

these salts plates. The established forces acting on the particle in the bulk liquid and mathematical modeling of the velocity of the particle during its deposition. Considered the dynamics of deposition plates aqueous solution of potassium citrate and water droplets in the bulk of biodiesel. Chosen their deposition. Rational size droplets of water for washing biodiesel.

The deposition time records of an aqueous solution of potassium citrate in the purification of biodiesel from the catalyst may be from 0.5 to 40 days. Therefore, to accelerate this process, it is recommended to spray in the thickness of the biodiesel drops of water that are attached to the particles of pollutant and transport them to the bottom of the reactor. Since the diameter of water droplets of 1 mm to further increase their dispersion does not significantly affect the deposition rate. Therefore, it is desirable to wash the biodiesel by spraying it water droplets with a diameter of 0.5-1 mm. the Rate of deposition of such droplets does not exceed 2 min with a decrease of the dispersity of the droplets, the rate of deposition increases.

Keywords: reynolds, neutralization, biodiesel engine, potassium citrate, drops, rate of sedimentation

УДК 631.348:662.767.2

АНАЛІЗ ТИПІВ РОЗПИЛЮВАЧІВ ДЛЯ АЕРОЗОЛЬНОГО ПРОМИВАННЯ БІОДИЗЕЛЯ

В. М. Поліщук, кандидат технічних наук

Н. І. Козак, інженер

e-mail: polischuk.v.m@gmail.com

Анотація. Обґрунтована необхідність очищення біодизеля від лужного каталізатора, яке може проводитись його шляхом аерозольного промивання. Проведений аналіз можливості використання відомих типів розпилювачів для аерозольного промивання біодизеля. Встановлено, що для розпилення води над шаром біодизеля в реакторі найбільш доцільно застосовувати відцентрові повноконусні розпилювачі.

Вироблений за традиційною технологією біодизель містить лужний каталізатор, який негативно впливає на сам двигун. Для звільнення біодизеля від каталізатора проводиться його нейтралізація слабким водним розчином лимонної кислоти, в результаті чого утворюються солі кальцію, дрібні пластинки яких (діаметром до 100 мкм) осаджуються досить довгий час (10 год. і більше залежно від діаметру пластинки). Для звільнення біодизеля

© В. М. Поліщук, Н. І. Козак, 2016

від солей калію проводиться його аерозольне промивання. Для цього використовується система розпилювачів, розміщених над шаром біодизеля, через які відбувається розбризгування води з утворенням краплин і їх рухом через шар метилового ефіру. При цьому краплини води захоплюють дрібні пластинки цитрату калію і виносять їх із шару біодизеля.

Для аерозольного промивання біодизеля найбільш доцільно застосовувати відцентрові повноконусні розпилювачі.

Використання одного розпилювача для покриття всієї площі біодизеля в реакторі недоцільно через здорожчання всієї конструкції. Рекомендується розміщувати радіально декілька розпилювачів із забезпеченням певного перекривання їх факелів розпилу.

Ключові слова: *біодизель, розпилювач, тиск, лимонна кислота, нейтралізація, факел розпилу*

Постановка проблеми. Вироблений за традиційною технологією біодизель містить лужний каталізатор, який негативно впливає на сам двигун [1]. Для звільнення біодизеля від каталізатора проводиться його нейтралізація слабким водним розчином лимонної кислоти [2], в результаті чого утворюються солі кальцію, дрібні пластинки яких (діаметром до 100 мкм) осаджуються досить довгий час (10 год. і більше залежно від діаметру пластинки) [3]. Для звільнення біодизеля від солей калію проводиться його аерозольне промивання. Для цього використовується система розпилювачів, розміщених над шаром біодизеля, через які відбувається розбризгування води з утворенням краплин і їх рухом через шар метилового ефіру. При цьому краплини води захоплюють дрібні пластинки цитрату калію і виносять їх із шару біодизеля [4].

Однак біодизельне виробництво з'явилося порівняно недавно, тому промисловість не випускає спеціальні розпилювачі для цих цілей. Доводиться користуватись розпилювачами, що випускаються для інших цілей, наприклад, для пожежегасіння, чи механізації захисту рослин. Однак існує велика різноманітність типів розпилювачів, які добре підходять для цілей, під які вони конструювались, і можуть бути непридатними для аерозольного очищення біодизеля.

