

УДК 631.371

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ МІШАЛКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Г.А. ГОЛУБ, д.т.н., проф., e-mail: gagolub@mail.ru, тел.: +38 095-311-50-50

М.Ю. ПАВЛЕНКО, інженер – Національний університет біоресурсів і природокористування України

РЕЗЮМЕ

Метою досліджень є удосконалення математичної моделі для визначення параметрів гідромеханічної мішалки при виробництві дизельного біопалива на основі рослинних олій.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базувалися на аналізі взаємодії лопаток з емульсією із використанням рівняння динаміки на основі другого закону Ньютона.

Результати досліджень. Визначено реактивну силу як добуток масового розходу на швидкість вильоту струї для умов гідромеханічного обертання мішалки, яка залежить від подачі та частоти обертання насоса, густини рослинної олії, площі перерізу форсунок та кількості форсунок. Отримано значення моменту опору гідромеханічної мішалки, який залежить від кутової швид-

кості та максимального радіуса у четвертій ступені. На основі отриманих значень сил і моментів було складено диференційне рівняння обертання гідромеханічної мішалки, яке дало можливість визначити динаміку кутової швидкості обертання гідромеханічної мішалки.

Висновки. Розроблена математична модель для визначення кутової швидкості обертання гідромеханічної мішалки в залежності від параметрів насоса, густини рослинної олії, фактичної площі перерізу форсунок та їх кількості, а також висоти та радіуса лопаток, що дозволяє визначити динаміку кутової швидкості обертання гідромеханічної мішалки та її усталене значення.

Ключові слова: дизельне біопаливо, реактивна сила, гідромеханічна мішалка, форсунка, лопатка, лобовий опір, підйомна сила.

UDC 631.371

MATHEMATICAL MODEL OF HYDRO-MECHANICAL STIRRER FOR BIODIESEL PRODUCTION

G.A. GOLUB, Doctor of Technical Sciences, Prof., e-mail: gagolub@mail.ru, tel.: +38 095-311-50-50

M.Yu. PAVLENKO, engineer – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

SUMMARY

The aim is to improve the mathematical model to determine the parameters in the production of hydro-mechanical stirrer biodiesel from vegetable oils.

Research Methods. Theoretical studies based on the analysis of the interaction of the blades with the emulsion using dynamic equations based on Newton's second law.

The results of research. The reaction force on the mass flow rate of the jet emission conditions for hydromechanical agitator rotation which depends on the pump flow, pump speed, the density of the vegetable oil, the nozzle cross-sectional area and the number of nozzles is defined. Get the value of the moment of resistance hydromechanical mixer, which

depends on the angular velocity and the maximum radius of the fourth degree. Based on the values of forces and moments has been compiled differential equation rotation hydromechanical mixer, which allowed to determine the dynamics of the angular velocity of rotation of hydromechanical mixer.

Conclusions. A mathematical model for determining the angular velocity of rotation of the agitator hydromechanical depending on the parameters of the pump, the density of oil, the actual cross-sectional area of nozzles and their number as well as the height and radius of the blades, to determine the dynamics of the angular velocity of rotation of the agitator and its hydro steady-state value.

Key words: biodiesel, reactive power hydromechanical agitator nozzle vane, drag, lift force.

УДК 631.371

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА

Г.А. ГОЛУБ, д.т.н., проф., e-mail: gagolub@mail.ru, тел.: +38 095-311-50-50

М.Ю. ПАВЛЕНКО, инженер – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

РЕЗЮМЕ

Целью исследований является совершенствование математической модели для определения параметров гидромеханической мешалки при производстве дизельного биотоплива на основе растительных масел.

Методы исследований. Теоретические исследования базировались на анализе взаимодействия лопаток с эмульсией с использованием уравнения динамики на основе второго закона Ньютона.

