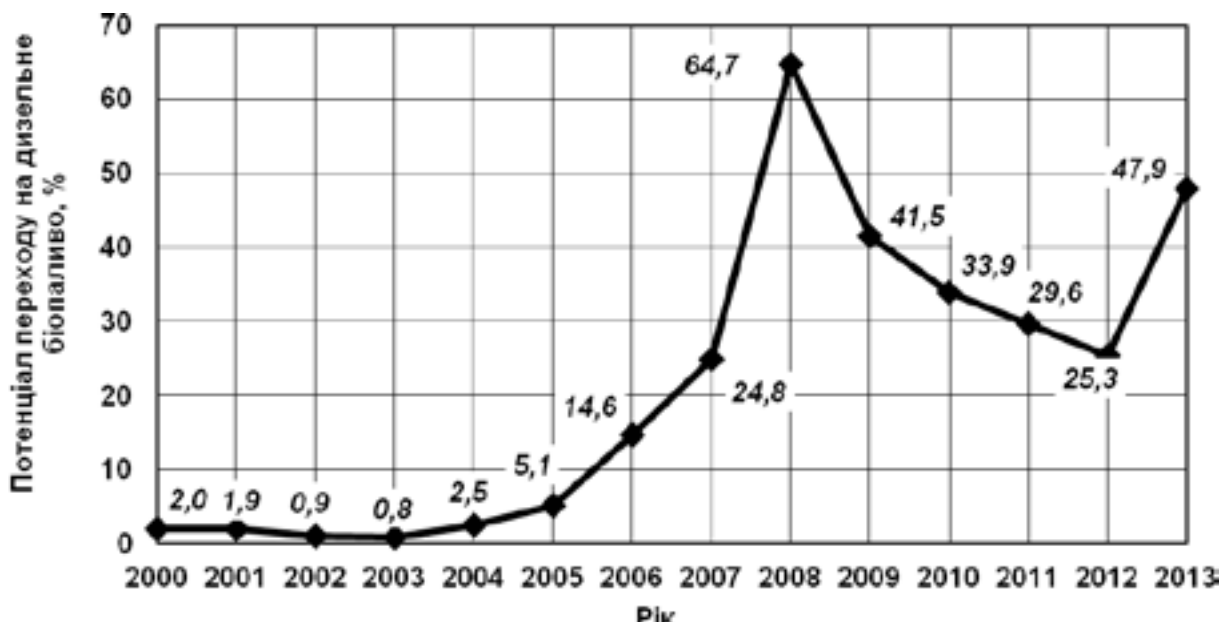


Рис. 3 Динаміка зміни потенціалу переходу на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку

Найбільші обсяги споживання дизельного палива в сільському господарстві за досліджуваний період спостерігались в 2000, 2001, 2002 роках, найменші – в 2006, 2007, 2010 роках, в 2011 році спостерігається тенденція збільшення використання дизельного палива порівняно з 2010 роком з 1201,4 тис. т. до 1349,7 тис. т. Приблизно ж на цьому рівні споживання дизельного палива і залишається. Зростання валового збору ріпаку спостерігається з 2004 року, а в 2009 році відмічається спад виробництва. Обсяг виробництва дизельного біопалива при переробці всього урожаю ріпаку мав бути найбільшим за досліджуваний період у 2008 році – 900,6 тис. т. дизельного біопалива, у 2009 – 587,3 тис. т, у 2010 році – 460,8 тис. т, у 2011 році – 450,6 тис. т, у 2013 році – 737,3 тис. т., найменшим – в 2003 році – 15,8 тис. т. та 2002 – 19,1 тис. т. Частка дизельного палива, яка може бути замінена на дизельне



біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку найбільша у 2008 році – 64,7 %, у 2009 – 41,5 %, у 2010 – 33,9 %, у 2011 році – 29,6 %. У 2013 році, завдяки зростанню виробництва ріпаку, частка дизельного палива, яка може бути замінена на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку становила 47,9 %. Водночас виробництво і використання дизельного біопалива за деякими прогнозами, у 2020 році не перевищить 100 тис. т. на рік [14].

Сільськогосподарські підприємства можуть виробляти дизельне біопаливо після збору врожаю олійних культур, тобто восени. В осінньо-зимовий період дизельне паливо у сільськогосподарському виробництві використовується обмежено і тільки в тваринництві. Вироблене дизельне біопаливо зберігається на складах для нафтопродуктів до настання весняних польових робіт. При зберіганні в закритих ємностях дизельне біопаливо не втрачає своїх властивостей упродовж року, на відміну від ріпакового зерна та олії. Ціни на дизельне паливо мінерального походження постійно зростають, а особливо з настанням весни, проте собівартість виробленого біопалива в попередньому році залишається незмінною, що є одним з резервів економії витрат в сільському господарстві [28].

Таким чином, сільське господарство може бути галуззю, яка забезпечує не тільки продовольчу безпеку країни, а й значною мірою може впливати на власну енергетичну автономність та може створити конкурентне середовище на ринку нафтопродуктів, що реалізуються в аграрному секторі.

2. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Умовно всі технології можна розбити на дві групи: промислові (багатоступінчаста технологія виробництва рослинної олії та дизельного біопалива з використанням метанолу) та агропромислові (скорочений варіант промислових технологій, спеціально адаптованих для задоволення власних потреб господарств у паливі).

Технологія виробництва рослинної олії включає наступні основні етапи: підготовка зерна до отримання олії; отримання та очистка олійної маси, а виробництва дизельного біопалива, крім того – естерифікацію та очистку метилового ефіру (дизельного біопалива).

Промислова (рис. 4) технологія виробництва традиційно використовується на великих заводах з річним виходом дизельного біопалива від 20000 до 100000 т/рік [54].

Промислова технологія виробництва дизельного біопалива складається з наступних процесів: естерифікації; розділення на фракції метилового ефіру (неочищеного дизельного біопалива) та гліцеролу (побічного продукту при виробництві дизельного біопалива); очистки дизельного біопалива (відгонки метанолу, а також промивки підкисленою водою, повторної промивки водою, зневоднення та очистки від гелеподібного осаду шляхом фільтрації або осадженням дизельного біопалива).

До переваг промислової технології виробництва дизельного біопалива можна віднести його високу якість, що дає можливість використовувати дизельне біопаливо



як в сумішах, так і без додавання традиційного дизельного палива. Основні недоліки: габаритність обладнання, низька продуктивність, великі затрати електроенергії, висока собівартість виробленої продукції.

Агропромислова (рис. 5) технологія виробництва дизельного біопалива широко використовується на господарських та малих заводах з річним виходом дизельного біопалива від 100 до 5000 т/рік [8].

Агропромислова технологія виробництва дизельного біопалива складається з естерифікації; розділення на фракції метилового ефіру (дизельного біопалива) та гліцеролу (побічного продукту при виробництві дизельного біопалива); очистки дизельного біопалива (відгонки метанолу та очистки від гелеподібного осаду шляхом фільтрації або осадження).

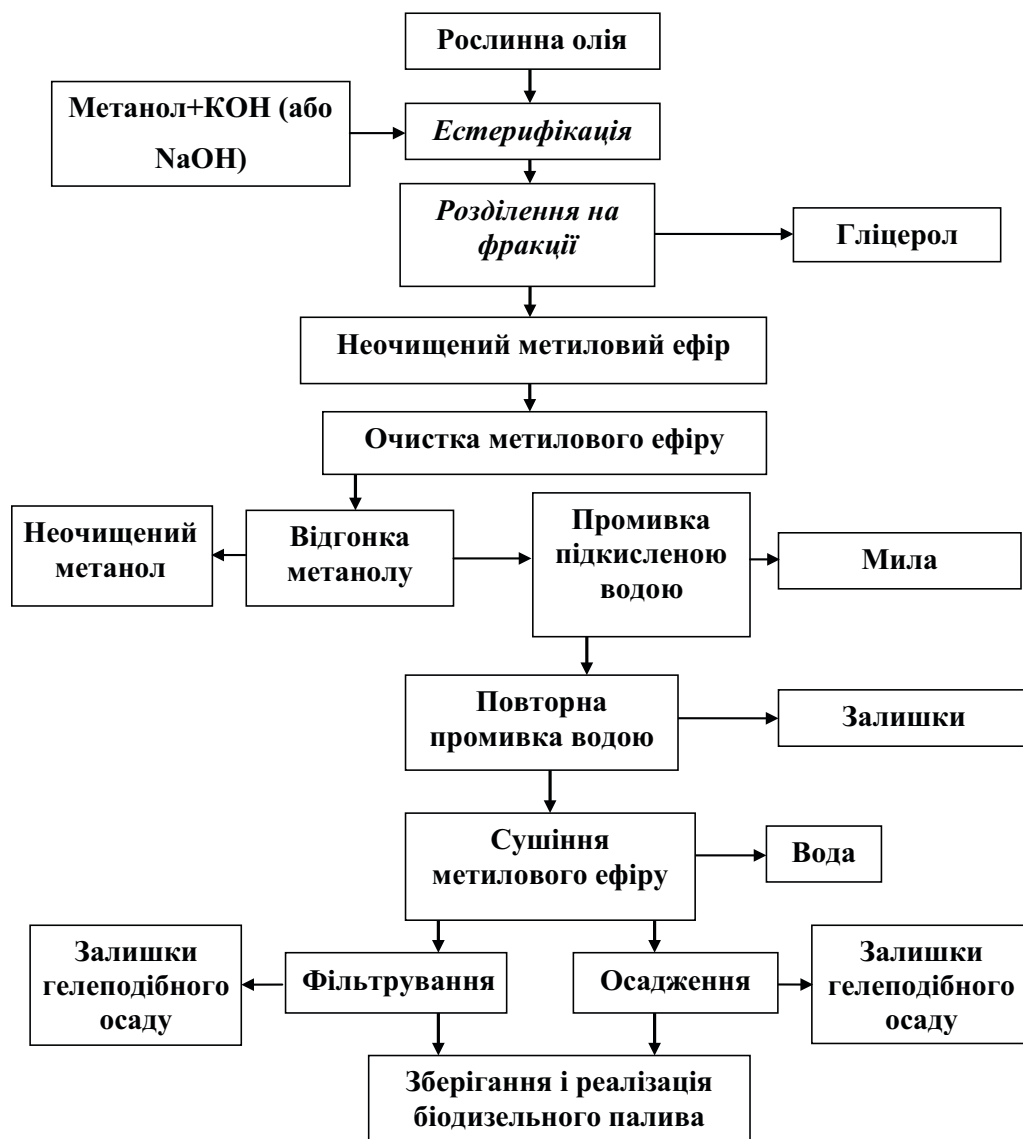


Рис. 4 Схема промислового виробництва дизельного біопалива

До переваг цієї технології можна віднести: менші енерговитрати в порівнянні з промисловою технологією, доступність у використанні, менші затрати на хімічні реактиви, менша габаритність обладнання, низька собівартість отриманої продукції,



відсутність технологічної операції промивки з наступним зневодненням біодизельного біопалива, що в свою чергу зменшує енергозатрати та знижує продуктивність виробництва за рахунок збільшення часу відстоювання [15, 59]. Агропромислова технологія виробництва дизельного біопалива може задовольнити потреби господарюючих суб'єктів власним паливом для роботи машино-тракторних агрегатів, вона доступна в матеріальних витратах та проста у використанні.



Рис. 5 Схема агропромислового виробництва дизельного біопалива

3. СПОСОБИ ПЕРЕМІШУВАННЯ ЕМУЛЬСІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

В основі процесу виробництва дизельного біопалива лежить естерифікація ненасичених жирних кислот рослинних олій під час перемішування рослинної олії з метилатом калію або натрію. Найбільш поширений спосіб перемішування при виробництві дизельного біопалива це перемішування механічними мішалками лопатевого, рамного, якірного, пропелерного та іншими типами в реакторах періодичної дії [51, 57, 62, 73].

Ведуться дослідження по застосування кавітаційного змішування, але таке змішування може призвести до роздроблення структурних складових рослинної олії до однорідної маси, що не дасть можливість відділити від дизельного біопалива гліцеринових та органічних включень, які мають відокремитися при гравітаційному розділенні естерифікованої олії на дизельне біопаливо і гліцериновий осад. Також для кавітаційного змішування характерне швидке змішування, в той час, як естерифікація рослинних олій має визначену швидкість хімічної реакції, а тому при кавітаційному змішуванні естерифікація рослинних ненасичених жирних кислот буде неповноцінною [9, 49, 77].

Турбулентне гідрозмішування у потоці [25, 26, 27] із застосуванням трубчастого естерифікатора забезпечує якісне змішування рослинних олій з розчином метила-



ту калію або натрію і за рахунок своєї довжини і належної кількості турбулізаторів забезпечує повне проходження реакції естерифікації. Характерною особливістю такого обладнання є можливість застосування більш простого в технічному плані обладнання, що має меншу металомісткість і енергомісткість виробництва дизельного біопалива. Крім того дане перемішування використовується в реакторах безперервної дії, а тому сезонне використання його в агропромисловому виробництві не є доцільним.

Гідромеханічне перемішування також забезпечує якісне перемішування у всьому об'ємі заповненого реактора, яке відбувається за рахунок вильоту суміші рослинної олії та метилату калію з форсунок, в результаті чого утворюється реактивна сила, яка створюється обертальний рух мішалки з лопатками, які здійснюють додаткове перемішування суміші. Використання даного типу перемішування забезпечує подвійне змішування компонентів, за рахунок якого забезпечується високий якісний та кількісний вихід дизельного біопалива. Дане обладнання розроблене для використання у сезонній роботі із застосуванням агропромислової технології виробництва дизельного біопалива [16, 18, 19, 23].

Не менш ефективним є циркуляційне перемішування при виробництві дизельного біопалива, яке відрізняється від попереднього відсутністю гідрореактивної мішалки, а перемішування суміші забезпечується впорскуванням її через форсунки до заповненого реактора. Крім того, для забезпечення повного перемішування, форсунки розміщені під кутом для створення коловороту в середині реактора цим самим якісно змішуючи метилат калію з рослинною олією [50].

Реактори для виробництва дизельного біопалива повинні мати похиле дно та скребки на нижніх поверхнях для забезпечення повноцінного видалення гліцеринового осаду, який з часом відстоювання загусає.

4. ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Для агропромислового виробництва дизельного біопалива Національним науковим центром «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» було розроблено установку періодичної дії УВМЕ-1000 (рис. 6) продуктивністю 1000 л/год., в якій перемішування відбувається за допомогою рамкової мішалки. Недоліком даної установки є застосування під кожну технологічну операцію окремої ємності з окремим насосом.



Рис. 6 Установка УВМЕ-1000 для одержання метилових ефірів з рослинних олій продуктивністю 1000 т/рік

Паралельно з цим в НУБіП України була розроблена експериментальна установка для виробництва дизельного біопалива продуктивністю 100 л/год. (рис. 7) та на її базі



була виготовлена промислова установка продуктивністю 300 т/рік (рис. 8), в яких перемішування відбувається за допомогою механічної лопатевої мішалки. Недоліком даного обладнання так як і попередніх варіантах є використання під кожний етап виробництва палива окремої ємності з допоміжним устаткуванням, крім того, порівняно з установкою УВМЕ-1000, перемішування відбувається за допомогою лопатевої мішалки, а не рамкової.

В Україні існують підприємства, які виробляють обладнання для виробництва дизельного біопалива або продають імпортоване обладнання різної продуктивності із застосуванням автоматизації і без неї, а також використовують дешеві чи дорогі матеріали, що впливає на вартість обладнання.



