

УДК 631.371:620.92

## ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Я. Д. Ярош

*e-mail: yaroslav.yarosh76@gmail.com*

Житомирський національний агроекологічний університет  
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

*В аграрному виробництві, з метою зниження викидів вуглекислого газу та інших парникових газів, доречним є використання відновлюваного біопалива, зокрема рідкого дизельного біопалива.*

*Актуальним є створення енергозберігаючого обладнання і відповідних технологій для виробництва дизельного біопалива та підвищення ефективності використання техніки та обладнання на дизельному біопаливі в умовах аграрних підприємств так як існуюче та перспективне обладнання для виробництва дизельного біопалива не повною мірою забезпечує енергоефективність технологічного процесу в умовах сільськогосподарського виробника.*

*Метою роботи є підвищити рівень енергетичної ефективності використання дизельного біопалива шляхом удосконалення технічних засобів для його виробництва та споживання. Для досягнення мети було сформовано такі завдання: обґрунтувати технологію отримання дизельного біопалива за допомогою циркуляційних змішувачів-розділювачів; обґрунтувати технології використання дизельного біопалива для роботи техніки в сільськогосподарському виробництві.*

*Для процесу отримання дизельного біопалива запропоновано циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням емульсії за замкненим контуром.*

*Дизельне біопаливо пропонується виробляти із олії другого гарячого відтискання чи із олії, отриманої із зернового вороху.*

*Отримане дизельне біопаливо можна використовувати для енергозабезпечення зернових сушарок, машинно-тракторних агрегатів та інших аграрних машин та обладнання. Використання біологічних видів палива дозволить досягнути суттєвого підвищення енергетичної ефективності функціонування сільськогосподарського виробництва та зниження викидів вуглекислого газу та інших парникових газів.*

**Ключові слова:** дизельне біопаливо, олія, зерновий ворох, перемішування, гаряче відтискання.

### Постановка проблеми

Для суттєвого підвищення енергетичної ефективності функціонування сільськогосподарського виробництва та зниження викидів вуглекислого газу та інших парникових газів необхідним є використання відновлюваного біопалива, зокрема рідкого дизельного біопалива [1, 2].

Рідке дизельне біопаливо в основному отримують у процесі переетерифікації рослинної олії [3]. В цьому процесі для швидкого та повного проходження реакції застосовується метиловий спирт та лужний каталізатор [4–6]. У процесі проходження такої реакції відбувається розділення гліцерину та метилових ефірів жирних кислот. Проте, після введення в склад емульсії метилового спирту та каталізатора, утворюється двофазне середовище, в якому реакція переетерифікації не відбувається без перемішування із достатньою інтенсивністю [4, 5]. Під час перемішування створюється необхідна для протікання хімічної реакції

міжфазна контактна поверхня. Причому достатній рівень інтенсивності перемішування необхідно чітко встановити, адже надмірна інтенсивність перемішування призводить до руйнування новоствореної контактної поверхні та не дозволяє реакції метанолізу пройти повністю і вимагає значних енергетичних витрат [4, 5, 7]. Хоча саме зменшення енерговитрат та досягнення максимальної повноти реакції метанолізу є надзвичайно важливим фактором для виробництва дизельного біопалива в умовах аграрних підприємств [4, 5].

Отримане в реакторах дизельне біопаливо за своїми основними властивостями в основному подібне до дизельного палива, проте має вищу кінематичну в'язкість, температуру помутніння та застигання, меншу теплотворну здатність [4, 7]. Тому застосування дизельного біопалива призводить до погіршення експлуатаційних показників роботи відповідних машин та обладнання [8] та призводить до зниження ефективності роботи машинно-тракторних агрегатів.

Тому є актуальним створення енергозберігаючого обладнання і відповідних технологій для виробництва дизельного біопалива та підвищення ефективності використання техніки та обладнання на дизельному біопаливі в умовах аграрних підприємств.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

При виробництві дизельного біопалива використовується реакція переетерифікації або метаноліз олій із лужним каталізатором NaOH чи КОН [7]. Отримання біопалива проходить при температурі 20–70 С з використанням каталізаторів у кількості 0,3...1,5 % за масою тригліцеридів олії [6]. Раціональні параметри технологічного процесу переетерифікації відповідають температурі близько 40°C, співвідношенню метилового спирту до олії 6:1 моль:моль, об'ємному вмісту каталізатора 1 %, інтенсивності перемішування 1,8 Вт/л, тривалості процесу до 40 хв [4, 9].