Результаты исследований. Определена реактивная сила как произведение массового расхода на скорость вылета струи для условий гидромеханического вращения мешалки, которая зависит от подачи и частоты вращения насоса, плотности растительного масла, площади сечения форсунки и количества форсунок. Получено значение момента сопротивления гидромеханической

мешалки, который зависит от угловой скорости и максимального радиуса в четвертой степени. На основе полученных значений сил и моментов было составлено дифференциальное уравнение вращения гидромеханической мешалки, которое позволило определить динамику угловой скорости вращения гидромеханической мешалки.

Выводы. Разработана математическая модель для определения угловой скорости вращения гидромеханической мешалки в зависимости от параметров насоса, плотности растительного масла, фактической площади сечения форсунок и их количества, а также высоты и радиуса лопаток, которая позволяет определить динамику угловой скорости вращения гидромеханической мешалки и ее установившееся значение.

Ключевые слова: дизельное биотопливо, реактивная сила, гидромеханическая мешалка, форсунка, лопатка, лобовое сопротивление, подъемная сила.

ПРОБЛЕМА

При виробництві дизельного біопалива одним із ключових етапів є процес естерифікації, який здійснюється завдяки перемішуванню рослинної олії та метилату калію. Перемішування визначає повноту проходження процесу естерифікації, який в свою чергу безпосередньо впливає на кількісні та якісні показники виходу дизельного біопалива. Перемішування компонентів необхідних для отримання дизельного біопалива може здійснюватись за допомогою гідродинамічної кавітації [19], механічного або гідромеханічного перемішування [2, 4, 5], а також циркуляційного турбулентного перемішування. Останнім часом є актуальним використання обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням гідромеханічного перемішування, яке відбувається за рахунок

вильоту суміші рослинної олії та метилату калію з форсунок, в результаті чого утворюється реактивна сила, яка створюється обертальний рух мішалки з лопатками, а ті в свою чергу здійснюють додаткове перемішування суміші [3]. Таким чином, маємо подвійне перемішування компонентів, за рахунок якого забезпечується якісне перемішування у всьому об'ємі суміші [9]. Визначення параметрів гідромеханічної мішалки при виробництві дизельного біопалива дозволить отримати дані для оптимізації роботи всього комплексу обладнання при естерифікації рослинної олії.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Вагомий внесок у теоретичні дослідження процесу виробництва дизельного

біопалива зробив Драгнев С.В. [11, 12, 13], який розробив математичну модель технологічного процесу естерифікації для виробництва дизельного біопалива на основі теорії нечіткої логіки та математично змоделивав адаптивний технологічний процес естерифікації рослинних олій в реакторах періодичної дії, а також Кухарець С.М. [16], який теоретично дослідив ефективність перемішування при створенні в струмені емульсії турбулентного режиму та обґрунтував конструктивні параметри гідродинамічного розділювача при виробництві дизельного біопалива.

Експериментально процес виробництва дизельного біопалива із визначенням впливу конструктивних та технологічних параметрів на якісний та кількісний вихід дизельного біопалива досліджували в роботі [14], Віршовка М.І. [7], Муштрук М.М. [18], Драгнев С.В. [10] та інші.

Таким чином, необхідність проведення теоретичного дослідження конструктивних параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням гідромеханічного змішування є досить актуальним.

Метою досліджень є удосконалення математичної моделі для визначення параметрів гідромеханічної мішалки при виробництві дизельного біопалива на основі рослинних олій.

Результати досліджень. Для розгляду взаємодії лопаток гідромеханічної мішалки із в'язким середовищем (компонентами для отримання дизельного біопалива) використана схема, яка зображена на рис. 1.

Лопатка гідромеханічної мішалки, у загальному випадку встановлюється під кутом α до напрямку руху лопатки. Рух лопатки здійснюється під дією реактивної сили струменя, що викидається із форсунок, встановлених на кінцях трубопроводів і в які подається суміш олій з метилатом калію. В'язке середовище (компоненти для отримання дизельного біопалива) протидіє переміщенню лопатки, що рухається під дією реактивної сили струменя. Як відомо, на лопатку діють складові нормальної реакції опору в'язкого середовища. При цьому горизонтальна складова нормальної реакції опору в'язкого середовища протидіє руху лопатки, а вертикальна створює підйомну силу діючу на лопатку.