Рис. 7 Експериментальне обладнання для виробництва дизельного біопалива продуктивністю 100 л/год



Рис. 8 Обладнання для виробництва дизельного біопалива продуктивністю 300 т/рік

Проаналізувавши технічні характеристики такого обладнання, його вартість і зробивши розрахунки з його експлуатаційних витрат при виробництві дизельного біопалива визначили [26], що найнижча собівартість біопалива при продуктивності обладнання від 800 до 3300 т/рік.

При визначенні собівартості виробленого дизельного біопалива в умовах сільського господарства необхідно враховувати вартість побічної продукції, тобто шроту, який

отримуємо після пресування насіння, частка якого складає близько 65% від сумарної маси насіння та вартість сирого гліцерину, що складає близько 12% від кількості олії. Ріпаковий шрот може використовуватись в якості високобілкової добавки



для раціону тварин (до 10%) [6]. Сирий гліцерин після очистки може реалізовуватись для потреб парфумерної, лакофарбової, фармацевтичної та інших галузей народного господарства, а без очищення - як рідке пічне паливо.

Таким чином, впровадженню процесу виробництва дизельного біопалива у сільськогосподарське виробництво повинен передувати якнайширший аналіз показників виробництва ріпакового зерна, олії та умов виробництва дизельного біопалива.

5. ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ДО ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Процес виробництва дизельного біопалива починається із підготовки рослинної олії [10], тобто очищення вижатої олії від мезги, фосфоліпідів, білків, воску та інших включень, які впливають на якість отриманого палива. Після цього олію направляють на зберігання у ємності, які обладнані засобами для підігріву (при потребі перед переробкою її в дизельне біопаливо). Для виробництва дизельного біопалива використовують як власноруч підготовлений так і готовий метилат калію. Рослинну олію та метилат калію подають до реактора з гідравлічною мішалкою де проходить її естерифікація при інтенсивному перемішуванні у потоці впродовж 10-30 хвилин. Утворена емульсія надходить у гравітаційний розділювач, де проходить відділення найважчої гліцеринової фракції, а в подальшому отримане дизельне біопаливо відстоюється доступом повітря для вивільнення залишків метилового спирту який не прореагував під час реакції.

Основні вимоги до технологічних операцій виробництва дизельного біопалива наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Технологічні операції виробництва дизельного біопалива

№	Назва операції	Термін проведення	Основні вимоги
1	Відстоювання рослинної олії	Перед естерифікацією	Відстоювання впродовж доби
2	Відділення рослинної олії від осаду	Після відстоювання	Рослинна олія не повинна бути мутною
3	Проведення естерифікації	Після добавки метилата калію до рослинної олії	Змішування 10-25 хв. при інтенсивній вентиляції
4	Відстоювання змішаної емульсії	Після естерифікації	Відстоювати впродовж 2-ох годин
5	Зливання гліцеринового осаду та дизельного біопалива	Після відстоювання емульсії	Наявність чіткої лінії розділу
6	Відстоювання відокремленого дизельного біопалива з доступом повітря	Після зливання гліцеринового осаду	Впродовж 21 доби
7	Контроль якості дизельного біопалива	Впродовж робочої зміни	Вимоги до біодизельного палива згідно ДСТУ 6081:2009



6. ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Сировинною основою для виробництва дизельного біопалива у сільськогосподарському підприємстві є ресурси зерна олійних культур, насамперед зерна ріпаку. Для дизельного біопалива використовується очищена олія [10], оскільки після віджимання в олії присутні тверді і колоїдні домішки, а саме білкові і слизисті речовини, фосфатиди. Очистку олії найчастіше виконують методом холодного осадження. Олія повинна мати темно- або світло-коричневий колір за рахунок наявності різних барвників, однорідну структуру, а також кінематичну в'язкість та густину при 20 °С відповідно від 80 до 95 мм/с² та від 910 до 930 кг/м³, кислотне число має бути в межах від 0,3 до 1,5 мг КОН/г, в залежності від якості та походження олії [34, 35, 36], масова доля води і летючих речовин має бути в межах від 0,1 до 0,2 % [29, 36].

В залежності від кількості ріллі зайнятої під ріпак на паливні потреби і його урожайності в господарстві можна спланувати частку заміни стандартного дизельного палива на дизельне біопаливо в паливних сумішах (таблиця 2).

При виробництві дизельного біопалива використовуються також хімічні реактиви: метилат калію або метилат натрію (метиловий спирт змішаний з лужним каталізатором КОН або NaOH в пропорції 10:1).

Таблиця 2.

Вихід олії, дизельного біопалива та шроту в залежності від урожайності зерна ріпаку

Урожайність зерна ріпаку, т/га	Вихід олії, т/га	Вихід дизельного біопалива, т/га	Вихід шроту, т/га
1,5	0,5	0,475	1,0
3,0	1,0	0,950	2,0
4,5	1,5	1,425	3,0

Метиловий спирт [42] – це безбарвна прозора рідина без нерозчинних домішок, яка змішується з водою без слідів помутніння і має: густину при 20°C 791-792 кг/м³, межу кипіння 64,0-65,5°C, особливо небезпечна легкозаймиста рідина з температурою спалаху 6°C і займання 13°C, категорія та група вибухонебезпечності суміші парів метанолу з повітрям – ІІА-Т2 згідно з ГОСТ 12.1.011. За ступенем дії на організм людини належить до помірно-небезпечних речовин (3-й клас безпеки) згідно з ГОСТ 12.1.005, має політропну дію з переважним впливом на нервову систему, печінку та нирки, у разі його надходження до організму через шлунково-кишковий тракт може спричинити навіть смертельний наслідок, гранично допустима концентрація метилового спирту у повітрі робочої зони – 5 мг/м³, середньодобова – 0,5 мг/м³, максимальна разова концентрація в атмосферному повітрі населених пунктів – 1 мг/м³, середньодобова – 0,5 мг/м³, гостре отруєння під час вдихання парів зустрічається рідко, але має слабо виявлену місцеву дію на шкіру. Симптоми отруєння – головний біль, запаморочення, нудота, біль у шлунку, загальна слабкість, подразнення слизових оболонок, миготіння в очах, а у тяжких



випадках – втрата зору та смерть.

Гідроокис калію (KOH) [32, 33] – представляє собою білі пластівці, гранули або куски з кристалічною структурою на зламі: сильно гігроскопічний, добре розчиняється у воді та спирті, швидко поглинає із повітря вуглекислоту та воду і поступово переходить у вуглекислий калій. Гідроокис калію у вигляді розчину або пилу діє опікаюче на ділянки шкіри та слизової оболонки. Гранично допустима концентрація аерозолу гідроокису калію в повітрі робочої зони виробничих приміщень – 0,5 мг/м³. При концентрації вище дозволеної гідроокис калію може викликати опіки і хронічні захворювання шкіри. Особливо шкідливе попадання його в очі.

7. ВАРИАНТИОРГАНІЗАЦІЇЦЕХУПОВИРОБНИЦТВУДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Основні правила переобладнання сільськогосподарських споруд під цехи для виробництва дизельного біопалива наступні: сумарна площа приміщення повинна бути не меншою ніж необхідна згідно технологічних вимог інструкцій по експлуатації обладнання; загальну площу для виробництва дизельного біопалива доцільно розділити на декілька приміщень, які відповідають вимогам виробництва рослинних олій, дизельного біопалива, зберігання метилового спирту та каталізатора і роботи з ними; повинні бути передбачені зони розвантаження сировини і завантаження виробленої продукції – дизельного біопалива та побічної продукції – гліцеринового осаду та шроту (рис. 9).

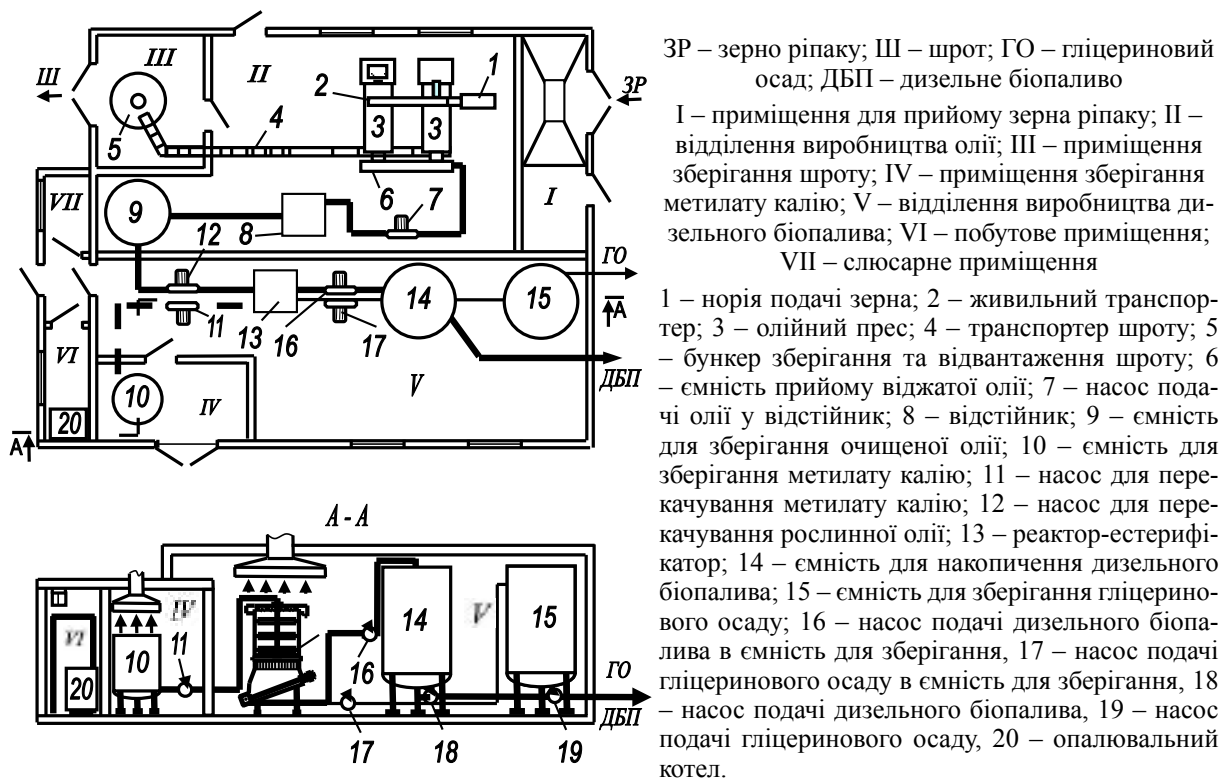


Рис. 9 Схема типового цеху по виробництву дизельного біопалива



8. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Виробництво дизельного біопалива проводять згідно з технологічним регламентом (таблиця 3). Для виконання виробничих операцій залучають не менше 2 працівників.

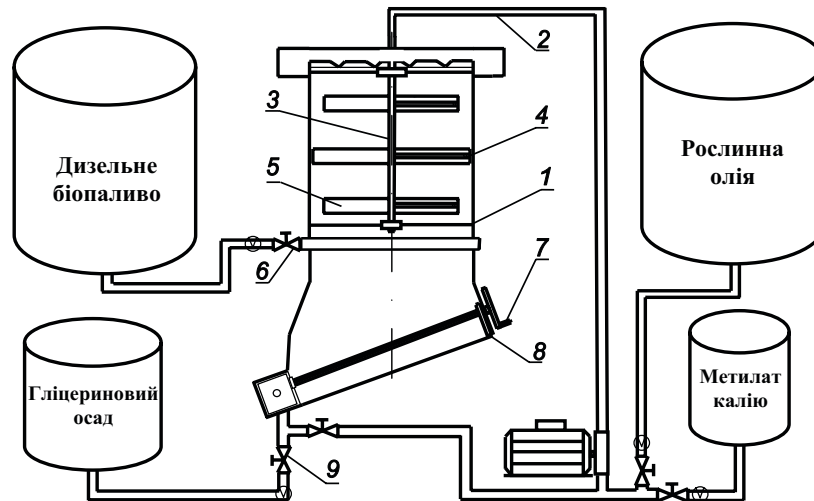
Таблиця 3.

Технологічний регламент виробництва дизельного біопалива

№	Назва операції	Обладнання	Термін проведення	Основні вимоги
1	Підготовка рослинної олії до переробки	Відстійник	Перед етерифікацією	Відстоювання впродовж доби
2	Завантаження олії у ємність для зберігання	Насос	Упродовж зміни	Запас олії має бути не менший за потрібну продуктивність обладнання установки
3	Завантаження олії у ємність змінного запасу	Насос	Упродовж зміни або на початку зміни	Запас олії має бути не менший за змінну продуктивність по дизельному біопаливу
4	Завантаження метилату калію	Насос	На початку зміни	Кількість реагентів згідно розрахунку: на 1 л олії – 0,15 л, (пропорція метилового спирту до каталізатора 10:1).
5	Дозована подача рослинної олії та метилату калію в змішувач	Насоси	Після відкриття кранів для подачі компонентів	дані повинні бути у відношенні: 1 л олії – від 0,143 до 0,150 л розчину метилового спирту з каталізатором
6	Відстоювання дизельного біопалива	Відстійник	Упродовж 2 годин	Вимоги до біодизельного палива згідно ДСТУ 6081:2009,
7	Очищення дизельного біопалива від залишків метилового спирту	Відстійник з відкритим доступом повітря	Упродовж 21 доби	Перемішувати кожен день по 0,5 години
8	Контроль температури спалаху дизельного біопалива	ТВЗ-ЛАБ-01	Після 7-ї доби через кожних 2-3 доби	Контролювати температуру спалаху до отримання результату згідно ДСТУ 6081:2009

Враховуючи, що метанол слабо розчиняється у рослинній олії [50, 57], після додавання розчину метилового спирту у олію, рідини розташовуються шарами відповідно значенню їх густин. У зв'язку з цим необхідно виконувати перемішування, що призводить до утворення двофазної системи – емульсія, у якій суцільне середовище – рослинна олія та дисперсійна фаза – розчин метанолу із лужним каталізатором. Очевидно, щоб утримувати емульсію у дисперсійному стані, її необхідно безперервно перемішувати в турбулентному режимі.

На рис. 10 зображено технологічну схему виробництва дизельного біопалива для потреб фермерських господарств.



1 – корпус; 2 – патрубок підведення емульсії; 3 – гідрореактивна мішалка; 4 – форсунка; 5 – лопатка; 6 – кран дизельного біопалива; 7 – механізм видалення гліцеринового осаду; 8 – скребок; 9 – кран для видалення гліцеринового осаду

Рис. 10 Технологічна схема виробництва дизельного біопалива

Реактор заповнюється рослинною олією, після чого додається метилат калію. Під час перемішування емульсії насос забирає емульсію із нижньої частини реактора і подає її до форсунок, які забезпечують її інтенсивне перемішування. Після повного проходження метанолізу рослинної олії отримана емульсія залишається в реакторі до повного розділення на фракції дизельного біопалива та гліцеринового осаду. Рівень гліцеринового осаду контролюється за допомогою спеціального пристрою. Відкачування дизельного біопалива здійснюється насосом через патрубок, який встановлений на поплавковому пристрої. Дизельне біопаливо перекачується в ємкість для зберігання біопалива, яка оснащена пристроєм для видалення метанолу [50].

Циркуляційний реактор при виробництві дизельного біопалива забезпечує зменшення витрат енергії на перемішування та спрощення конструкції обладнання при забезпеченні показників якості дизельного біопалива.

Загальний вигляд циркуляційного реактора на рис. 11.



Рис. 11 Зовнішній вигляд циркуляційного реактора для отримання дизельного біопалива

Співробітниками університету разом з фірмою «ТАН» (м. Чернігів) розроблено завод по виробництву дизельного біопалива, який розміщено в навчально-виробничому корпусі площею 362,6 м² і об'ємом 2284,2 м³ у відокремленому підрозділі НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне Васильківського р-н, Київської обл.).

