

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Факультет (ННТ) Механіко - технологічний

УДК 631.333.92

НУБІП України

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного  
факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ Д. ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
тракторів, автомобілів та  
біоенергоресурсів

(підпис)

(ПІБ)

(підпис)

(ПІБ)

НУБІП України

20 р.

20 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Обґрунтування параметрів та режимів роботи обладнання для  
виробництва дизельного біопалива

НУБІП України

Спеціальність: 208 Агроінженерія

Спеціалізація: 208 Механізація сільського господарства

Магістерська програма: Біотехнологічні процеси в АПК

НУБІП України

Програма підготовки: Освітньо - професійна

Керівник магістерської роботи

К.Т.Н. ДОЦЕН

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Павленко М. Ю.

(ПІБ)

Виконав

Лозінський Василь Володимирович

(підпис)

(ПІБ студента)

НУБІП України

НУБІП України

КИЇВ - 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувача кафедри тракторів,  
автомобілів та біоенергоресурсів  
К. Т. Н., доцент Чуба В.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПШБ)  
" " 2021 року

## ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
Лозінського Василя Володимировича  
(прізвище, ім'я, по батькові)  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування параметрів та режимів роботи обладнання для виробництва дизельного біопалива»  
затверджена наказом ректора НУБіП України від "01" лютого 2021 р. № 189 «С»  
Термін подання завершеної роботи на кафедру "2021 р. грудня «02»  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: літературні джерела, патенти, нормативні документи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:  
1. Експериментально дослідити вплив технологічних параметрів на споживану потужність насоса в обладнанні для виробництва біодизеля гідрореактивним змішуванням та використанням дискового змішувача.  
2. Встановити вплив частоти змішування на якісні показники біодизеля при використанні циркуляційного змішування компонентів суміші.  
3. Експериментально дослідити вплив параметрів гідрореактивної мішалки на частоту її обертання при виробництві біодизеля.  
Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання "01" лютого 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Павленко М.Ю.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Лозінський В.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

# НУБІП України

Магістерська робота складається з пояснювальної записки об'ємом 63 аркушів, 12 таблиць, 28 рис., 50 літературних посилань.

В даному магістерській роботі розраховано конструктивні параметри обладнання для виробництва дизельного біопалива.

# НУБІП України

В першому розділі пояснювальної записки приводяться загальні відомості по дизельному біопаливі, проблеми, технології, огляд досліджень, огляд обладнання для виробництва дизельного біопалива.

В другому розділі висвітлено методика проведення досліджень та вибір методики процесу виробництва дизельного біопалива

# НУБІП України

В третьому – приведені результати досліджень та розробка технологічного процесу виробництва дизельного біопалива.

Ключові слова: дизельне біопаливо, естерифікація, гідрореактивна мішалка, ріпакова олія, дослідження, метиловий спирт, катализатор.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1.....	7
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ.....	8
1.1 Аналіз технології.....	8
1.2 Обладнання для виробництва біодизеля.....	9
1.3 Технологічні етапи виробництва.....	13
1.4 Технологічні аспекти виробництва біодизеля.....	16
РОЗДІЛ 2.....	18
ВИБІР НАПРЯМКУ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ.....	18
2.1 Вибір напрямку досліджень.....	18
2.2 Методика проведення досліджень процесу виробництва біодизеля.....	18
РОЗДІЛ 3.....	27
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ .....	27
3.1 Розробка блок-схеми виробництва біодизеля.....	27
3.2 Розробка технологічного процесу виробництва біодизеля з використанням гідро реактивної мішалки.....	28
3.2.1 Вибір технології виробництва біодизеля.....	28
3.2.2 Агротехнічні вимоги до виробництва біодизеля.....	31
3.2.3 вихідних компонентів для виробництва біодизеля.....	35
3.2.4 Варіанти переобладнання та обладнання приміщень для виробництва біодизеля.....	36
3.2.5 Організація виробництва біодизеля.....	38
3.2.6 Контроль та оцінка якості роботи.....	41
3.2.7 Транспортування і зберігання біодизеля.....	43
3.3 Дослідження процесу роботи гідро реактивної мішалки для виробництва біодизеля.....	44

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

НУБІ! ПІД КРАЇНИ

# НУБІП України

Сьогодні біодизель в Україні розглядається як значна альтернатива традиційним видам палива. Вважається, що його виробництво в найближчі роки буде найбільш вигідним для української економіки. Але зараз Україна є однією з енергодефіцитних країн, яка забезпечує свої потреби в паливно-енергетичних ресурсах лише на 53% (імпортує 75% необхідного обсягу газу та 85% сирової нафти та нафтопродуктів). Залежність від імпорту нафти більшість розвинених країн розглядає як питання національної та енергетичної безпеки, а використання нафтопродуктів як джерела енергії несе значний екологічний ризик.

Україна щороку споживає близько 200 мільйонів тонн умовного палива і є енергодефіцитною країною. За даними Держкомстату, щорічно в нашій країні споживається близько 5,5 млн тонн дизельного палива та 12 млн тонн бензину. Для виконання СГ робіт необхідно майже 1,3 млн. тонн дизельного палива та 300 тис. тонн бензину.

Очікується, що наша країна забезпечить свої потреби в нафті за рахунок імпорту на 80-90%, а в природному газі – понад 50%. Фактичне виробництво цих енергоресурсів стримується невеликими запасами та необхідністю залучення значних коштів для їх освоєння. При цьому найближчим часом світові запаси нафти і газу будуть виснажені.

Розвиток процесів виробництва та споживання біодизеля є пріоритетним інноваційним напрямом енергетичної безпеки як аграрного сектору, так і національної економіки в цілому.

Виробництво біодизеля в Україні розвивається стихійно. СГ підприємства виробляють моторне паливо з власної сировини на малопотужних і напівпромислових підприємствах через недостатнє налагодження контролю якості сировини та продукції. За різними оцінками, в Україні майже в кожній області є міні-заводи або експериментальні заводи з виробництва біодизеля, які виробляють близько 25 тис. тонн продукції для власних потреб. Достовірної інформації про стан виробництва біодизеля в нашій країні немає. Ми ще не маємо значних потужностей для переробки вітчизняної сировини на біопаливо.

Виробництво біодизеля найбільш доцільно організувати в господарствах, які виробляють ріпак, мають склад пально-мастильних матеріалів із заправною станцією, що виконується відповідно до вимог техніки безпеки. Це пов'язано з тим, що виробництво біодизеля безпосередньо в господарстві зменшує витрати на транспортування ріпакового зерна, а ріпаковий шрот можна використовувати як білкову добавку.

В Україні промислове виробництво біодизеля ще не налагоджено, але малі сільськогосподарські підприємства та фермери вже виробляють його для власних потреб.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності механізованого процесу виробництва біодизеля шляхом обґрунтування параметрів виробництва біодизеля.

Об'єктом дослідження є біотехнологічний процес виробництва біодизеля та обладнання для його виробництва.

Предметом дослідження є встановлення залежності між параметрами гідрореактивної мішалки та її продуктивністю, питомою енерговитратністю та техніко-економічними показниками.

Методи дослідження. У роботі використовуються загальні закони механіки, математики, методи техніко-економічної оцінки обладнання, метод факторного планування експерименту.

Теоретичною цінністю отриманих результатів є покращена залежність частоти змішування, частоти обертання мішалки, споживаної потужності в залежності від параметрів гідрореактивної мішалки.

Прикладне значення - отримані результати можуть бути використані для вдосконалення обладнання для виробництва біодизеля.

# АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ

# НУБІП УКРАЇНИ

## 1.1 Аналіз технології

# НУБІП УКРАЇНИ

Впровадити в енергетичний баланс України біологічних видів палива, які за своєю природою є відновлюваними ресурсами акумульованої сонячної енергії – одне із актуальних завдань на сьогодні.

Значне зростання цін на паливо впливає на формування ціни реалізації та отримання прибутку аграріїв вигідно використовувати дизельне біопаливо.

# НУБІП УКРАЇНИ

У світовій практиці з виробництва дизельного біопалива широкого використання набули технології з використання рослинної олії, тваринного жиру та олії отриманої з водоростей.

# НУБІП УКРАЇНИ

Дизельне біопаливо здобує із тваринних жирів володіє більш високим цетановим числом, тобто відрізняється високою легкозаймистістю. Виробництво дизельного біопалива з тваринних жирів супроводжується більшими затратами каталізатора, спирту і часу на естерифікацію ніж виробництво біопалива з рослинної олії. По показникам густини, кінематичної в'язкості, температурі

# НУБІП УКРАЇНИ

помутніння і кислотному числу не виходить за рамки європейського стандарту якості EN 14214, що допускає використовувати біопаливо в дизельних двигунах.

# НУБІП УКРАЇНИ

Виготовлення дизельного біопалива тваринного походження являється економічно ефективним і перспективним, але не до кінця дослідженим для широкого використання. Доречно продовжити проводити досліди, які включають визначення умов і терміну зберігання дизельного біопалива і визначення оптимальних параметрів використання простих спиртів, таких як ізопропіловий і бутиловий.

# НУБІП УКРАЇНИ

«НАПРО» технологія яка заслуговує окремої уваги, вона дозволяє не використовувати метиловий спирт, а тільки нано каталізатор із розрахунку 0,1% на об'єм. В суміш входить 30% вуглеводного розчинника (бензин) і близько 70% складає рослинна олія, але через високу вартість обладнання та ціни на нано

катализатор і фільтруючі елементи, ця технологія потребує великих об'ємів виробництва, що для дрібних фермерських господарств є не вигідною.

У даний час найпоширенішою доступною в Україні є технологія виробництва дизельного біопалива з рослинних олій. Серед них широкого вжитку набули промислова і агропромислова технологія виробництва.

## 1.2 Обладнання для виробництва біодизеля

Протягом останніх років багато наукових установ розробляли обладнання для виробництва біодизеля, які намагалися вдосконалити обладнання, використовуючи різні методи змішування в процесі естерифікації.

Для агропромислового виробництва біодизеля в ННЦ «ІМЕСТ» розроблено установку УВМЕ-1000 (рис. 1.1) продуктивністю 1000 л/год. періодичної дії, перемішування в ній відбувається за допомогою рамкової мішалки. Недоліком такої установки є використання окремого бака з окремим насосом для кожної технологічної операції.



Рис. 1.1. Установка для виробництва біодизеля з рослинних олій продуктивністю 1000 л/рік УВМЕ-1000

Також, розроблено установку безперервної дії УБ-ТР-20 (рис. 1.2) продуктивністю від 5 до 20 л/год, перемішування в якій відбувається за допомогою проходу рослинної олії та лужного катализатора через естерифікатор. Недоліком цієї установки є неможливість використання її в сезонних роботах, оскільки вона призначена для використання в промисловому виробництві.



Рис 1.2. Установка для виробництва біодизеля  
УБ-ТР-20 продуктивність 5 л/год.

В НУБІП України була розроблена експериментальна установка з виробництва біодизеля потужністю 100 л/год. (рис. 1.3) під керівництвом професора Дубровіна В.О та на її базі виготовлено промислову установку продуктивністю 300 т/рік (рис. 1.4), перемішування в якій відбувається за допомогою механічної лопатевої мішалки.



Рис. 1.3. Установка для виробництва біодизеля продуктивністю 100 л/год.



Рис 1.4. Установка для виробництва біодизеля продуктивністю 300 т/рік

Недоліком даної установки, як і в попередніх варіантах, є використання окремого бака з допоміжним обладнанням для кожного етапу виробництва палива.

В Індустріальному інституті механізації сільського господарства (ПІМР, Польща) розроблено обладнання для виробництва біодизеля W500M (рис. 1.5) потужністю 500 л на цикл, в якому перемішування застосовується без потреби підтримки температури.



