

УДК 620.92

©Я. Д. Ярош, к.т.н.

Житомирський національний агроекологічний університет

ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА ІЗ ДИСКОВОЮ ФОРСУНКОЮ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Запропоновано оснастити циркуляційний змішувач дисковою форсункою, що дозволить отримувати дизельне біопаливо за рахунок пошарового перемішування емульсії. На основі рівняння нерозривності потоку встановлено активну довжину струменя емульсії та визначено основні геометричні параметри змішувача для виробництва дизельного біопалива. Застосування дискових форсунок у змішувачах дозволить виробляти дизельне біопаливо за спрощеною технологією в умовах сільського господарства.

ДИЗЕЛЬНЕ БІОПАЛИВО, ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЯ, ЗМІШУВАЧ, ДИСКОВА ФОРСУНКА

Постановка проблеми. Виробництво дизельного біопалива в аграрних підприємствах дозволить зменшити їх енергетичну залежність та підвищити економічну ефективність діяльності [1, 2, 3, 4, 5].

Дизельне біопаливо отримують в результаті процесу переетерифікації [3, 6, 7]. Для швидкого і повного проходження процесу переетерифікації необхідно використовувати метиловий спирт в комбінації із відповідним каталізатором [3, 7, 8, 9, 10]. Реакція переетерифікації необхідна для розділення гліцеринової фази та фази що містить метилові ефіри жирних кислот. Метиловий спирт, каталізатор та олія утворюють двофазне середовище, в якому проходження реакції переетерифікації уповільнено. Тому для інтенсивного проходження реакції необхідне утворення контактної міжфазної поверхні в однорідному середовищі, або емульсії, що досягається за рахунок постійного перемішуванню [3, 6, 7, 8, 9]. При цьому необхідно уникати занадто інтенсивного перемішування, що може призвести до руйнування міжфазної поверхні та уповільнить реакцію метанолізу. Крім того інтенсивне перемішування вимагає значних витрат енергії [3, 7, 9].

Тому є актуальним створення енергозберігаючого обладнання для виробництва дизельного біопалива палива в умовах аграрних підприємств із зменшення енерговитрат та досягненням максимальної повноти реакції метанолізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найчастіше для виробництва дизельного біопалива використовується метаноліз олій із лужним катализатором NaOH чи KOH [3, 7, 10]. Для якісного протікання процесу переетерифікації необхідний діапазон температур 20–70°C та використання лужних катализаторів у об'ємі від 0,3 % до 1,5 % за масою тригліцеридів олії [10]. Раціональні параметри технологічного процесу отримання дизельного біопалива при тривалості процесу до 40 хв, відповідають температурі 40°C, співвідношенню метилового спирту до олії 6 моль:1 моль, вмісту катализатора 1 % об'єму емульсії [8, 11].

Ефективне протікання реакції переетерифікації залежить, як від гідродинамічних умов [10], так і потребує знаходження раціональних способів перемішування [3, 7]. При виробництві дизельного біопалива часто застосовують перемішування емульсії в реакторах невеликої місткості із застосуванням механічних мішалок [12, 13, 14], нерухомих гідравлічних змішувачів-форсунок [13, 15, 16] та рухомих гідрореактивних мішалок [17]. Використовують також ферментаційні реактори звичайного [18] та обертового [19] типів. Проте виробництво дизельного біопалива за допомогою таких методів характеризується рядом недоліків, серед яких утворення областей застою емульсії [13, 15, 16], значні питомі енерговитрати [12, 13, 14, 17, 19], складність технологічного процесу [16, 18, 19]. Часто в технологіях виробництва дизельного біопалива використовують додаткові операції промивання [20] та очистки [21], що ускладнює технологічний процес отримання дизельного біопалива в умовах агарного виробництва.

Із аналізу досліджень встановлено, що основними характеристиками процесу отримання дизельного біопалива є ефективність перемішування і витрата енергії. Проведений аналіз також дозволяє зробити висновок, що існуюче та перспективне обладнання для виробництва дизельного біопалива не в повній мірі забезпечує енергоефективність і якість технологічного процесу в умовах сільськогосподарського виробника.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищити рівень енергетичної ефективності використання дизельного біопалива шляхом удосконалення технічних засобів для його виробництва.