Ефективне протікання реакції утворення дизельного біопалива залежить від гідродинамічних умов [10] і потребує визначення основних параметрів реактора-розділювача та знаходження раціональних способів перемішування. Відомі способи перемішування емульсії в реакторах невеликої місткості із застосуванням механічних мішалок [11, 12], нерухомих «статичних» гідравлічних змішувачів [13]. Цікавим також є використання ферментаційних реакторів звичайного [14] та обертового [15] типів. Із досліджень походить, що процес перемішування емульсії характеризується ефективністю перемішування і витратою енергії.

Пропоновані технології виробництва дизельного біопалива містять додаткові операції промивання [16] та очистки [17], що ускладнює отримання дизельного палива в умовах аграрного виробництва.

Широко проводяться дослідження впливу дизельного біопалива на показники роботи двигунів внутрішнього згоряння. Наприклад, в роботі [18] оцінено вплив навантаження двигуна на склад вихлопних газів. Також проводяться дослідження впливу використовуваного палива на потужність, питома витрату палива та димність двигуна [19]. Проаналізовані дослідження вказують на те, що дизельного біопалива витрачається на 12...15 % більше, ніж

звичайного дизельного палива. Практично відсутні дослідження щодо покращення експлуатаційних властивостей автотракторних двигунів при експлуатації в аграрних підприємствах. Також фактично відсутні дослідження щодо використання дизельного біопалива в інших процесах аграрного виробництва, зокрема при сушінні сільськогосподарської продукції.

Зважаючи на те, що функціонування аграрного виробництва вирішує основне завдання щодо забезпечення населення продуктами харчування та збереження навколишнього середовища [20, 21], то забезпечення власного виробництва, а також інших технологічних процесів та побутових потреб енергетичними ресурсами вимагає ретельного підходу до визначення ресурсного потенціалу сировини для виготовлення біопалива.

Ринкова ціна харчової рослинної олії є більшою за ціну дизельного палива, а тому виробництво дизельного біопалива із такої олії не є економічно доцільним [22, 23]. Для підвищення економічної доцільності доречним є використання двоступінчастого відтискання рослинної олії. За такого способу виробництва олії є можливість понизити вартість олії гарячого відтискання за рахунок тримання високоякісної олії холодного відтискання. Олію гарячого віджиму доречно використати для подальшим отриманням із неї дизельного біопалива.

Доречним є застосування переробки зернового вороху олійних культур з метою отримання дешевої сировини для виробництва дизельного біопалива [22]. Тому необхідна в оцінка потенціалу щодо отримання олії із зернового вороху олійних культур та можливостей виробництва якісного дизельного біопалива із такої сировини.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що існуюче та перспективне обладнання для виробництва дизельного біопалива не повною мірою забезпечує енергоефективність технологічного процесу в умовах сільськогосподарського виробника. А досліджень щодо впливу дизельного біопалива на техніко-експлуатаційні параметри машин та обладнання в сільськогосподарському виробництві недостатньо для забезпечення їх ефективної експлуатації.

### Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищити рівень енергетичної ефективності використання дизельного біопалива шляхом удосконалення технічних засобів для його виробництва та споживання.

Для досягнення мети було сформовано такі завдання:

– обґрунтувати технологію отримання дизельного біопалива за допомогою циркуляційних змішувачів-розділювачів;

– обґрунтувати технології використання дизельного біопалива для роботи машин та обладнання в сільськогосподарському виробництві.

### Результати досліджень

Для процесу переестерифікації рослинних олій запропоновано циркуляційне перемішування, що здійснюється багатократним перекачуванням рідини за замкненим контуром. Діскову форсунку встановлено у верхній частині змішувача (рис. 3) із можливістю її руху вздовж осі реактора-змішувача.

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 переестерифікації.