Рис. 1.5 Естерифікатор для виробництва біодизеля в умовах ФІ (Польща)

Ця установка призначена для експлуатації, на сезонних роботах, і при необхідності може перевозитися (рис. 1.6) для експлуатації в ФІ



Рис. 1.6. Мобільна установка для виробництва біодизеля W500M

Також відбулася серія випробувань установок для виробництва біодизеля, в Українському науково-дослідному інституті прогнозування та випробування машин і технологій СІ виробництва імені Л. Погорьолого. Проте не всі вони отримали широке застосування в українському агропромисловому виробництві.

### 1.3 Технологічні етапи виробництва

В даний час існує велика різноманітність технологій виробництва рослинної олії та біодизеля, але не всі вони набули поширення через проблеми з необхідним обладнанням та ефективністю. Умовно всі технології можна розділити на дві групи:

- 1- промислові
- 2- агропромислові.

# НУВІП України

## 1.3.1. Технологічні етапи виробництва дизельного біопалива за промисловою технологією

Промислова технологія виробництва використовується на великих заводах з річним виходом біодизеля від 20000 до 100000 т/рік.

Технологія промислового виробництва використовується на великих заводах з річним випуском біодизеля від 20 000 до 100 000 т/рік.

Промислова технологія виробництва біодизеля складається з таких процесів:

1- естерифікація;

2- поділ на фракції метилового ефіру (сире дизельне біопаливо) і гліцерину (побічний продукт виробництва дизельного біопалива);

3- очищення біодизеля (перегонка метанолу, а також промивання підкисленою водою, багаторазове промивання водою, зневоднення та очищення від гелеподібного осаду шляхом фільтрації або осадження біодизеля).

Естерифікація - це процес трансформації суміші жирогового кислоти (тваринного або рослинного походження) зі спиртом з використанням лужного каталізатора (KOH, NaOH) для прискореного проходження реакції.

Відгонка метилового спирту необхідна саме тому, що його присутність в паливі призводить до руйнування гумових прокладок двигуна і роз'їдання лакофарбових поверхонь.

Для видалення каталізатора який за наявності утворює осад, необхідне промивання підкисленою водою. Для видалення кислоти, що потрапила під час першого промивання, необхідне повторне промивання водою. Зневоднення необхідно для видалення вологи, яка буде присутня після обох мийок, оскільки наявність води в паливі призведе до неповного згорання, поганої роботи двигуна, корозії та утворення відкладень.

Перевагами технології промислового виробництва біодизеля є висока якість, що дає можливість використовувати біодизель як у сумішах, так і без додавання традиційного дизельного палива. Недоліки: габаритне обладнання,

низька продуктивність, великі витрати електроенергії, висока собівартість виробництва.

# НУБІП України

1.3.2. Технологічні етапи виробництва дизельного біопалива за агропромисловою технологією

# НУБІП України

Процес виробництва біодизеля починається з приготування рослинної олії, тобто очищення видобутої олії від пульпи, фосфоліпідів, білків, воску та інших вміщень, що впливають на якість отриманого палива. Після цього олію

відправляють на зберігання в ємності, які оснащені засобами для підігріву (при необхідності перед переробкою на біодизель). Для виробництва біодизеля використовується як самостійно приготований, так і готовий метилат калію.

Рослинна олія і метилат калію подають у реактор з гідравлічною мішалкою, де її естерифікують при інтенсивному перемішуванні в потоці протягом 10-30 хвилин. Отримана емульсія надходить у гравітаційний сепаратор, де відбувається відділення найважчої гліцеринової фракції, а потім отриманий

біодизель відстоюється доступом повітря для виділення залишкового метилового спирту, який не прореагував під час реакції. Основні вимоги до технологічних операцій виробництва біодизеля наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Агротехнічні вимоги до операцій виробництва біодизеля

# НУБІП України

# НУБІП України

№	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

Якість одержуваного продукту визначається насамперед за допомогою контролю зору та рН. Перевірити кислотність можна за допомогою лакмусового паперу або звичайного лабораторного цифрового рН-метра. Він повинен бути нейтральним, 7.0. Воно повинно виглядати як чиста соняшникова олія. Не допускаються суспензії, домішки, частки або помутніння. Мутність означає наявність води, яку можна видалити шляхом нагрівання, частинки необхідно відфільтрувати через 5 мікронний фільтр. Після першого використання біодизеля обов'язково перевірте паливні фільтри.

#### 1.4. Технологічні аспекти виробництва біодизеля

Щоб отримане паливо відповідало стандартам якості, необхідно виконувати певні вимоги:

- по завершенню естерифікації метилові ефіри повинні міститися в паливі в розмірі не більше 96%;
- необхідне додаткове очищення метилових ефірів від метилу. Це обумовлено тим, що останній зазвичай береться в надлишку з метою більш швидкої і повної естерифікації;
- необхідне очищення метилових ефірів від продуктів сміщення в разі використання палива в дизельній техніці. Якщо подібних маніпуляцій не проводити, то мило досить швидко засмітить фільтр. В результаті почнуть

утворюватися смоли і нагар. Методи сепарації і центрифугування не здатні дати необхідний результат, тому рекомендується застосовувати воду або сорбенти, метилові ефіри жирних кислот повинні бути висушені. Вода провокує розвиток мікроорганізмів і утворення жирних кислот, що істотно знижує якість дизельного біопалива;

зберігання дизельного біопалива має тривати не більше трьох місяців. Якщо цей термін був перевищений, то можливо розкладання палива

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

# НУБІП України

## ВИБІР НАПРЯМКУ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ

### 2.1 Вибір напрямку досліджень

# НУБІП України

- експериментально дослідити вплив технологічних параметрів на споживану потужність насоса в обладнанні для виробництва біодизеля гідрореактивним змішуванням та використанням дискового змішувача.

# НУБІП України

- встановити вплив частоти змішування на якісні показники біодизеля при використанні циркуляційного змішування компонентів суміші.

- експериментально дослідити вплив параметрів гідрореактивної мішалки на частоту її обертання при виробництві біодизеля.

# НУБІП України

## 2.2 Методика проведення досліджень процесу виробництва біодизеля

В основі проведення аналізу літературних джерел і теоретичних досліджень було встановлено, що найвагоміші параметри, які діють на частоту обертання гідрореактивної мішалки в обладнанні для виробництва дизельного біопалива є частота обертання електродвигуна, який проводить в дію гідравлічний насос НШ-10, діаметр форсунок, через які випорскується емульсія ти завдяки яким утворюється обертовий момент на мішалці за рахунок реактивної струї, а також кут нахилу лопатей, внаслідок чого зміниться лобовий опір і підйомна сила.

Ці параметри впливають на кількісний та якісний вихід біодизеля.

Розроблено експериментальну установку для проведення дослідів у лабораторних умовах (рис. 2.1).

# НУБІП України



Рис. 2.1 Експериментальна установка для естерифікації ріпакової олії в біодизель

В комплект входять:

реактор для естерифікації з гідро-реактивною мішалкою;  
насос гідролічний НЦ-10;

- електродвигун потужністю 4 кВт;
- комплект форсунок діаметром 1,5 мм, 2,0 мм та 2,5 мм. (Рис.2.2);
- тахометр часовий ТЧ10-Р (Рис. 2.3);
- тахометр УТ-372 (Рис. 2.4);
- прилад, що аналізує параметри споживання електроенергії;
- часточний перетворювач Hitachi 3G3JX-A4075-EF (Рис. 2.5).



Рис. 2.2. Комплект форсунок



Рис. 2.3. Тахометр часовий ТЧ10-Р

НУБІГ

НУБІГ

НУБІГ



аїни

аїни

аїни

Рис. 2.4. Тахометр UT-372

НУБІ

НУБІ

НУБІ



ни

ни

ни

Рис. 2.5. Частотний перетворювач Hitachi 3G3JX-A4075-EF

Для дослідження використовували ріпакову олію. У реактор для естерифікації за допомогою гідралічного насоса НШ-10 закачували ріпакову олію об'ємом 45

Після цього гідравлічний насос НШ-10 відбирав емульсію з нижньої частини установки і подавав її в гідромеханічний змішувач. Емульсія розпилювалася через отвори в форсунках, які розміщені на стрижнях мішалки.

Під час досліду змінювався діаметр форсунок на штангах гідромеханічної мішалки, кут нахилу лопатей, а також частота обертання насоса. Результати вимірювання параметрів реєстрували для визначення раціональних параметрів процесу естерифікації ріпакової олії.

Таблиця 2.1.

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів

<i>Найменування фактора та його позначення</i>	<i>Рівні факторів</i>			<i>Інтервали варіювання</i>
	-1	0	+1	
Діаметр форсунок, мм	1,5	2,0	2,5	0,5
Частота обертання двигуна об./хв..	700	1050	1400	350
Кут нахилу лопаток, град	30	60	90	30

Експерименти з визначення конструктивно-режимних параметрів дослідної установки для естерифікації рослинної олії проводили з використанням методів планування багатих експериментальних факторів.

Експеримент проводили для трьох досліджуваних факторів за трирівневою матрицею оптимального плану Бокса-Бенкіна, матриця якої наведена в таблиці

Таблиця 2.2

Матриця планування трьох факторного експерименту за планом Бокса-Бенкіна

№ досліду	Назва досліджуваних факторів та їх позначення					
	п/п	Діаметр форсунок, мм	Частота обертання насоса, об./хв.	Кут нахилу лопаток, °С		
	Код	Значення	Код	Значення	Код	Значення
1	1	2,5	1	1400	0	60
2	-1	1,5	-1	700	0	60
3	1	2,5	-1	700	0	60
4	-1	1,5	1	1400	0	60
5	1	2,5	0	1050	1	90
6	-1	1,5	0	1050	-1	30
7	1	2,5	0	1050	-1	30
8	-1	1,5	0	1050	1	90
9	0	2,0	1	1400	1	90
10	0	2,0	-1	700	1	30
11	0	2,0	1	1400	-1	30
12	0	2,0	-1	700	1	90
13	0	2,0	0	1050	0	60
14	0	2,0	0	1050	0	60
15	0	2,0	0	1050	0	60

Під час дослідів ми повторювали досліди тричі. Статистична оцінка отриманих результатів включала перевірку даних за критерієм Кохрена для рівня довіри 95%. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Перевірку значущості коефіцієнтів регресії з прийнятою довірчою ймовірністю проводили за критерієм Стюдента.

Експериментальні дані, отримані при оцінці режимів роботи гідрореактивної мішалки, оброблені методом математичної статистики.

В ході експерименту були визначені: частота обертання гідрореактивної мішалки, споживана потужність та питома енергетична потужність ГЕС.

Одже, для вивчення експертної оцінки по визначенню вагомості показників якості біодизеля, визначення вологості та летючих речовин, кінематичної в'язкості, температури спалаху застосовано відомі методики, а для проведення експериментальних досліджень по визначенню ступеня відстоювання рослинної олії, питомої енергомісткості виробництва біодизеля з використанням механічної та гідромеханічної мішалки, впливу конструктивних параметрів гідромеханічної мішалки на частоту її обертання та споживану потужність використано адаптовані методи та розроблено відповідне експериментальне обладнання.

Удосконалення обладнання для виробництва біодизеля на основі рослинних олій неможливе без виконання оцінки впливу основного режиму та технологічних параметрів обладнання на якість отриманого біопалива.

Тому ми експериментально дослідили вплив частоти змішування на якісні показники дизельного біопалива за допомогою циркуляційного перемішування компонентів суміші.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалася циркуляційна установка для виробництва біодизеля (рис. 2.6) в якій швидкість обертання ГЕС була зафіксована на рівні 200 об./хв. Час перемішування суміші становив від 34,5 до 138 с (34,5 с - 1 кратне перемішування, 51,75 с - 1,5 кратне, 69 с - 2 кратне, 103,5 с - 3 кратне і 138 с - 4 кратне). Час відстоювання отриманого дизельного біопалива становив від 1 до 21 доби з фіксацією кінематичної в'язкості та температури спалаху через 24, 240 та 504. Дослідження проводили в науково-дослідній лабораторії технічних та біоенергетичних систем природокористування.