Тому **метою** наших **досліджень** є аналіз типів розпилювачів і вибір придатних для застосування для аерозольного промивання біодизеля.

Результати досліджень. Усі показники якості розпилювання значною мірою залежать від типу, параметрів і режимів роботи розпилювачів. Існує багато різновидів розпилювачів: струменеві,

відцентрові, пневматичні, механічні, електродинамічні, комбіновані.

Технологія виробництва розпилювачів складна і потребує високої точності, тому спеціалізуються на цьому крупні фірми, такі як "Spraying Systems", "Делаван" (США), "Демарке" (Франція), "Lechler" (Німеччина), "Lurmark" (Великобританія).

Струменеві (гідравлічні) розпилювачі найбільш прості в конструктивному оформленні і являють собою циліндричну трубку, із якої під тиском витікає струмінь рідини, що потім розпадається на краплини і утворює факел розпилу [5]. В техніці розпилювання найбільш розповсюджені плоскоструменеві щілинні розпилювачі (рис. 1), які забезпечують розпилення краплин широкого спектру дисперсності з кутом розкриття факелу розпилу від 40° до 110° [6].

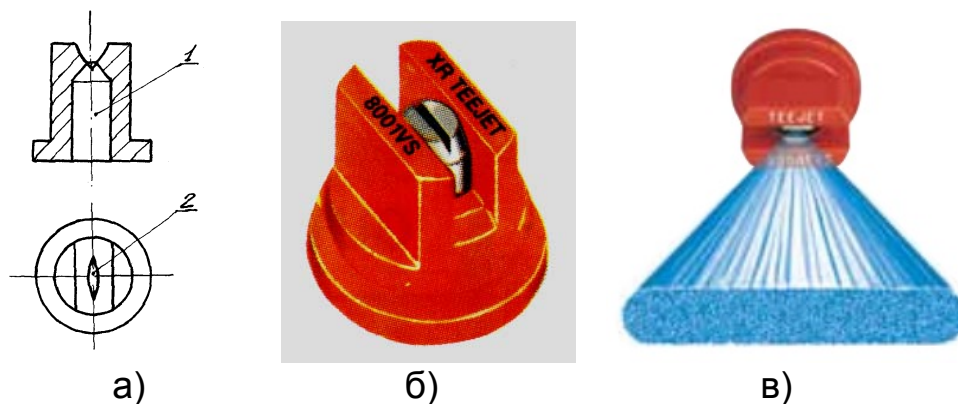


Рис. 1. Щілинний плоскоструменевий розпилювач [6]: а) – схематичне зображення; 1 – вхідний канал; 2 – щілина; б) – загальний вигляд; в) – схема дисперсності факелу розпилу.

До групи гідравлічних відносяться також дефлекторні розпилювачі (рис. 2), де щілина замінена похилою площиною, яка буває постійно закріпленою чи змінною, і достатньо віддалена від вихідного отвору циліндричної трубки. За їх допомогою одержують грубокраплинне розпилення робочої рідини [7].

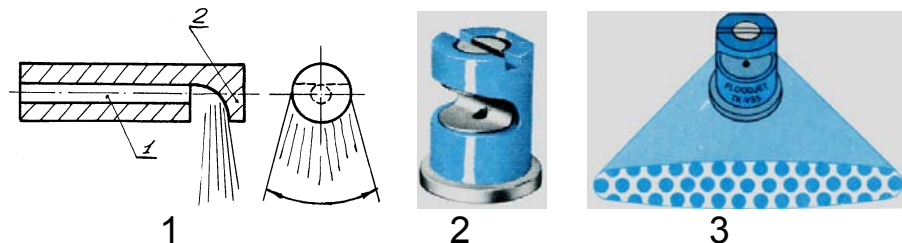


Рис. 2. Дефлекторний розпилювач [6]: 1 – схематичне зображення; 2 – загальний вигляд; 3 – схема дисперсності факелу розпилу.

Як плоскоструменеві щілинні, так і дефлекторні розпилювачі, мають факел розпилу в вигляді плоскої щілини. Такі розпилювачі

зручно застосовувати в обприскувачах для захисту сільськогосподарських культур від хвороб і шкідників, однак дана форма факелу розпилю не дозволяє їх використовувати в циліндричних біодизельних реакторах, оскільки для забезпечення повного перекриття дзеркала біодизеля в реакторі необхідно встановити багато таких розпилювачів.