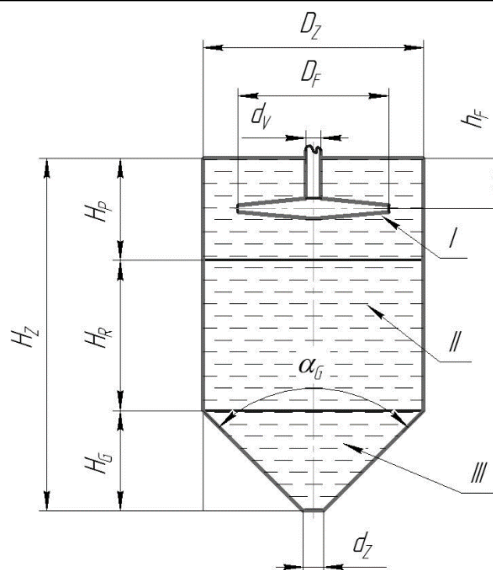


Рис. 1. Схема реактора-змішувача:

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;  $\alpha_G$  – конусність області відстоювання, рад

Наведені в таблиці 1 параметри дозволяють найбільш ефективно використовувати геометричну форму реактора-змішувача.

Таблиця 1. Раціональні параметри реакторів-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 <sup>3</sup>	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 $d$ , 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
Тиск у дисковій форсунці, кПа	16	16	16	16	16	16
Подача (витрата) насоса $Q_V$ , м <sup>3</sup> /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
Період однократної циркуляції емульсії, с	67	125	222	909	4167	4500

Пропонується технологічна схема агропромислового виробництва дизельного біопалива із використанням зернового вороху.

Сировину очищують від різних домішок, сушать до заданої норми вмісту вологи, потім подають на прес, на якому під тиском без нагріву

отримують неочищену олію першого вмістом олії, яку піддають другому (гарячому) (холодного) відтисканню та макуху з високим відтисканню (рис. 2).

