

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
РЕАКТОРІВ-РОЗДІЛЮВАЧІВ ІЗ ТАРИЛЧАСТИМ ЗМІШУВАЧЕМ**

*Розроблено методикау експериментальних досліджень із визначення основних параметрів реактора-розділювача для отримання дизельного біопалива з рослинної олії. За основу було прийнято технологію виробництва метилових ефірів жирних кислот з використанням метилату калію без підігріву реактора переетирифікації і промивки готового біодизельного палива. Встановлено режими роботи гідростанції, які забезпечують мінімальні затрати енергії на перемішування емульсії. За допомогою дослідної установки циркуляційного змішувача УВДБ-100Ф, продуктивністю 100л/год, встановлено вплив числа обертів насоса, на потужність, що витрачається на перемішування та циркуляцію емульсії. Отримане внаслідок пропонованого технологічного процесу із застосуванням циркуляційних реакторів змішувачів-розділювачів дизельне біопаливо має характеристики, що відповідають ДСТУ 3868-99 та ДСТУ 6081:2009.*

**Ключові слова:** розділювач, дизельне біопаливо, перемішування, потужність, тарілка.

---

© О. Ю. Осипчук, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба

\* Науковий керівник – доктор технічних наук С. М. Кухарець

## Постановка проблеми

Одержують біодизель або метилові ефіри жирних кислот у процесі етерифікації: з тригліцеридів олій при хімічній реакції алкоголізу [1, 2, 3].

Відомо, що реакція алкоголізу найбільш повно (до 98%) проходить при застосуванні метанолу, а потім знижується із збільшенням молекулярної маси спирту (у етанолу та пентанолу складає всього 35,3 і 11,5 % за масою, відповідно) [4], тому реакцію отримання метилових ефірів жирних кислот можна назвати метанолізом.

Найбільш широкого застосування набув метаноліз олій із лужним каталізатором [5, 6, 7, 8], при якому процес отримання біопалива проходить при температурі 20 – 70<sup>0</sup>С. При цьому використовують лужні каталізатори NaOH та KOH кількістю від 0,3% до 1,5% за масою тригліцеридів олій.

Після естерифікації відбувається операція розділення гліцеринової та ефірної фаз. Найпростіший та найменш енергозатратний спосіб розділення – це осадження більш важкої фракції.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Враховуючи, що метанол слабо розчиняється у рослинній олії [9], після додавання розчину метилового спирту в олію, рідини розташовуються шарами відповідно значенню їх густин. Отже, необхідно виконувати перемішування, що призводить до утворення двофазної системи – емульсія, у якої суцільне середовище – рослинна олія та дисперсійна фаза – розчин метанолу із лужним каталізатором. Очевидно, щоб утримувати емульсію у дисперсійному стані, її необхідно безперервно перемішувати (турбулізувати), [10, 11]. Чим більша міжфазна поверхня тим швидше проходить естерифікація, оскільки вона утворює поверхню контакту реагентів. Проте, інтенсивне перемішування призводить, до завчасного руйнування міжфазної поверхні, що в свою чергу не дозволяє відбутися реакції метанолізу в повній мірі. Тому, необхідно спочатку забезпечити рівномірне пошарове перемішування емульсії в області «перемішування», або «утворення дисперсійного стану емульсії» і в подальшому провести проходження реакції етерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії в області «проходження реакції» [12, 13].

З огляду на ресурсоощадність та енергоефективність раціональні параметри технологічного процесу естерифікації повинні відповідати встановленим параметрам: температура 40<sup>0</sup>С; співвідношення спирту до олій 6:1 моль:моль; кількість каталізатору 1%; інтенсивність перемішування 1,8 Вт/л; тривалість процесу 40 хвилин [14, 15].

## Мета, завдання та методика досліджень

Метою дослідження є встановлення енерговитрат при перемішуванні емульсії в процесі виробництва дизельного біопалива. Завданням дослідження є встановлення впливу числа обертів насоса, на потужність, що витрачається на

перемішування та циркуляцію емульсії. Дослідження проводилися за допомогою спеціально сконструйованої дослідної установки циркуляційного змішувача.