До складу заводу з виробництва дизельного біопалива входять:



- лінія виробництва рослинних олій ЛВРО-ЕКО-БІО-1.8.2.Р – призначена для очищення насіння олійних культур від сторонніх домішок і двох стадійного віджимання з них рослинної олії, яка після попереднього очищення використовується як сировина для подальшого виробництва олії для харчових потреб та для виробництва дизельного біопалива;
- лінія підготовки рослинних олій ЛВРО-ЕКО-БІО-1.В24.3.ВНП-3Р – призначена для очищення рослинних олій, отриманих способом холодного пресування. Дозволяє проводити очищення і виморожування рослинних олій. Фільтрування проводиться через заздалегідь намитий шар осаду або шар перліту. Після очищення олія для харчових потреб пакується в пляшки, а також направляється на виробництво дизельного біопалива;
- лінія виробництва дизельного біопалива ЛВДБ-ЕКО-БІО-1.25.5.Р – призначена для етерифікації рослинних олій розчином метанолу з лужним каталізатором КОН з метою отримання метилових ефірів жирних кислот згідно ДСТУ 4840:2007 і EN 14214:2003, які використовуються як паливо для дизельних двигунів або як добавка до дизельного палива [53].

Завод забезпечує отримання рослинної олії пресовим способом, очищення її від восків та механічних домішок та виробництво дизельного біопалива. Продуктивність лінії становить 1 т/добу. Побічна продукція – макуха, гліцерин.

Схеми лінії виробництва та очищення рослинної олії наведена на рис. 12, а лінії виробництва дизельного біопалива – на рис. 13.

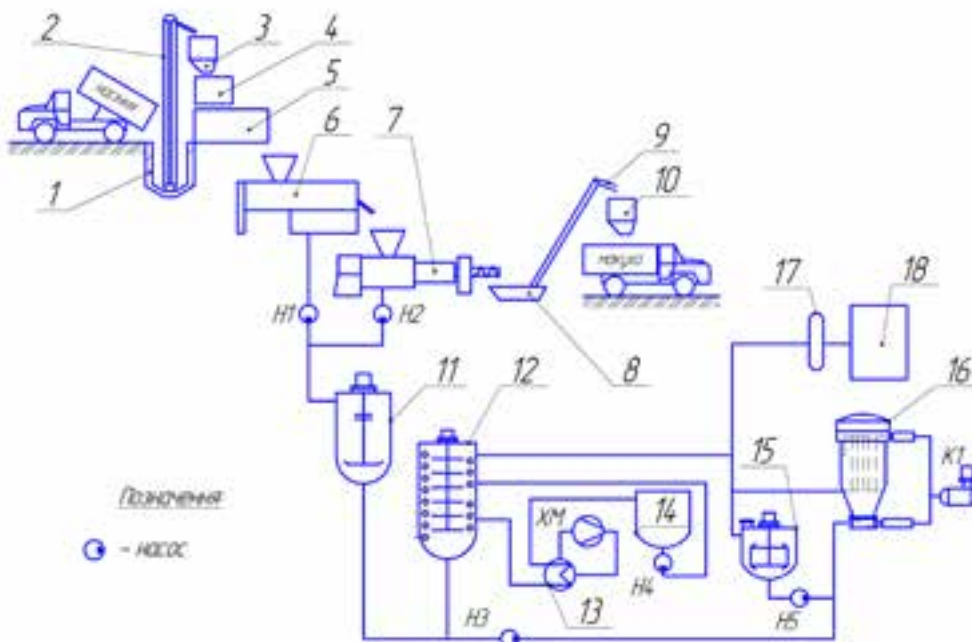


Рис. 12 Схема лінії виробництва та очищення рослинної олії [4]:

1 – вивантажна яма; 2 – норія; 3 – бункер насіння; 4 – рушка; 5 – зерноочистка; 6 – прес-екструдер; 7 – прес дотискання; 8 – збірник макухи; 9 – шнековий транспортер; 10 – бункер макухи; 11 – місткість неочищеної олії; 12 – кристалізатор; 13 – холодильна машина; 14 – місткість хладагенту; 15 – місткість намивання; 16 – фільтр вертикальний напірний пластинчастий; 17 – фільтр; 18 – місткість очищеної олії

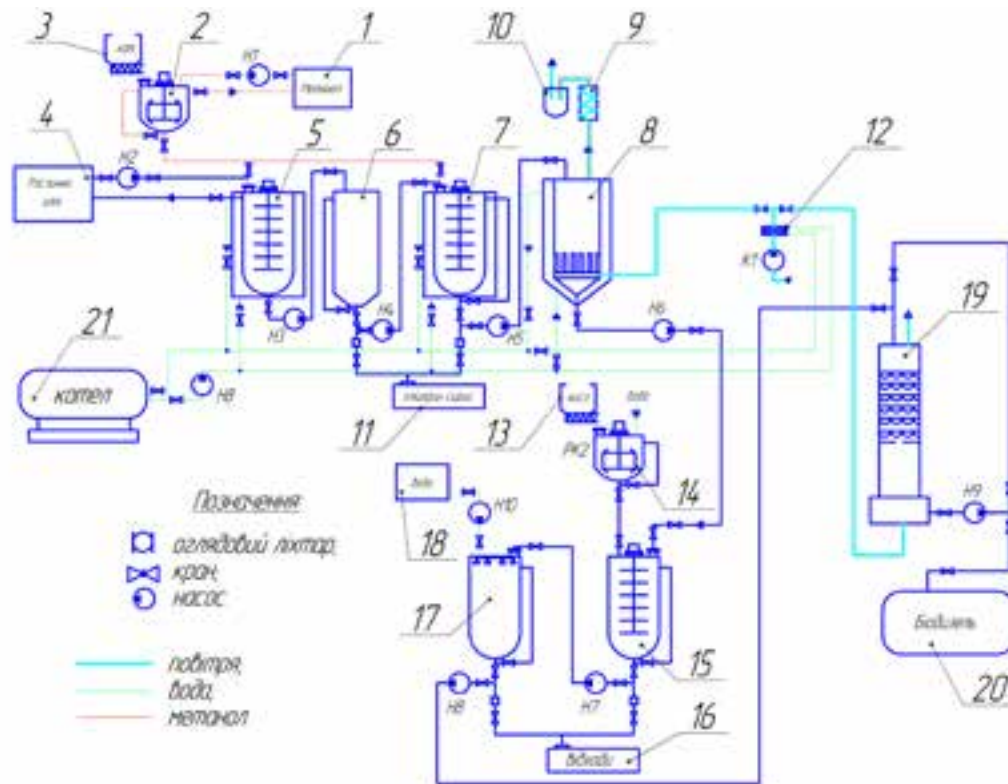


Рис. 13 Схема лінії виробництва дизельного біопалива [4]:

1 – місткість метанолу; 2, 14 – реактор змішувач; 3, 13 – дозатор; 4 – місткість рослинної олії; 5, 7 – реактор естерифікації; 6 – реактор відстійник; 8 – реактор видалення метанолу; 9 – холодильник; 10 – збірник метанолу; 11 – місткість неочищеного гліцерину; 12 – теплообмінник; 15, 17 – реактор промивки; 18 – місткість води; 19 – реактор сушки; 20 – місткість готового дизельного біопалива; 21 – котел

9. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО ЗМІШУВАЧА ТА ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Для простоти розрахунку габаритів гідромеханічного реактора-змішувача під конкретну кількість рослинної олії та метилату калію необхідно скористатися формулами з таблиці 4, в якій представлено повний розрахунок технологічних, конструкційних та енергетичних параметрів.

Таблиця 4.

Розрахунок обладнання для виробництва дизельного обладнання з використанням гідромеханічного перемішування [18]

Показники	Позначення, формула	Значення за розрахунком
1	2	3
Технологічні параметри:		
Маса олії, кг	M_o	32,1
Густина рослинної олії, кг/м ³	ρ_o	917
Об'єм рослинної олії, м ³	$V_o = M_o / \rho_o$	0,04



1	2	3
Норма витрати метилату калію, кг/м ³	$H_{МК}$	143
Необхідна маса метилату калію, кг	$M_{МК} = V_O / H_{МК}$	5,01
Густина метилату калію, кг/м ³	$\rho_{МК}$	792
Необхідний об'єм метилату калію, м ³	$V_{МК} = M_{МК} / \rho_{МК}$	0,01
Коефіцієнт запасу об'єму реактора, відн. од.	K_3	1,1
Об'єм реактора, м ³	$V_p = K_3 (V_O + V_{МК})$	0,05
Коефіцієнт виходу дизельного біопалива, %	$K_{ДБП}$	98,8
Об'єм дизельного біопалива, м ³	$V_{ДБП} = V_O K_{ДБП} / 100$	0,04
Об'єм гліцеринового осаду, м ³	$V_{ГО} = (V_O + V_{МК}) - V_{ДБП}$	0,01
Температура процесу естерифікації, °С	T	5
Конструкційні параметри:		
Довжина реактора, м	L_p	0,8
Ширина реактора, м	B_p	0,8
Площа реактора, м ²	$S_p = L_p B_p$	0,64
Висота реактора, м	$H_p = V_p / S_p$	0,07
Висота дизельного біопалива, м	$H_{ДБП} = V_{ДБП} / S_p K_{ДБП} / 100$	0,05
Висота гліцеринового осаду, м	$H_{ГО} = H_p - H_{ДБП}$	0,02
Коефіцієнт запасу висоти гідрореактивної мішалки, відн. од.	$H_{ЗГМ}$	1,2
Висота гідромішалки, м	$H_{ГМ} = (H_{ГО} + H_{ДБП}) / H_{ЗГМ}$	0,06
Діаметр форсунок, мм	\emptyset	2,0
Кількість ярусів гідрореактивної мішалки, шт.	$N_{ЯР}$	3
Кількість форсунок на ярусі, шт.	$N_{ФЯР}$	4
Кількість форсунок, шт.	$N_{\Phi} = N_{ЯР} N_{ФЯР}$	12
Кількість лопаток на ярусі, шт.	$N_{ЛЯР}$	4
Кількість лопаток, шт.	$N_L = N_{ЯР} N_{ЛЯР}$	12
Укорочення лопаток, м: довшої коротшої	$K_{ЗДЛ}$ $K_{ЗКЛ}$	0,05 0,09
Довжина ширшої лопатки, м	$L_{ДЛ} = L_p / 2 - K_{ЗДЛ}$	0,35
Довжина коротшої лопатки, м	$L_{КЛ} = L_p / 2 - K_{ЗКЛ}$	0,31
Кількість довгих лопаток, шт.	$N_{ДЛ}$	4
Кількість коротких лопаток, шт.	$N_{КЛ}$	8
Кут нахилу лопаток, град.	α	60
Частота обертання гідрореактивної мішалки, об./хв.	$N_{ГР}$	45,6
Робочий об'єм насоса, см ³	V_H	10
Робочий тиск, МПа	P_H	0,41
Продуктивність насоса, л./хв.	Q_H	7



1	2	3
Енергетичні параметри:		
ККД насоса	$ККД_H$	0,92
Споживана потужність насоса, Вт	$P_H = p_H 1000000 Q_H / (1000 60 ККД_H)$	51,36
Коефіцієнт запасу двигуна	$K_{зДВ}$	1,07
ККД двигуна	$ККД_D$	0,84
Коефіцієнт потужності двигуна	$\cos\varphi$	0,84
Споживана потужність двигуна, Вт	$P_{ДВ} = P_H K_{зДВ} / (ККД_D \cos\varphi)$	77,88
Час роботи, год.	τ	0,83
Питома енергомідкість, кВт год./м ³	$E = P_{ДВ} \tau / (V_p 1000)$	1,42

Таким чином, величина об'єму реактора визначається в першу чергу обсягами річної партії виробництва дизельного біопалива. Крім того, чим більші витрати на виробництво дизельного біопалива упродовж одного циклу, тим більшим має бути об'єм реактора розділювача.

10. ОЦІНКА СИРОВИННОЇ БАЗИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА ПРИ ДВОСТУПІНЧАСТОМУ ВІДЖИМАННІ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ

Основною сировиною для виробництва дизельного біопалива є рослинна олія, а саме: ріпакова, соняшникова, соєва, льняна, рижієва та інші. Будь-яку з цих олій можна використати для виробництва дизельного біопалива, лише потрібно правильно підібрати концентрації хімічних компонентів, які використовуються при його виробництві. Однак існує проблема при використанні рослинної олії як сировини для виробництва біодизельного палива, адже аграрії не завжди зацікавлені направляти зерно та олію на виробництво дизельного біопалива. Тому необхідно шукати шляхи зацікавленості виробників олії для її переробки під дизельне біопаливо.

Одним із дієвих варіантів отримання більш дешевого дизельного біопалива є використання при його отриманні олії з низькою вартістю.

Таким чином, виробництво рослинної олії шляхом віджимання повинно включати в себе перше (холодне) віджимання та друге (гаряче) віджимання, згідно зі схемою наведеною на рис. 14.

Технологічна схема агропромислового виробництва дизельного біопалива виглядає так: отримане зерно очищають від різних домішок, сушать до заданої норми вмісту вологи, потім подають на прес, на якому під тиском без нагріву отримують неочищену олію першого (холодного) віджимання та макуху з високим вмістом олії, яку піддають другому (гарячому) віджиманню. При цьому отримують неочищену олію та макуху з низьким вмістом олії.

Олію холодного віджимання очищають шляхом фільтрації або осадження, піддають вінтеризації для видалення воску, повторно фільтрують або осаджують та ви-



користують для харчових потреб. Олію гарячого віджимання також очищають шляхом осадження та піддають вінтеризації. Потім її повторно очищають шляхом осадження та використовують як сировину для виробництва дизельного біопалива. А саме, при додаванні метилата калію проводять процес естерифікації та розділяють на фракції.