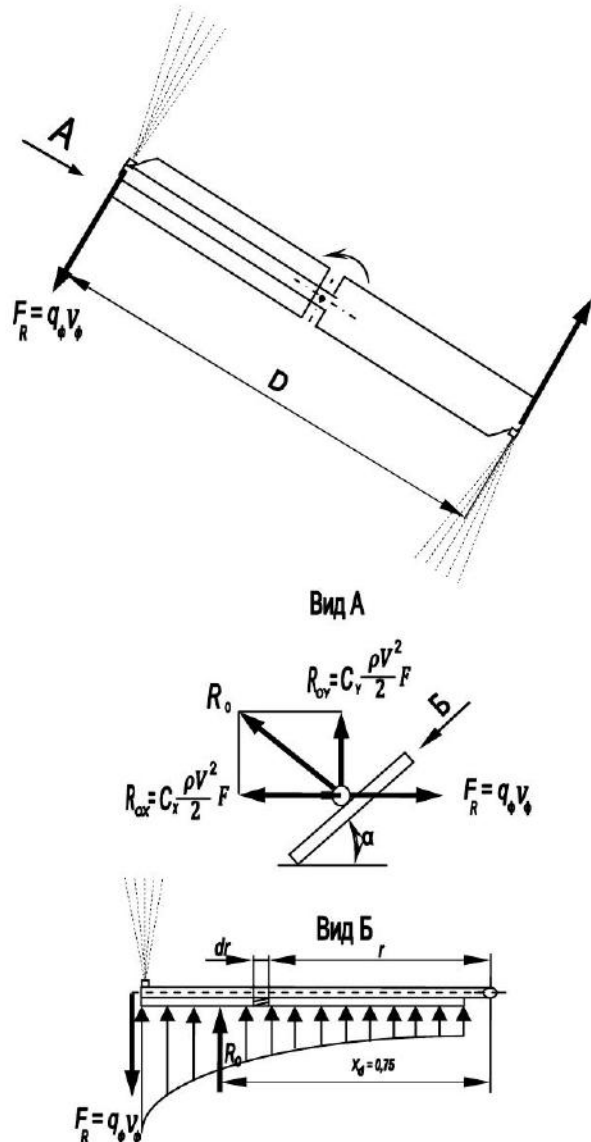


Рис. 1. Схема взаємодії лопаток гідромеханічної мішалки із в'язким середовищем

Fig. 1. Scheme of interaction of the blades of hydromechanical mixer with viscous environment

Реактивну силу струменя [15], що створює обертальний момент гідромеханічної лопатевої мішалки визначали із другого закону Ньютона при постійній швидкості вильоту струменя із урахуванням загальної кількості форсунок та параметрів подачі насоса. Із урахуванням цього сумарна реактивна сила всіх струменів при подачі в'язкого середовища насосом об'ємної дії становитиме:

$$F_R = \left(\frac{q_H n_H}{60} 10^{-6} \right)^2 \frac{\rho}{\mu S_\phi n_\phi} \quad (1)$$

де F_R – реактивна сила струменя, Н; q_H – подача насоса (для шестерінчастих насосів приймається згідно технічної характеристики), см³/об; n_H – частота обертання насоса, об/хв [1]; ρ – густина рідини, кг/м³; μ – коефіцієнт зменшення площі перерізу струменя при витіканні рідини із форсунки, відн. од [17]; S_ϕ – фактична площа перерізу форсунки, м²; n_ϕ – кількість форсунок, шт.