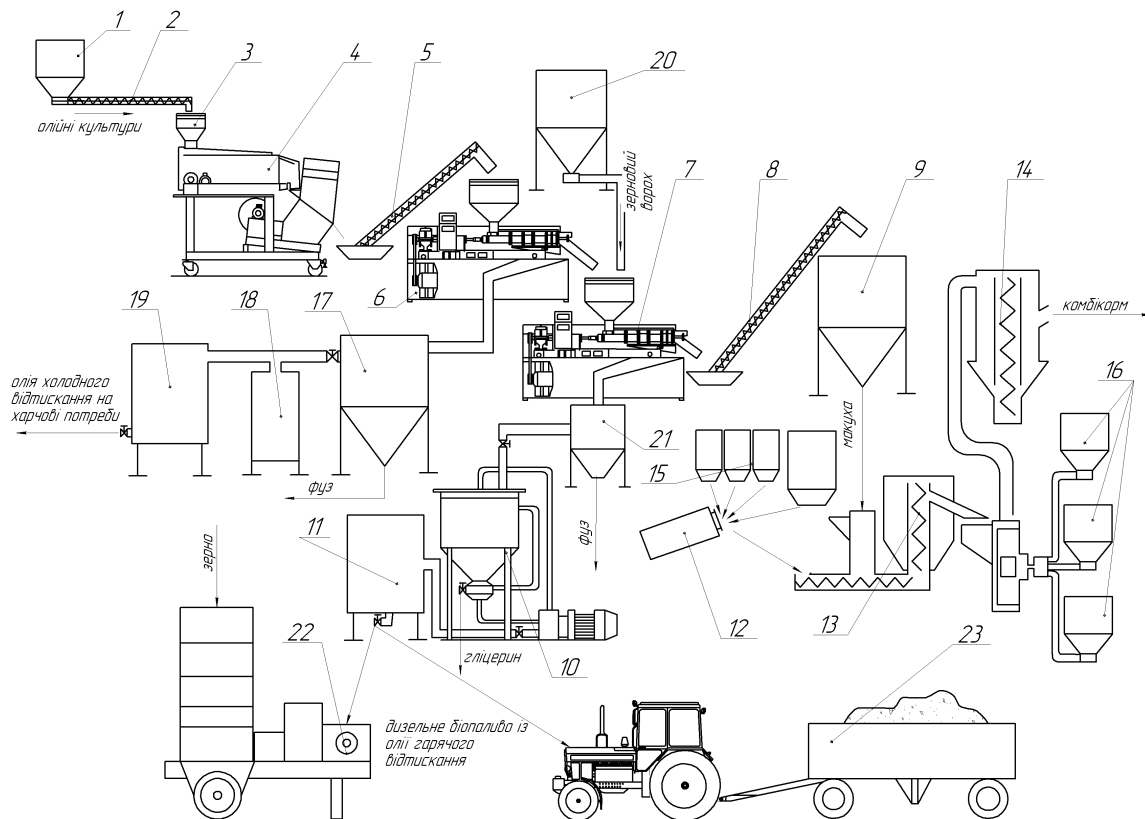


Рис. 2. Технологічна схема виробництва та використання дизельного біопалива:

1, 3, 9, 16 – бункера для зерна олійних культур, макухи та зернових компонентів; 2 – конвєр пружинний; 4 – комплекс зерноочисний; 5, 8 – шнекові транспортери; 6, 7 – преси шнекові – екструдери холодного та гарячого відтискання; 10 – обладнання для виробництва дизельного біопалива; 11, 15, 19, 20 – ємності для зберігання дизельного біопалива, кормових добавок, харчової олії та зернового вороху; 12 – змішувач мікродобавок; 13, 14 – вертикально-шнековий змішувач білково-вітамінних мінеральних добавок та комбікормів; 17, 21 – відстійники олії; 18 – кристалізатор; 22 – мобільна зерносушарка, 23 – машинно-тракторний агрегат.

Олію холодного відтискання очищають шляхом фільтрації або осадження, піддають вінтеризації, повторно фільтрують або осаджують та використовують для харчових потреб.

З метою зменшення вартості дизельного біопалива використовують ворох зернових культур, який очищають від різних домішок, сушать до заданої норми вмісту вологи, потім подають на прес, на якому під тиском із нагрівом отримують неочищену олію відтисканню.

Олію гарячого відтискання очищають шляхом осадження, піддають вінтеризації для видалення восків, повторно очищають шляхом

осадження та використовують як сировину для виробництва дизельного біопалива, а саме: при додаванні метилату калію проводять процес естерифікації, розділяють на фракції, отриманий метиловий ефір очищають шляхом осадження та відкачують у резервуар для зберігання дизельного біопалива.

На основі статистичних даних про збирання зернових культур нами було оцінено потенціал виробництва дизельного біопалива в Україні (таблиця 1).

Таблиця 2. Потенціал виробництва дизельного біопалива із олії, отриманої із зернового вороху в Україні (в середньому за 2014...2017 рр)

Олійна культура	Валове виробництво, тис. т	Вихід						Обсяги виробництва ДБП тис. т
		зернового вороху		олійної маси		олії		
		%	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	тис. т
Соняшник	11181,1	7	782,7	20	156,5	60	93,9	79,8
Соя	3930,6	3	117,9	20	23,6	60	14,2	12,0
Ріпак	1737,6	3	52,1	20	10,4	60	6,3	5,3
Всього	16849,3	952,7		190,5		114,3		97,2

Отримане дизельне біопаливо можна використовувати для енергозабезпечення зернових сушарок, машинно-тракторних агрегатів та інших аграрних машин та обладнання.

#### Висновки та перспективи подальших досліджень

Основні параметри реактора-змішувача для виробництва дизельного біопалива було визначено як типові для апаратів хімічної промисловості із конічним днищем. Для аграрного виробництва найбільш придатний реактор-змішувач робочого об'єму 2 м<sup>3</sup>, із діаметром дискової форсунки 1,10 м, товщиною сопла форсунки 5 мм, внутрішнім діаметром 1,4 м, висотою 1,60 м.

Для виробництва дизельного біопалива пропонується використовувати олію гарячого відтискання, що була отримана із макухи після холодного відтискання олії та із зернового вороху.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на адаптацію зернових сушарок до роботи на дизельному біопаливі.