Для досягнення мети сформовано такі завдання:

- удосконалити математичну модель енергозберігаючого перемішування емульсії у циркуляційних змішувачах із використанням дискової форсунки;
- встановити основні параметри змішувачів, що оснащені дисковою форсункою.

Результати дослідження. Для процесу етерифікації рослинних олій запропоновано циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини за замкненим контуром. Діскову форсунку встановлено у верхній частині змішувача (рис. 1) із можливістю її руху вздовж осі реактора.

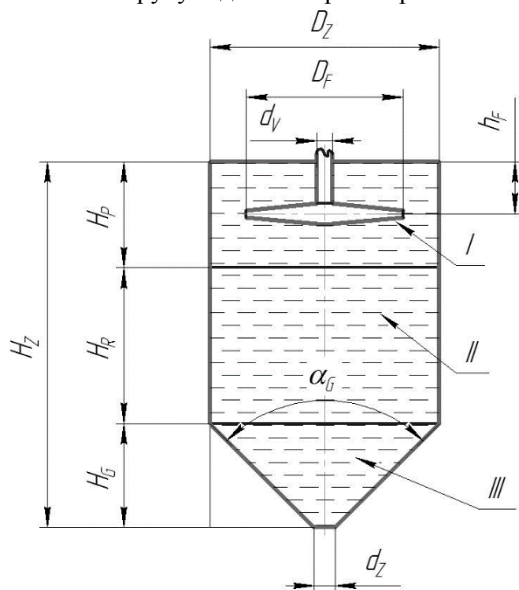


Рис. 1 – Структурна схема змішувача:

I – область перемішування; II – область проходження реакції; III – область відстоювання гліцерину; H_Z – висота розділювача, м; H_P – висота області перемішування, м; H_R – висота області перебігу реакції, м; H_G – висота області відстоювання гліцерину, м; D_Z – робочий діаметр розділювача, м; D_F – діаметр дискової форсунки, м; h_F – висота встановлення дискової форсунки, м; d_v – діаметр вхідного отвору дискової форсунки, м; d_z – діаметр отвору для зливання гліцерину, м; α_G – конусність області відстоювання, рад

При проходженні емульсії через дискову форсунку створюється турбулентний потік що забезпечує необхідну ефективність перемішування емульсії у прошарку фіксованої висоти. За рахунок відкачування емульсії із нижньої частини змішувача, шар емульсії опускається, інтенсивність перемішування зменшується, починається інтенсивне протікання реакції переетерифікації.

Струмінь емульсії, що витікає із дискової форсунки (рис. 2) поступово розширюється і завдяки дії в'язкості утворює в рух рідину яка знаходиться навколо струменя [3, 22, 23, 24, 25, 26]. Кут розширення для осесиметричного струменя можна позначити, як θ .

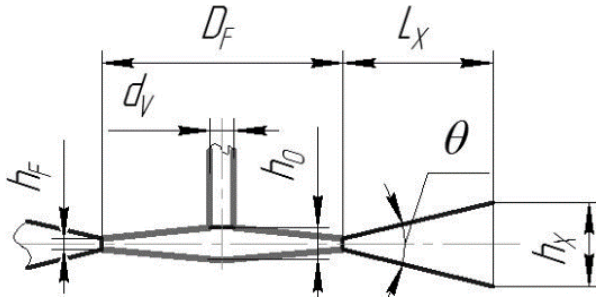


Рис. 2 – Схема дискової форсунки та струменя:

h_F – товщина сопла форсунки, м; h_0 – початкова товщина дискової форсунки, м; h_X – товщина струменя в активному перерізі, м; L_X – довжина активної частини струменя, м; D_F – діаметр дискової форсунки, м; d_V – діаметр вхідного отвору дискової форсунки, м; θ – кут розширення струменя, рад

Виходячи із умови нерозривності потоку [22, 23, 24, 25, 26] витрата емульсії у всіх перерізах форсунки та струменя однакова і дорівнює продуктивності гідронасоса (Q_V) тобто $Q_V = Q_0 = Q_F = Q_X$.

З метою уникнення додаткових втрат напору приймемо, що швидкість руху емульсії у всіх перерізах форсунки стала: $v_V = v_0 = v_F$.

