

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

УДК 631.371: 620.92

МЕДВЕДЮК Михайло Павлович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування конструкційних та технологічних
параметрів циркуляційного реактора для отримання
дизельного біопалива**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

М. П. Медведюк

Керівник роботи

Ярош Я.Д.

Доктор технічних наук, доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Медведюк Михайло Павлович. Обґрунтування конструкційних та технологічних параметрів циркуляційного реактора для отримання дизельного біопалива. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Для отримання біодизельного палива, раціональним є спосіб переестерифікації. Для того що відбувалася переестерифікації емульсією необхідно постійно перемішувати, а це енергозатратно.

В роботі встановлено, що питання енергетичних витрат для гідравлічного перемішування емульсії в процесі виробництва біодизельного палива способом переестерифікації є відкритим.

Для виконання досліджень використано установку на базі циркуляційного реактора, який розроблено науковцями Поліського національного університету.

Визначено, що мінімальну питому споживану потужність 4300 Вт/м^3 забезпечують такі параметри циркуляційного реактора для виробництва біодизельного палива: частота обертання валу насосу станції для циркуляції емульсії – 300 об/хв, діаметр форсунок – 9 мм, кут встановлення форсунок – 47 град.

Ключові слова: емульсія, форсунка, потужність, перемішування, експеримент

ANNOTATION

Medvedyuk Mikhaylo. Substantiation of design and technological parameters of the circulating reactor for diesel biofuel production. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

To obtain biodiesel, a transesterification method is rational. In order for transesterification to take place, the emulsion must be constantly stirred, which is energy consuming.

The paper finds that the issue of energy costs for hydraulic mixing of the emulsion in the process of biodiesel production by transesterification is open.

To perform the research, we used an installation based on a circulating reactor, which was developed by scientists of Polissya National University.

It is determined that the minimum specific power consumption of 4300 W/m^3 is provided by the following parameters of the circulating reactor for biodiesel production: speed of the pump shaft of the station for emulsion circulation – 300 rpm, nozzle diameter – 9 mm, nozzle installation angle – 47 deg.

Key words: emulsion, nozzle, power, mixing, experiment

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИТЦВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	7
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ТА СПОСОБУ ПЕРЕМІШУВАННЯ ЕМУЛЬСІЇ. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО РЕАКТОРА	13
ВИСНОВКИ.....	20
Список використаних джерел.....	22

ВСТУП

Виробництво біодизельного палива в аграрних підприємствах є ускладненим через високі енергозатрати процесів виготовлення, цього палива. Велика частка цих енергетичних витрат необхідна для виконання перемішування. Проте, науковці Поліського національного університету пропонують використати гідравлічне перемішування. Але питання щодо впливу параметрів реактора для цього перемішування на енергозатрати досліджено недостатньо.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – забезпечити ефективне виробництво біодизельного біопалива шляхом оптимізації параметрів обладнання для його виготовлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі **наукові задачі**:

- виконати аналіз особливостей виробництва біодизельного палива;
- обґрунтування вибір установки для виробництва біодизельного палива та способу перемішування емульсії, розробити методику експериментальних досліджень;
- виконати експериментальні дослідження впливу параметрів реактора та процесу на енергетичні витрати.

Об’єкт дослідження: технологічний процес переестерифікації рослинної олії в циркуляційному реакторі.

Предмет дослідження: параметри технологічного процесу та реактора у взаємозв’язку із енергетичними витратами на перемішування емульсії.

Методи дослідження: Експериментальні дослідження виконувались згідно положень теорії імовірності та математичної статистики. В процесі проведення досліджень використовувалися стандартні та розроблені нами методики.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати дають змогу обґрунтувати енергетично ефективні параметри реактора для отримання біодизельного палива.

Структура та обсяг. Магістерська робота викладена на 24 сторінках, складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 20 найменувань, містить 9 рисунків, 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИТЦВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Фактором підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва та зменшення викидів парникових газів є використання палива власного виробництва, зокрема рідкого біодизеля [1, 2].

Для одержання біодизеля використовується процес переестерифікації [3]. Для швидкої і повної реакції в процесі переестерифікації використовуються метанольний і лужний каталізatori [4–6]. Після реакції переестерифікації відбувається поділ фази гліцерину та фази, що містить метилові ефіри жирної кислоти. Після додавання розчину метанолу-каталізатора в олію в реакторі утворюється двофазне середовище, непридатне для реакції переестерифікації. Отже, необхідне постійне перемішування для емульгування та ініціювання реакції [4, 5]. Утворюється контактна міжфазна поверхня, що збільшує швидкість реакції. Однак надмірне перемішування призводить до руйнування контактної поверхні, що запобігає повній реакції метанолізу та потребує значного споживання енергії [4, 5, 7]. Зменшення споживання енергії та максимізація повноти реакції метанолізу є важливими для виробництва біодизеля на підприємствах сільськогосподарських підприємств [4, 5].