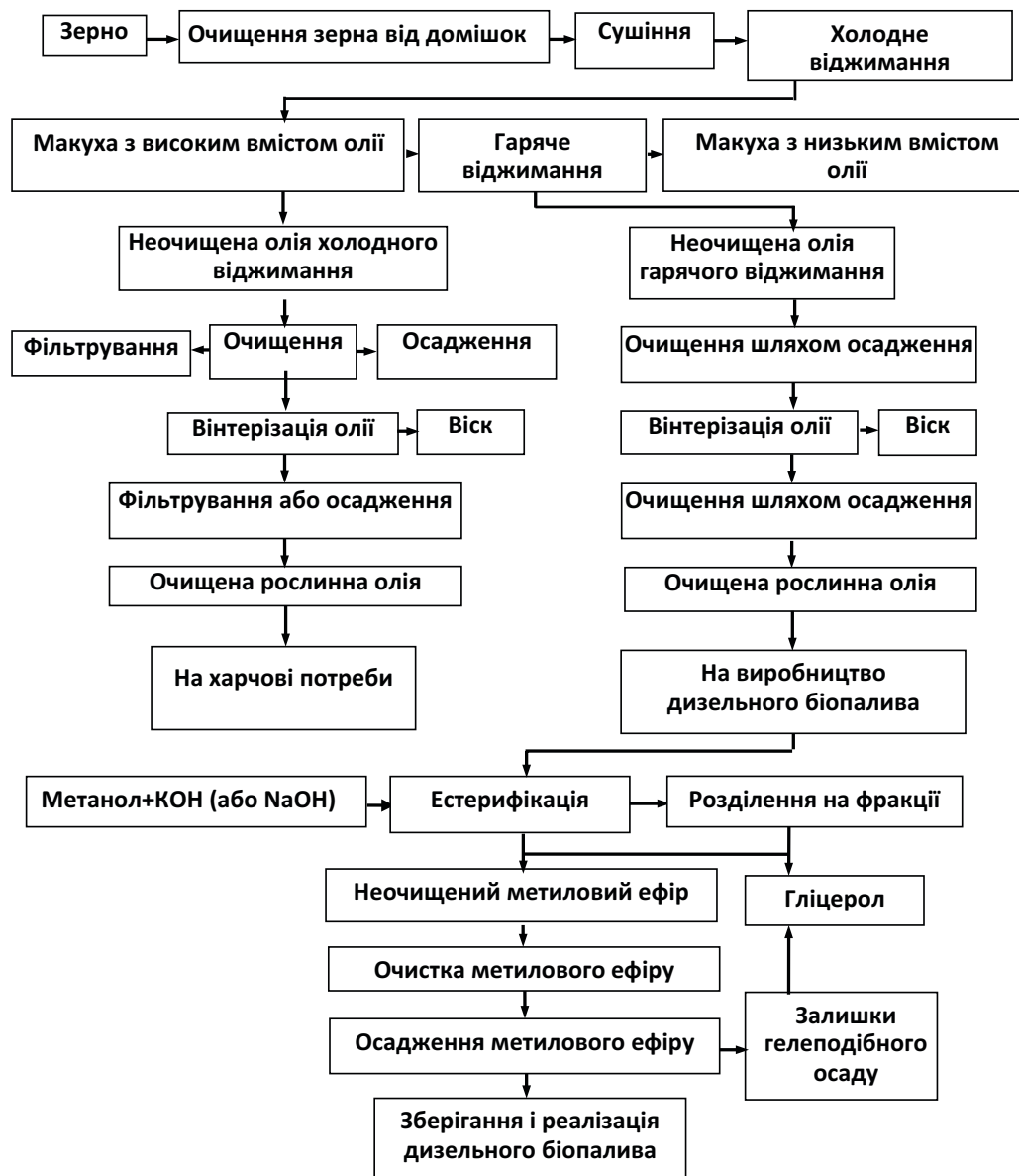


Рис. 14 Схема агропромислового виробництва олії холодного віджимання та дизельного біопалива із олії гарячого віджимання

Отриманий метиловий ефір очищають шляхом осадження та відкачують у резервуар для зберігання дизельного біопалива.

Аналіз показує (рис. 15), що ціна олії другого (гарячого) віджимання зменшується при збільшенні ціни першого (холодного) віджимання та при збільшенні коефіцієнта виходу олії холодного віджимання. На графіку є також зона нульових значень ціни олії другого (гарячого) віджимання при ціні олії холодного віджимання від 12 грн./кг до 16 грн./кг та при коефіцієнті виходу олії першого (холодного) віджимання в межах від 20 до 26%.

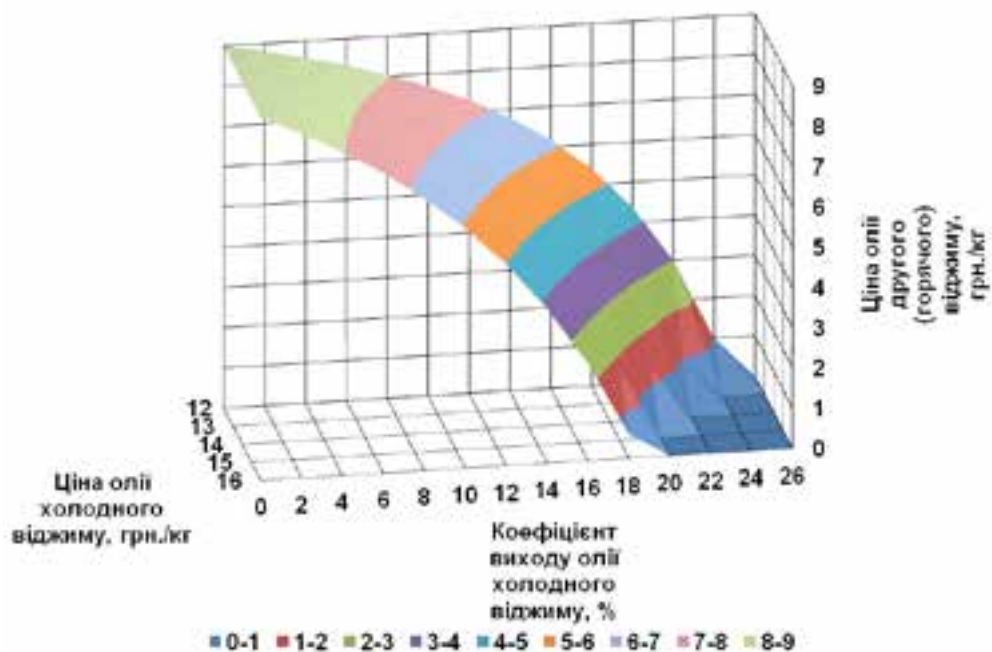


Рис. 15 Залежність ціни олії другого (гарячого) віджимання від ціни олії першого (холодного) віджимання та коефіцієнта виходу олії холодного віджимання

Таким чином, при збільшенні ціни олії першого (холодного) віджимання, нульову ціну олії другого (гарячого) віджимання можна буде отримати при менших зменшеннях коефіцієнта виходу олії першого (холодного) віджимання та більших зменшеннях коефіцієнта виходу олії другого (гарячого) віджимання.

У випадку, коли коефіцієнти виходу олії першого (холодного) та другого (гарячого) віджимання однакові і становлять $k_{OX} = k_{OG} = \frac{k_O}{2}$, ціна олії другого (гарячого)

віджимання в залежності від ціни олії першого (холодного) віджимання визначається як подвоєна ціна олії за вирахуванням ціни олії холодного віджимання (рис. 16).



Рис. 16 Залежність ціни олії другого (гарячого) віджимання від ціни олії першого (холодного) віджимання



Отже, при отриманні рослинної олії [1, 24] доцільно застосовувати двоступінчасте віджимання, причому високоякісну олію першого (холодного) віджимання доцільно використовувати для харчових потреб, а недорого, порівняно з олією першого (холодного) віджимання, олією другого (гарячого) віджимання – для потреб виробництва дизельного біопалива.

11. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Виробництво дизельного біопалива з використанням гідрореактивного перемішування дозволяє забезпечити повноту проходження естерифікації рослинної олії та забезпечити питому енергомісткість переробки рослинної олії в дизельне біопаливо на рівні 1,42 кВт год./т, що на 8,58 кВт год./т менше ніж при використанні циліндричного реактора періодичної дії з механічними мішалками лопатевого, рамного, якірного, пропелерного та іншими типами. При повній заміні дизельного палива, яке використовується в сільському господарстві України (у 2008 році використано 1540 тис. т дизельного палива) та вартості електроенергії для підприємств виробників дизельного біопалива 0,79 грн./кВт год. економія коштів на виробництво дизельного біопалива буде складати близько 10 млн. грн./рік. При заміні 10 % дизельного палива на дизельне біопаливо, економія буде складати відповідно 1 млн. грн./рік.

Цінові показники виробництва дизельного біопалива (табл. 5, 6) та кон'юнктура ринку постійно змінювалась. Так, наприклад, вартість метанолу зросла з 5000 до 8596 грн./т, вартість реактивів з 999 до 1717 грн./т, вартість олії від 3085 до 6834 грн./т. Із 2008 по 2013 рік рентабельність становила приблизно від 1% до 50%, а термін окупності від 0,20 до 7,68 року. Середній термін окупності обладнання для виробництва дизельного біопалива за вказані роки становив 1,9 роки.

Техніко-економічна оцінка показала, що у порівнянні з базовим обладнанням, яке передбачає механічне перемішування, гідромеханічна мішалка має менші питомі виробничі витрати – 954 грн./т проти 1064 грн./т (зменшення на 110 грн./т), за рахунок зменшення витрат електроенергії, зменшення вартості та спрощення обладнання. Відповідно прибуток виріс на 162,54 грн./т. Термін окупності при кон'юнктурі ринку та цінах 2013 року становив 0,2 роки.

Таблиця 5.

Собівартість виробництва дизельного біопалива з використанням гідромеханічного перемішування

Марка обладнання	БДУ-100	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Продуктивність	л/год.	100					
	т/рік	50					
Капіталовкладення	грн.	29000	33263	35558	37941	39686	40281
Амортизаційні відрахування	грн./рік	2320	2661	2845	3035	3175	3222
	грн./т	46,40	53,22	56,89	60,70	63,50	64,45



Марка обладнання	БДУ-100	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Відрахування на ТО	грн./рік	1740	1996	2133	2276	2381	2417
	грн./т	34,80	39,92	42,67	45,53	47,62	48,34
Вартість електроенергії	грн./кВт год.	0,43	0,52	0,60	0,73	0,73	0,79
Витрати на електроенергію	грн./т	3,88	4,73	5,44	6,66	6,66	7,20
Кількість обслуговуючого персоналу	чол.	1					
Місячна зарплата обслуговуючого персоналу	грн./міс.	1101	1220	1430	1759	2086	2340
Фонд зарплати персоналу	грн./рік	18206	20174	23646	29616	34494	38694
	грн./т	364,12	403,48	472,93	592,32	686,88	773,88
Всього витрат	грн./т	402,80	448,1	521,0	644,5	744,2	829,4
Загальновиробничі витрати	%	5					
	грн./т	20,14	22,41	26,1	32,23	37,21	41,47
Загальногоспо-дарські витрати	%	10					
	грн./т	40,28	44,81	52,10	64,45	74,42	82,94
Питомі виробничі витрати	грн./т	463,22	515,34	599,20	742,18	855,79	953,83

В якості критерію для оцінки економічної ефективності прийнято мінімальні витрати на виробництво дизельного біопалива в умовах фермерських господарств [26, 28]. Згідно розрахунку, собівартість виробництва дизельного біопалива становила від $C_D=12172$ грн./т (для підприємства із площею ріллі $S=1000$ га і циркуляційного реактора об'ємом $V_P=2$ м³) до $C_D=12887$ грн./т (для підприємства із площею ріллі $S=100$ га, і циркуляційного реактора об'ємом $V_P=0,4$ м³). Приймаючи, ринкову вартість дизельного палива на рівні 16000 грн./т, річний прибуток становитиме від 165 грн./га до 206 грн./га, а рівень рентабельності виробництва дизельного біопалива складе від 16,9% до 22,0%.

Таблиця 6.

Техніко-економічні показники виробництва дизельного біопалива

Марка обладнання	БДУ-100	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Вартість метанолу	грн./т	5000	5660	6424	8011	8596	7907
Вартість каталізатора	грн./т	17800	20150	22870	28519	30600	28148
Вартість реактивів	грн./т	999,16	1131,05	1283,74	1600,82	1717,68	1580,01
Ціна гліцерінового осаду	грн./т	1355	1534	1741	2171	2329	2143
Вартість гліцерінового осаду	грн./т	290,97	329,38	373,84	466,18	500,21	460,12
Собівартість олії	грн./т	2930	3857	4516	6197	6494	5814
Вартість олії	грн./т	3085	4060	4762	6524	6836	6120
Собівартість виробництва ДБП	грн./т	4256	5377	6263	8400	8909	8193
Вартість ДП у рік використання ДБП	грн./л	5,19	6,43	8,97	9,51	9,27	13,98
	грн./т	6175	7653	10683	11326	11034	16640



Марка обладнання	БДУ-100	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Прибуток	грн./т	869	955	2682	944	148	5824
Прибуток після оподаткування	грн./т	609	668	1878	661	103	4077
Рентабельність	%	14,3	12,4	30,0	7,9	1,2	49,8
Термін окупності	років	0,95	1,00	0,38	1,15	7,68	0,20
Середнє значення	років	1,89					

12. ПАКУВАННЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ

Для пакування дизельного біопалива [43] використовують тару: металеві бочки місткістю 200 дм³ з вузькою горловиною згідно з ГОСТ 13950, автоцистерни, залізничні цистерни. Дозволяється, за згодою із споживачем, використовувати аналогічну тару, яка вироблена згідно з іншою чинною нормативною документацією. Не дозволяється використовувати місткості, що виготовлені з міді та цинку або з їхніх сплавів.

Термін зберігання дизельного біопалива складає шість місяців з дня його виготовлення. Гранично допустимий термін зберігання може змінюватися згідно з рекомендаціями виробника.

13. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Одним з головних недоліків дизельного біопалива, одержаного шляхом етерифікації рослинних олій є висока кінематична в'язкість, що значно звужує температурний діапазон його використання.

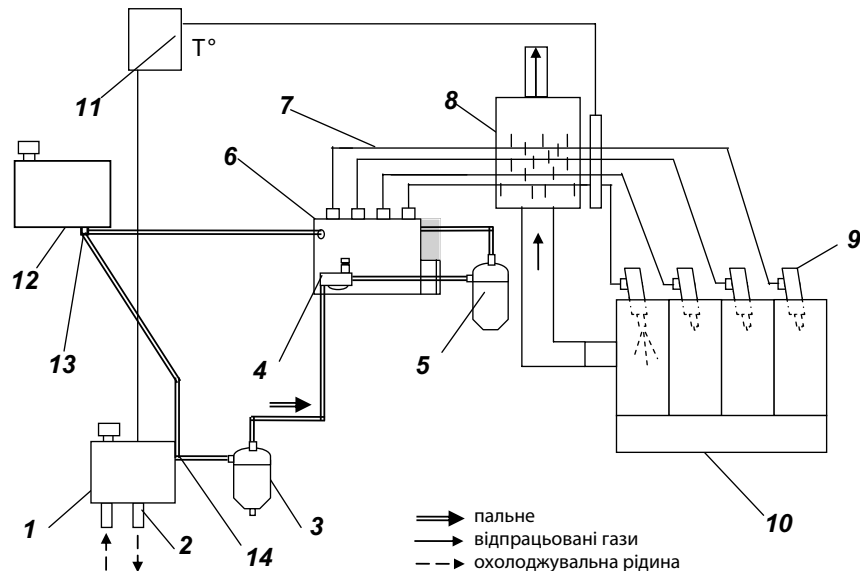
Результати попередньо проведених досліджень фізико-механічних властивостей сумішей дизельного біопалива з дизельним паливом свідчать, що ефективний діапазон використання чистого дизельного біопалива знаходиться при температурі вищій 10°C [79].

Для ефективного використання та збільшення температурного діапазону використання дизельного біопалива розроблено схему та виготовлено дослідний зразок системи двохступеневого підігріву дизельного біопалива (рис. 17). Розроблена система дозволяє використовувати дизельне біопаливо при будь-яких значеннях температури навколишнього середовища та забезпечує його більш повне згоряння, сприяє збільшенню строку експлуатації картерного масла двигуна, дає можливість використовувати чисту очищену олію для роботи двигуна. При використанні запропонованої системи пуск дизельного двигуна відбувається на дизельному паливі, яке міститься в основному паливному баці 12. Працюючи на дизельному паливі, двигун прогрівається до робочої температури. Одночасно розігрівається бак з дизельним біопаливом 1 за допомогою трубчастого теплообмінника 2, який приєднаний до системи охолодження двигуна внутрішнього згорання. При досягненні робочої температури двигун переключають на роботу на дизельному біопаливі. Підігріте паливо з паливного бака надходить до фільтра грубої очистки 3 та паливного насоса високого тиску 6. Перед впорскуванням до циліндра дизельне



біопаливо додатково підігрівається в нагрівальній камері 8.

Теплообмінник 2 працює з використанням рідини з системи охолодження. Автоматичне підтримання температури відбувається за рахунок зміни витрати теплоносія. Датчик контролю температури палива в паливопроводі низького тиску встановлюють на виході з паливного бака, оскільки саме тут найважливіше контролювати температуру перед надходженням підігрітого палива до паливного насоса високого тиску.