Рівнодіюча сил опору (повна аеродинамічна сила) може бути розкладена на дві складові, які в аеродинаміці називаються відповідно лобовим опором (сила напору) і підйомною силою. Ці складові визначалися згідно формули Ньютона для розрахунку сили перпендикулярної до площини пластинки, що діє на неї в потоці рідини. В'язке середовище (компоненти для отримання дизельного біопалива) протидіє переміщенню лопаток, що рухаються під дією реактивних сил струменів. При русі лопатки в реальній рідині, крім сили тиску на лопатку, яка перпендикулярна поверхні лопатки і прикладена в центрі тиску, будуть діяти сила тертя та сила опору обумовлені кінцевими розмірами лопатки, які направлені вздовж лопатки. Для врахування дії цих сил, а також інших недосліджених факторів, нами було введено безрозмірні коефіцієнти зміни підйомної сили лопатки k_Y та лобового опору k_X . Тоді складові повної аеродинамічної сили, врахувавши обертальний рух лопаток, можна записати наступним чином [20]:

$$R_{OX} = C_X k_X \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} A; \quad (2)$$

$$R_{OY} = C_Y k_Y \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} A \quad (3)$$

де C_X, C_Y – коефіцієнти відповідно лобового опору та підйомної сили лопатки, відн. од.; k_Y та k_X – безрозмірні коефіцієнти зміни підйомної сили лопатки та лобового опору, відн. од. ω – кутова швидкість обертання лопаток, рад/с; r – відстань від центру обертання до точки прикладення сил, м, A – площа пластинки, м².

Оскільки при обертанні лопаток наявний факт зміни лобового опору і підйомної

сили в залежності від радіуса обертання лопатки, нами було визначено елементарний лобовий опір і підйомну силу, які діють на елементарну площу лопатки довжиною dr , яка знаходиться на відстані r від осі обертання. Врахувавши розміри лопатки було визначено також елементарний момент опору dM_R , який створює елементарна сила лобового опору діючи на елементарну площу лопатки довжиною dr , яка знаходиться на відстані r від осі обертання.

Інтегруючи вираз для елементарного моменту опору, завдяки дії елементарної сили лобового опору було отримано значення моменту опору в залежності радіуса обертання лопатки:

$$M_R = C_X k_X \frac{\rho \omega^2}{8} h r_{\max}^4, \quad (4)$$

де r_{\max} – максимальний радіус лопатки, м, h – ширина лопаток, м.

Отримані рівняння дали змогу скласти диференційне рівняння, яке описує динаміку гідромеханічної лопатевої мішалки і має наступний вигляд:

$$J \frac{d\omega}{dt} = \left(\frac{q_H n_H}{60} 10^{-6} \right)^2 \frac{\rho}{\mu S_\phi n_\phi} \sum_{i=1}^n r_{\phi i}^2 - C_X k_X \frac{\rho \omega^2}{8} h \sum_{i=1}^n r_{\max i}^4, \quad (5)$$

де J – момент інерції гідромеханічної лопатевої мішалки, кг м²; $r_{\phi i}$ – радіус установки i -ої форсунки, м; t – час перемішування, с.

Рішення диференційного рівняння [8] дало змогу отримати вираз для визначення динаміки зміни кутової швидкості обертання гідромеханічної лопатевої мішалки у наступному вигляді:

$$\omega = \sqrt{\frac{a}{b}} \frac{\left[\frac{\sqrt{a} + \sqrt{b} \omega_{\Pi}}{\sqrt{a} - \sqrt{b} \omega_{\Pi}} \exp(2t\sqrt{ab}) - 1 \right]}{\left[1 + \frac{\sqrt{a} + \sqrt{b} \omega_{\Pi}}{\sqrt{a} - \sqrt{b} \omega_{\Pi}} \exp(2t\sqrt{ab}) \right]}, \quad (6)$$

де ω_{Π} – початкова кутова швидкість обертання лопаток, рад/с;

$$a = \frac{1}{J} \left(\frac{q_H n_H}{60} 10^{-6} \right)^2 \frac{\rho}{\mu S_\phi n_\phi} \sum_{i=1}^n r_{\phi i} \quad -$$

відношенню крутного моменту до моменту інерції гідромеханічної мішалки;

$$b = \frac{1}{J} C_X k_X \frac{\rho}{8} h \sum_{i=1}^n r_{\max i}^4 \quad - \text{ відношенню моменту опору до моменту інерції гідромеханічної мішалки.}$$

В усталеному режимі обертання гідромеханічної лопатевої мішалки, її кутова швидкість обертання становитиме $\omega_y = \sqrt{a/b}$.