НУБІП України

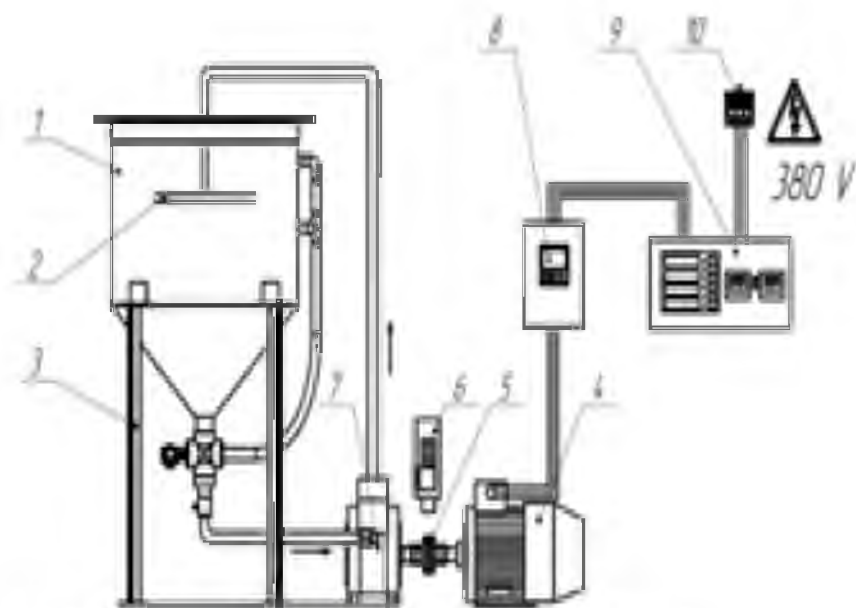


Рис. 2.6. Схема експериментальної установки для виробництва біодизеля  
 1 – циркуляційний реактор; 2 – дискова форсунка; 3 – рама; 4 – електродвигун; 5 – манометр; 6 – оптичний тахометр; 7 – шестеренчастий насос; 8 – частотний перетворювач; 9 – аналізатор параметрів мережі; 10 – джерело живлення

Таблиця 2.3

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів

Найменування фактора та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	1	+1	
Глибина занурення, мм	0	100	200	100
Частота обертання двигуна, об./хв.	96	796	1496	700

Зазор між дисками форсунки, мм	1,8	3,6	5,4	1,8
--------------------------------	-----	-----	-----	-----

Проведено дослідження впливу технологічних параметрів на споживану потужність насоса в обладнанні для виробництва біодизеля з гідрореактивним змішуванням та використанням дискового змішувача. Експеримент проводили

для встановлення залежності між впливом зазору між дисками насадки ( $d$ ),

частотою обертання насоса ( $n$ ) і глибиною занурення ( $H$ ) на споживану потужність насоса ( $P$ ). Інтервали значень та рівні варіації досліджуваних факторів наведені в таблиці 2.3.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ

### 3.1 Розробка блок – схеми виробництва біодизеля

НУБІП України

Використання рідкого палива у с/г виробництві коливається від 50 до 110 л/га. Основою виробництва біодизеля є ріпак площа, якого взята для прикладу 60

га (рис. 3.1). Залежно від ситуації на ринку ріпакового насіння та дизельного палива господарство може прийняти рішення, як реалізувати насіння ріпаку і придбати дизельного пального, так і виробництво біодизеля. Річне виробництво зерна ріпаку в цьому випадку становить 125 тонн.

НУБІП України

Переробка ріпаку дає виробництву 41 тону олії та 84 тонни макухи. Для забезпечення потреб господарства в біодизелі (77 кг/га) достатньо переробити 29 тонн олії. Решту олії відправляють на харчові потреби. Оскільки субпродукт після переробки, макуха, є цінним кормовим компонентом, він йде на виробництво кормів для тваринництва. До процесів естерифікації додають метанол і каталізатор. В результаті отримано 27,7 тон біодизеля. Під час виробництва біодизеля утворюється осад гліцерину, який доцільно використовується як рідке паливо в теплових процесах, що забезпечує отримання додаткової енергії.

НУБІП України

Великий вплив на властивості біодизеля має тип рослинної олії, з якої її отримують, оскільки вміст жирних кислот у кожній рослині свій. Склад жирних кислот в рослинній олії визначає теплотворну здатність, в'язкість і щільність біодизеля, які в свою чергу визначають особливості застосування та експлуатаційні параметри роботи МТА.

НУБІП України

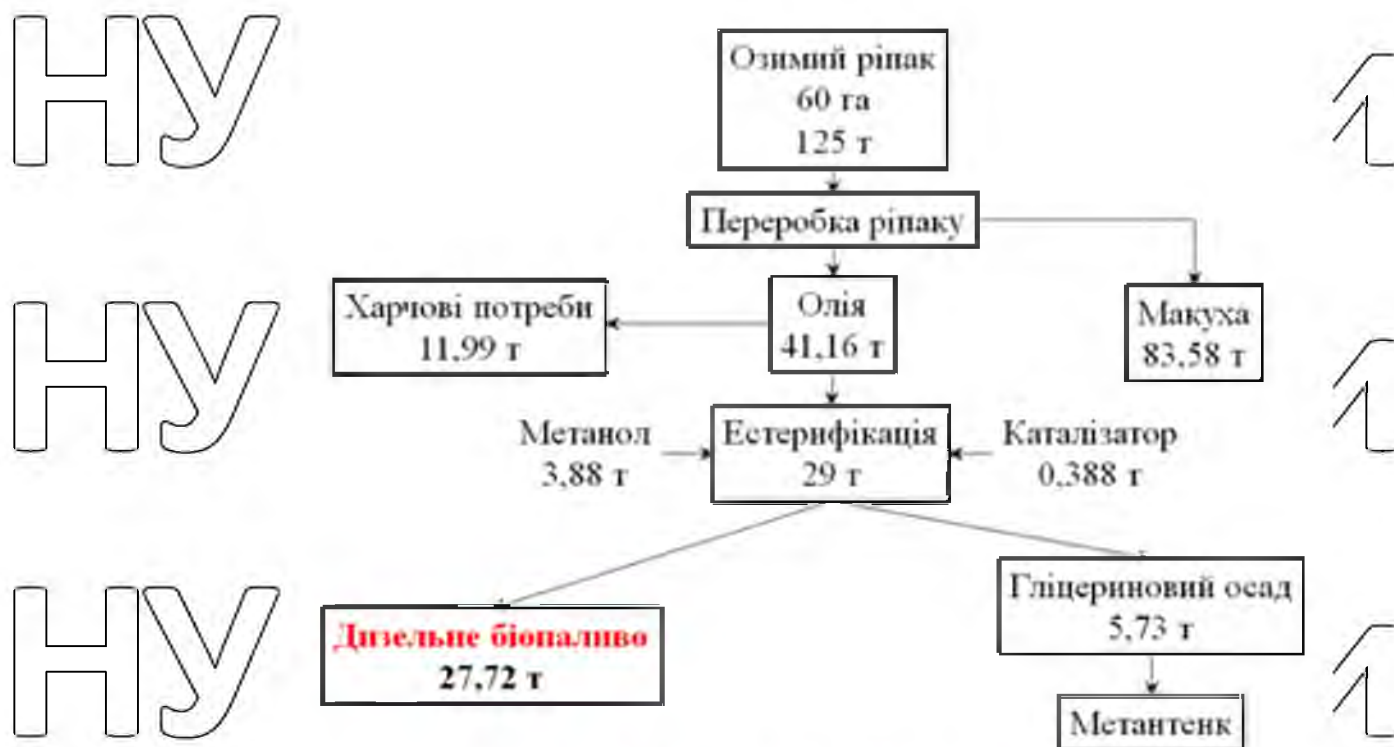


Рис. 3.1 Блок - схема виробництва біодизеля

Таким чином, всю олію в кількості 41,16 тон ми можемо розділити на потреби в харчуванні - 11,99 тон і для виробництва дизельного біопалива - 29 тон.

### 3.2 Розробка технологічного процесу виробництва біодизеля з використанням гідро реактивної мішалки

#### 3.2.1 Вибір технології виробництва біодизеля

Біодизель отримують в результаті реакції естерифікації рослинних тваринних жирів зі спиртами (етилловим, метиловим, ізопропильовим) каталізатором (KOH, NaOH). В результаті естерифікації утворюються ефіри жирних кислот і триатомний спирт гліцерин (у сирому стані він називається гліцериллом). Технології етанолу та ізопропілу є складними і вимагають дорогих каталізаторів та обладнання, здатного витримувати високий тиск. Тому на сучасному етапі використовується метанолова технологія. Отриманий продукт -

метиловий ефір, служить заміником мінерального дизельного палива і називається біодизелем.

В даний час існує велика різноманітність технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива, але не всі вони набули поширення через проблеми з необхідним обладнанням та малою ефективністю. Умовно всі технології можна розділити на дві групи: промислові (багатоступінчаста технологія виробництва рослинної олії та біодизеля з використанням метанолу) та агропромислові.

Технологія промислового виробництва традиційно використовується на великих заводах з річним випуском біодизеля від 20 000 до 100 000 т/рік.

Промислова технологія виробництва біодизеля складається з таких процесів: естерифікація; поділ на фракції метилового ефіру (сире дизельне біопаливо) і гліцерину (побічний продукт виробництва біодизеля); очищення біодизеля (перегонка метанолу, а також промивання підкисленою водою, повторної промивки водою, зневоднення та очищення від гелеподібного осаду шляхом фільтрації або осадженням біодизеля).

До переваг промислової технології виробництва біодизеля можна віднести його високу якість, що дає можливість використовувати дизельне біопаливо як у сумішах, так і без додавання дизельного палива. Основні недоліки: розміри обладнання, низька продуктивність, великі витрати енергії, висока собівартість продукції.

Агропромислова технологія виробництва біодизеля широко використовується на господарських і невеликих заводах з річним випуском біодизеля від 100 до 5000 т/рік.

Агропромислова технологія виробництва біодизеля складається з естерифікації; поділ на фракції метилового ефіру (дизельне біопаливо) і гліцерину (побічний продукт виробництва біодизеля); очищення біодизеля.

Переваги цієї технології можна віднести: менші енерговитрати в порівнянні з промисловою технологією, доступність у виробництві, менша вартість хімічних реагентів, менша габаритність обладнання.

Включення потреб і цін на паливо сучасного ринку паливно-мастильних матеріалів виникає потреба введення в експлуатацію нових технологій виробництва біодизеля, отримана продукція яких могла б конкурувати з традиційним дизельним паливом. Агропромислова технологія виробництва біодизеля може задовольнити потреби суб'єктів господарювання власним паливом для роботи машинно-тракторних агрегатів, вона доступна в економічних витратах та проста у експлуатації.

Технологія з надкритичним станом метанолу розроблена японськими фахівцями. Це найскладніша, але і найшвидша технологія, яка дозволяє отримати ідеально чисте дизельне біопаливо. З олією змішують метиловий спирт при температурі 240 °C і тиску 80 ат. У такому стані метанолу основна кількість олії реагує з ним протягом перших 30 с, а вся реакція естерифікації займає 2-4 хвилини. У технології з надкритичним станом метанолу каталізатор не використовується, тому очищати від нього готовий продукт не потрібно. Досить видалити надлишок метанолу. У той же час ця технологія виробництва дизельного біопалива є досить технологічно складною, а високі тиски під час процесу зумовлюють високу матеріаломісткість обладнання, а отже і збільшення витрат.