Записавши площі поперечних перерізів:

$$\begin{cases} A_F = \pi D_F h_F, \\ A_0 = \pi D_0 h_0, \\ A_V = \pi d_V^2 / 4, \end{cases} \quad (1)$$

можна встановити робочу товщину дискової форсунки на виході:

$$h_F = \frac{D_0 h_0}{D_F} = \frac{d_V^2}{4 D_F}. \quad (2)$$

Товщина струменя (h_X) в активному перерізі становитиме:

$$h_X = h_F + 2 L_X \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta. \quad (3)$$

Швидкість в активному перерізі струменя можна встановити згідно з [23, 24], як для витікання рідини через отвори і насадки за формулою:

$$v_X = \frac{Q_0}{\pi \left(\frac{1}{2} D_F + L_X \right) \left(h_F + 2L_X \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta \right)}. \quad (4)$$

Прийнявши гідравлічний радіус (R_G) струменя в активному перерізі, як для прямокутного перерізу, можна знайти число Рейнольдса (Re), за яким можливо визначити активну довжину (L_X) струменя емульсії із необхідною інтенсивністю перемішування ($Re \geq 2320$) [3, 15, 23, 24]:

$$R_G = \frac{\pi \left(\frac{1}{2} D_F + L_X \right) \left(h_F + 2L_X \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta \right)}{\pi (D_F + 2L_X) + \left(2h_F + 4L_X \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta \right)}, \quad (5)$$

$$Re = \frac{Q_V}{v \left(L_X \left(2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta + \pi \right) + h_F + \frac{\pi D_F}{2} \right)} \geq 2320, \quad (6)$$

або

$$Re = \frac{Q_V \rho}{\eta \left(L_X \left(2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta + \pi \right) + h_F + \frac{\pi D_F}{2} \right)} \geq 2320, \quad (7)$$

де v – кінематична в'язкість емульсії, $\text{м}^2/\text{с}$.

η – динамічна в'язкість емульсії, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

ρ – густина емульсії, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Із формули (6) можна визначити значення активної довжини струменя емульсії:

$$L_X = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \theta + \pi} \left(\frac{Q_V \rho}{2320 \eta} - h_F - \frac{\pi D_F}{2} \right). \quad (8)$$

Встановлено залежність між продуктивністю (витратою емульсії) гідронасоса Q_V (рис. 3) та активною довжиною струменя L_X .

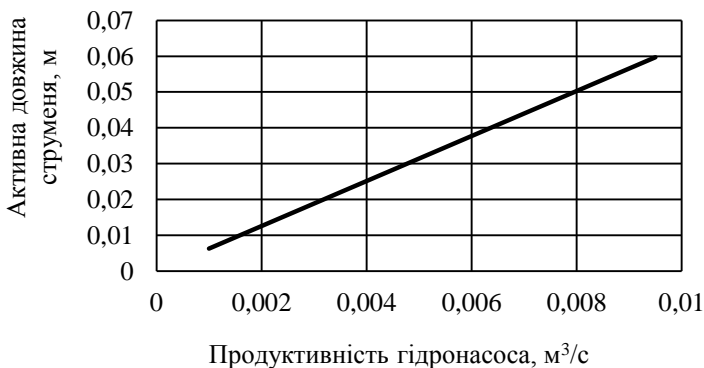


Рис. 3 – Залежність активної довжини струменя емульсії від продуктивності гідронасоса (динамічна в'язкість емульсії 0,02 Па·с)

Також, знайдено залежність між динамічною в'язкістю емульсії η та активною довжиною струменя L_x .

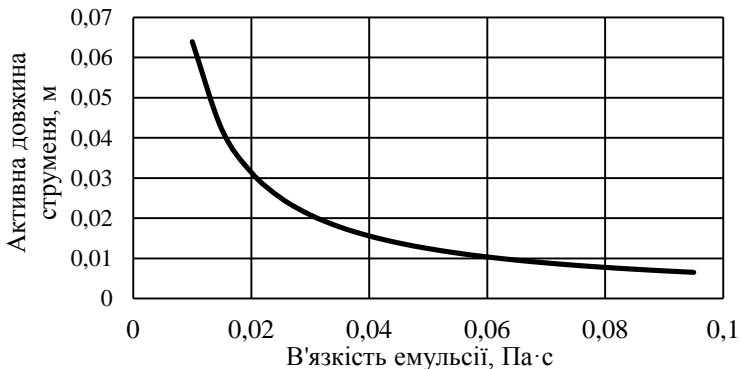


Рис. 4 – Залежність активної довжини струменя емульсії від динамічної в'язкості емульсії (продуктивність гідронасоса 0,005 м³/с)

На основі сумісного розв'язку рівнянь (3-8) можна встановити взаємозалежності між значеннями параметрів змішувача із дисковою форсункою та виходячи із конструкційних міркувань встановити основні розміри з геометричними мішувача (табл. 1).