Із графіка видно (рис. 2), що збільшення частоти обертання насоса від 700 до 1400 об/хв призводить до збільшення усталеної частоти обертання гідромеханічної

лопатевої мішалки від 8,76 до 34 об/хв. Усталений режим обертання гідромеханічної мішалки настає за час від 0,2 до 0,4 с.

На основі експериментальних досліджень отримано залежність коефіцієнта лобового опору від частоти обертання насоса (рис. 3), що дало змогу отримати повне співпадіння експериментальних даних з теоретичною залежністю, яка пов'язує усталену частоту обертання мішалки і частоту обертання насоса.

Для залежності усталеної частоти обертання гідромеханічної мішалки від кута нахилу лопаток рівень наближення теоретичних і експериментальних даних, оцінений індексом детермінації, становить 0,93 відн. од. (рис. 4).

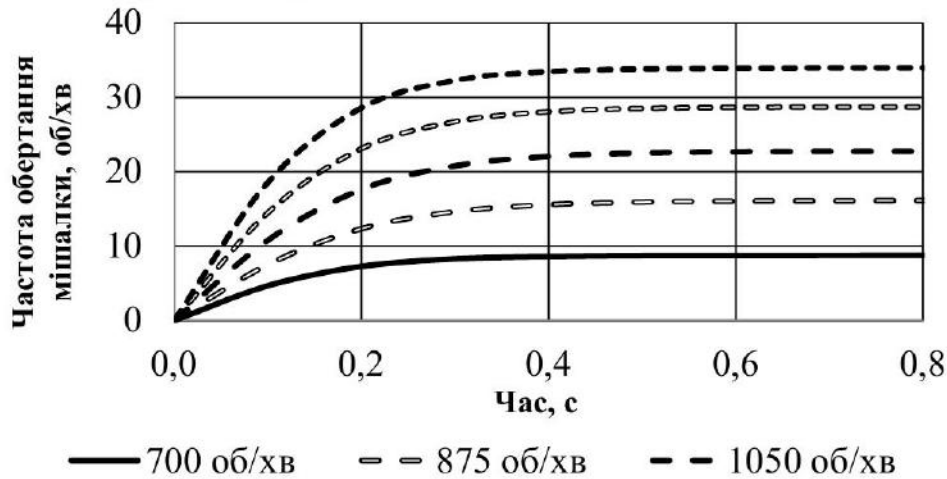


Рис. 2. Криві розгону гідромеханічної лопатевої мішалки в залежності від частоти обертання насоса при куті установки лопаток 60°

Fig. 2. Curves acceleration hydromechanical blade mixers in depending of the speed of the pump installation at an angle of blades 60°

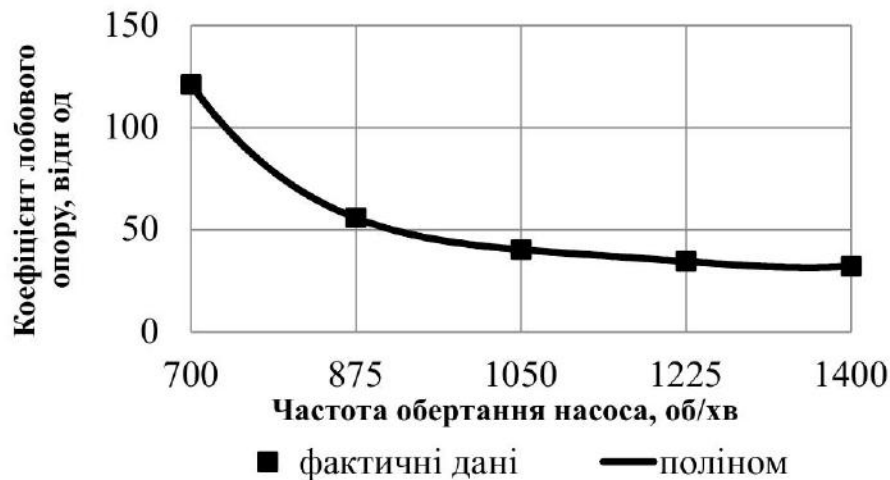


Рис. 3. Графічна залежність коефіцієнту лобового опору від частоти обертання насоса