#### References

- Golub, G. A., Kukharets, S. M., Yarosh, Y. D. & Kukharets, V. V. (2017). Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems. *ISB-INMA THEH Agricultural and Mechanical Engineering*, 51 (1), 93–100.
- Ivanova, B. & Stoyanov, S. (2016). A mathematical model formulation for the design of an integrated biodiesel-petroleum diesel blends

system. *Energy*, 99, 221–236

- Wulandania, D., Ilham, F., Fitriyan, Y., Siswantarab, A., Nabetanic, H. & Hagiwara, S. (2015). Modification of Biodiesel Reactor by using of Triple Obstacle within the Bubble Column Reactor. *Energy Procedia*, 65, 83–89.

- Baskar, G. & Aiswarya, R. (2016). Trends in catalytic production of biodiesel from various feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 496–504.

- Qiu, Z., Zhao, L. & Weatherley, L. (2010). Process intensification technologies in continuous biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(4), 323–330.

- Ehsan, M. & Tofajjal, H. (2015). Production of Biodiesel Using Alkaline Based Catalysts From Waste Cooking Oil: A Case Study. *Procedia Engineering*, 105, 638–645.

- Singh, S. & Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), 200–216.

- Golub, G. & Chuba, V. (2014). Modelirovanie ekspluatatsionnyih pokazateley raboty MTA na dizelnom biotoplive. *MOTROL, Commission of motorization and energetics in agriculture*, 16 (3), 66–73.

- Golub, G., Kuharets, S., Osyipchuk, O. & Kuharets, V. (2015). Analiz protsessa polucheniya biodizelnogo goryuchego i obosnovanie osnovnyih parametrov reaktora-razdelatelya. *Motrol, Commission of motorization and energetics in agriculture*, 17 (9), 149–155.

- Rahmat, B., Setiasih, I. & Kastaman, R.

(2013). Biodiesel Reactor Design with Glycerol Separation to Increase Biodiesel Production Yield. Makara. *Journal of Technology*, 17 (1), 11–16.

11. Golub, G. A., Pavlenko, M. Iu. & Luk'ianets, S. V. (2012). Analiz tekhnolohii vyrobnytstva roslynnoi olii ta dyzelnoho biopalyva na yii osnovi [Analysis of technologies of production of vegetable oil and diesel biofuels on its basis]. *Tekhnikotekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva*, 16 (30), 391–399 (in Ukrainian).

12. Brásioa, A., Romanenko, A., Santosa, L. & Fernandes, N. (2011). Modeling the effect of mixing in biodiesel production. *Bioresource Technology*, 102 (11), 6508–6514.

13. Sungwornpatansakul P., Hiroi J., Nigahara Y., Jayasinghe T. & Yoshikawa K. (2013). Enhancement of biodiesel production reaction employing the static mixing. *Fuel Processing Technology*, 116, 1–8.

14. Poppea, J., Fernandez-Lafuente, R., Rodrigues, R. & Ayuba, M. (2015). Enzymatic reactors for biodiesel synthesis: Present status and future prospects. *Biotechnology Advances*, 33 (5), 511–525.

15. Xua, J., Liua, C., Wanga, M., Shaob, L., Denga, L., Niea, K. & Wanga, F. (2017). Rotating packed bed reactor for enzymatic synthesis of biodiesel. *Bioresource Technology*, 224, 292–297.

16. Alamsyah, R. & Loebis, H. (2014). Design and Technical Testing for Crude Biodiesel Reactor Using Dry Methods: Comparison of Energy Analysis. *Energy Procedia*, 47, 235–241.

17. Atadashi, I. M. (2015). Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies. *Alexandria Engineering Journal*, 54 (4), 1265–1272.

18. Man, X., Cheung, C. & Ning, Z. (2015). Effect of Diesel Engine Operating Conditions on the Particulate Size, Nanostructure and Oxidation Properties when Using Wasting Cooking Oil Biodiesel. *Energy Procedia*, 66, 37–40.

19. Corsini, A., Marchegiani, A., Rispoli, F., Sciulli, F. & Venturini, P. (2015). Vegetable Oils as Fuels in Diesel Engine. Engine Performance and Emissions. *Energy Procedia*, 81, 942–949.

20. Kukharets, S. M. & Golub, G. A. (2012). Zabezpechennya enerhetychnoyi avtonomnosti ahroekosystem na osnovi vyrobnytstva biopalyva [Ensuring energy autonomy of agroecosystems on the basis of biofuel production]. *Visnyk*

*Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 1 (1), 345–352 (in Ukrainian).