Отримані значення параметрів можуть бути використанні при проектуванні різного типорозміру змішувачів для отримання дизельного біопалива.

Таблиця – Раціональні параметри змішувачів

Параметр	Внутрішній діаметр реактора D_z , м					
	0,8	1,2	1,4	2,2	3,0	3,2
Номінальний об'єм V_p , м ³	0,4	1	2	10	50	63
Діаметр дискової форсунки D_f , м	0,75	1,10	1,30	2,05	2,80	3,00
Товщина сопла форсунки h_f , мм	5	5	5	10	10	10
Висота області перемішування H_p , м	0,077	0,095	0,100	0,11	0,12	0,13
Висота розділювача H_z , м	0,95	1,10	1,60	3,00	7,65	8,45
Подача насоса Q_v , м ³ /с	0,006	0,008	0,009	0,011	0,012	0,014
Теоретична потужність насосу N_T , Вт	96	128	144	176	192	224
Питома потужність насосу n_T , Вт/м ³	240,0	128,0	72,0	17,6	3,8	3,6

Переставленні матеріал є розвитком досліджень згідно науково-дослідних тем «Розробити механіко-технологічні основи ресурсозберігаючого органічного виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив в агроекосистемах з підвищеним рівнем енергетичної автономності» (номер державної реєстрації 0114U000660) та «Створити механіко-технологічні основи ресурсозберігаючого виробництва і використання біопалив в енергетично автономних агроекосистемах (номер державної реєстрації 0115U003375).

Застосування дискових форсунок у змішувачах дозволяє виробляти дизельне біопаливо за спрощеною технологією та отримати повне видалення із змішувача чистих метилових-ефірів жирних кислот в умовах сільського господарства. Подальші дослідження необхідно спрямувати на розроблення систем зберігання дизельного біопалива та подальшого використання в якості енергетичного ресурсу для сушарок сільськогосподарської сировини.

Висновки. 1. На основі рівняння нерозривності потоку із урахуванням числа Рейнольдса встановлено активну довжину струменя емульсії та визначено основні геометричні параметри змішувача для виробництва дизельного біопалива.

2. Основні параметри змішувача було визначено як типові для апаратів хімічної промисловості із конічним днищем. Для аграрного виробництва найбільш придатний змішувач робочого об'єму – 2 м³, із раціональним діаметром дискової форсунки – 1,10 м, товщиною сопла форсунки – 5 мм, внутрішнім діаметром реактора – 1,4 м, висотою –

1,60 м, робочим надлишковим тиском – 0,016 МПа, теоретичною потужністю гідронасоса – 144 Вт.

Література

1. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems [Text] / G. A. Golub, S. M. Kukharets, Y. D. Yarosh, V. V. Kukharets // ISB-INMA TEN. Agricultural and Mechanical Engineering. Bucharest.– 2016. – P. 145–154.
2. Ivanova B. A mathematical model formulation for the design of an integrated biodiesel-petroleum diesel blends system [Text] / B. Ivanova, S. Stoyanov // Energy. – 2016. – Vol. 99. – P. 221–236
3. Кухарець С. М. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи: монографія [Текст] / С.М. Кухарець – Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 192 с. Кухарець С. М.
4. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб [Текст] // Сільськогосподарські машини: зб. нук. ст. – Луцьк, 2013. – Вип. 24. – С. 187–194.
5. Голуб Г. А. Ефективність функціонування багатопрофільного сільськогосподарського підприємства [Текст] / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 212, ч. 2. – С. 35–44.
6. Modification of Biodiesel Reactor by using of Triple Obstacle within the Bubble Column Reactor [Text] / D. Wulandani, F. Ilham, Y. Fitriyan, A. Siswantara, H. Nabetani, S. Hagiwara // Energy Procedia. – Vol. 65. – 2015. – P. 83–89.
7. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій [Текст] / [Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, В. В. Чуба, С. М. Кухарець]. – К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
8. Baskar G. Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks [Text] / G. Baskar, R. Aiswarya // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol.57. –2016. – P. 496–504
9. Qiu Z. Process intensification technologies in continuous biodiesel production [Text] / Z. Qiu, L. Zhao, L. Weatherley // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – Vol. 49, Issue 4. – 2010. – P. 323–330.
10. Ehsan M. Production of Biodiesel Using Alkaline Based Catalysts From Waste Cooking Oil: A Case Study [Text] / M. Ehsan, H. Tofajjal // Procedia Engineering. – Vol. 105. – 2015. – P. 638–645.
11. Анализ процесса получения биодизельного горючего и обоснование основных параметров реактора–разделителя [Текст] / Г. Голуб, С. Кухарець, О. Осыпчук, В. Кухарець // Motrol. Commission of

motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 17, № 9. – P. 149–155.

12. Голуб Г. А. Аналіз технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива на її основі [Текст] / Г. А. Голуб, М. Ю. Павленко, С. В. Лук'янець // Техніко технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства. – Вип. 16 (30), кн. 2. – 2012. – С. 391-399.

13. Modeling the effect of mixing in biodiesel production [Text] / A. Brásioa, A. Romanenko, L. Santosa, N. Fernandes // Bioresource Technology. – Vol. 102, Issue 11. – 2011. – P. 6508–6514.

14. Драгнев С. В. Обґрунтування конструктивних параметрів періодичного реактора естерифікації рослинних олій [Текст] / С. В. Драгнев, С. М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 334–343.

15. Кухарець С. М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, В. М. Хрус [Текст] // Зб. наук. пр. Подільського держ. аграр.-техн. ун-ту. – Спец. вип. Сучасні проблеми збалансованого природокористування: наук.-практ. конф. – 2014. – С. 164–171.

16. Enhancement of biodiesel production reaction employing the static mixing [Text] / P. Sungwornpatansakul, J. Hiroi, Y. Nigahara, T. Jayasinghe, K. Yoshikawa // Fuel Processing Technology. – Vol. 116. – 2013. – P. 1–8.

17. Павленко М. Ю. Енергомісткість гідромеханічного перемішування при виробництві дизельного біопалива [Текст] / М. Ю. Павленко, Г. А. Голуб // Вісник Сумського національного аграрного університету. Механізація та автоматизація виробничих процесів. – Суми, 2014, Вип. 11 (26). – С. 39–42.

18. Enzymatic reactors for biodiesel synthesis: Present status and future prospects [Text] / J. Poppea, R. Fernandez-Lafuente, R. Rodriguesa, M. Ayuba // Biotechnology Advances. – Vol. 33, Issue 5. – 2015. – P. 511–525

19. Rotating packed bed reactor for enzymatic synthesis of biodiesel [Text] / J. Xua, C. Liua, M. Wanga, L. Shao, L. Denga, K. Niea, F. Wanga // Bioresource Technology. – Vol. 224. – 2017. – P. 292–297.

20. Alamsyah R. Design and Technical Testing for Crude Biodiesel Reactor Using Dry Methods: Comparison of Energy Analysis [Text] / R. Alamsyah, H. Loebis // Energy Procedia. – Vol. 47. – 2014. – P. 235-241.

21. Atadashi I. M. Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies / I. M. Atadashi // Alexandria Engineering Journal. – Vol. 54, Issue 4. – 2015. – P. 1265–1272

22. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности [Текст] / Штербачек З., Тауск П.; пер. счешского. Под. ред. И.С. Павлушенко – Л.: Госхимиздат, 1963. – 416 с.

23. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. Підручник [Текст] / [Дідур В.А, Савченко О.Д., Журавель Д.П., Мовчан С.І.] – К.: «Аграрна освіта», 2008. – 577 с., іл.

24. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Лойцянский Л.Г. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

25. Некрасов Б.Б. Гидравлика, насосы и гидроприводы [Текст] /Б.Б.Некрасов - Минск, 1985 – 420 с.

26. Гидромеханические машины и аппараты в химической промышленности [Текст] / В.Ф. Харин, Г.П. Кабанов, В.Н. Щербаков, В.И. Ганчуков, Л.Г. Деянова. – Красноярск: Сибирский технологический институт, 1978. – 125 с.