Традиційна технологія отримання метилового ефіру заснована на естерифікації тригліцеридів рослинної олії метиловим спиртом за допомогою лужних каталізаторів. Для проведення реакції естерифікації жир (наприклад, рослинне олію) змішують з метиловим спиртом (у співвідношенні приблизно 10 до 1) у присутності каталізатора (речовини, яка викликає або прискорює хімічну реакцію, однак не бере в ній участі) при 35-40°C. У разі використання кислотного каталізатора тривалість реакції естерифікації становить від однієї до 45 год., а лужної реакції від кількох десятків хвилин до 8 год. (залежно від температури і тиску), а в початковий період реакція протікає повільно внаслідок двофазної природи системи метиловий спирт/олія, тому необхідно проводити посилене змішування реагентів. В результаті реакції утворюється суміш метилового ефіру і гліцеролу. Суміші дають відстоятися, в результаті чого вона відокремлюється. Гліцерол як більш важка фракція ( $\rho=1261 \text{ кг/м}^3$ ), опускається, а метиловий ефір,

як більш легка ( $\rho = 860-900 \text{ кг/м}^3$ ) осідає над нею. Метиловий ефір і гліцерин зливаються в різні смісті.

Проте отриманий таким чином метиловий ефір ще далекий від показників якості, зазначених у ДСТУ 6081:2009.

Для отримання якісного метилового ефіру необхідно відповідати ряду вимог:

- Для швидкої і повної естерифікації метанол береться в надлишку, тому в отриманому метиловому ефірі міститься до 1,5% метанолу, від якого необхідно очищати біодизельне паливо, оскільки він роз'їдає кольорові метали двигуна, гумові прокладки, фарбу. Метиловий спирт видаляють з біодизеля шляхом перегонки.

- Під час реакції естерифікації катализатор не вступає в саму реакцію, а лише прискорює її. Тому у виготовленому дизельному біопаливі воно залишається повним, викликаючи корозію двигуна. Катализатор видаляють з біодизеля шляхом змішування останнього з шкисленою водою (у випадку лужного катализатора), що призводить до нейтралізації катализатора з утворенням мила, яке випадає в осад.

- Завершальний етап - висушування метилових ефірів жирних кислот, оскільки наявність води негативно впливає на роботу дизельного двигуна.

На сьогоднішній день технологія з надкритичним станом метанолу через свою складність і високу вартість обладнання ще не знайшла широкого застосування. Тому у виробництві біодизеля використовується переважно традиційна технологія.

### 3.2.2 Агротехнічні вимоги до виробництва біодизеля

Сировиною для виробництва біодизеля є переважно жирні, рідше ефірні олії різних рослин і водоростей, тваринні жири, риб'ячий жир, використана харчова рослинна олія. Залежно від сировини деякі фізичні властивості палива можуть змінюватися в ту чи іншу сторону. Біодизель виготовляється з тваринних жирів і має вищу температуру застигання, ніж дизельне біопаливо рослинного

походження - від +5°C до +17°C. У зв'язку з цим біопаливо з тваринних жирів навіть влітку необхідно змішувати з дизельним паливом, щоб знизити температуру застигання.

Рослинні олії є основною сировиною у світі. Наприклад, в Європі - ріпак, в США - соя, в Канаді - канола (різновид ріпаку), в Індонезії та на Філіппінах - пальмова і кокосова олія, в Індії - ятрофа.

За своєю структурою рослинні олії мало відрізняються один від одного і відрізняються лише вмістом вуглецю та рівнем насиченості жирними кислотами.

Для виробництва біодизеля в Україні найбільш доцільно використовувати насіння ріпаку, соняшнику та сої.

Оскільки біодизель в основному виробляється з рослинної сировини, ми розглядаємо вихід олії з гектара землі в рік залежно від виду сировини. Дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1  
Вихід олії з гектара залежно від виду культури

Культура	Середній вихід олії за рік	
	Кг/га	л/га
Кукурудза	145	170
Овес	183	217
Люпин	195	232
Календула	266	305
Конопці	305	363
Соя	375	446
Льон	402	478
Насіння гарбуза	449	534
Насіння гірчиці	481	572
Насіння рижика	490	583
Рис	696	828
Соняшник	800	952

Мак	978	1163
Ріпак	1000	1190
Ятрофа	1590	1892
Водорості		95000

Станом на 2021 рік, згідно з офіційними закупівельними цінами на соєву олію, вона коштує 10 980 грн/т, соняшникова – 10 500 грн/т, ріпак – 10 316 грн/т. Порівняння даних таблиці 1 та рівня закупівельних цін можна зробити висновок,

що найбільш доцільним і рентабельним для виробництва біодизеля є насамперед ріпак, потім соняшник, а потім соя.

Найбільш перспективним джерелом рослинної олії є водорості. В місті Дніпропетровську, спеціалістами ВАТ «Біодизель Дніпро» було розроблено технологію та обладнання для виробництва мікроводоростей і одержання олій для виготовлення біопалива.

Основними параметрами, що ускладнюють роботу машинно-тракторного парку на біодизелі більш висока в'язкість, що приводить до зниження подачі через трубопроводи, погіршення процесу сумішоутворення, зменшення довжини факела, неповне згоряння палива, інтенсивне утворення нагару на деталях циліндро-поршневої групи двигуна.

У таблиці 3.2 порівнюються показники якості дизельного палива

Таблиця 3.2

Порівняльний аналіз показників якості і методів випробувань біодизеля згідно ДСТУ 3868-99 та метилові естери жирних кислот (МЕЖК) за СОУ 24.14-37-56Г:2007

Назва показника	Значення	МЕЖК		ДП		
		Метод випробування	Значення	Л	З	Метод випробування

Цетанове число, не менше	51	Згідно з ГОСТ 3122	45	45	За ГОСТ 3122
Кінематична в'язкість за температури 40°C, мм <sup>2</sup> /с, у межах	3,5-5,0	Згідно з ГОСТ 33	3,0-6,0*	1,8-6,0*	За ГОСТ 20287
Густина за температури 15°C, кг/м <sup>3</sup> , у межах	860-900	Згідно з ГОСТ 3900	860*	840*	За ГОСТ 3900 або ISO 3675
Температура спалаху у закритому тиглі, °C, не менше	120	Згідно з ДСТУ 4455 або ГОСТ 6356	40	35	За ГОСТ 6356 або ASTM D 93 або ISO 2719

Продовження таблиці 3.2

Назва показника	Значення	МЕЖК		ДП	
		Метод випробування	Л	З	Метод випробування
Масова частка сірки, %, не більше	0,001	Згідно з ГОСТ 19121	0,05 0,10 0,20 0,5	0,05 0,10 0,20 0,5	За ГОСТ 19121 або ASTM D 1266 або ASTM D 4294
Вміст механічних домішок	Відсутні	Згідно з ГОСТ 6370	Відсутні	Відсутні	За ГОСТ 6370
Гранична температура фільтрованості, °C, не вище	+5 -5 -15	Згідно з ГОСТ 22254	-5	-15	За ГОСТ 22254

Фракційний склад: 50 % переганяється за температури, °С, не вище 96 % переганяється за температури, °С, не вище			280	280	3а ГОСТ 2177 або ASTM D85
Температура застигання, °С, не вище			-10	-25	3а ГОСТ 20287
Коефіцієнт фільтрованості, більше			3	3	3а ГОСТ 19006

\* показник визначається при температурі 20°C

### 3.2.3 вихідних компонентів для виробництва біодизеля

Виробництво біодизеля в умовах підприємств без використання технічних

засобів для визначення жирнокислотного складу рослинних олій можливе лише

при надмірному (до 5%) додаванні розчину метилату калію. Олія, що підлягає обробці, повинна бути в діапазоні від 20 до 30 °С.

Процес виробництва біодизеля починається з підготовки рослинної олії.

Перший етап — очищення видобутої олії від пульпи, фосфоліпідів, білків, воску

та інших включень, що впливають на якість отриманого палива. Після цього олію

відправляють на зберігання в ємності, обладнані засобами для підігріву. Для

виробництва біодизеля використовується як самостійно підготовлений, так і

готовий метилат калію. Рослинну олію і метилат калію подають у реактор з

гідравлічною мішалкою, де її естерифікують при інтенсивному перемішуванні в

поточі протягом 10-30 хв. Утворена емульсія надходить у гравітаційний

сепаратор, де відбувається поділ фракції. На наступному етапі отримане

дизельне біопаливо відстоюють з доступом повітря для виділення залишків

метилового спирту, який не вступив у реакцію.

Сировинною основою для виробництва біодизеля на підприємстві є зернові ресурси олійних культур, насамперед зерна ріпаку, соняшнику, сої на основі яких за допомогою віджимки отримують олію, з якої, у подальшому, етерифікацію отримують біодизель.

Очищену олію використовують для виробництва біодизеля, оскільки після екстракції в олії присутні тверді та колоїдні домішки, а саме білкові та слизові речовини, фосфатиди. Очищення олії найчастіше проводиться холодним осадженням. Існують і інші способи очищення рослинних олій при підготовці до виробництва біодизеля, але вони більш дорогі і складні.

Олія повинна мати темний або світло-коричневий колір за рахунок наявності різних барвників, однорідну структуру, а також кінематична в'язкість і щільність при 20°C відповідно від 80 до 95 мм/с<sup>2</sup> та від 910 до 930 кг/м<sup>3</sup> кислотне число має бути в межах від 0,3 до 1,5 мгКОН/г, залежно від якості та походження олії, масова частка води та летких речовин повинна бути в межах від 0,1 до 0,2%.

У виробництві біодизеля також використовуються хімічні реагенти: метилат калію або метилат натрію (метиловий спирт, змішаний з лужним каталізатором КОН або NaOH у співвідношенні 10:1).

Метиловий спирт являє собою безбарвну прозору рідину без нерозчинних домішок, яка змішується з водою без слідів помутіння і має: щільність при 20°C 791-792 кг/м<sup>3</sup>, температуру кипіння 64,0-65,5°C, особливо небезпечна легкозаймиста рідина з температурою спалаху 6°C і займання 13 °C, категорія і група вибухонебезпечності суміші парів метанолу з повітрям - ЦА-Т2 за ГОСТ 12.1.011. Гідроксид калію (KOH) - це білі пластивці, гранули або шматочки з кристалічною структурою при розриві: дуже гігроскопічний, розчинний у воді та спирті, швидко поглинає із повітря вуглекислоту та воду і поступово переходить у вуглекислий калій Гідроксид калію у вигляді розчину або пилу надає пекучу дію на ділянки шкіри і слизових оболонок..

3.2.4 Варіанти переобладнання та обладнання приміщень для виробництва біодизеля

# НУБІП України

Основними правилами переобладнання СГ конетрукції під цехи з виробництва біодизеля:

- загальна площа приміщення не повинна бути меншою за необхідну відповідно до технологічних вимог інструкції з експлуатації обладнання;

# НУБІП України

- загальну площу для виробництва біодизеля необхідно розділити на кілька приміщень, що відповідають вимогам щодо виробництва рослинних олій, біодизеля, зберігання метилового спирту та катализатора і роботи з ними; повинні

бути передбачені зони розвантаження сировини та завантаження виробленої продукції, дизельного біопалива та побічних продуктів - гліцеринового шламу та шроту.

# НУБІП України

Основні етапи впровадження виробництва біодизеля:

1. Розробка проекту будівництва цеху з виробництва дизельного біопалива або реконструкції існуючих потужностей під виробничі приміщення.

# НУБІП України

2. Розробка проекту будівництва сховищ для зберігання метилового спирту та катализатора або пристосування існуючих.

3. Будівництво приміщень для виробництва біодизеля або реконструкція існуючих потужностей під виробничі приміщення.

# НУБІП України

4. Будівництво сховищ для зберігання метилового спирту та катализатора або адаптація існуючих.

5. Обладнання складів і приміщень для виробництва біодизеля системою вентиляції та опалення.

# НУБІП України

6. Придбання та монтаж обладнання у виробниче приміщення для видобутку олії, підготовки та зберігання.

7. Придбання та встановлення у виробничих приміщеннях обладнання для виробництва біодизеля та зберігання отриманої продукції та встановлення її у виробничих приміщеннях.

# НУБІП України

8. Організація виробництва біодизеля відповідно до технологічного регламенту.