1 – паливний бак дизельного біопалива, 2 – теплообмінник, 3 – фільтр грубого очищення, 4 – підкачувальний насос, 5 – фільтр тонкого очищення, 6 – паливний насос високого тиску, 7 – паливопроводи високого тиску, 8 – нагрівальна камера, 9 – форсунки двигуна, 10 – двигун, 11 – блок контролю температури, 12 – основний паливний бак, 13 – паливний кран основного баку, 14 – паливний кран баку дизельного біопалива

Рис. 17 Схема двохступеневого підігріву палива для тракторних двигунів

На другому етапі підігрів палива в паливопроводах високого тиску здійснюється теплом відпрацьованих газів двигуна в нагрівальній камері 8. Контролюють температуру безпосередньо перед форсунками за допомогою датчиків температури, а регулювання температури нагріву палива здійснюють зміною величини перерізу перепускного каналу нагрівальної камери 8.

Для реалізації запропонованої схеми на тракторі Кий-14102 було внесено зміни в штатну систему паливопроводів низького тиску. Зворотна магістраль, яка з'єднує паливний насос високого тиску 6 з основним паливним баком 12, від'єднувалася від основного паливного бака 12 та з'єднувалася з магістраллю подачі палива до фільтра грубої очистки палива 3. В магістраль подачі палива, за допомогою трійника, був приєднаний паливний бак дизельного біопалива 1.

Дана схема підключення дає змогу отримати кільцевий контур паливоподачі, в якому при закриванні паливного крану 13 та відкриванні крану 14, підігріте дизельне біопаливо потрапляє в магістраль паливоподачі. При зворотному переході двигуна на живлення дизельним паливом, магістраль повністю заповнюється дизельним паливом, що в свою чергу вирішує проблему обігріву паливної магістралі дизельного біопалива в холодну пору року при довготривалих зупинках.



14. ТЕМПЕРАТУРНІ РЕЖИМИ НАГРІВУ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В СИСТЕМІ ЖИВЛЕННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

При високому значенні кінематичної в'язкості, відбувається порушення роботи системи подачі палива та процесу сумішоутворення і як наслідок погіршується згорання палива [47].

Підігрівання палива в паливопроводі низького тиску здійснюють з метою забезпечення його рухомості та фільтрування. Найкращі властивості дизельне паливо набуває при в'язкості від 2,5 до 4 мм²/с [47]. Для дизельного біопалива дана в'язкість може бути досягнута в температурних межах від плюс 30 до плюс 45°C, а тому для ділянки бак-паливний насос великого тиску доцільно проводити підігрів палива саме в даних температурних межах.

Другий етап нагрівання палива здійснюється на ділянці паливний насос великого тиску-форсунка з метою покращення його розпилення та підвищення швидкості і повноти згорання.

Зі збільшенням температури нагріву палива та при зміні навантаження двигуна питома витрата палива змінюється за параболічною функцією. Ця функція оптимум – мінімальне значення функції відгуку для досліджуваного діапазону температури і потужності знаходиться при температурі 117,4°C і навантаженні 33,2 кВт. Отримана залежність дозволила змоделювати зміну питомих витрат палива в залежності від температури нагріву (рис. 18) та завантаження двигуна (рис. 19).

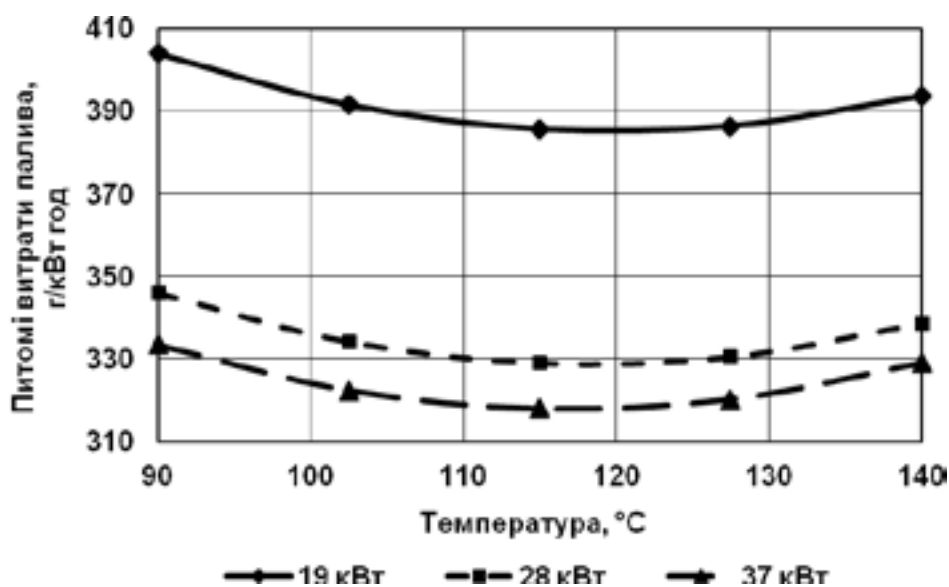


Рис. 18 Залежність питомої витрати палива від температури нагріву та завантаження двигуна

Таким чином, нагрів дизельного біопалива перед впорском в двигун внутрішнього згорання доцільно здійснювати в температурному інтервалі від 115 до 120°C незалежно від завантаження двигуна, при цьому спостерігається зменшення питомих витрат палива внаслідок покращення повноти згорання палива.

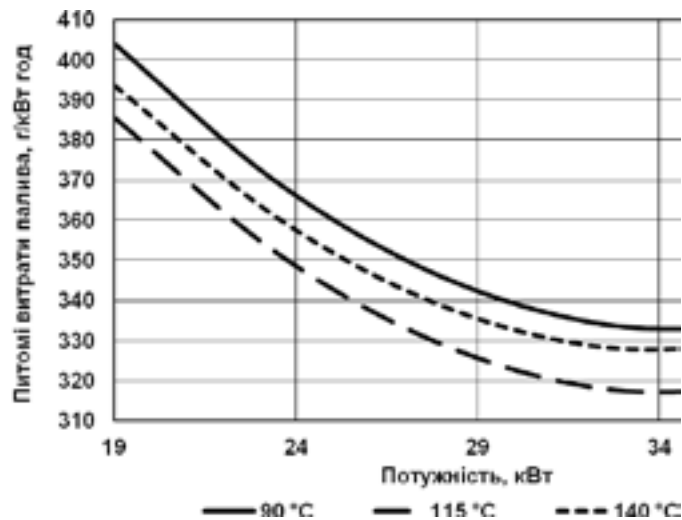


Рис. 19 Залежність питомої витрати палива від навантаження при відповідній температурі

15. ВПЛИВ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Для вивчення впливу температури нагріву дизельного біопалива на експлуатаційні та екологічні показники роботи дизельного двигуна Д-65Н нами виконано модернізацію системи живлення двигуна згідно [60]. Температуру нагріву дизельного палива прийнято на рівні 120°C, згідно з проведеними раніше дослідженнями [22, 17].

Аналіз отриманих експлуатаційних характеристик показує, що двигун на дизельному біопаливі розвиває майже таку ж потужність що й на звичайному паливі, проте має гірші показники годинної та питомої витрати палива (рис. 20). Збільшення витрати дизельного біопалива без підігріву порівняно з дизельним паливом пов'язано із меншою нижчою теплотою згорання дизельного біопалива. Дещо покращує ситуацію застосування нагріву дизельного біопалива перед впорском в циліндр, що зменшує перевитрату палива на величину від 3 до 10% в залежності від навантаження двигуна.

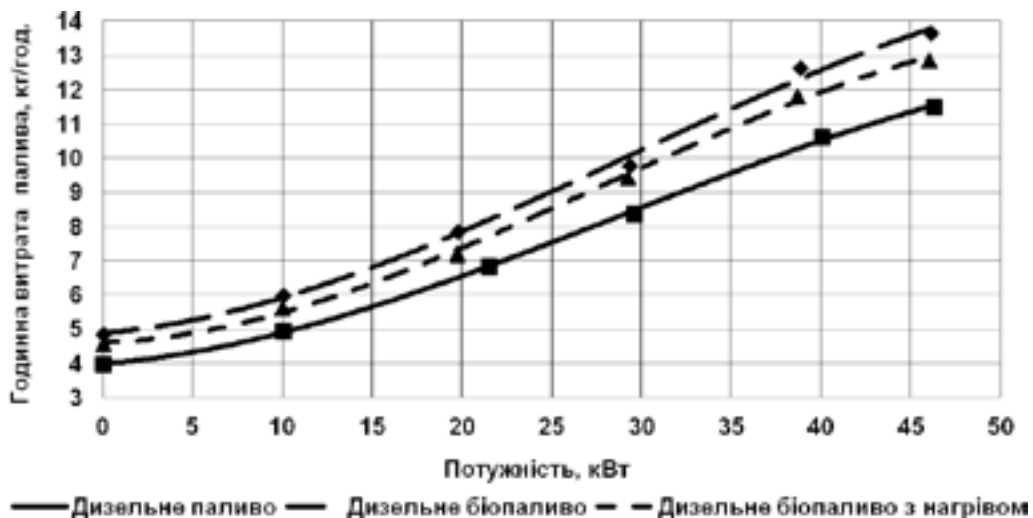


Рис. 20 Зміна годинної витрати палива від навантаження двигуна



16. ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ МТА НА ДИЗЕЛЬНОМУ БІОПАЛИВІ

Випробування трактора Кий-14102 з двигуном Д-245 проводилися під час осінніх польових робіт при температурі навколишнього середовища від мінус 1 до плюс 6°C. Температура нагріву дизельного біопалива підтримувалася в інтервалі від 115 до 120°C за допомогою дроселювання випускного каналу відпрацьованих газів системи підігріву дизельного біопалива. Значення експлуатаційних витрат палива при використанні дизельного палива та дизельного біопалива приведено в табл. 7.

Аналіз отриманих результатів показує, що перевитрата дизельного біопалива порівняно з дизельним паливом становила при виконанні оранки 8,58%, а при дискуванні – 9,02%, що пояснюється меншою калорійністю дизельного біопалива.

У більшості випадків нижчу теплоту згоряння дизельного біопалива приймають на рівні 37,5 МДж/кг [72, 13, 61], проте вона залежить від складу жирних кислот рослинної олії з якої виготовлено паливо, вміст яких, у свою чергу, залежить від сорту, умов вирощування та способу отримання олії, а тому нижчу теплоту згоряння дизельного біопалива необхідно визначати в кожному конкретному випадку.

Таблиця 7.

Експлуатаційні витрати палива агрегатами на базі трактора Кий-14102 з використанням системи підігріву дизельного біопалива

Вид операції	Використано ДБП, л	Тип і витрата палива, кг/га		Перевитрата ДБП, %
		ДП	ДБП	
Оранка: Кий-14102 + PRO-3	200	15,85	17,21	8,58
Дискування: Кий-14102 +БДВ-3	670	5,74	6,258	9,02
Посів: КІЙ-14102 + Great Plains-1,5	380	8,7	9,8	12,64

Для перевірки адекватності отриманих результатів нами виконано перевірку нижчої теплотворної здатності дизельного палива та дизельного біопалива, шляхом спалювання зразків палива, яке використовувалося під час проведення експериментів в калориметричній бомбі. Дослідження показали, що нижча теплотворна здатність дизельного біопалива нижча на 8,25 % порівняно з дизельним паливом, що підтверджує адекватність отриманих даних при проведенні виробничих випробувань трактора КІЙ-14102.

17. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Аналіз виробничого досвіду використання дизельного біопалива показує, що більшість проблем, які обмежують широке використання дизельного біопалива сільськогосподарськими підприємствами пов'язана з необхідністю дотримання вимог зберігання дизельного біопалива та контролю за його параметрами, а також



необхідністю організації високого рівня технічного обслуговування техніки, яку заправляють дизельним біопаливом.

Основна проблема зберігання біопалива полягає в його здатності натягувати вологу та розчиняти бруд і лакофарбові покриття. Це погіршує якість дизельного біопалива, а тому:

- слід регулярно відбирати проби палива для перевірки його на відповідність стандарту ДСТУ 6081:2009;
- не рекомендується довгостроково зберігати дизельне біопаливо під прямим впливом високих або низьких температур;
- дизельне біопаливо повинно бути використане упродовж шести місяців з дати виготовлення;
- паливо необхідно зберігати в чистих і сухих ємностях без попадання сонячних променів;
- необхідно здійснювати періодичний контроль за змістом води у паливі, щоб уникнути небезпеки розвитку мікроорганізмів, утворення перекисів і корозійного впливу води, у тому числі й на елементи паливної апаратури;
- слід обов'язково видаляти воду із цистерн зберігання перед заповненням їх дизельним біопаливом;
- для мінімізації конденсації вологи при зберіганні дизельного біопалива необхідно тримати паливні ємності максимально заповненими, осушувати й мити їх до заповнення і після випорожнення;
- при використанні паливних сумішей дизельного палива та дизельного біопалива їх необхідно відстоювати упродовж 24 годин після змішування.

Перед початком експлуатації двигуна на дизельному біопаливі необхідно звернути увагу на проведення наступних профілактичних робіт:

- необхідно здійснити промивку та заміну фільтрів грубого і тонкого очищення палива, видалити шлакові відкладання в паливній системі й апаратурі;
- здійснити заміну резино-технічних виробів на стійкі до дії дизельного біопалива;
- необхідно змінити кут випередження подачі палива двигуна відповідно до рекомендацій заводу виробника при використанні дизельного біопалива;
- рекомендується використовувати чисте дизельне біопаливо до плюс 10°C, без змін штатної системами паливоподачі;

Виробнича перевірка показала, що при використанні дизельного біопалива спостерігається збільшення витрати дизельного біопалива на величину від 9 до 13%, при збереженні показників продуктивності та потужності МТА.

18. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

При визначенні економічної ефективності необхідно враховувати збільшення ви-



трати дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом, яке при використанні чистого дизельного біопалива сягає від 18% до 20%.

Система двохступеневого підігріву для використання дизельного біопалива дозволяє знизити його витрату на 5-6% та розширяє температурний діапазон використання дизельного біопалива. Додаткові експлуатаційні витрати при використанні дизельного біопалива пов'язані зі зменшенням терміну служби моторної оливи, фільтрів очистки палива та додаткових витратах дизельного палива, пов'язаних з необхідністю здійснення запуску двигуна на дизельному паливі та початого підігріву біопалива в паливному баці при температурі навколишнього середовища меншій за 10°C.

Для оцінки рівня ефективності застосування дизельного біопалива виконано розрахунок техніко-економічних показників роботи машинно-тракторного агрегату на основі річного завантаження трактора класу 1,4 з урахуванням цін на паливо-мастильні та експлуатаційні матеріали, витрат на переобладнання паливної системи двигуна та собівартості дизельного біопалива за цінами 2013 року (табл. 8).

Таблиця 8.

Техніко-економічні показники використання дизельного біопалива

Показник	Одиниця виміру	Значення	
		Дизельне паливо	Дизельне біопаливо
Нормативне річне завантаження	у.е. га	950	
Витрата дизельного палива при річному завантаженні	л	8265	–
Експлуатаційні витрати дизельного палива при роботі на біопаливі	л	–	243
Коефіцієнт збільшення витрат палива при використанні дизельного біопалива	відн. од.	–	1,12
Витрата дизельного біопалива при річному завантаженні	л	–	8985
Коефіцієнт зменшення ресурсу моторної оливи при використанні біопалива	відн. од.	–	0,5
Вартість дизельного палива	грн./л	13,98	13,98
Собівартість дизельного біопалива	грн./л	–	7,21
Вартість моторної оливи	грн./л	50	
Сукупні затрати на паливо-мастильні матеріали	тис. грн.	116,9	71,1
Економічна ефективність	тис. грн.		45,8
Додаткові капіталовкладення	тис. грн.		20,0
Термін окупності	років		0,44

Річний економічний ефект від застосування дизельного біопалива та системи двоступеневої температурної підготовки дизельного біопалива може сягати понад 45 тис. грн. за рік, що становить понад 25% вартості трактора. Термін окупності



додаткових капіталовкладень в модернізацію паливної системи в розмірі до 20 тис. грн. становить менше ніж за півроку.