Пневматичні розпилювачі (рис. 3,а) відрізняються тим, що рідина в них подрібнюється під дією повітря, яке подається під тиском [8]. Пневматичні розпилювачі дозволяють отримувати більш тонкий розпил робочої рідини, в порівнянні з гідравлічними і відцентровими, що дає можливість скорочувати норму її витрати. Вони прості і надійні в експлуатації, однак потребують окремого підведення рідини і повітря, мають дуже великий коефіцієнт полідисперсності – 5,5–9,0, незначний діапазон регулювання розміру краплин і низьку якість розпилення при малих нормах витрати рідини. Це обумовлено тим, що в даних розпилювачах для якісного розпилювання обов'язковою умовою є подача рідини під високим тиском. Однак при малих нормах витрати робочої рідини це зробити неможливо, оскільки для цього необхідно ставити шайбу з дуже малим діаметром отвору, який буде постійно забиватись [7].

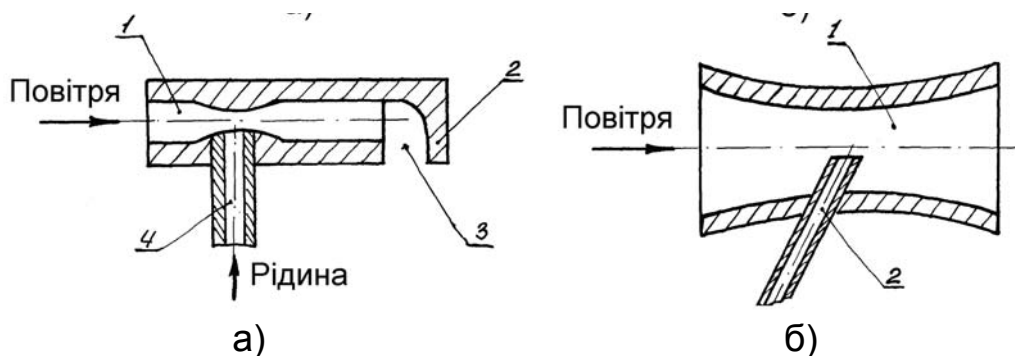


Рис. 3. Схематичне зображення пневматичного розпилювача: а) – щілинного: 1 – канал для підведення повітря; 2 – відбиваюча поверхня; 3 – щілинний отвір; 4 – канал для введення рідини; б) – типу сопла Вентурі: 1 – сопло Вентурі; 2 – канал для підведення рідини.

Деякі із цих недоліків усунуті в розпилювачі (рис. 3,б), в якому рідина за рахунок інжекції захоплюється повітряним потоком в трубці, після чого подається в кільцеву камеру, де отримує обертний рух. За рахунок відцентрової сили і тиску повітряного потоку рідина розподіляється у вигляді тонкої плівки на плівкоутворюючій поверхні і рухається до її кромки, де і відбувається розпилення. За рахунок того, що плівка рідини має приблизно однакову товщину по всьому периметру кромки і її розпилення

відбувається при однаковій швидкості повітряного потоку, створюються умови для утворення розпилу з невеликою полідисперсністю краплин [9]. Використання пневматичних розпилювачів для аерозольного промивання біодизеля обмежується необхідністю наявності пневматичної мережі від компресора, або забезпечення індивідуального компресора для кожного розпилювача.

В механічних (роторних) розпилювачах (рис. 4) плівка рідини, що утворюється при обертанні ротора, стікає з його кромки і стає нестійкою. При цьому вона розпадається. Привод розпилюючого елемента може здійснюватись електродвигуном, гнучким валом від загального приводу і енергією повітряного потоку, в якому він знаходиться. Розпилюючі елементи роторного розпилювача можуть являти собою обертальний циліндричний барабан з отворами, усічений конус, диск, пакет хвилястих (гофрованих) дисків.