### Виклад основного матеріалу дослідження

З метою отримання метилових ефірів жирних кислот пропонується циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини по замкненому контуру. До схеми циркуляційного перемішування належать: посудина – гравітаційний розділювач, циркуляційний насос, трубопроводи, запірно-регулююча апаратура. Завдяки тому, що в корпусі розділювача встановлено тарілчастий змішувач, забезпечується рівномірне пошарове перемішування емульсії в зоні його розміщення. При відкачуванні емульсії з нижньої частини гравітаційного розділювача перемішаний шар емульсії опускається нижче, забезпечуючи проходження реакції етерифікації в умовах меншого рівня турбулізації суспензії і за рахунок цього досягається підвищення якості дизельного біопалива [15, 16]. Для проведення досліджень енергетичної ефективності циркуляційних змішувачів було розроблено експериментальну установку (рис. 1). До її складу ввійшли: циркуляційний реактор для етерифікації рослинної олії УВДБ-100Ф, гідростанція, керуюча, вимірювальна та фіксує апаратура – частотний перетворювач Hitachi 3G3JX A4075 EF, цифровий вимірювач DMK 30, що аналізує параметри споживання електроенергії, тахометр UT 372, ноутбук (рис. 2).

Для проведення випробувань використовувалися ріпакова олія, яка кількістю 160 л закачувалася за допомогою гідростанції до циркуляційного-змішувача для етерифікації.



*Рис. 1. Установка УВДБ-100Ф для дослідної перевірки енергетичної ефективності виробництва дизельного біопалива в циркуляційних змішувачах: 1 – циркулярний змішувач, 2 – гідростанція*

Гідростанція складалася із шестеренчастого насоса НШ 100, спеціально розробленої запобіжної муфти, асинхронного електродвигуна потужністю 5 кВт та номінальною частотою обертання 1500 об/хв і системи трубопроводів, оснащених спеціальними лічильниками.



Рис. 2. Блок виміральної та фіксуєчої апаратури

Під час процесу роботи гідростанція забезпечувала подачу олії змішувачу, що створював турбулентні струмені емульсії які і забезпечували необхідне перемішування та циркуляцію.

Під час проведення випробувань змінювалися: частота обертів гідронасоса  $n_n$  та фіксувалася потужність  $W_d$  споживана електродвигуном у процесі перемішування та циркуляції емульсії.

Частота обертів електродвигуна змінювалася за допомогою частотного перетворювача Hitachi 3G3JX A4075 EF та фіксувалася тахометром UT 372. Споживана потужність  $W_d$  фіксувалася за допомогою цифрового вимірювача DMK 30 та ноутбука, із встановленим відповідним програмним забезпеченням.

За регресійним нелінійним аналізом результатів досліджень енергетичної ефективності циркуляційного змішувача встановлено значення коефіцієнтів відповідного поліноміального регресійного рівняння:

$$N_d = 0,0004n^2 - 0,1836n + 161,68; \quad (1)$$

де  $N_d$  – потужність, що витрачається на циркуляцію та перемішування біомаси, Вт;  $n$  – число обертів гідронасоса, об/хв; адекватність запропонованого рівняння оцінено за критерієм Фішера  $\Phi = 2,44 < \Phi_T = 2,53$  ( $R^2=0,9812$ ).

Графічний розв'язок рівняння (1) дав змогу окреслити відповідний графік (рис. 3).

Значення споживаної потужності, отримані внаслідок експериментальних

досліджень, відповідають значенням потужності, розрахованим теоретично, відповідно до математичної моделі енергозберігаючого циркуляційного перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах.