Біодизель, що виробляється в реакторах, схожий на класичне дизельне паливо, але має більшу кінематичну в'язкість, температуру спалаху та температуру кипіння, нижчу теплотворну здатність [4, 7]. Тому використання біодизеля призводить до погіршення працездатності двигуна [8] та зниження ефективності машинно-тракторних агрегатів.

Реакція переестерифікації з лужними каталізаторами, такими як NaOH або KOH, найчастіше використовуються у виробництві біодизеля [7]. Біопаливо

виробляється із температурою 25–75°C та використовується каталізатор в обсязі від 0,4 до 1,6% від об'єму емульсії [6]. Рациональні параметри процесу переестерифікації відповідають температурі близько 40°C, молярне відношення метанол-олія 1:6, концентрація каталізатора 1%, інтенсивність перемішування 1,8 Вт/л, тривалість до 40 хв [4, 9].

Встановлено, що ефективність реакції формування біодизеля залежить від гідродинамічних умов [10] та вимагає визначення основних параметрів циркуляційного реактора та пошуку оптимальних методів перемішування. Відомі способи перемішування емульсії в реакторах малої ємності з використанням механічних мішалок [11, 12], фіксованих «статичних» гідравлічних змішувачів [13]. Цікавим є також використання звичайних [14] та обертових [15] реакторів. З досліджень випливає, що процес перемішування емульсії характеризується неефективним перемішуванням та знаним споживанням енергії.

Запропоновані технології виробництва біодизеля передбачають додаткове промивання та очищення [16], що ускладнює отримання дизельного палива на сільськогосподарських підприємствах.

Аналіз приводить до висновку, що наявне та перспективне обладнання для виробництва біодизеля не повністю забезпечує ефективність технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві.

Висновки до розділу. Розвиток енергоефективного обладнання та відповідних технологій має важливе значення для виробництва біодизеля та більш ефективного використання машинно-тракторних агрегатів, що живляться біодизелем, на об'єктах аграрних підприємств.

Аналіз проведених досліджень показує, що не дивлячись на детальне пропрацювання способів виробництва біодизельного палива, питання енергетичних витрат в процесі гідравлічного перемішування емульсії в процесі виробництва способом переестерифікації є відкритим.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ТА СПОСОБУ ПЕРЕМІШУВАННЯ ЕМУЛЬСІЇ. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для виконання досліджень ми будемо використовувати установку на базі циркуляційного реактора, який розроблено науковцями Поліського національного університету [15].

Біодизельне паливо в основному отримують за допомогою реакції алкоголізу, або як її ще називають реакції переестерифікації [16]. Для проходження цієї реакції використовують метанол. Для інтенсифікації реакції використовують лужні каталізатори NaOH та KOH у об'ємній масі від 0,5% до 1,7% [17]. В результаті переестерифікації відбувається процес розділення гліцеринів та олійних ефірів. Для того що відбувалася переестерифікації емульсією необхідно постійно перемішувати, а це енергозатратно [18, 19].

Науковцями встановлено, що інтенсивність перемішування можна виразити в витратах енергії на перемішуваний об'єм, наприклад для механічного перемішування такий параметр становить більше 1,8 Вт/л [20].

Для зменшення цих витрат в поліському національному університеті запропонували використовувати циркуляційне перемішування в спеціальному реакторі (рис. 2.1) [15]. У верхній частині реактора, за допомогою форсунок утворюється круговий потік емульсії та відбувається інтенсивне перемішування, яке сприяє більш повному контакту молекул олії та молекул спирту. В середній частині реактора перемішування сповільнюється, при цьому інтенсифікується протікання реакції переестерифікації. В нижній частині ректора збирається гліцерин (після закінчення процесу циркуляції емульсії). В процесі циркуляції

емульсії вона відкачується спеціальною станцією із нижньої частини реактора та подається до форсунок.