Fig. 3. The graphic dependence of resistance coefficient and the rotation speed of the pump

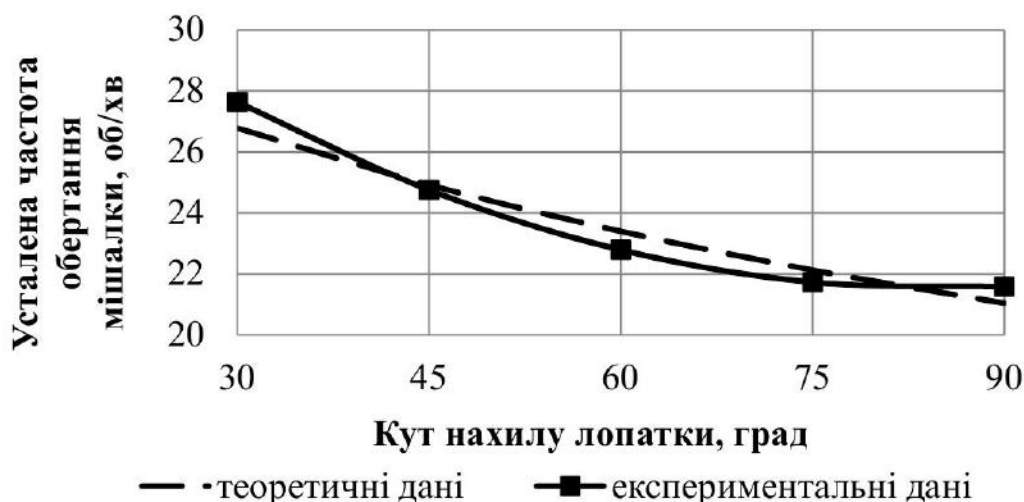


Рис. 4. Графічна залежність усталеної частоти обертання мішалки від кута нахилу лопаток

Fig. 4. The graphic dependence of established rotation frequency mixers and the angle of blades

ВИСНОВОК

Розроблена математична модель для визначення кутової швидкості обертання гідромеханічної мішалки в залежності від параметрів насоса, густини рослинної олії, фактичної площі перерізу форсунок та їх кількості, а також висоти та радіуса лопаток, дозволяє визначити динаміку кутової швидкості обертання гідромеханічної мішалки та її усталене значення.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. http://www.vzta.com.ua/ru/produkcija/nasosy_shesterennye/nsh10b-3_nsh10g-3_nsh10d-3/.
2. Випробування гідрореактивного змішувача при виробництві дизельного біопалива / Голуб Г.А., Павленко М.Ю. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 350-355.
3. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Голуб Г.А., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба] // К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
4. Голуб Г.А. Взаємозв'язок потужності насоса та параметрів гідрореактивної мішалки при перемішуванні ріпакової 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.

5. 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.

6. Голуб Г.А. Математична модель гідрореактивної лопатевої мішалки для виробництва дизельного біопалива / Голуб Г.А., Павленко М.Ю. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2014. Вип 196, ч.2. – С. 70-82.

7. Голуб Г.А. Параметри кільцевого трубчатого етерифікатора для виробництва біодизельного палива / Г.А. Голуб, М.І. Вір'ювка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 124-131.

8. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Б.Г. Двайт: [пер. с англ. Н.В. Леви под ред. К.А. Семендяева], 2-е изд. М.: Наука, 1966. – 228 с.

9. Деклараційний патент на корисну модель України (UA) № 83164, МПК (2013.01) C10L1/00, C10L1/08, C11C 3/04, B01J 14/00. Обладнання для виробництва дизельного біопалива / Голуб Г.А., Павленко М.Ю., Чуба В.В.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів та природокористування України. – № u201303451; заявл. 20.03.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.