Дотримання заданої стадії забезпечує послідовність введення в експлуатацію підприємства з виробництва біодизеля, зменшує початкові капітальні вкладення та дозволяє підвищити продуктивність згідно потреби у біодизелі.

У зимовий період зовнішнє повітря необхідно відповідно підігрівати. Для цих цілей доступний широкий асортимент опалювального та вентиляційного обладнання та кондиціонерів. Однак вибір необхідного обладнання в залежності від конструктивних і габаритних параметрів приміщення для виробництва дизельного біопалива має деякі відмінності в порівнянні з вибором аналога.

Насамперед це пов'язано з тим, що для виробництва біодизеля використовується метиловий спирт, який легко випаровується.

### 3.2.5 Організація виробництва біодизеля

Виробництво біодизеля здійснюється згідно з технологічним регламентом і починається з виробництва рослинної олії та підготовки її до переробки. Контроль температурно-повітряного режиму сировини та виробничого приміщення здійснюється за допомогою вентиляційної установки.

Для проведення виробничих операцій з виробництва рослинної олії, підготовки її до переробки та виробництва біодизеля залучено не менше 2 працівників.

Враховуючи, що метанол погано розчиняється в рослинній олії, після додавання в олію розчину метилового спирту рідини розташовуються шарами за значенням їх густини. У зв'язку з цим необхідно виконати перемішування, яке призведе до утворення двофазної системи - емульсії, в якій суцільне середовищем I є рослинна олія, а дисперсійною фазою - розчин метанолу з лужним каталізатором. Очевидно, щоб зберегти емульсію в дисперсному стані, її необхідно безперервно перемішувати в турбулентному режимі. Перебіг процесу турбулентності залежить від гідродинамічних умов перемішування.

Чим більше міжфазова поверхня, тим швидше відбувається естерифікація, оскільки вона утворює контактну поверхню реагентів. Однак відбувається

інтенсивне перемішування, при цьому руйнування міжфазної поверхні посилюється. У зв'язку з цим необхідно спочатку забезпечити рівномірне пошарове перемішування в емульсійній зоні «змішування», а потім здійснити проходження реакції етерифікації.

Враховуючи невеликий обсяг будівельно-монтажних робіт, доцільна форма організації робіт з переобладнання сільськогосподарських будівель під виробничі для виробництва біодизеля є використання комплексних бригад будівельних підрозділів СГ підприємств.

Таблиця 3.3.

Технологічний регламент виробництва біодизеля

<i>Назва операції</i>	<i>Обладнання</i>	<i>Термін проведення</i>	<i>Основні вимоги</i>
Підготовка рослинної олії до переробки	Відстійник	Перед етерифікацією	Відстоювання впродовж доби
Завантаження олії у ємність для зберігання	Насос	Упродовж зміни	установки Запаси олії має бути не менший за потребу продуктивність обладнання установки
Завантаження олії у ємність змінного запасу	Насос	Упродовж зміни або на початку зміни	Запас олії має бути не менший за зміну продуктивність по біодизелі

Завантаження метилату калію	Насос	На початку зміни	Кількість реагентів згідно розрахунку: на 1л олії – 0,15 д
НУБІП УКРАЇНИ			

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

Продовження таблиці 3.3

<i>Назва операції</i>	<i>Обладнання</i>	<i>Термін проведення</i>	<i>Основні вимоги</i>
Дозована подача рослинної олії та метилату калію в змішувач	Насос	Після відкриття кранів для подачі компонентів	Дані повинні бути у відношенні 1л олії – від 0,143 до 0,150л Розчину метилового спирту з каталізатором
Відстоювання дизельного палива	Відстійник	Упродовж 2 год.	Вимоги до біодизеля згідно ДСТУ 6081:2009
Очищення біодизеля від залишків метилового спирту	Відстійник з відкритим доступом повітря	Упродовж 21 доби	Перемішувати кожну добу по 0,5 хв.
Контроль температури спалаху біодизеля	ТВЗ-ЛАБ-01	Після 7-ї доби кожних 2-3 доби	Контролювати температуру спалаху до отримання результату згідно ДСТУ 6081:2009

### 3.2.6 Контроль та оцінка якості роботи

Контроль та оцінка якості робіт здійснюється для забезпечення дотримання технологічних регламентів при виробництві біодизеля із зазначеними властивостями, які встановлені нормативними актами.

Оцінка якості біодизеля проводиться під час приймальних та періодичних випробувань для перевірки відповідності біодизеля вимогам нормативної документації.

Контроль якості біодизеля здійснюється за поданою таблицею 3.4.

При цьому проби дизельного біопалива відбирають відповідно до ДСТУ 4488 або правил відбору проб автомобільного дизельного палива. Загальний об'єм проби кожної марки палива повинен бути не менше 2 дм.<sup>3</sup>

Біодизель приймається партіями і підлягає приймальним, періодичним і типовим випробуванням.

Сертифікаційні проводяться у порядку, встановленому акредитованим органом із сертифікації.

Відсутність системного контролю з боку держави та нерозвиненість громадського контролю спонукають учасників ринку до виробництва та реалізації неякісного моторного палива.

Для забезпечення гарантованої якості дизельного палива та дизельного біопалива на АЗС рекомендується розробити методику оцінки якості палива, яка дозволить споживачеві вибрати паливо.

Таблиця 3.4

Нормативні вимоги до якості біодизеля

<i>n/n</i>	<i>Назва показника</i>	<i>Значення</i>	<i>Метод випробування</i>
1	Масова частка ефірів %, не менша ніж	96,5	Згідно з ДСТУ EN14103
2	Густина за температури 15°C, кг/м <sup>3</sup> , у межах	860-900	Згідно з ДСТУ ГОСТ 31072 або ДСТУ ISO 12185, або ISO 3675
3	Кінематична в'язкість за температури 40°C, мм <sup>2</sup> /с, у межах	3,5-5,0	Згідно з EN ISO3104
4	Температура спалаху у закритому тиглі, °C, не менше ніж	120	Згідно з ГОСТ 6356 або ДСТУ ISO 2719

5	Масова частка сірки, мг/кг, не більше ніж	10	Згідно з ДСТУ ISO20846
6	Цетанове число, не менше ніж	51	Згідно з ГОСТ 3122 або ДСТУ ISO 5165
7	Масова частка вільного гліцерину, % не більш ніж	0,02	Згідно з ДСТУ EN 14105 або ДСТУ EN 14106
8	Масова частка фосфору, %, не більше ніж	10	Згідно з ДСТУ EN14107

### 3.2.7 Транспортування і зберігання біодизеля

Для фасування біодизеля використовують тару: металеві бочки ємністю 200 дм<sup>3</sup> з вузьким горлом за ГОСТ 13950 автоцистерни, залізничні цистерни. Дозволяється за згодою споживача використовувати подібну тару, яка виготовлена відповідно до інших чинних нормативних актів. Не допускається використання тари з міді і цинку або їх сплавів.

Транспортування та зберігання біодизеля виконуються згідно з ДСТУ 4454, з дотриманням вимог пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010 та НАПБ А3.001 та інструкціями пожежної безпеки.

Термін придатності дизельного біопалива становить шість місяців з дати його виробництва. Максимально допустимий термін придатності може змінюватися відповідно до рекомендацій виробника.

Одже, СГ може бути галуззю, яка не тільки забезпечує продовольчу безпеку країни, а й може суттєво вплинути на її власну енергетичну автономію та створити конкурентне середовище на нафтовому ринку.

Агропромислова технологія виробництва біодизеля може задовольнити потреби суб'єктів господарювання власним паливом для роботи машинно-

тракторних агрегатів, воно доступне і доступне в матеріалах витратах та проста у експлуатації.

### 3.3 Дослідження процесу роботи гідро реактивної мішалки для виробництва біодизеля

При вивченні впливу частоти змішування на якісні показники дизельного біопалива встановлено дані (таблиці 3.5).

Встановлено, що зі збільшенням кратності змішування час розділення суміші зменшується, що пояснюється більш повним процесом естерифікації. Кількісний вихід дизельного біопалива при зміні частоти змішування залишився практично незмінним і знаходився в межах від 94 до 95% (середнє значення – 94,62%).

Таблиця 3.5  
Залежність кількісного виходу біодизеля від кратності перемішування

Технологічні параметри	Кратність перемішування				
	1	1,5	2	3	4
Число обертів насоса, об./хв.	200				
Час перемішування, с	34,5	51,75	69	103,5	138
Об'єм олії, мл	1000				
Об'єм метилату калію, мл	150				
Вихід біодизеля, %	94,6	94,5	95	95	94

Вихід гліцеринового осаду, %	16,09	15,65	15,65	16,09	16,96
Час розділення суміші, хв..	50	45	44	41	38

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Продовження таблиці 3.5

Кінематична в'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$	4,86	4,66	4,65	4,63	4,62
Температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$	136	138	139	140	142

Аналіз впливу частоти змішування на кінематичну в'язкість дизельного біопалива (рис. 3.3) показав, що кінематична в'язкість зменшується зі збільшенням частоти змішування.

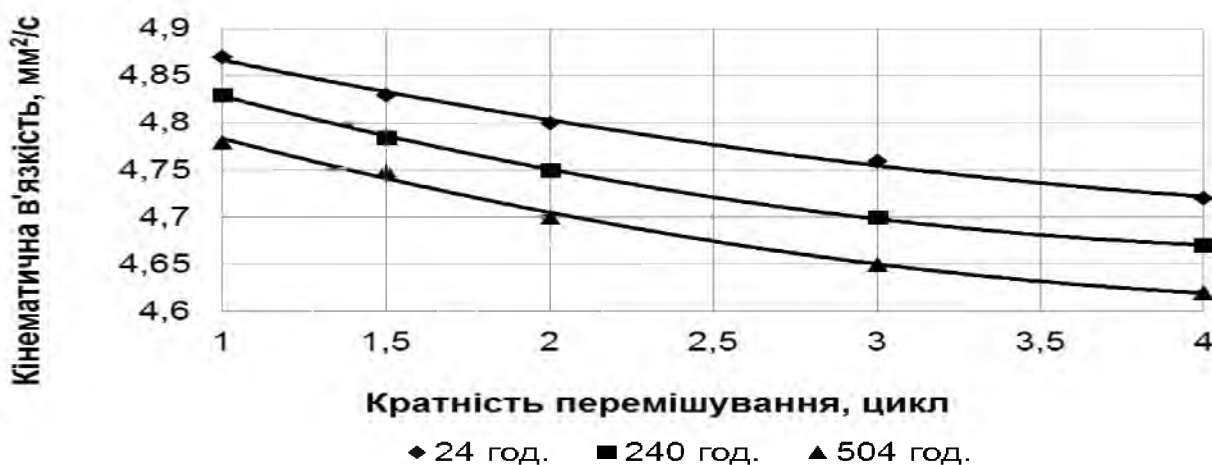


Рис. 3.3. Вплив кратності перемішування та часу відстоювання з доступом повітря на кінематичну в'язкість біодизеля

Найменше значення кінематичної в'язкості досягається при 4-кратному перемішуванні суміші і становить  $4,62 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Отримані показники відповідають вимогам ДСТУ 6081:2009, оскільки мають значення менше  $5,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Також встановлено, що зі збільшенням часу осідання з 24 до 168 год. при відкритому доступі повітря температура спалаху поступово зростає (рис. 3.4), з часом відстоювання від 168 до 288 год. збільшується пропорційно часу, а на момент відстоювання з 288 до 384 год. підвищення температури спалаху при відкритому доступі повітря сповільнюється. При цьому частота змішування практично не впливає на значення температури спалаху, починаючи з відстоювання протягом 504 год. і зміни частоти змішування від 1 до 4, температура спалаху була в межах від  $136$  до  $140^{\circ}\text{C}$  (середнє значення  $139^{\circ}\text{C}$ ).

При відстоювання без доступу повітря температура спалаху дизельного біодизеля не досягає нормативних значень за ДСТУ 6081-2009.