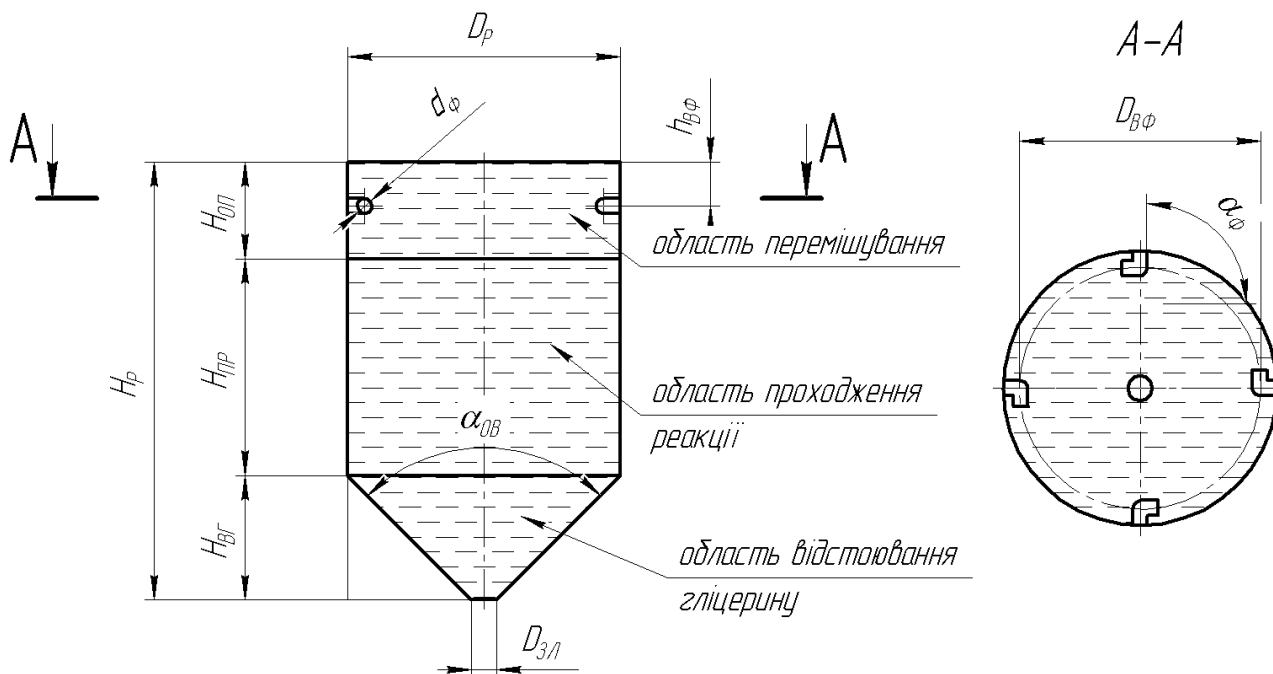


Рис. 2.1. Схема реактора для циркуляційного перемішування:

H_p – загальна висота, м; $H_{оп}$ – висота інтенсивного перемішування емульсії, м; $H_{пр}$ – висота повільного перемішування емульсії, м; $H_{вг}$ – висота утворення гліцеринового осаду, м, d_ϕ, α_ϕ – діаметр та кут встановлення форсунок для кругового перемішування емульсії, м та град, відповідно.

Крім реактора – 1, (рис. 2.2.) в склад дослідної установки входили: 2 – станція циркуляції емульсії, 3 – реєструвальне та управляюче обладнання. Нам необхідно було дослідити, як параметри форсунок та станції для циркуляції емульсії впливають на витрати енергії в процесі перемішування емульсії. Об'єм реактора становив 200 л.

Станція циркуляції емульсії містила гідравлічний шестеренчастий насос Тип-100, спеціальна муфта із датчиком частоти обертання, електродвигун (рис. 2.3.)



Рис. 2.2. Установка для дослідження нергоефективності процесу циркуляційної переестерифікації : 1 – циркуляційний реактор, 2 – станція для забезпечення циркуляції емульсії, 3 – реєструвальне та управляюче обладнання

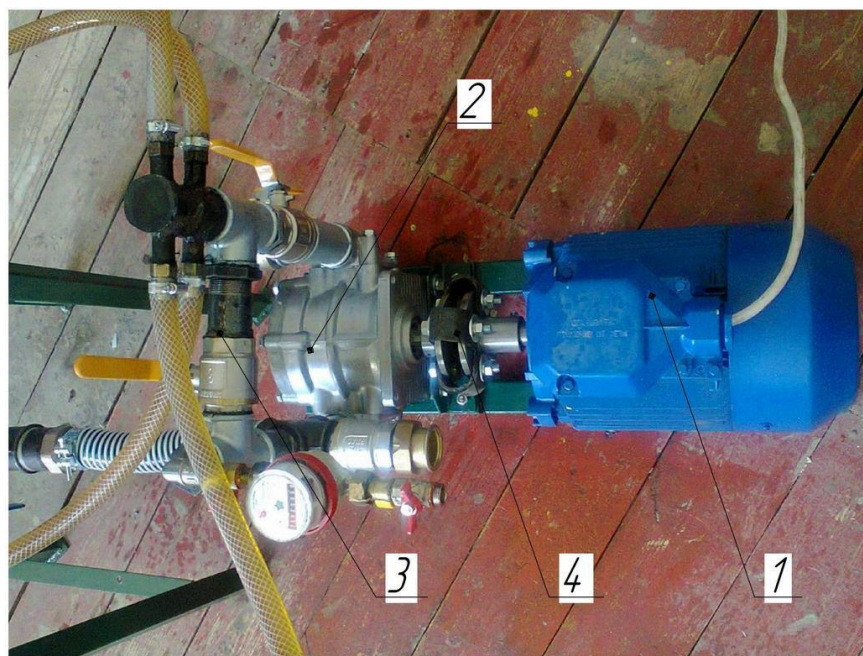


Рис. 2.3. Станція для забезпечення циркуляції емульсії: 1- електродвигун, 2 – шестеренчастий насос, 3 – трубки, 4 – муфта із датчиком частоти обертів