19. ІНСТРУКЦІЯ ПО ВИКОРИСТАННЮ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА НА ОСНОВІ МЕТИЛОВИХ ЕФІРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ

Дизельне біопаливо досить агресивно поводиться до конструкційних матеріалів, тому при його використанні доцільно дотримуватися наступних правил:

- дизельне біопаливо повинно відповідати вимогам ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. ефіри метилових жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. технічні умови»;
- дизельне біопаливо повинно бути використане упродовж шести місяців з дати виготовлення;
- ємності для зберігання дизельного біопалива та паливні баки повинні періодично очищатися від осаду та утворень мікрофлори;
- для зменшення негативного впливу дизельного біопалива на моторну оливу початок роботи та нагрів двигуна до робочої температури рекомендується здійснювати на дизельному паливі;
- закінчувати роботи необхідно також на дизельному паливі, щоб забезпечити заміщення дизельного біопалива в паливній системі, для здійснення, в подальшому, правильного запуску двигуна;
- при потраплянні дизельного біопалива на лакофарбове покриття, його терміново необхідно змити або насухо витерти, також потрібно запобігати потраплянню дизельного біопалива на гуму;
- при роботі на дизельному біопаливі рекомендується в два рази зменшити термін роботи моторної оливи та фільтра тонкої очистки палива;
- через кожних 50 годин роботи, необхідно виконувати операцію зливання осаду з фільтрів грубої та тонкої очистки палива;
- не допускати роботи на залишках палива менше 5 % об'єму паливного баку;
- необхідно виконувати періодичний злив 5% залишку палива через кожних 100 годин роботи з метою контролю за утвореннями осаду та мікрофлори;
- для запобігання проблем з фільтруванням та прогонністю паливної системи не допускається робота при температурі дизельного біопалива меншій за 10°C;
- при постановці трактора на довготривале зберігання чи при перерві в роботі більш ніж на місяць, дизельне біопаливо повинно бути злито із паливного баку, а робота трактора повинна бути продовжена на дизельному паливі упродовж одної години.

20. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

Етанол – безбарвна горюча рідина, спирт. Хімічна формула – C_2H_5OH . З повітрям утворює вибухонебезпечні суміші (вибухонебезпечна межа – 3,3-19%). Температура спалаху 13°C, температура самозаймання – 363°C, теплота згорання 26 МДж/



кг, густина – 789,3 кг/м³, в'язкість – 1,2 Пз при 20°C, температура кипіння – 78°C.

В основному застосовується мікробіологічний (спиртове бродіння) спосіб отримання біоетанолу. Етанол можна також синтезувати із природного газу.

Сировиною для виробництва біоетанолу є цукро-, крохмале- та целюлозовмісна сировина. До цукровмісної сировини для виробництва біоетанолу відносяться цукровий буряк та тростина, патока, меляса, вичавки плодів та ягід та сульфітний щолок – розчин, що отримується при сульфітному варінні целюлози під тиском (так звана відпрацьована варильна кислота), при виробництві паперу. Крохмаловмісною сировиною для виробництва етанолу слугують зернові та деякі зернобобові культури, амарант, картопля, батат, топінамбур тощо. До целюлозовмісної сировини відноситься перш за все деревина, а також біомаса та відходи сільськогосподарського виробництва (солома, кукурудзяні качани, соняшникове лушпиння), відходи лісопереробної та деревообробної промисловості (гілки, тирса, кора дерев тощо).

Технологічний процес виробництва біоетанолу залежить від вибраної сировини. Однак всі вони, як правило, включають наступні етапи (рис. 21):

1. Підготовка сировини та екстракція цукру або гідроліз (оцукрювання) сировини.
2. Ферментація (зброджування) оцукреної маси.
3. Отримання етанолу шляхом дистиляції (перегонки) браги.
4. Очищення (ректифікація) спирту.

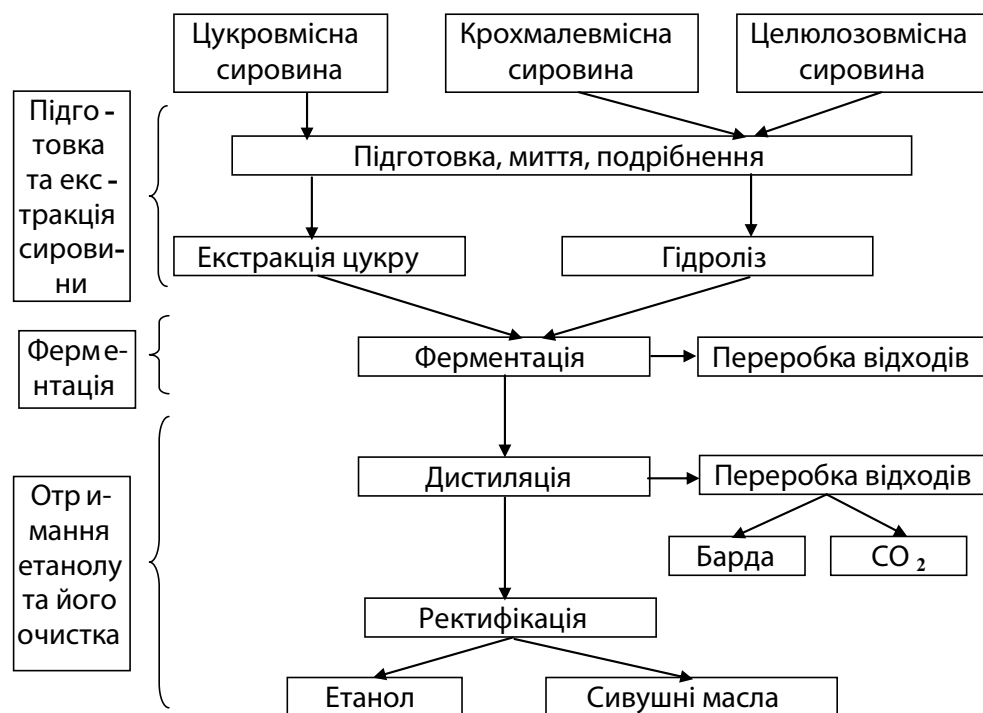


Рис. 21 Схема виробництва етанолу [54]

Відповідно до виду сировини розрізняють технології отримання біоетанолу із крохмале-, цукро- та целюлозовмісної сировини. Детально розглянемо технологію виробництва біоетанолу із крохмалевмісної сировини, оскільки вона включає



основні етапи виробництва етилового спирту й з інших видів сировини. Після цього ознайомимось лише з деякими етапами виробництва етанолу із цукро- та целюлозовмісної сировини, зважаючи на те, що основні етапи виробництва та принцип роботи основного обладнання нами будуть розглянуті при виробництві етанолу із крохмалевмісної сировини.

Підготовка крохмалевмісної сировини (зерна) до переробки полягає в відділенні від зерна домішок органічного і мінерального походження, видаленні квіткових, плодкових і частково насінних оболонки шляхом лушення зерна, та помолі зерна. Підготовка картоплі до розварювання полягає в очищенні її від сторонніх домішок (соломи після зберігання в буртах, каменів, металічних предметів тощо) та бруду (шляхом миття).

З крохмалю безпосередньо етанол виготовити неможливо. Для цього його необхідно розчепити до простих цукрів. Це здійснюється шляхом гідролізу крохмалю.

Гідролізом крохмалю називається його хімічна реакція з водою, в результаті якої крохмаль розщеплюється до мальтози з наступним її розкладанням до глюкози.

Процес гідролізу (оцукрювання) крохмалю складається із трьох взаємопов'язаних операцій:

- приготування ферментовмісного середовища;
- теплової обробки крохмалевмісної сировини;
- змішування розвареної сировини і ферментів та проходження гідролізу.

Досить довгий час для гідролізу крохмалю в спиртовій промисловості застосовувався солод - зерно злаків, пророщене при певній температурі та вологості. Під час пророщування зерна в ньому нагромаджуються амілолітичні та декстринолітичні ферменти, які виступають каталізатором переведення крохмалю у зброджувані цукри. Останнім часом замість солоду застосовуються спеціальні ферментні препарати, отримані із міцеліальних мікрорміцетів, дріжджоподібних грибів і бактерій.

Під час теплової обробки (розварювання) крохмалевмісної сировини відбуваються складні фізико-хімічні процеси. Крохмальні зерна бубнявлюють, клейстеризуються і переходять у колоїдний розчин. Сировина втрачає клітинну будову і механічну міцність та перетворюється в густу малорухливу масу світло-коричневого кольору.

Теплова обробка сировини може відбуватись за напівбезперервною та безперервною схемами. При безперервному методі теплової обробки крохмалевмісної сировини збільшується продуктивність установки та покращується якість розварювання. Розварена маса відзначається однорідністю і не має характерного гострого запаху, властивого масі, виготовленій при періодичному розварюванні зерна. Вихід етанолу з 1 т крохмалю при безперервному розварюванні на 1,1-1,2% вищий, ніж при напівбезперервному.

В результаті розварювання і зцукрювання крохмалевмісної сировини отримується водний розчин цукрів, який називається сушлом.

Етанол із цукрів утворюється в результаті спиртового бродіння.



Спиртове бродіння - біохімічний процес, що здійснюється дріжджами, в результаті якого одна молекула глюкози перетворюється в дві молекули етанолу і дві молекули вуглекислого газу. Дріжджі, що використовуються в спиртовому виробництві, являють собою одноклітинні мікроорганізми, які належать до класу Сумчастих грибів (аскоміцетів).

Розрізняють дріжджі низового і верхового бродіння. Дріжджі верхового бродіння, які формують «шапку» на поверхні сусла, віддають перевагу температурам 14-25°C (тому верхове бродіння також називається теплим) і витримують вищі концентрації етанолу. Для виробництва етанолу використовуються саме дріжджі верхового бродіння. Дріжджі низового (холодного) бродіння мають оптимум розвитку при 6-10°C і осідають на дно ферментатора.

Для розмноження чистої культури маточних дріжджів користуються проміжним маточним чаном. Розмноження дріжджів до об'єму, необхідного для зброджування в промислових умовах, відбувається в дріжджових апаратах (дріжджанках).

При розмноженні дріжджів для придушення розвитку сторонніх кислототворних бактерій вдаються до підвищеної активної кислотності середовища, що створюється або сірчаною, або молочною кислотою. Найбільш сприятливе середовище для розмноження дріжджів – при кислотності 4,5-5 рН. Однак для придушення розвитку сторонніх кислототворних бактерій за допомогою сірчаної або молочної кислоти підвищують кислотність середовища до 3,85-4,2 рН.

В результаті спиртового бродіння із сусла утворюється спиртовмісний розчин, який називається брагою.

На більшості заводів процес бродіння проводиться періодично в бродильних апаратах з листової сталі місткістю від 35 до 200 м³ залежно від продуктивності заводу. Бродильні апарати являють собою ферментатори, обладнані мішалкою, системами підігріву та охолодження сусла, трубопроводами для подачі сусла, дріжджів та миючого розчину, а також видалення вуглекислого газу та браги.

Динаміка зброджування залежить від складу вуглеводів зброджуваної маси. У зцукреній масі вуглеводи присутні в такій кількості: нерозчинний крохмаль - 4-6%, мальтоза - 75-77%, декстрини - 19-21%.

Мальтоза зброджується безпосередньо дріжджами. За допомогою ферменту мальтази, який є в дріжджах, мальтоза гідролітично розщеплюється на глюкозу, після чого глюкоза за допомогою ряду ферментів зброджується в етиловий спирт і вуглекислий газ. Декстрини потрібно спочатку зцукрити до мальтози за допомогою декстринолітичних ферментів, які містяться в солоді або його заміниках.

Утворення етанолу дріжджами – це анаеробний процес, але для їх розмноження потрібен кисень.

Із зовнішньої сторони процес бродіння характеризується виділенням вуглекислого газу і підвищенням температури. За цими ознаками, а також за станом бродильної маси весь процес бродіння умовно поділяється на три періоди:

- 1) зброджування;



- 2) головне бродіння;
- 3) доброджування.

Перший період бродіння - зброджування - характеризується розмноженням дріжджів, слабким виділенням вуглекислого газу і повільним зростанням температури. В цей період зброджується мальтоза, але оскільки кількість дріжджових клітин спочатку в бродильній масі недостатня, то й кількість збродженої мальтози невелика.

Період головного бродіння характеризується тим, що розмножені в достатній кількості дріжджі швидко зброджують мальтозу, що супроводжується енергійним виділенням вуглекислого газу. Етанолу нагромаджується в бродильній масі до 5%, спостерігається підвищення температури. Під час головного бродіння відбувається утворення піни, а бродильна маса починає швидко рухатися.

Період доброджування. Коли головна маса цукрів уже зброджена, процес бродіння стає спокійнішим: вуглекислого газу виділяється мало, піна спадає.

В цей період, крім зброджування мальтози, відбувається зцукрювання крохмалю і декстринів. Концентрація етанолу в бражці після бродіння - 8-9%. Крім етанолу, в бражці присутні побічні продукти бродіння: гліцерин, складні ефіри (оцтово-етиловий, оцтово-метиловий та ряд інших), а також проміжні продукти спиртового бродіння - альдегіди, з яких головну масу становить оцтовий альдегід.

Стигла бражка з бродильного апарата подається в брагоректифікаційний відділ для вилучення з неї етанолу.

Вилучення етанолу з браги відбувається шляхом дистиляції.

Під дистиляцією (перегонкою) в спиртовому виробництві розуміють процес виділення із стиглої бражки етанолу разом з усіма леткими речовинами, що в ній містяться. При цьому в результаті перегонки отримують спирт-сирець. Залишок (брага без етанолу) називається бардою.

Основу брагоперегінних апаратів становлять ректифікаційні колони, які являють собою вертикальні циліндри з контактними пристроями всередині. В ректифікаційних колонах здійснюється багатократний контакт між потоками пари і рідини. При цьому парорідинна суміш намагається досягти рівноважного стану, в результаті чого пари при контакті з рідиною збагачуються легколетючими (низькокиплячими) компонентами (ЛЛК), а рідина - важколетючими (висококиплячими) компонентами (ВЛК).

Основним елементом колон є тарілки, на яких здійснюється тісний контакт між парою і рідиною.

У промисловості застосовуються два типи брагоперегінних апаратів - одноколонний і двоколонний.

Одноколонний брагоперегінний апарат безперервної дії має одну ректифікаційну колону, що складається з двох колон. Колона укріплення (верхня) називається спиртовою колоною, а колона виснаження (нижня) - бражною. В спиртовій колоні



пар укріплюється, тобто збагачується ЛЛК, а в бражній – відбувається виснаження браги, тобто видалення з неї ЛЛК і збагачення на ВЛК.

Спирт-сирець містить численні домішки, різноманітні за їх хімічною природою. Зазвичай вміст домішок при роботі на картоплі і зерні не перевищує 0,5% за вагою етанолу. У спирт-сирці виявлено до 40 різних речовин, які за їх хімічною властивістю можна поділити на 4 групи: спирти, альдегіди, ефіри та кислоти.

З точки зору очищення етанолу від домішок їх умовно поділяють на три групи: головні, хвостові і проміжні.

Головними домішками називають речовини більш леткі за етанол. Температура їх кипіння нижча, ніж температура кипіння етанолу. До головних домішок належать: оцтовий альдегід, оцтовоетиловий ефір, мурашиноетиловий ефір, оцтовометиловий ефір тощо.