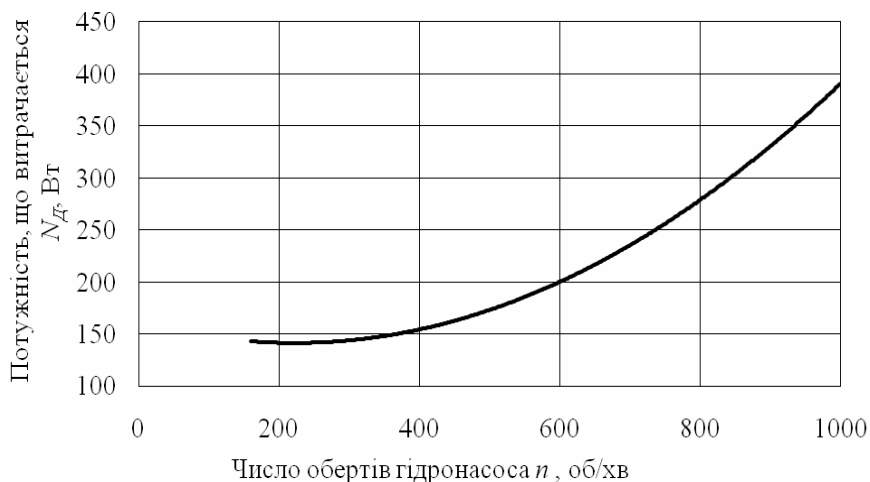


Рис. 3. Дослідна залежність потужності  $N_d$ , від частоти обертання гідронасоса  $n$

Отримане внаслідок запропонованого технологічного процесу із застосуванням циркуляційних реакторів змішувачів-розділювачів дизельне біопаливо має характеристики, що відповідають ДСТУ 3868-99 та ДСТУ 6081:2009.

#### Висновки та перспективи подальших досліджень

У діапазоні обертів гідронасоса  $n$  від 160 до 1000 об/хв споживана потужність змінюється в межах від 120 до 390 Вт і досягає мінімального значення при 200 об/хв.

У подальших дослідженнях необхідно встановити необхідну кількість циркуляцій емульсії для досягнення необхідної повноти реакції метанолізу.

#### Література

1. Артамонов П. А. Переэтерификация жиров : обзор / П. А. Артамонов. – М., 1962. – 71 с.
2. Гринберг Г. Модифицированные жиры / Г. Гринберг, Г. Щепанская. – М., 1973. – 152 с.
3. Загальна хімія : підручник / О. І. Карнаухов, В. А. Копілевич, Д. О. Мельничук [та ін.]. – К. : Фенікс, 2005. – 840 с.

4. Хімія жирів : підручник / Б. Н. Гютюнников, З. І. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий [та ін.] ; за ред. Ф. Ф. Гладкого. – Харків : НТУ „ХПІ”, 2002. – 452 с.
5. Кухарець С. М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Вісн. ЖНАЕУ. – 2012. – № 1, т. 1. – С. 345–352.
6. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / Г. М. Забарний, С. О. Кудря, Г. Г. Кондратюк, Г. О. Четверик. – К. : Ін-т відновлюваної енергетики, 2006. – 226 с.
7. Jon Van Gerpen. Biodiesel processing and production / J. Van Gerpen // Fuel Processing Technology. – 2005. – V. 86. – P. 1097–1107.
8. The Biodiesel Handbook / ed. G. Knothe, J. Van Gerpen, J. Krahl. – Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005. – 304 p.
9. Кухарець С. М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, В. М. Хрус // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – 2014. – Спец. вип. : Сучасні проблеми збалансованого природокористування : наук.-практ. конф. – С. 164–171.
10. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мишалками : пер. с польского / Ф. Стренк ; под. ред. И. А. Щупляка – Л. : Химия, 1975. – 384 с.
11. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности : пер. с чешского / З. Штербачек, П. Тауск ; под. ред. И. С. Павлушенко. – Л. : Госхимиздат, 1963. – 416 с.
12. Кухарець С. Н. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплив в агропромышленном комплексе / С. Н. Кухарець, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 69–75.
13. Голуб Г. А. Техніко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроєкосистеми / Г. А. Голуб // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Серія. Техніка та енергетика АПК – 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 303–312.
14. Драгнев С. В. Обґрунтування конструктивних параметрів періодичного реактора етерифікації рослинних олій / С. В. Драгнев, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 190–197.
15. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець ; за ред. Г. А. Голуба. – К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
16. Технічні та технологічні пропозиції отримання енергії із сировини сільськогосподарського походження / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, О. В. Скидан, О. Ю. Осипчук // Вісн. ЖНАЕУ. – 2015. – № 2 (50), т. 1. – С. 369–384.