В процесі досліджень в реактор встановлювалися форсунки з отвором діаметром 5 мм, 7 мм, 9 мм. Також форсунки встановлювалися під кутом 0, 90 градусів та 45 градусів по дотичні до циліндричного корпусу реактора. Оберти валу електродвигуна змінювали за допомогою зміни частоти струму від 50 об/хв до 1500 об/хв із кроком 50 об/хв. В процесі виконання досліджень за допомогою спеціального пристрою – ватметра ми вимірювали споживану потужність.

Отримане в процесі переетерифікації біодизельне паливо перевірялося на кінематичну вязкість, густину, температуру спалаху.



Рис. 2.4. Прилад для визначення параметрів палива типу ТВЗ-ЛАБ-01

Крім того використовувалися: ареометр, термометри, віскозиметр, секундомір, мірні циліндри.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО РЕАКТОРА

В результаті проведення експериментальних досліджень, щодо впливу частоти обертів двигуна на споживану потужність отримано данні які наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Залежність споживаної потужності на від частоти обертів валу гідронасоса НШ-100 станції для забезпечення циркуляції емульсії (діаметр форсунок 7 мм, кут встановлення форсунок 45 град)

Частота обертів, об/хв	Споживан потужність, Вт	Питома потужність, Вт/м ³
100	65	6.5
200	48	4.8
300	47	4.7
400	57	5.7
500	80	8
600	104	10.4
700	131	13.1
800	165	16.5
900	210	21
1000	280	28
1100	350	35
1200	420	42
1300	490	49
1400	560	56
1500	620	62

Данні таблиці 3.1 можна відобразити у вигляді графіка (рис. 3.1)

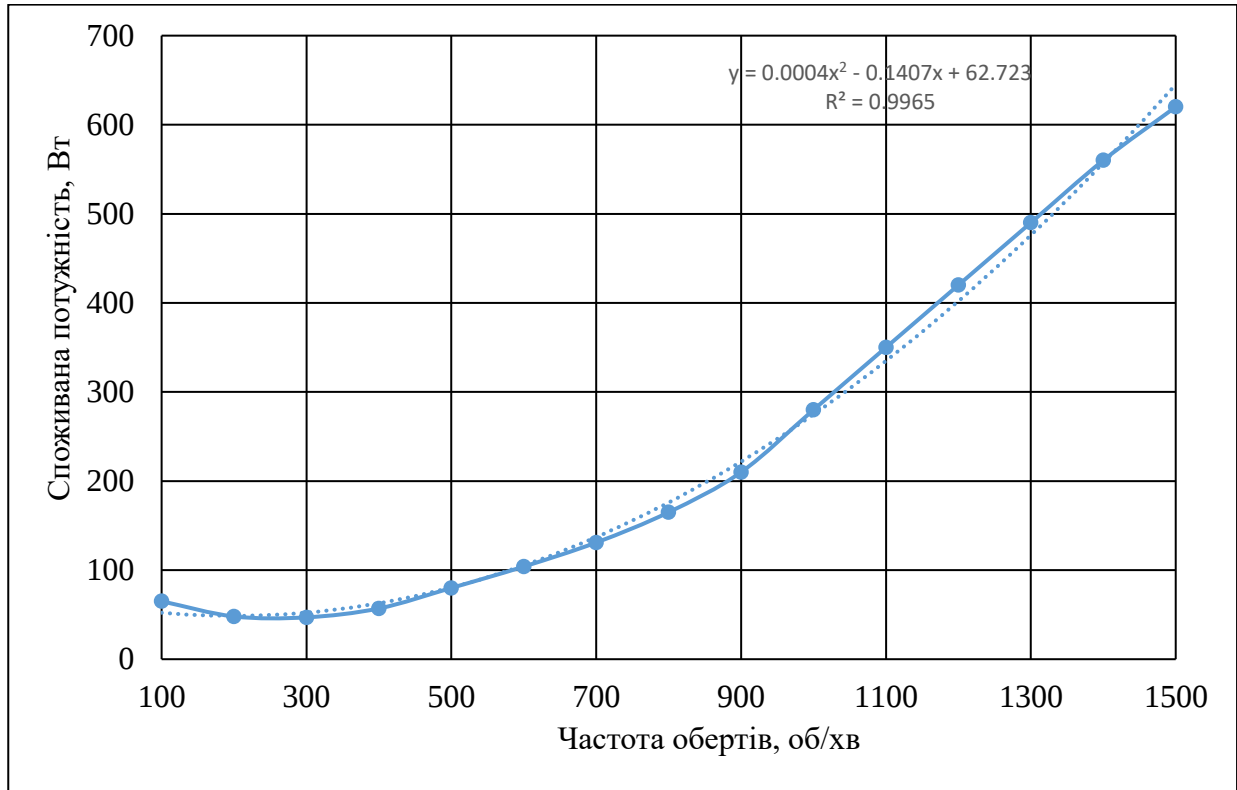


Рис. 3.1. Залежність споживаної потужності на від частоти обертів валу гідронасоса НШ-100 станції для забезпечення циркуляції емульсії (діаметр форсунок 7 мм, кут встановлення форсунок 45 град)