Рис. 3.4. Вплив часу відстоювання з доступом повітря на температуру спалаху біодизеля

Одже, експериментом встановлено, що частота змішування не впливає на кількісний вихід біодизеля та його температуру спалаху, яка залежить лише від часу відстоювання з доступом повітря. Кінематична в'язкість біодизеля зменшується зі збільшенням швидкості перемішування та часу відстоювання при доступі повітря, але в межах значень кратності перемішування від 1 до 4 значення кінематичної в'язкості біодизеля не виходить за межі нормативних значень.

$$P = 347,8221 + 0,4456n_D - 107,7907d + 0,0007n_D^2 + 18,1199d^2 - 0,0079n_D d$$

Дослідження впливу технологічних параметрів на споживану потужність насоса в обладнанні стримано математичну модель - рівняння регресії у вигляді черв'яка другого порядку, яке в розширеному вигляді має вигляд:

$$P = 347,8221 + 0,4456n_D - 107,7907d + 0,0007n_D^2 + 18,1199d^2 - 0,0079n_D d$$

Результати вимірювань під час дослідження (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6

№ п/п дослідю	Глибина занурення, мм (h)	Частота обертання насоса, об/хв.	Зазор між дисками форсунок, мм (d)	P, Вт
1	200	1496	3,6	1890
2	0	96	3,6	241,5
3	200	96	3,6	236,8
4	0	1496	3,6	1900
5	200	796	5,4	700
6	0	796	1,8	850
7	200	796	1,8	865
8	0	796	5,4	700
9	100	1496	5,4	1785
10	100	96	1,8	231,5
11	100	1496	1,8	2255
12	100	96	5,4	244,5

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

13	100	796	3,6	725
14	100	796	3,6	720
15	100	796	3,6	725

Аналіз показує (рис. 3.5), що зі збільшенням частоти обертання насоса збільшується енергоспоживання, що пояснюється збільшенням енергоспоживання електродвигуна за рахунок збільшення продуктивності насоса.



Рис. 3.5. Залежність споживаної потужності дискового змішувача від частоти обертання насоса

При збільшенні зазору між дисками форсунки споживана потужність насоса знижується (рис. 3.6), що пояснюється зменшенням енергоспоживання електродвигуна, що обертає насос за рахунок зниження тиску насоса.



Рис. 3.6. Залежність споживаної потужності дискового змішувача від зазору між дисками форсунки

Аналіз взаємного впливу частоти обертання насосів зазора між дисками форсунки на споживанні потужності насосів при використанні дискового змішувача показаний (рис. 3.7).

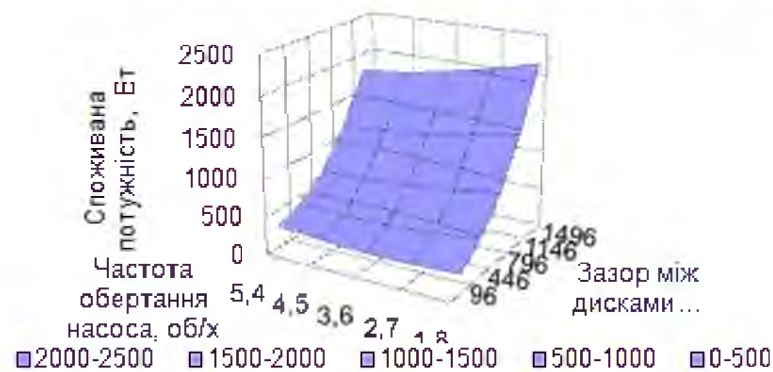


Рис. 3.7. Залежність споживаної потужності дискового змішувача від зазору між дисками форсунки та частоти обертання насоса

Найменша споживана потужність є при зазорі між дисками насадки 5,4 мм та частоті обертання насоса 96 об/хв. і встановлено на 210 Вт. Глибина занурення не робить істотного впливу на енергоспоживання насоса при використанні дискового змішувача.

Експериментальне дослідження залежності частоти обертання гідрореактивної мішалки від її параметрів проводили в лабораторних умовах з використанням рослинної олії, дослідної установки та гідрореактивною мішалкою, а також гідронасоса. Щоб встановити взаємозв'язок між впливом діаметра сопла ( $d$ ), частоти обертання двигуна ( $n_d$ ) і кута лопаті ( $\alpha$ ) на частоту обертання гідрореактивної мішалки ( $n_m$ ), проводили експеримент за планом Бокса

Бенка. Інтервали значень та рівні варіації досліджуваних факторів наведені в таблиці 1, результати вимірювань в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів

Найменування фактора та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	1	+1	
Діаметр форсунок, мм	1,5	2,0	2,5	0,5
Частота обертання двигуна, об/хв.	700	1050	1400	350
Кут нахилу лопаток, град	30	60	90	30

Результати експерименту дали математична модель – рівняння регресії у вигляді поля другого порядку, яке має вигляд:

$$n_T = 31,2125 - 37,0389d + 0,0763n_D - 0,3432\alpha + 7,0722d^2 + 0,002\alpha^2 - 0,0079dn_D$$

Таблиця 3.8

Значення заданих та вимірюваних величин під час досліджень

№ досліду	п/п	Діаметр форсунок (d), мм	Частота обертання двигуна (n <sub>D</sub> ), об/хв	Кут нахилу лопаток (n <sub>Д</sub> ), град	Частота обертання гідрореактивної мішалки (n <sub>T</sub> )
1		2,5	1400	60	26

2	1,5	700	60	17,5
3	2,5	700	60	3
4	1,5	1400	60	46
5	2,5	1050	90	16
6	1,5	1050	30	38,5
7	2,5	1050	30	20
8	1,5	1050	90	31
9	2,0	1400	90	31
10	2,0	700	30	12,7
11	2,0	1400	30	40
12	2,0	700	90	9
13	2,0	1050	60	23
14	2,0	1050	60	22,8
15	2,0	1050	60	23

Аналіз залежності (рис. 3.8) показує, що зі збільшенням діаметра сопла частота обертання гідрореактивної мішалки зменшується, що пояснюється зменшенням реактивної сили, що рухає гідрореактивну мішалку, за рахунок зменшення швидкості вильоту струменя.

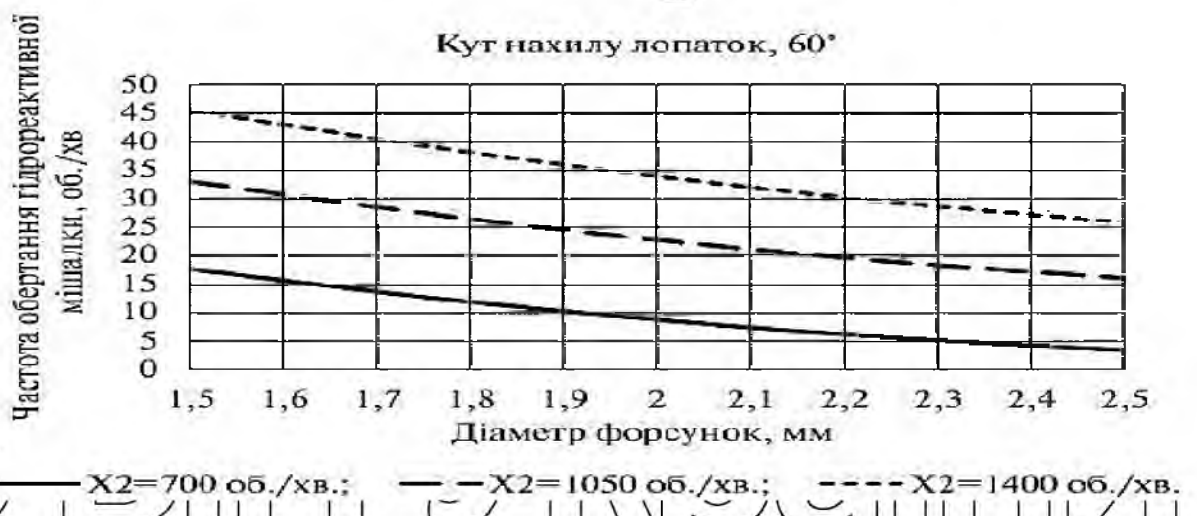


Рис. 3.8. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від діаметра форсунок

При збільшенні частоти обертання двигуна обертання гідрореактивної мішалки збільшується (рис. 3.9), що пояснюється збільшенням масової витрати потоку рідини через форсунки.



Рис. 3.9) Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від частоти обертання двигуна

Аналіз взаємного впливу частоти обертання двигуна і діаметра форсунок на частоту обертання гідрореактивної мішалки (рис. 3.10) показав, що зі збільшенням частоти обертання двигуна і зменшенням діаметром форсунок, частота обертання гідрореактивної мішалки збільшується.

НУБІП України

НУБІП України

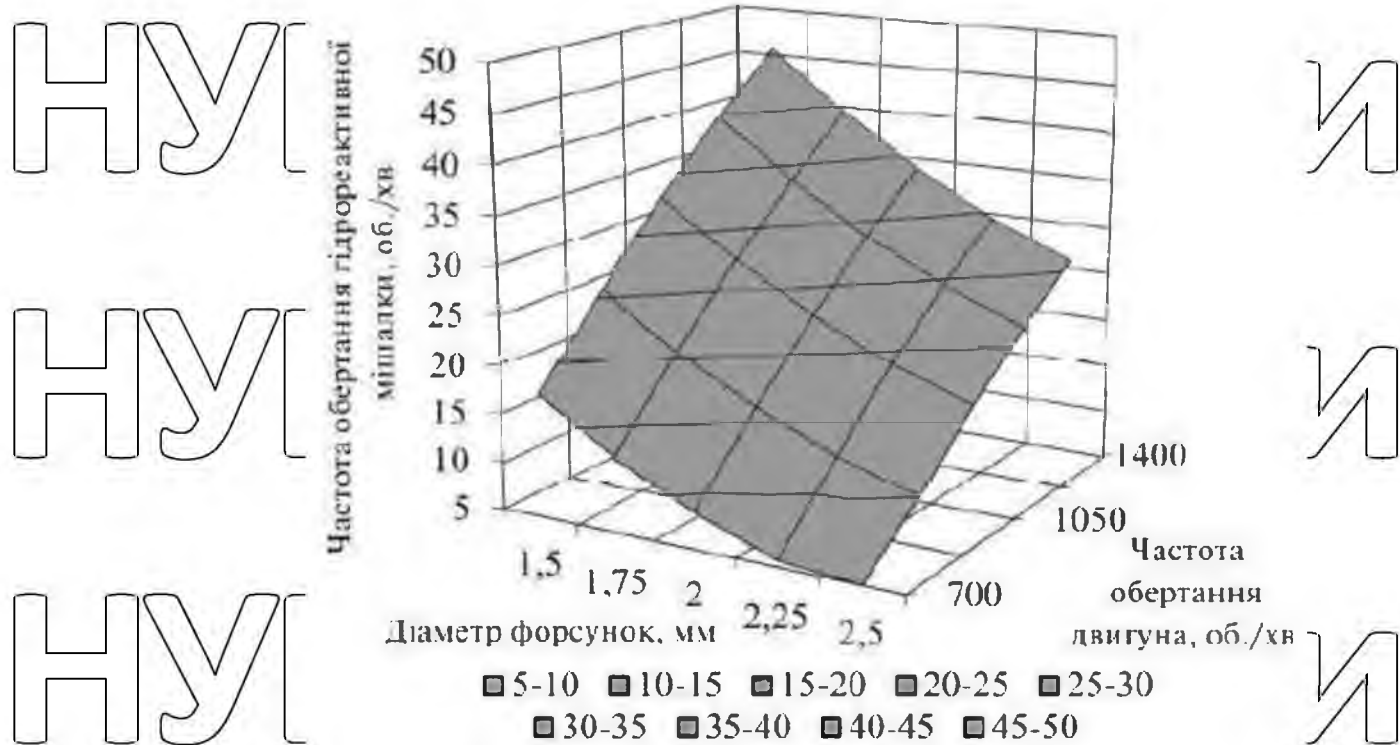


Рис. 3.10. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від обертання двигуна та діаметра форсунок

Також встановлено, що частота обертання гідрореактивної мішалки зменшується зі збільшенням кута нахилу лопаті (рис. 3.11), що пояснюється збільшенням лобового опору лопатей.