10. Драгнев С.В. Експериментальні дослідження технологічних показників процесу естерифікації рослинних олій / С.В. Драгнев // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 163-172.

11. Драгнев С.В. Нечітке моделювання технологічного процесу виробництва дизельного біопалива / С.В. Драгнев // Науковий вісник Національного аграрного університету / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2007. Вип. 117. – С. 350-357.

12. Драгнев С.В. Обґрунтування конструктивних параметрів періодичного реактора естерифікації рослинних олій / Драгнев С.В., Кухарець С.М. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 334-342.

13. Драгнев С.В. Обґрунтування критеріїв подібності перемішування у процесі естерифікації рослинних олій / С.В. Драгнев, В.М. Поліщук // Науковий вісник Національного аграрного університету / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2007. Вип. 125. – С. 392-399.

14. Енергетичні показники процесу естерифікації 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.

15. Киттель Ч. Механика. Берклеевский курс физики / Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман // Учебник для вузов. 3-е изд. Санкт-Петербург Москва Краснодар: Лань, 2005. – 480 с.

16. 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 IX науково-практичної конференції. – 220 с. – С. 137-143.

17. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг: [пер. с нем. 2-е изд.]. – М.: Мир, 1985. – 520 с.

18. 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.

19. Уминський С. Гідродинамічне обладнання для отримання біопалива / С. Уминський, С.

Інютин // Техніка та технології АПК. Дослідницьке: 2013. – № 2 (41). – С. 11-13.

20. Яковлев А.И. Основы гидродинамического расчета траловых распорных досок / А.И. Яковлев. ВНИРО: – 1955. – 16 с.

REFERENCES

1. http://www.vzta.com.ua/ru/produkcija/nasosy_shesterennye/nsh10b-3_nsh10g-3_nsh10d-3/.

2. Viprobuвання gidroreaktivnogo zmishuvacha pri virobnitstvi dizel'nogo biopaliva / Golub G.A., Pavlenko M.Yu. // Tekhniko-tehnologichni aspekti rozvitku ta viprobuвання novoi tekhniki i tekhnologiy dlya sil'skogo gospodarstva Ukraini: zbirnik nauk. pr. UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Doslidnits'ke, 2014. – Vip. 18 (32), kn. 2. – 350-355.

3. Virobnitstvo ta vikoristannya dizel'nogo biopaliva na osnovi roslinnikh oliy / [Golub G.A., Pavlenko M.Yu., Chuba V.V., Kukharets' S.M.; za red. d-ra tekhn. nauk, prof. G.A. Goluba] // K.: NUBiP Ukraini, 2015. – 119.

4. Golub G.A. Vzayemozvyazok potuzhnosti nasosa ta parametriv gidroreaktivnoi mishalki pri peremishuvanni ripakovoii olii / G.A. Golub, M.Yu. Pavlenko // Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i prirodo-koristuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta energetika APK / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K.: VTs NUBiP Ukraini, 2014. Vip 196, ch.1. – 60-65.

5. Golub G.A. Vpliv parametriv gidroreaktivnoi mishalki na ii chastotu obertannya pri virobnitstvi dizel'nogo biopaliva / G.A. Golub, M.Yu. Pavlenko // Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya sil'skogo gospodarstva. Vipusk 99. Tom 2. – Glevakha, 2014. – 84-93.

6. Golub G.A. Matematichna model' gidroreaktivnoi lopatevoimishalki dlya virobnitstva dizel'nogo biopaliva / Golub G.A., Pavlenko M.Yu. // Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i prirodo-koristuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta energetika APK / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2014. Vip 196, ch. 2. – 70-82.

7. Golub G.A. Parametri kil'tsevogo trubchatogo eterifikatora dlya virobnitstva biodizel'nogo paliva / G.A. Golub, M.I. Vir'ovka // Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i prirodo-koristuvannya Ukraini / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2009. – Vip. 134, ch. 2. – 124-131.