Залежність споживаної потужності від частоти обертів можна представити рівнянням 3.1 (з $R^2 = 0.9965$):

$$P = 0.0004n^2 - 0.1407n + 62.723 \quad (3.1)$$

де P — споживана потужність, Вт;

n — частота обертів валу шестеренчастого насоса, об/хв

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень можна зробити висновок, що найменша споживана потужність використовується при

номінальній частоті обертів вала гідронасоса, яка становить 300 об/хв і складає 47 Вт.

Необхідно зауважити що інтенсивність перемішування контролювалася візуально та було достатньою починаючи від 200 об/хв (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Візуалізація інтенсивності перемішування емульсії при 200 об/хв (діаметр форсунок 7 мм, кут встановлення форсунок 45 град)

Стосовно питомої споживаної потужності та її можна порівняти із мінімальною питомою потужністю при механічному перемішування емульсії та показати на графіку (рис. 3.3).

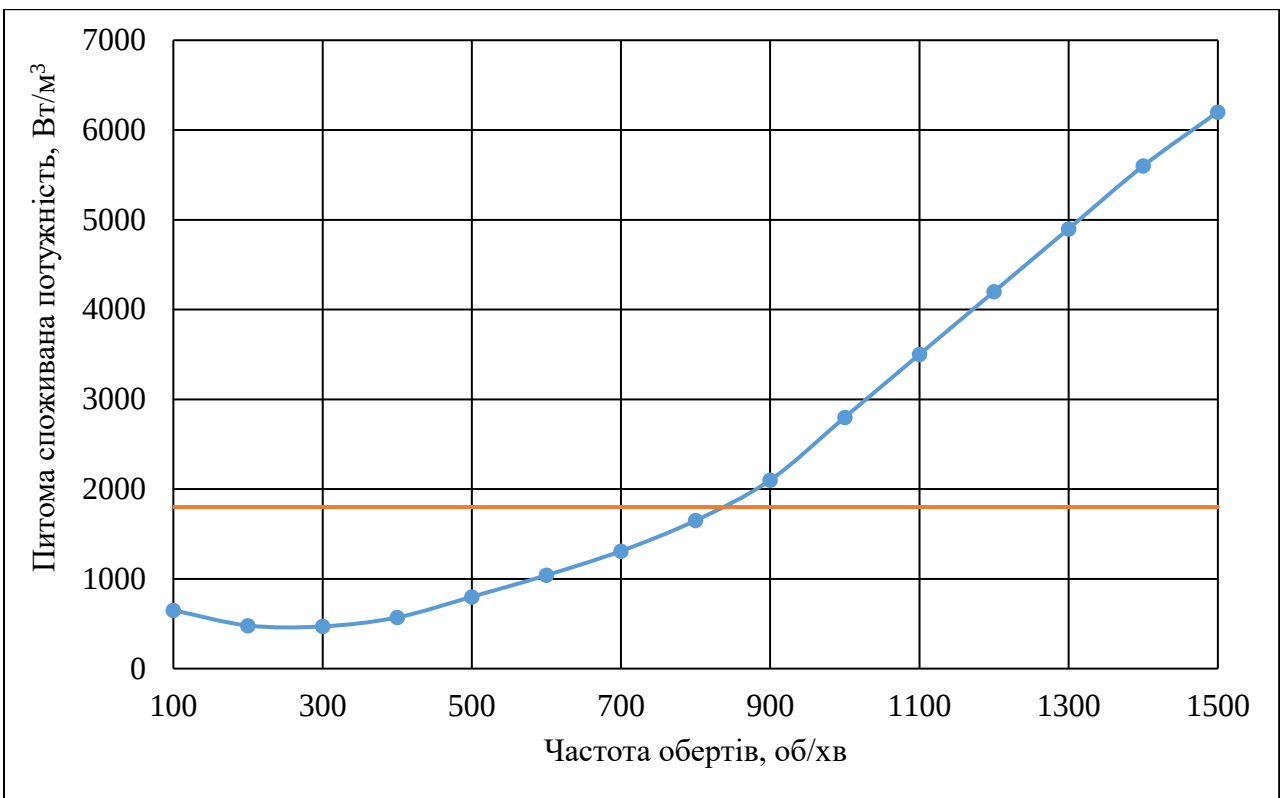


Рис. 3.3. Залежність питомої споживаної потужності на від частоти обертів валу гідронасоса НШ-100 станції для забезпечення циркуляції емульсії (діаметр форсунок 7 мм, кут встановлення форсунок 45 град)

Стосовно діаметра форсунок то ми провели дослідження для форсунок із різним діаметром, але встановивши їх під кутом 45 град фіксовану частоту обертання валу насоса 300 об/хв. Результат такого досліду наведено в таблиці 3.2 та на рисунку 3.4.