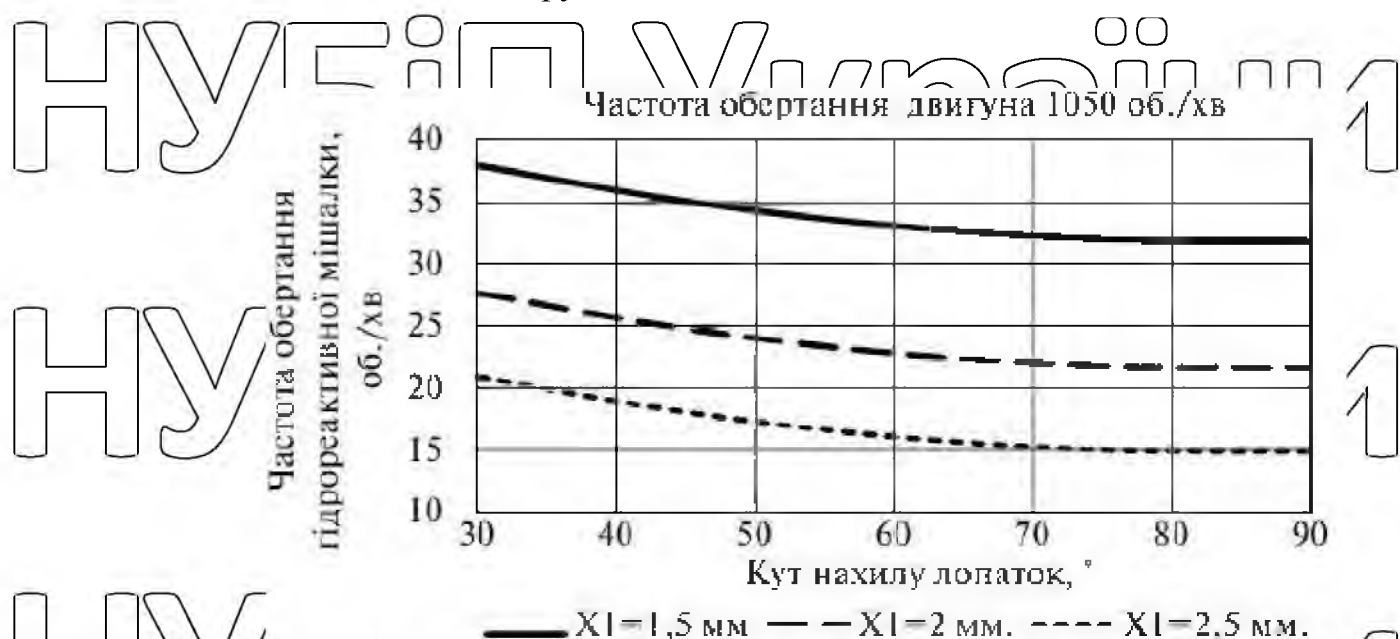


Рис. 3.11. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від кута нахилу лопаток

Зі збільшенням діаметра сопла частота обертання гідрореактивної мішалки зменшується (рис. 3.12), що пояснюється зменшенням реактивної сили, що приводить в рух гідрореактивну мішалку, за рахунок зменшення швидкості вильоту струменя.



Рис. 3.12. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від діаметра форсунок

Аналіз впливу кута нахилу лопатей і діаметра сопел на частоту обертання гідрореактивної мішалки показав, що зі збільшенням кута нахилу лопатей і діаметра сопел частота обертання гідрореактивної мішалки зменшується, що пояснюється збільшенням лобового опору лопатей, а також зменшенням реактивної сили, яка переміщує гідрореактивну мішалку за рахунок зниження швидкості вильоту струменя (рис.3.13).

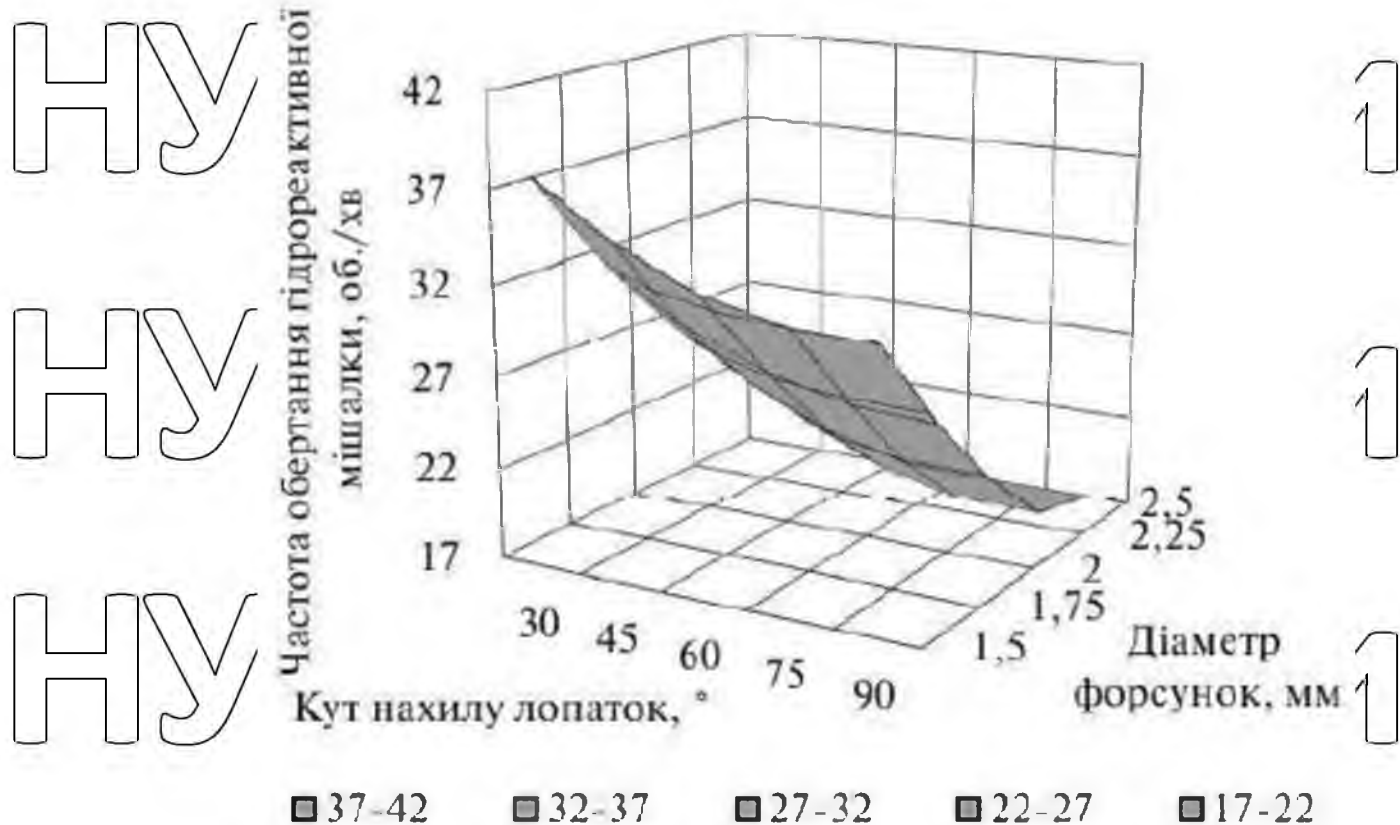


Рис. 3.13. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від діаметра форсунок та кута нахилу лопаток

Найбільша швидкість обертання гідрореактивної мішалки становить 38 об/хв при частоті обертання двигуна 1050 об/хв, кут нахилу лопатей 30°, діаметр форсунок 1,5 мм.

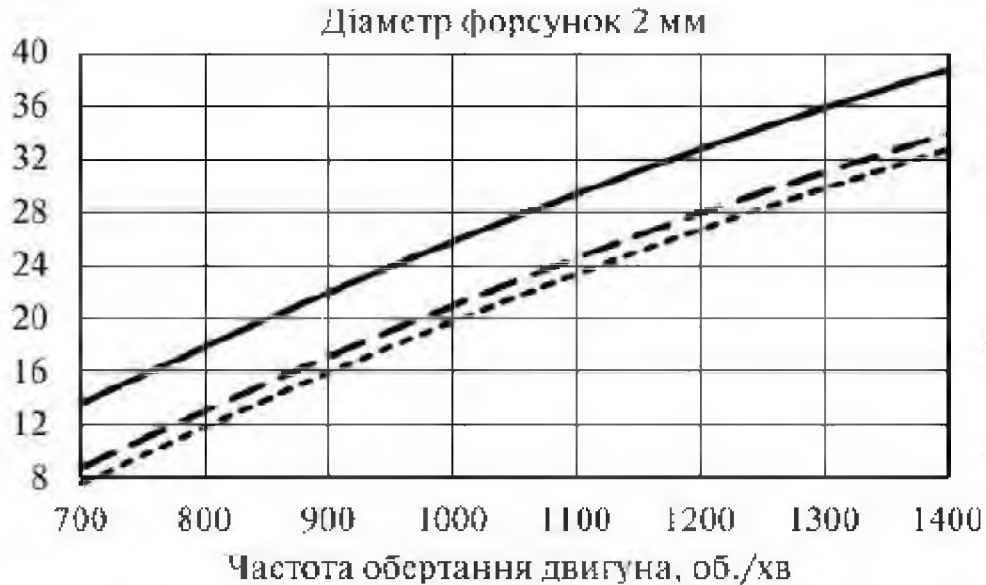
Частота обертання гідрореактивної мішалки також зростає зі збільшенням частоти обертання двигуна, що пояснюється збільшенням масового витрати рідини через форсунки (рис. 3.14).

НУ

НУ

НУ

Частота обертання гідрореактивної мішалки, об./хв



—  $\alpha = 30$  град.    - -  $\alpha = 60$  град.    - - -  $\alpha = 90$  град.

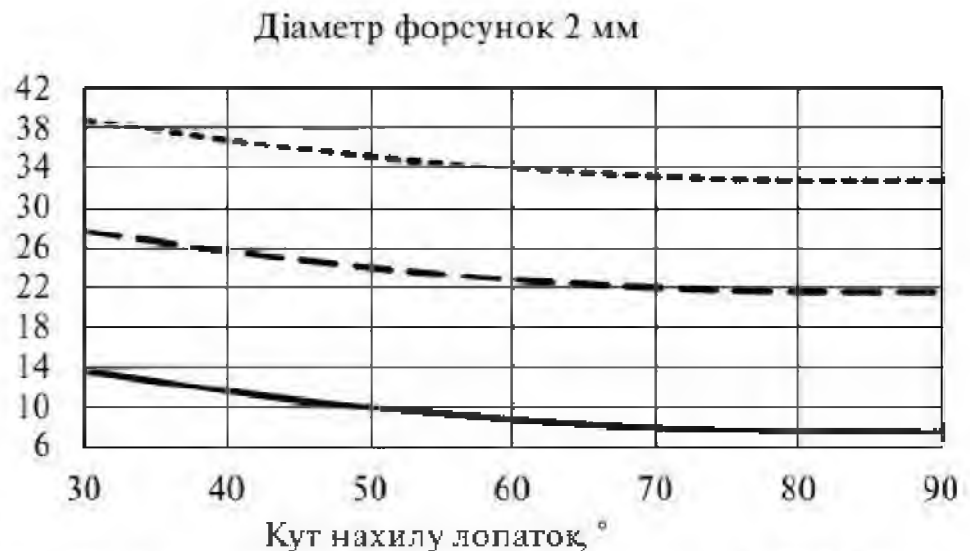
Рис. 3.14. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від частоти обертання двигуна

Визначено, що зі збільшенням кута нахилу допатеї частота обертання гідрореактивної мішалки зменшується (рис. 3.15), що пояснюється збільшенням лобового опору допатеї.