21. Golub, G. A. & Kukharets, S. M. (2014). Modelyuvannya humusnoho stanu gruntovoho seredovyscha ahroekosystemy [Modeling of the humus state of the soil environment of the agro ecosystem]. *Naukovyy visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 196 (2), 20–27 (in Ukrainian).

22. Golub, G. A., Kukharets, S. M. & Marus, O. A. (2017). Bioenerhetychni systemy v aharnomu vyrobnytstvi [Bioenergy systems in agrarian production]. Kyiv: NUBiP Ukrainy (in Ukrainian).

23. Golub, G. A. & Lukyanets, S. V. (2012). Ekonomichna efektyvnist vyrobnytstva oliyi v silskohospodarskykh pidpryyemstva [Economic efficiency of oil production in agricultural enterprises]. *Ekonomika APK*, 4, 14–18 (in Ukrainian).

#### JUSTIFICATION OF MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF BIODIESEL USING IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Y. Yarosh

*e-mail: yaroslav.yarosh76@gmail.*

Zhytomyr National Agroecological University,  
Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10002, Ukraine

*Using of renewable biofuel, in particular liquid biodiesel, is appropriate in order to reduce emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases in sphere of agricultural production.*

*Development of energy saving equipment and related technologies is actual for the biofuel production and increasing efficiency of technical devices using biodiesel in the conditions of agrarian enterprises. Existing and promising equipment for the production of diesel biofuels does not fully ensure the energy efficiency of the technological process in the conditions of the agricultural producer.*

*Increasing of energy efficiency level during diesel biofuel using by improving the technical equipment for its production and consumption is the aim of the work. The following tasks were formed to achieve the goal: justification of receiving biodiesel with circulating mixers technology, justification of diesel biofuels using for the machinery exploitation in agricultural production.*

*Circulating mixing which is carried out by repeated transfer of the emulsion over a closed loop*

was proposed for the process of biodiesel production.

Diesel biofuel is proposed to be produced from oil of the second time hot pressing or from the grain waste oil.

Produced diesel biofuel can be used for the energy supply of grain dryers, tractor aggregates and other agrarian machinery and equipment. The use of biological fuels will achieve a significant increase in the energy efficiency of agricultural production and the reduction of carbon dioxide and other greenhouse gases.

**Keywords:** diesel biofuel, oil, grain waste, mixing, hot pressing.

### ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА В АГРАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Я. Д. Ярош**

*e-mail:* yaroslav.yarosh76@gmail.

Житомирский национальный агроэкологический университет

Старый бульвар, 7, г. Житомир, 10002, Украина

В аграрном производстве, с целью снижения выбросов углекислого газа и других парниковых газов, уместно использование возобновляемого биотоплива, в частности жидкого дизельного биотоплива.

Актуальным является создание энергосберегающего оборудования и соответствующих технологий для производства дизельного биотоплива и повышения эффективности использования техники и оборудования на дизельном биотопливе в условиях аграрных предприятий, так как существующее и перспективное оборудование для производства дизельного биотоплива не в полной мере обеспечивает энергоэффективность технологического

процесса в условиях сельскохозяйственного производителя.

Целью работы является повышение уровня энергетической эффективности использования дизельного биотоплива путем усовершенствования технических средств для его производства и потребления. Для достижения цели были сформулированы следующие задачи: обосновать технологию получения дизельного биотоплива с помощью циркуляционных смесителей-разделителей; обосновать технологии использования дизельного биотоплива для работы техники в сельскохозяйственном производстве.

Для процесса получения дизельного биотоплива предложено циркуляционное перемешивание, осуществляемое многократным перекачкой эмульсии по замкнутому контуру.

Дизельное биотопливо предлагается производить из масла второго отжима или из масла, полученного из зернового вороха.

Полученное дизельное биотопливо можно использовать для энергообеспечения зерновых сушилок, машинно-тракторных агрегатов и других аграрных машин и оборудования. Использование биологических видов топлива позволит достичь существенного повышения энергетической эффективности функционирования сельскохозяйственного производства и снижения выбросов углекислого газа и других парниковых газов.

**Ключевые слова:** дизельное биотопливо, масло, зерновой ворох, перемешивания, горячий отжим.