Таблиця 3.2. Залежність споживаної потужності на від діаметра форсунок (кут встановлення форсунок 45 град, частота обертів валу насосної станції 300 об/хв)

Діаметр форсунки, мм	Споживна потужність, Вт	Питома потужність, Вт/м³
5	63	6300
7	49	4900
9	44	4400

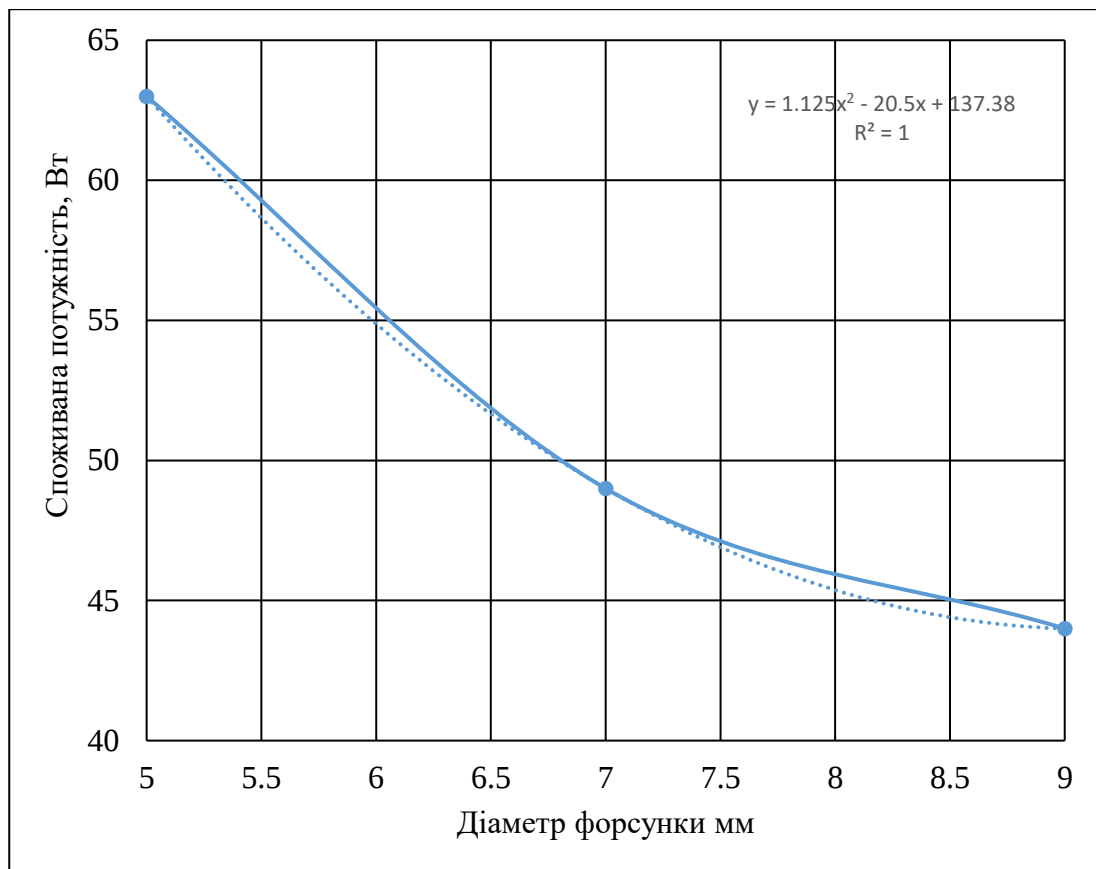


Рис. 3.4. Залежність споживаної потужності на від діаметра форсунок (кут встановлення форсунок 45 град, частота обертів валу насосної станції 300 об/хв)

Залежність споживаної потужності на від діаметра форсунок (кут встановлення форсунок 45 град, частота обертів валу насосної станції 300 об/хв) можна описати залежністю:

$$P = 1.125d^2 - 20.5d + 137.38 \quad (3.2)$$

де P – споживана потужність, Вт;

d – діаметр форсунки, мм

Потужність, що витрачається на перемішування емульсії із збільшенням діаметру отворів форсунки зменшується за квадратичною залежністю, що

пояснюється квадратичним зростанням гідравлічного опору при зменшенні діаметра форсунок. Використання діаметру форсунок більше 9 мм не забезпечує подальшого зменшення споживаної потужності, проте погіршує інтенсивність перемішування емульсії.