НУ

НУ

Частота обертання гідрореактивної мішалки, об./хв



—  $X_2 = 700$  об./хв.    - -  $X_2 = 1050$  об./хв.    - - -  $X_2 = 1400$  об./хв.

Рис. 3.15. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від кута нахилу допатеї

Аналіз впливу частоти обертання двигуна і кута лопаток на частоту обертання гідрореактивної мішалки показав (рис. 3.16), що зі збільшенням частоти обертання електродвигуна та зменшенням кута нахилу лопаток частота обертання гідрореактивної мішалки зростає.

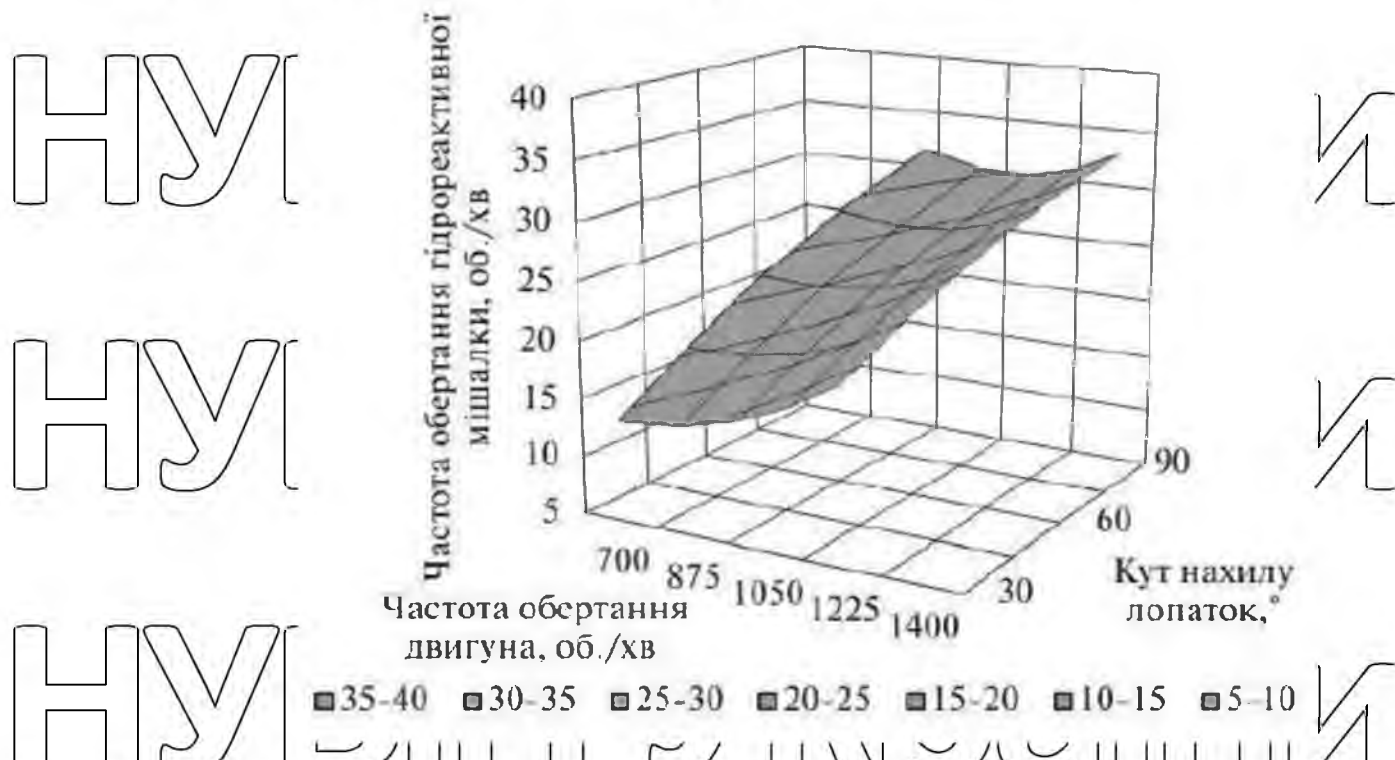


Рис. 3.16. Залежність частоти обертання гідрореактивної мішалки від кута нахилу лопаток та частоти обертання двигуна

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# ВИСНОВКИ

# НУБІП України

Для двигунів внутрішнього згорання основним джерелом енергії є нафтопродукти. Оскільки їх запаси зберігаються на 40 років, актуальним є розробка технологій та обладнання для виробництва альтернативних видів палива. Найбільшою альтернативою нафтовому дизельному паливу в Україні є біодизель, яке отримують шляхом переробки рослинних і тваринних жирів.

Біодизель має дещо гірші властивості в порівнянні з нафтовим ДП, особливо при роботі в низьких температурах.

Використання дизельного біопалива вимагає додаткового обладнання існуючих дизельних двигунів. При роботі двигуна на біодизелі спостерігається зниження його потужності і збільшення погодинної витрати палива.

Біодизель на основі рослинних олій має ряд переваг з екологічної точки зору: воно не шкодить, потрапляючи в навколишнє середовище.

Біодизель має добрі мастильні властивості, збільшує метанове число має високу температуру спалаху.

Експериментально встановлено, що частота змішування не впливає на кількісний вихід біодизеля та його температуру спалаху, яка залежить лише від часу відстоювання з доступом повітря. Кінематична в'язкість біодизеля зменшується зі збільшенням часу змішування та часу відстоювання при доступі повітря.

Використання біодизеля зменшує залежність країн від імпорту нафти та нафтопродуктів.

# НУБІП України



11.Шебанін В.С., Котикова О.І., Кормишкін Ю.А. Сільськогосподарські обслуговуючі кооперативи – інструмент розвитку сільських територій. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2013. № 3. С. 3–11.

12.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.

13.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 ІХ науково-практичної конференції. – 220 с. – С. 137- 143.

14. Маркова Е. В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е. В. Маркова, А. Н. Лисенков – М. : Наука, 1973. – 120 с.

15. Брянский Л. Н. Краткий справочник метролога / Л. Н. Брянский, А. С. Дойников. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 79 с.

16. Касандрова О. Н. Обработка результатов измерений / О. Н. Касандрова, В. В. Лебедев. – М. : Наука, 1970. – 104 с.

17. Малхорта М. Маркетинговые исследования / М. Малхорта, К. Нэреш. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 960 с.

18. Патент на винахід України (UA) № 105270,С02F 1/52 (2006.01). Відстійник / Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В.; заявник та патенто власник Голуб Г.А. – № а 201209577; заявл. 06.08.2012; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.

19. Зажигаев Л. С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Зажигаев Л. С., Китьян А. А., Романников Ю. И. – М. : Атомиздат, 1978. – 232 с.

20. Закс Л. Статическое оценивание / Закс Л. // – М. : Статистика, 1976.

21. Митков А. Я. Статистические методы в сельхозмашиностроении / Митков А. Я., Кардашевский С. В. – М.: Машиностроение, 1978. – 390 с.

22. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. ГОСТ 3900-85 – [Действителен с 87-01-01] – М.: Издательство стандартов, 1987– 40 с. – (Міждержавний стандарт).

23. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле. ГОСТ 6356-75 – [Действителен с 1977-01-01] – М.: Стандартиформ, 2006 – 5 с. – (Міждержавний стандарт).

24. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле. ГОСТ 4333-88 – [Действителен с 1988-01-07] – М.: Стандартиформ, 2005 – 5 с. – (Міждержавний стандарт).

25. ДСТУ ISO 3015:2012 Нефтепродукты. Метод визначення температури помутніння (ISO 3015:1992, IDT).

26. Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания. ГОСТ 20287-91 – [Действителен с 1992-01-01] – М.: Стандартиформ, 2006 – 9 с. – (Міждержавний стандарт).

27. Стенд обкаточно-тормозной КИ 5543 ГОСНИТИ Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: ГОСНИТИ, 1988. – 25с.

28. Павленко М.Ю. Дослідження процесу відстоювання соняшникової олії / М.Ю. Павленко, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2012. Вип 170, ч.1. – С. 61-64.

29. Голуб Г. А. Вплив параметрів естерифікації ріпакової олії на якість дизельного біопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // 35 наук. праць ПДАТУ – Сучасні проблеми збалансовано природокористування / Подільський державний аграрно-технічний університет, 2013. – С.193-198

30. Голуб Г. А. Вплив седиментації та концентрації реагентів на якість дизельного біопалива / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. УкрНДНВТ ім. Я. Погорілого. Дослідницьке, 2013. – Вип. 17 (31), кн. 2. – С. 267-271.

31. Голуб Г. А. Взаємозв'язок потужності насоса та параметрів гідрореактивної мішалки при перемішуванні рідкої 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.

32. Уминський С. Гідродинамічне обладнання для отримання біопалива / С. Уминський, С. Інютин // Техніка та технології АПК. Дослідницьке: 2013, – № 2 (41), – С. 11-13.

33. 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.

34. Филимонов А. И. Влияние температуры топлива на мощностные показатели тракторных дизелей / А. И. Филимонов, А. И. Шведский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1972. – №4. – С. 8-9.

35. Пучков Н. Г. Дизельные топлива / Пучков. Н. Г. – М.: Гостоптехиздат, 1953.–194 с.

36. Тракторы промышленные. Методы испытаний. ГОСТ 23734–98 – [Действующий с 01.07.2000] – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации – 2000 – 19 с.

37. Поліщук В. М. Технології виробництва біодизеля (огляд) / В. М. Поліщук, С. Є. Тарасенко, І. Д. Гуменюк [та ін.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Київ, 2010. – С. 354-359.

38. Посібник. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / За ред. Кравчука В. І., Дубровіна В. О. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2010. – С. 51-68.

39. Білецький І. С. Отримання дизельного біопалива на основі рослинних олій / І. С. Білецький // Збірник тез доповідей 67-ї всеукраїнської науково

студентської конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування» / Навчально-науковий технічний інститут Національного Університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – С. 102.

40. 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.

41. Муштрук М. Виробництво дизельного біопалива з технічних тваринних жирів / Муштрук М., Сухенко Ю., Сухенко В. // Техніка та технології АПК. Дослідницьке, 2013, – № 4 (43). – С. 17-20.

42. Муштрук М. Перспективні технології виробництва дизельного біопалива / Муштрук М., Сухенко Ю., Сухенко В. // Техніка та технології АПК. Дослідницьке, 2012, – № 9 (36), – С. 28-31.

43. Муштрук М. Технології і обладнання для виробництва дизельного біопалива з рослинних олій і тваринних жирів / Муштрук М., Сухенко Ю., Сухенко В. // Техніка та технології АПК. Дослідницьке, 2012, – № 12 (39), – С. 21-23.

44. Муштрук М. М. Технології і обладнання для виробництва дизельного біопалива з рослинних олій і тваринних жирів / М. М. Муштрук, Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко // 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.3. – С. 259-267.

45. 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.

46. Павленко М. Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М. Ю. Павленко, В. В. Чуба // 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. 71.

47. Голуб Г. А. Параметри кільцевого трубчатого етерифікатора для виробництва біодизельного палива / Г. А. Голуб, М. І. Вірьовка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редколегія: Д. О. Мельничук (відповідальний редактор) та інші – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 124-131.

48. Павленко М. Ю. Енергетичні показники процесу етерифікації ріпакової олії / М. Ю. Павленко, Голуб Г. А. // 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.3. – С. 91-100.

49. Альтернативна енергетика: [навч. Посібник для вищ. навч. закл.] / [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко та ін.]. – К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.

50. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко та ін.]. – К: «Аграр Медіа Груп», 2012. – 244 с.