Хвостові домішки менш леткі, ніж етанол, а температура їх кипіння вища, ніж в етанолу. До хвостових домішок належать вищі спирти, переважно ізоаміловий, ізобутиловий, пропіловий тощо. Частина цих спиртів нерозчинна у воді і має маслянистий вигляд, тому хвостові домішки отримали назву сивушного масла.

Проміжні домішки являють собою групу речовин, які, залежно від умов перегонки, поводять себе то як головні, то як хвостові домішки.

Домішки із спирту-сирцю видаляються шляхом ректифікації.

Під ректифікацією розуміють очищення спирту-сирцю від домішок в результаті багатократного випарювання етанолу і конденсації парів. В цьому основна відмінність її від дистиляції, при якій в результаті однократного циклу випарювання-конденсація досягається лише грубе розділення суміші. В результаті ректифікації отримують спирт-ректифікат.

Процес ректифікації етанолу можна здійснювати на періодичних або безперервно діючих апаратах. Останні є більш ефективними та економічними.

На спиртових заводах спирт-ректифікат здебільшого отримують не зі спирту-сирцю, а безпосередньо з бражки. Для цього використовуються триколонні брагоректифікаційні апарати (рис. 22). Принцип роботи такого апарата полягає в тому, що сирець, отриманий в одній із ректифікаційних колон, послідовно звільняють від домішок різного характеру в інших колонах. Апарат складається з трьох колон: бражної, епюраційної та ректифікаційної.

У бражній колоні відбувається виділення етанолу та летких домішок зі стиглої бражки. Призначення епюраційної колони - виділення із водно-спиртової суміші головних домішок - ефірів і альдегідів. Водно-спиртова рідина, позбавлена головних домішок, називається епуратом. Вона надходить у ректифікаційну колону, де відбувається виділення з епурату етанолу та зміцнення його до стандартної міцності. Крім того, в ректифікаційній колоні відбувається нагромадження сивушного масла і виведення його з нижньої частини колони з тих тарілок, де кількість масла досягає максимальної концентрації, в збірник.

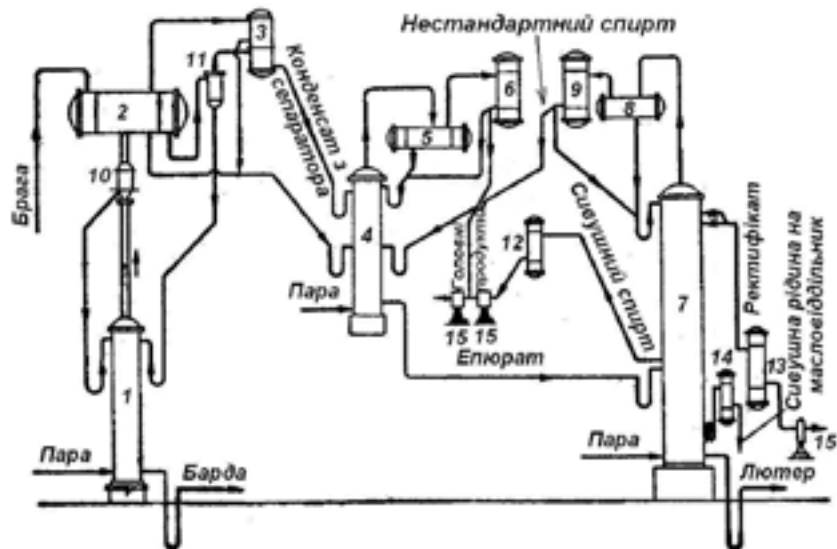


Рис. 22 Схема триколонного брагоректифікаційного апарата:

1 - бражна колона; 2, 3, 6, 9, 12 - конденсатори; 4 - епюраційна колона; 5, 8 - дефлегматори; 7 - ректифікаційна колона; 10 - вловлювач бризок; 11 - сепаратор; 13 - холодильник; 14 - збірник; 15 - спиртові епруветки

Виробництво етанолу з цукровмісної сировини (меяси) пов'язане з наступними основними операціями. Після зважування меясу розводять водою (інакше бродіння не буде відбуватись). Ця операція називається розсироплення. Потім дріжджі і основне сусло надходять у бродильні апарати на бродіння.

Оскільки процес бродіння має відбуватись в кислому середовищі, а також з метою запобігання розвитку сторонніх кислототворних бактерій, частину меяси, призначеної для розмноження дріжджів, підкислюють технічною сірчаною кислотою.

Для живлення дріжджів у дріжджову розсиропку додають фосфорнокислі солі, наприклад, суперфосфат, якого додається 1% від ваги меяси. Більш рентабельним є застосування технічної фосфорної кислоти [54].

Особливості виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини полягають в тому, що лігноцелюлозна сировина перед зброджуванням вимагає попереднього оброблення для полегшення доступу ферментів до целюлозних волокон. Ферментація лігноцелюлози здійснюється у кілька етапів: попередня обробка разом з делігніфікацією (відокремлення лігніну), гідроліз та спиртове бродіння (алкогольна ферментація) (рис. 23). Попередня обробка потрібна для часткового руйнування мікрофібрил целюлози, зменшення ступеня її кристалізації та полімеризації, вилучення геміцелюлози, руйнування комплексу целюлози з лігніном та модифікації структури лігніну, збільшення поверхні, доступної для дії гідролізуючих ферментів, а також для видалення лігніну (делігніфікації).

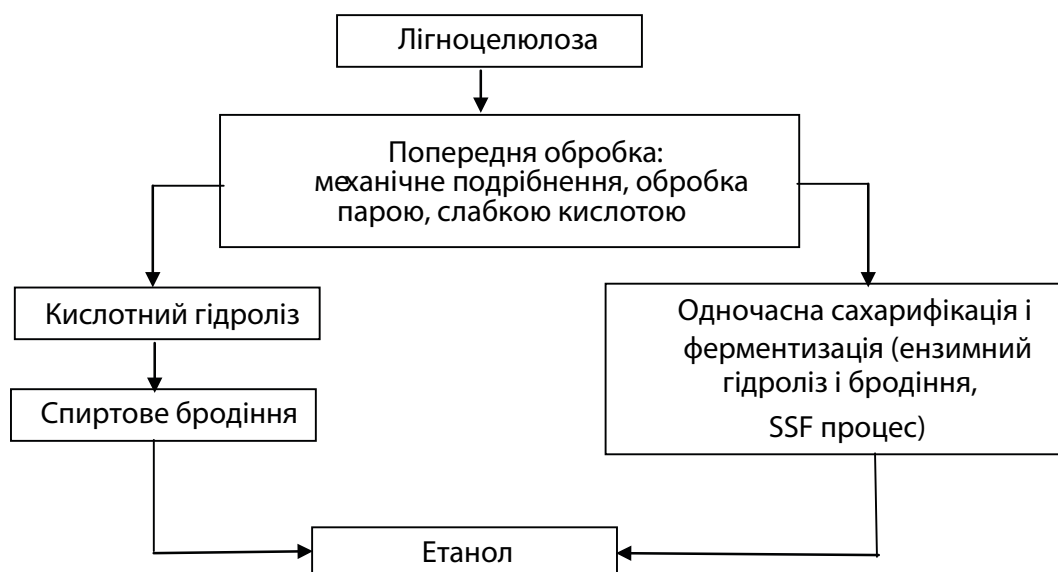


Рис. 23 Технологічні етапи перетворення лігноцелюлози в етанол [20]

Для попередньої обробки лігноцелюлозної сировини застосовуються різні види механічної, хімічної і теплової дії: подрібнення на кульових млинах, м'який кислотний гідроліз, обробка паром при температурі 180-220°C і швидке зниження тиску, екструзійна обробка. Для кожного виду сировини підбираються технологічні рішення, що мінімізують витрати енергії і води, ферментних препаратів, часу обробки при задовільному виході зброджуваних цукрів. У всіх випадках необхідно досягати можливості якнайтоншого подрібнення сировини, проте таке прагнення обмежується зростанням енерговитрат [56]. У результаті попередньої обробки досягається не лише делігніфікація, а й частковий гідроліз геміцелюлоз та целюлози [55].

Гідроліз целюлози та геміцелюлоз до моносахаридів відбувається за участю кислот або ферментів. Кислотний гідроліз здійснюють розведеною сірчаною кислотою або ж концентрованими сірчаною чи соляною кислотами. Гідроліз розведеною кислотою є класичним і найдешевшим методом, проте він має певні недоліки. Зокрема, це утворення великих кількостей токсичних побічних продуктів, які гальмують ріст і ферментацію мікроорганізмів (фурфурол і метилфурфурол, оцтова та мурашина кислоти, феноли), а їх детоксикація досить дорога. Під час гідролізу концентрованими кислотами утворюється менше побічних токсичних продуктів, однак цей процес дорожчий і породжує серйозні екологічні проблеми. Найефективнішим і найперспективнішим методом гідролізу попередньо обробленої лігноцелюлози є ферментативний, який, загалом, не дає жодних токсичних побічних продуктів. Він відбувається за участю целюлаз та геміцелюлаз мікроорганізмів, головним чином грибів та бактерій. Упровадженню ферментативного гідролізу в практику заважає кілька чинників, одним з яких є висока ціна. Інший негативний фактор - сильне гальмування ферментативного гідролізу моно- та олігосахаридами, що звільняються під час дії целюлаз і геміцелюлаз, тобто гальмування кінцевим продуктом. Для подолання цього ферментативний гідроліз (сахарифікацію) слід проводити водночас і разом з мікроорганізмами, які ферментують звільнені цукри до етанолу. Тому такий процес (так звана одночасна сахарифікація і ферментація - Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF) є значно про-



дуктивнішим порівняно з роздільними процесами сахарифікації та ферментації. Однак тут існує нерозв'язана проблема - оптимальна температура для дії целюлаз і геміцелюлаз - близько 50-55°C, тоді як оптимальна температура для більшості відомих мікроорганізмів, що здійснюють спиртове бродіння, коливається у межах 30-40°C. В даний період часу проводяться пошуки термотолерантних видів дріжджів, здатних ферментувати основні цукри гідролізатів лігноцелюлози за температур близько 50°C [55]. Тому існуючі підприємства виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини поки що нерентабельні (собівартість виробництва біоетанолу з целюлози на 2006 р. становила 0,65-1 євро/л, тоді як із зерна в ЄС - 0,4-0,65 євро/л, із кукурудзи в США - 0,3-0,5 євро/л, із цукрової тростини в Бразилії - 0,2-0,3 євро/л [54]).

21. ЗАСТОСУВАННЯ БІОЕТАНОЛУ В ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ПАЛИВА

Етанол може використовуватись як в чистому вигляді, так і в якості високооктанової добавки до бензину (бензанол, газохол).

До переваг біоетанолу як палива можна віднести те, що він має високі антидетонаційні властивості (октанове число становить 99). Змішуючи його з низькооктановим бензином, підвищують октанове число останнього. Етанол згоряє в циліндрі двигуна повніше, ніж бензин, внаслідок високого вмісту кисню. В результаті зменшуються викиди в довкілля чадного газу.

Однак етанол має і свої недоліки. Це нижча теплота згорання порівняно з бензином (26 МДж/кг проти 44 МДж/кг для бензину). Тому зменшується потужність двигуна, а витрата палива збільшується. Питома теплота випаровування етанолу майже в три рази вища, ніж бензину, а отже, і випаровуваність його менша. Для роботи двигуна на етанолі і спирто-бензинових сумішах потрібно підігрівати повітря. Через це важко запустити двигун при низьких температурах. Етанол та спирто-бензинові суміші дуже гігроскопічні. Слід зазначити, що як паливо може використовуватись і етанол, що містить значну кількість води. Однак вже при вмісті в етанолі 30% води двигун важко заводиться. Із досвіду початку використання етанолу як палива в США відомо, що етанол абсорбує в себе воду, яка накопичується на дні цистерни при її експлуатації для зберігання бензинів. Утворена суміш замерзає при низьких температурах, що утруднює експлуатацію автомобілів. Крім того, етанол проявляє тенденцію до розчинення раніше нерозчинних осадів в паливних баках, трубопроводах та карбюраторах, що викликає блокування паливних фільтрів і закупорювання жиклерів [54].

Біоетанол сам по собі не може розглядатися як готове автомобільне паливо. У сучасних двигунах для транспортних засобів і сільгоспмашин необхідно застосовувати стандартизовані паливні композиції, що відповідають певним показникам, викладеним у відповідних національних і міжнародних стандартах. Автовиробники виготовляють двигуни, пристосовані для таких палив, і відмовляються від гарантій при використанні інших паливних сумішей.

Поки вміст етанолу в бензин-етанольному паливі не перевищує 10% об. (пали-



ва типу E10), його характеристики змінюються неістотно і споживачів навіть не попереджують про наявність етанолу в бензині. Єдиною проблемою, що може виникнути в цьому випадку, є фазова стабільність палива - можливість його розшарування при низьких температурах і контакті з водою. Тому при дистрибуції таких палив необхідний певний рівень технологічної культури, який не завжди досяжний в пострадянських країнах.

Більш стабільними є палива з вмістом понад 30% етанолу в суміші з вуглеводнями, але із зростанням долі етанолу характеристики палива все більш відрізняються від вимог стандартів на звичайні бензини. Доводиться проводити певну адаптацію двигунів і вводити в паливо додаткові компоненти, що «підганяють» його властивості під вимоги стандартів.

Етанол-вуглеводневі паливні суміші прийнято позначати буквою E (від англійського Ethanol) і цифрою, що відповідає процентному вмісту етанолу в суміші. Наприклад, паливо E10 містить приблизно 10% етанолу, E85 - до 85% етанолу. У іноземній літературі зустрічаються визначення Low Blend Fuel, High Blend Fuel (паливна суміш з низьким – 5-15% вмістом етанолу, і високим – 60-95% вмістом етанолу). На сьогоднішній день всі відомі виробники адаптували автомобілі до використання Low Blend Fuels з вмістом етанолу до 10%.

У Західній Європі, США і Бразилії реалізуються палива з вмістом біоетанолу 70-95%. під маркою E85 – E95. Багато автовиробників вже адаптували двигуни під їх використання. Транспорт з такими двигунами отримав назву FFV (Full Flexible Vehicle – повністю гнучкий транспортний засіб), оскільки здатний використовувати паливо з будь-яким вмістом етанолу. Паливні суміші (палива) з етанолом в США умовно класифікуються за наступною схемою:

- E95 – денатурований паливний етанол. Він повинен містити мінімум 92% етанолу, і 2-5% денатурантів – бензину або його компонентів, решта – присадки;
- E85 – паливо «Flex Fuel» згідно американського стандарту ASTM D 5798. Воно підрозділяється на три класи за мінімальним вмістом етанолу – 70%, 74% і 79%. Решта – бензин і присадки;
- E10 – паливо повинне містити близько 10% етанолу, решта – бензин і присадки.

В Україні проведено значний обсяг робіт з розробки й впровадження технології виробництва паливного біоетанолу. У 2006 р. налагоджено випуск моторного палива «БІО-100» згідно ТУ У 24.6-33616799-001:2006, яке являє собою суміш товарного бензину, газоліну, флегми біоетанолу та метил-трет-бутилового ефіру (в складі палива 51-53% біоетанолу, близько 40% бензину і близько 5% МТБЕ).

Херсонське ПП «Багатопрофільна фірма «ІНТЕРКРАЙТ» виробляє сумішеве біопаливо E-95 згідно ТУ У 24.6-34286393-001:2009 «Біопаливо для двигунів внутрішнього згоряння E-95. Технічні умови». Біопаливо E-95-40 аналог автомобільного палива, широко поширеного у всьому світі, що є сумішшю 30-40% зневодненого етанолу, 70-60% легких фракцій бензинів, ефірів, стабілізаторів, а також спеціальних антикорозійних присадок. ТОВ «Азовська нафтова компанія» розпочала випуск сумішевого бензину E-95, в складі якого міститься до 30% біоетанолу і різних присадок [54].





КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Обґрунтуйте необхідність поступової заміни мінерального дизельного палива на дизельне біопаливо.
2. В яких межах змінюється частка дизельного біопалива від загального споживання рідкого палива в сільському господарстві для мобільних енергетичних засобів?
3. В яких межах змінюється витрати дизельного біопалива для вирощування 1 га пшениці?
4. В яких межах змінюється витрати зерна ріпаку для забезпечення вирощування 1 га пшениці при використанні дизельного біопалива?
5. В яких межах змінюється потреба в площі під ріпаком для забезпечення виробництва дизельного біопалива палива в кількості необхідній для вирощування пшениці на одному гектарі?
6. Яке співвідношення площі під ріпаковим та площі під пшеницею для забезпечення виробництва необхідної кількості дизельного біопалива на заміну дизельного?
7. В яких межах змінюється потреба в продажі пшениці для придбання 1 т дизельного палива?
8. В яких межах змінюється частка дизельного палива, яка може бути замінена на дизельне біопаливо при переробці всього урожаю ріпаку
9. В яких межах змінюється рентабельність виробництва зерна ріпаку в Україні?
10. В яких межах змінюється рентабельність виробництва ріпакової олії в Україні?
11. В яких межах змінюється рентабельність виробництва дизельного біопалива в Україні?
12. Які Ви знаєте основні біопалива, що можуть застосовуватись в дизельних двигунах?
13. Що таке диметилловий ефір?
14. Назвіть переваги і недоліки диметилового ефіру.
15. Чому рослинні олії на сучасному етапі не застосовуються як палива для дизельних двигунів?
16. Що таке дизельне біопаливо? Яким чином його отримують?
17. Які недоліки і переваги дизельного біопалива?
18. Які Ви можете назвати інші види дизельного біопалива?
19. Розкажіть про одержання дизельного біопалива в лабораторних умовах.
20. Охарактеризуйте технологію виробництва дизельного біопалива.
21. Опишіть технологічну схему агропромислового виробництва дизельного біопалива із використанням двох стадійного віджиму олії.
22. Назвіть фактори, що впливають на зберігання зерна олійних культур.
23. Як впливає вологість, температура та газовий стан атмосфери зерна олійних культур на його зберігання?
24. Назвіть основні етапи підготовки зерна олійних культур до зберігання.



25. Від чого очищають зерно олійних культур?
26. Які Ви знаєте способи отримання олій? В чому полягає пресовий спосіб отримання олій?
27. Що отримується в результаті пресування насіння?
28. В чому полягає екстракційний спосіб отримання олій? Що при цьому отримують?
29. Що таке рафінування олій? Які бувають види рафінування?
30. Які операції включає повне і часткове рафінування рослинних олій?
31. В чому полягає видалення механічних домішок з олій? Якими способами здійснюється ця операція?
32. В чому полягає технологія виробництва дизельного біопалива із надкритичним станом метанолу?
33. В чому полягає традиційна технологія виробництва дизельного біопалива?
34. Які основні недоліки існуючих установок для виробництва дизельного біопалива?
35. Як визначити ціну олії другого (гарячого) віджиму в залежності від ціни олії першого (холодного) віджиму у випадку, коли коефіцієнти виходу олії першого (холодного) та другого (гарячого) віджиму однакові?
36. Які основні частини технологічного процесу отримання дизельного біопалива?
37. Від яких речовин необхідно очищати виготовлений дизельного біопалива?
38. Які реактори застосовуються для виробництва дизельного біопалива? Охарактеризуйте їх.
39. Які основні переваги невеликих заводів для агропромислового виробництва дизельного біопалива?
40. За рахунок чого досягається економічна ефективність виробництва дизельного біопалива?
41. Від яких факторів залежить собівартість виробництва дизельного біопалива?
42. Назвіть та охарактеризуйте традиційні та альтернативні палива для двигунів з примусовим запалюванням.
43. Яка послідовність виробництва біоетанолу із крохмалевмісної сировини?
44. Що таке спиртове бродіння? Чим воно викликане?
45. Які існують етапи бродіння? Охарактеризуйте їх.
46. Що таке дистиляція?
47. Як працює промисловий брагоперегінний апарат?
48. Охарактеризуйте особливості виробництва біоетанолу із целюлозовмісної сировини.
49. В чому полягають проблеми застосування біоетанолу в якості автомобільного палива?
50. Які є марки етанолвмісного палива? Охарактеризуйте їх.
51. Які види етанолвмісного палива використовуються в Україні?



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Golub G.A, Pavlenko M.Yu, Olar N.G. Оценка сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двуступенчатом отжиме растительного масла/Gennadiy Golub, Maksim Pavlenko, Natalia Olar // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. - Lublin, 2014. - Vol. 16. № 3. - С. 26-33.
2. Onion G. Oxygenate fuel for diesel engines : a survey of world-wide activities / Onion G., Bodo L.D. // Biomass. – 1983. – № 2. – P. 77-133.
3. Бардин Я.Б. Ріпак: від сівби – до переробки / Я.Б. Бардин. К.: СВІТ, 2000. – 106 с.
4. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелету́ха, І.П. Григорюк, К.В. Дмитрук, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарий, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, А.А. Сибірний, С.П. Циганков – К. : «Аграр Медіа Груп», 2010. – 292 с.
5. Використання гідродинамічної кавітації у виробництві дизельного біопалива / [Сухенко Ю., Литвиненко О., Сухенко В., Муштрук М., Бойко Ю.] // Техніка та технології АПК. Дослідницьке: 2011, – № 10 (25), – С. 33-36.).
6. Вірьовка М.І. Аналіз способів підготовки рослинної олії для виробництва біодизельного палива / М.І. Вірьовка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 100-108.
7. Вірьовка М.І. Визначення питомої енергомісткості на виробництво біодизельного палива із застосуванням трубчастого естерифікатора для / М.І. Вірьовка // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / Редкол. Д.І. Мазоренко (відп. ред.) та ін. – Харків, 2008. Вип. 175, Том. 1. – С. 437-444.
8. Вірьовка М.І. Дослідження параметрів кільцевого трубчастого реактора для виробництва біодизельного палива / М.І. Вірьовка // Вісник Дніпропетровського Державного аграрного університету. – Дніпропетровськ, 2009. №2. – С. 216-219.
9. Влияние свойств биотоплив на характеристики впрыскивания в камеру с постоянным давлением / [Васильев И.П., Хайлинг А., Кайзер М., Динкелякер Ф]. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – с. 37-41.
10. Гелету́ха Г.Г. Место биоэнергетики в проекте обновленной энергетической стратегии Украины до 2030 года / Гелету́ха Г.Г., Железная Т.А // Аналитическая записка – 18 октября 2012 года [Електронний ресурс]. – <http://www.qclub.org.ua/wp-content/uploads>.
11. Голуб Г.А. Аналіз технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива на її основі. Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, С.В. Лук'янець / Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ «Український наук.-досл. ін.-т. прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва



- ім. Леоніда Погорілого» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); Редкол.: Кравчук В.І. (голов. ред.) та ін. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 391 - 399.
12. Голуб Г.А. Взаємозв'язок потужності насоса та параметрів гідрореактивної мішалки при перемішуванні ріпакової олії / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. Вип 196, ч.1. – С. 60-65.
 13. Голуб Г.А. Використання дизельного біопалива для роботи машино – тракторних агрегатів / Голуб Г.А., Чуба В.В., Іванічич В.В. // Збірник тез міжнародної науково – практичної конференції «розвиток аграрної науки у сучасних умовах». – Львів, 2012. – с.5-9.
 14. Голуб Г.А. Випробування гідрореактивного змішувача при виробництві дизельного біопалива / Голуб Г.А., Павленко М.Ю. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 350-355.
 15. Голуб Г.А. Вплив параметрів гідрореактивної мішалки на її частоту обертання при виробництві дизельного біопалива / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко // Механізація та електрифікація сільського господарства. Випуск 99. Том 2. – Глеваха, 2014. – С. 84-93.
 16. Голуб Г.А. Економічна ефективність виробництва олії в сільськогосподарських підприємствах / Голуб Г.А. Лук'янець С.В. // Економіка АПК. – 2012. – № 4. – С. 14-18.
 17. Голуб Г.А. Інвестиційна привабливість виробництва і використання дизельного біопалива / Голуб Г.А. Лук'янець С.В. // Економіка АПК. – 2013. – № 2. – С. 54-60.
 18. Голуб Г.А. Напрямки удосконалення виробництва і використання дизельного біопалива / Голуб Г.А., Чуба В.В., Павленко М.Ю. // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – Вінниця, 2012. – Випуск . 10 т.1. с. 20-23.
 19. Голуб Г.А. Обладнання для виробництва дизельного біопалива / Г.А. Голуб, Чуба В.В., Павленко М.Ю. // Збірник тез доповідей XIII всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» / Навчально-науковий технічний інститут Національного Університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – с. 12.
 20. Голуб Г.А. Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступінчастому віджиманні рослинної олії / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. Вип 194, ч.1. – С. 175-181.
 21. Голуб Г.А. Параметри кільцевого трубчастого етерифікатора для виробництва біодизельного палива / Г.А. Голуб, М.І. Вільовка // Науковий вісник Націо-



- нального університету біоресурсів і природокористування України / Редкол. Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2009. Вип. 134, ч.2. – С. 124-130.
22. Голуб Г.А. Собівартість виробництва олії та дизельного біопалива в умовах сільськогосподарських підприємств / Голуб Г.А., Лук'янець С.В. // Сучасні проблеми збалансованого природокористування: Збірник наукових праць / Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ); Науковий редактор: Бахмат М.І. – Кам'янець-Подільський, 2012. – Спеціальний випуск до VII науково-практичної конференції. – 334 с. – С. 207-212.
 23. Голуб Г.А. Аналіз динаміки співвідношення цін на зерно та паливо для дизелів / Голуб Г.А. Лук'янець С.В. // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет»: Економічні науки. Вип. 152 – Сімферополь: ВД «АРІАЛ», 2013. – 352 с. – С. 101-109.
 24. Голуб Г.А., Лук'янець С.В. Інвестиційна привабливість виробництва і використання дизельного біопалива / Голуб Г.А., Лук'янець С.В. // Економіка АПК. – 2013. – № 2. – С. 54-60.
 25. ГОСТ 11812-66 Масло растительное. Методы определения влаги и летучих веществ.
 26. ГОСТ 12.1.014-84 ССБП. Повітря робочої зони. Метод вимірювання концентрацій шкідливих речовин індикаторними трубками
 27. ГОСТ 24363-80 Реактивы. Калия гидроокись. Технические условия.
 28. ГОСТ 4328-77 Реактивы. Натрия гидроокись. Технические условия.
 29. ГОСТ 5476-80 Масла растительные. Методы определения кислотного числа.
 30. ГОСТ 7825-96 Масло соевое. Технические условия.
 31. ГОСТ 8988-72 Масло рапсовое. Технические условия.
 32. Драгнев С.В. Експериментальні дослідження технологічних показників процесу естерифікації рослинних олій / С.В. Драгнев // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 163-172.
 33. ДСТУ 3057-95 (ГОСТ 2222-95) Метанол технічний. Технічні умови.
 34. Дьяченко В.П. Сравнительный анализ критериев оптимизации параметров ленточных конвейеров горных предприятий / В.П. Дьяченко // Горный информационноаналитический бюллетень, 2002, №4, – с. 235-236.
 35. Заборський В.П. Підвищення ефективності використання біодизельного пального виготовленого на основі рослинних олій / Заборський В.П., Чуба В.В. //
 36. Зінченко О.І. Рослинництво / О.І. Зінченко //: Підручник – К.: Аграрна освіта, 2001.– 591 с.: іл.
 37. Кухарець С.М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб, В.М. Хрус // Сучасні проблеми збалансованого природокористування: Збірник наукових праць / Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ); Науковий редактор: Іванишин І.І. – Кам'янець-Подільський, 2014. – Спеціальний випуск до IX науково-практичної конференції. – 220 с. – С. 137-143.



38. Масло І.П. Виробництво та використання біопалива на основі рослинних олій / І.П.Масло, В.П.Заборський, М.І.Вірьовка // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми та перспективи розвитку аграрної механіки”. – Дніпропетровськ. 2004. – С.49-51.
39. МУ № 4299-87 Методичні вказівки з газохроматографічного вимірювання вмісту диметилсебацінату у повітрі робочої зони
40. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелету-ха, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарий, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, С.П. Циганков – К. : «Аграр Медіа Груп», 2010. – 166 с.
41. Основні економічні показники виробництва продукції сільського господарства в сільськогосподарських підприємствах за 2010 рік. Стат. бюл.; за ред. Ю.М. Остапчука. – К.: Державна служба статистики України, 2011. – 88 с.
42. Павленко М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2013. Вип 185, ч.1. – С. 161-166.
43. Патент на корисну модель № 21673України, МПК (2006) P02M 31/02. Спосіб температурної підготовки пального на двигунах / Трегуб М.І., Чуба В.В.// бюл. №3., 2007.
44. Полищук В. Альтернативные дизельные топлива / Полищук В., Дубровин В., Полищук А. // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2012. – Т. 14. – С. 20-31.
45. Поліщук В.М. Технології виробництва біодизеля (огляд) / В.М. Поліщук, С.Є Тарасенко, І.Д. Гуменюк, М.М. Яструб, О.В. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – Київ , 2010. – С. 354-359.
46. Про підвищення рівня енергетично-екологічної безпеки України / [Ковальський В., Голидников А., Григорак М. та інші.] // Економіка України. – 2000. – №10. – С. 34-41.
47. СанПиН № 3183-84 Порядок накопичення, транспортування, знищення та зберігання токсичних промислових відходів.
48. Семенов В.Г. Визначення нижчої теплоти згорання біодизельного палива за хроматографічними даними / Семенов В.Г., Черненко С.М., Атамась А.І. // Вісник Кремен. держ. університету ім. М. Остроградського. Наукові праці КДУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДУ ім. М. Остроградського, 2010. – Вип. 2/2010 (61) Частина 1. – с. 87 – 91.
49. Сільське господарство України. Стат. зб.; за ред. Ю.М. Остапчука. – К.: Державна служба статистики України, 2011. – 370 с.
50. Статистичний щорічник України; за ред. О.Г. Осауленка. – К.: Державна служба статистики України, 2011. – 560 с.
51. Умінський С. Гідродинамічне обладнання для отримання біопалива / С. Умінський, С. Інютин // Техніка та технології АПК. Дослідницьке: 2013, – № 2 (41), – С. 11-13.



52. Чуба В.В. Температурні та в'язкісні аспекти використання біодизельного пального / В.В. Чуба, М.І. Трегуб // Міжвід. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2007.-Вип. 91.– С.169-174.
53. Магістерська програма дослідницького спрямування «Альтернативна енергетика: [науково-методичний посібник для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації зі спеціальності 8.05140105 «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»] / В.М. Поліщук, В.Г. Мироненко, В.О. Дубровін та ін. - К.: Видавничий центр НАУ, 2010. - 160 с.
54. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.
55. Сибірний А. Біопаливний етанол з лігніноцелюлози (рослинної біомаси): досягнення, проблеми, перспективи / А. Сибірний // Вісник НАН України. - 2006. - №3. - С. 32-48.
56. Цыганков С.П. Биоэтанол/С.П. Цыганков – К.: ООО «Интерсервис», 2010 – 160с.

Видавець і виготовлювач
Національний університет
біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №4097 від 17.06.2011