Результати дослідів, щодо впливу на споживану потужність кута встановлення форсунок наведено в таблиці 3.2 та представлено на графіку 3.5.

Таблиця 3.2. Залежність споживаної потужності на від кута встановлення форсунок (діаметр форсунок – 9 мм, частота обертів валу насосної станції 300 об/хв)

Кут встановлення, град	Споживна потужність, Вт	Питома потужність, Вт/м ³
0	48	4800
45	44	4400
90	47	4700

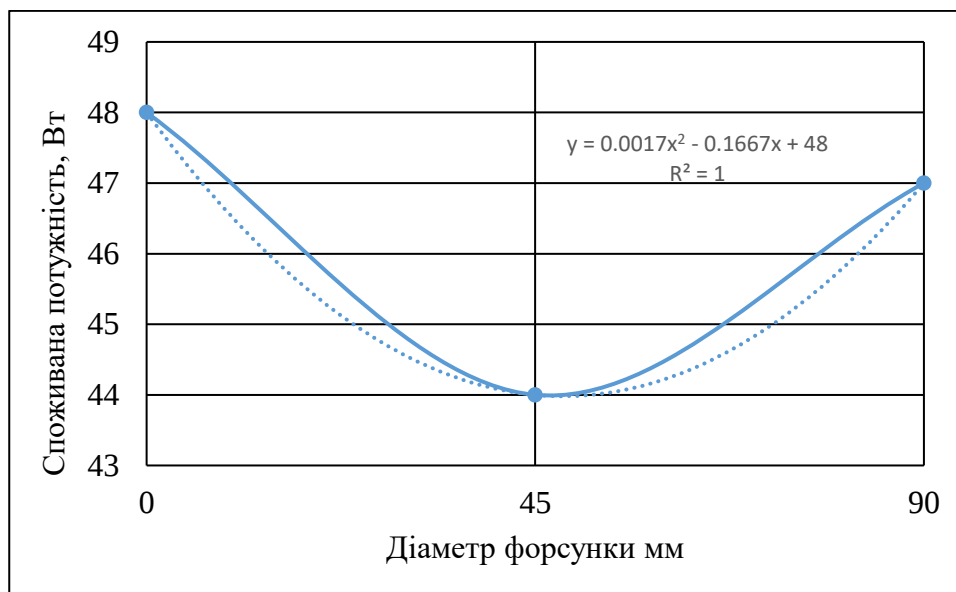


Рис. 3.5. Залежність споживаної потужності на від кута встановлення форсунок (діаметр форсунок – 9 мм, частота обертів валу насосної станції 300 об/хв)

Залежність споживаної потужності на від кута встановлення форсунок (діаметр форсунок 9 мм, частота обертів валу насосної станції 300 об/хв) можна описати залежністю:

$$P = 0.0017x^2 - 0.1667x + 48 \quad (3.2)$$

де P – споживана потужність, Вт;

x – кут встановлення форсунок, град

Визначено, що оптимальним значенням кута встановлення форсунок є кут 47 град, при цьому куті спостерігається найменша споживна потужність 43 Вт, що відповідає питомій споживаній потужності 4300 Вт/м³. Необхідно відмітити, що встановлення 4-х форсунок під кутом 47 град, забезпечує кругове перемішування емульсії із необхідною інтенсивністю.

Висновки до розділу. Встановлено, що мінімальну питому споживану потужність 4300 Вт/м³ забезпечують такі параметри: частота обертання валу насосу станції для циркуляції емульсії – 300 об/хв, діаметр форсунок – 9 мм, кут встановлення форсунок – 47 град.

ВИСНОВКИ

Розвиток енергоефективного обладнання та відповідних технологій має важливе значення для виробництва біодизеля та більш ефективного використання машинно-тракторних агрегатів, що живляться біодизелем, на об'єктах аграрних підприємств.

Аналіз проведених досліджень показує, що не дивлячись на детальне пропрацювання способів виробництва біодизельного палива, питання енергетичних витрат в процесі гідравлічного перемішування емульсії в процесі виробництва способом переестерифікації є відкритим.

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень можна зробити висновок, що найменша споживана потужність використовується при номінальній частоті обертів вала гідронасоса, яка становить 300 об/хв і складає 47 Вт.

Потужність, що витрачається на перемішування емульсії із збільшенням діаметру отворів форсунки зменшується за квадратичною залежністю, що пояснюється квадратичним зростанням гідравлічного опору при зменшенні діаметра форсунок. Використання діаметру форсунок більше 9 мм не забезпечує подальшого зменшення споживаної потужності, проте погіршує інтенсивність перемішування емульсії.