8. Dvayt G.B. Tablitsy integralov i drugie matematicheskie formuly / B.G. Dvayt: [per. s angl. N.V. Levi pod red. K.A. Semendyaeva], 2-e izd. M.: Nauka, 1966. – 228.

9. Deklaratsiyinyy patent na korisnu model' Ukraini (UA) № 83164, MPK (2013.01) S10L1/00, S10L1/08, S11S 3/04, V01J 14/00. Obladnannya dlya virobnitstva dizel'nogo biopaliva / Golub G.A., Pavlenko M.Yu., Chuba V.V.; zayavnik ta patentovlasnik Natsional'niy universitet bioresursiv ta priroдокористuvannya Ukraini. – № u201303451; zayavl. 20.03.2013; opubl. 27.08.2013, Byul. № 16.
10. Dragniyev S.V. Eksperimental'ni doslidzhennya tekhnologichnikh pokaznikiv protsesu esterifikatsii roslinnikh oliy / S.V. Dragniyev // Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2010. – Vip. 144, ch. 3. – 163-172.
11. Dragniyev S.V. Nechitke modelyuvannya tekhnologichnogo protsesu virobnitstva dizel'nogo biopaliva / S.V. Dragniyev // Naukoviy visnik Natsional'nogo agrarnogo universitetu / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2007. Vip. 117.– 350-357.
12. Dragniyev S.V. Obruntuvannya konstruktivnikh parametriv periodichnogo reaktora esterifikatsii roslinnikh oliy / Dragniyev S.V., Kukharets' S.M. // Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2010. – Vip. 144, ch. 4. – 334-342.
13. Dragniyev S.V. Obruntuvannya kriteriiv podibnosti peremishuvannya u protsesi esterifikatsii roslinnikh oliy / S.V. Dragniyev, V.M. Polishchuk // Naukoviy visnik Natsional'nogo agrarnogo universitetu / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2007. Vip. 125.– 392-399.
14. Energetichni pokazniki protsesu esterifikatsii ripakovoї olii / M.Yu. Pavlenko, Golub G.A. // Naukoviy visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta energetika APK / Redkol.: D.O. Mel'nichuk (vidp. red.) ta in. – K., 2013. Vip 185, ch.3. – 91-100.
15. Kittel' Ch. Mekhanika. Berkleevskiy kurs fiziki / Ch. Kittel', U. Nayt, M. Ruderman // Uchebnik dlya vuzov. 3-e izd. Sankt-Peterburg Moskva Krasnodar: Lan', 2005. – 480.
16. Kukharets' S.M. Analiz protsesu otrimannya biodizel'nogo pal'nogo ta obruntuvannya osnovnikh parametriv reaktora-rozdilyuvacha / S.M. Kukharets', G.A. Golub, V.M. Khrus // Suchasni problemi zbalansovanogo priroдокористuvannya: Zbirnik naukovikh prats' / Podil's'kiy derzhavniy agrarno-tekhnichniy universitet (PDATU); Naukoviy redaktor: Ivanishin I.I. – Kam'yanets'-Podil's'kiy, 2014. – Spetsial'niy vipusk do IKh naukovopraktichnoi konferentsii. – 220. – 137-143.
17. Kukhling Kh. Spravochnik po fizike / Kh. Kukhling: [per. s nem. 2-ye izd.]. – M.: Mir, 1985. – 520.
18. Mushtruk M. Virobnitstvo dizel'nogo biopaliva z tekhnichnikh tvarinnikh zhiriv / Mushtruk M., Sukhenko Yu., Sukhenko V. // Tekhnika ta tekhnologii APK. Doslidnits'ke: 2013, – № 4 (43). – 17-20.
19. Umins'kiy S. Hidrodinamichne obladdnannya dlya otrimannya biopaliva / S. Umins'kiy, S. Inyutin // Tekhnika ta tekhnologii APK. Doslidnits'ke: 2013, – № 2 (41). – 11-13.
20. Yakovlev A.I. Osnovy gidrodinamicheskogo rascheta tralovykh raspornykh dosok / A.I. Yakovlev. VNIRO: – 1955. – 16.