Визначено, що оптимальним значенням кута встановлення форсунок є кут 47 град, при цьому куті спостерігається найменша споживна потужність 43 Вт, що відповідає питомій споживаній потужності 4300 Вт/м³. Необхідно відмітити, що встановлення 4-х форсунок під кутом 47 град, забезпечує кругове перемішування емульсії із необхідною інтенсивністю.

Встановлено, що мінімальну питому споживану потужність 4300 Вт/м^3 забезпечують такі параметри циркуляційного реактора для виробництва біодизельного палива: частота обертання валу насоса станції для циркуляції емульсії – 300 об/хв, діаметр форсунок – 9 мм, кут встановлення форсунок – 47 град.

Список використаних джерел

1. Голуб Г.А., Кухарець С.М. Марус О.А. та ін. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. Київ : НУБіП України, 2016. 229 с.
2. Виробництво і використання біопалив в агроєкосистемах. Механіко-технологічні основи : монографія / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус О.А. Київ : НУБіП України, 2018. 254 с.
3. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець]. – К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
4. Gennadii Golub, Savelii Kukharets, Yaroslav Yarosh, Jonas Čėsna, Valentina Kukharets. The technological substantiation the energy self-sufficiency of agroecosystems in rural areas. Sustainable Development of Rural Areas: monograph / ed. prof. T. Zinchuk, prof. J. Ramanauskas. – Klaipėda: Klaipėda University; Kyiv: «Centre of Educational Literature», 2019. С. 185-208.
5. Ярош Я. Д. Встановлення раціональних параметрів змішувача із дисковою форсункою для отримання дизельного біопалива. Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. 2017. Вип. 36. С. 194–203.
6. Ярош Я. Д. Обґрунтування механіко-технологічних особливостей використання дизельного біопалива в аграрному виробництві. Наукові горизонти. 2018. № 4 (67). С. 17–23.
7. Golub, G. A., Kukharets, S. M., Yarosh, Y. D., Kukharets, V. V. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems. ISB-INMA THE, Agricultural and Mechanical Engineering. 2016. P. 145–154.

8. Baskar G., Aiswarya R.. Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks. In Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 57. P. 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.101>.
9. Пат. 133384 Україна, МПК (2006) C10L 1/00, C11C 3/04 (2006.01), B01J 14/00 Обладнання для виробництва дизельного біопалива / Голуб Г. А., Ярош Я.Д., Кухарець С. М., Чуба В. В.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u201807833; заявл. 13.07.2018; опубл. 10.04.2019; Бюл. №7.
10. Brásioa A. , Romanenko A., Santosa L., Fernandes N.. Modeling the effect of mixing in biodiesel production. Bioresource Technology. 2011. Vol. 102, Issue 11.P. 6508–6514.
11. Yarosh Y., Kukharets S., Tsyvenkova N. The determination of parameter of a reactor-mixer with a disk injector. Відновлювана енергетика. №2 (53). 2018. С. 80-87.
12. Пат. 116032 Україна, МПК C10L 1/00, C10L 1/08, C11C 3/04, B01J 14/00. Обладнання для виробництва дизельного біопалива / Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Кухарець С. М., Осипчук О. Ю. Чуба В. В.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № a201602328; заявл. 11.03.2016; опубл. 25.01.2018; Бюл. №2.
13. Эффективность использования оборудования для производства дизельного биотоплива / Г. Голуб, М. Павленко, С. Кухарец // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2016. Vol. 17, No 3. P. 11–16.

14. Біодизель та біоеталон. Модуль. / [В.А.Дубровін, Г.А.Голуб, В.М.Поліщук, К.М.Сера, О.А.Марус, С.В.Драгнев, М.Ю.Павленко, В.В.Чуба, С.М.Кухарець]. UNIDO, 2015. 54 с.
15. Rationale for the parameters of equipment for production and use of biodiesel in agricultural production / G. Golub, S. Kukharets, V. Chuba [et all]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. № 2/1 (86). P. 28-33. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.95937.
16. Golub G., Kukharets S., Yarosh Y., Chuba V., Medvedskyi O. Modeling of the Disk Nozzle Parameters in Biodiesel Production. International Journal of Renewable Energy Research, Vol.8, No.4, 2018, pp. 2096-2105.
17. Загальна хімія : підручник для студ. вищ. навч. закл. / [Карнаухов О. І., Копілевич В. А., Мельничук Д. О. та ін.]. К. : Фенікс, 2015. 840 с.
18. The Biodiesel Handbook / ed. G. Knothe, J.V. Gerpen, J. Krahl. – Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005. – 304 p.
19. Biodiesel Production Technology / [J. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszko et. al.] ; National Renewable Energy Laboratory subcontractor report NREL/SR-510-36244. 2014. 110 p.
20. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк ; пер. с пол. под ред. И. А. Щупляка. Л. : Химия, 1975. 384 с.