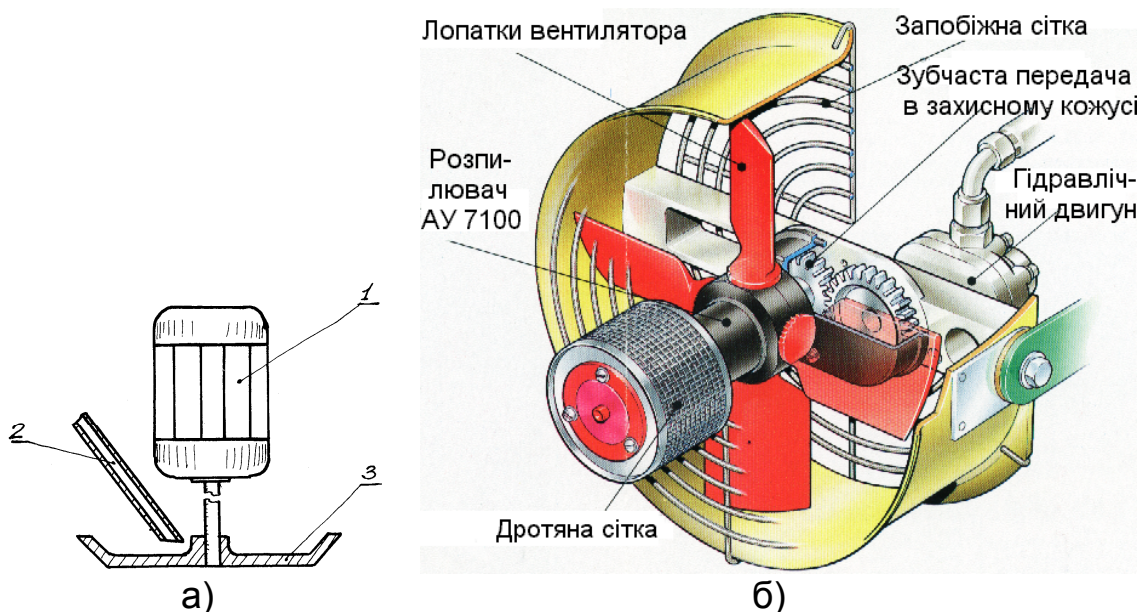


Рис. 4. Механічні (роторні) розпилювачі: а) – схематичне зображення дискового розпилювача; 1 – вал; 2 – трубка для подачі рідини; 3 – диск; б) – вигляд роторного барабанного розпилювача АУ-7100 фірми "Micronair" [<http://kokshetau.online.kz/aspan/aspan.htm>].

Серед роторних розпилювачів найбільшого поширення набули дискові розпилювальні елементи, в яких рідина отримує енергію внаслідок тертя об швидко-обертальний робочий елемент (диск). Одержуючи разом з робочим диском обертальний рух, рідина під дією відцентрових сил зривається з розпилювача і внаслідок дії опору повітря подрібнюється на краплини. Таким чином, у розпилювачах цього типу дозування рідини і її розпилення не пов'язані між собою, що дозволяє отримувати якісне розпилення при

подачі рідини на диск під низьким тиском. Цим забезпечується можливість в два і більше разів знизити витрату рідини порівняно з гідравлічними розпилювачами при однаковому дозувальному отворі [7]. Крім того, дискові розпилювачі забезпечують можливість регулювання дисперсності краплин у межах 40-400 мкм шляхом зміни частоти обертання дисків. Для дискових розпилювачів чітко проглядається тенденція використання великих частот обертання диску (200-300 об/с) при колових швидкостях 90-150 м/с [10]. Роторні розпилювачі не засмічуються, дають можливість змінювати продуктивність і дисперсність розпилу, процес розпилення рідини не потребує подачі її під тиском, що дозволяє відмовитись від насосів високого тиску. Однак вони при незначному відхиленні від монодисперсного режиму роботи утворюють багато дрібних краплин-супутників розміром до 50 мкм. Крім того, електродвигуни розпилювачів необхідно захищати від краплин, які утворюються при розпилюванні. Для аерозольного промивання біодизеля роторні розпилювачі малопридатні внаслідок своєї складності і дороговизни.

В відцентрових розпилювачах рідина, що рухається під тиском, закручується в завихрювачі з тангенційно розміщеним каналом (рис. 5,а) (вісь каналів перпендикулярна або розміщена під кутом до осі форсунки, але не пересікається із нею) і за рахунок інтенсивного обертового руху в камері потрапляє в сопло, на виході із якого розпадається на дрібні краплини, при цьому приймаючи форму порожнистого конусу. Для утворення такого факелу рідина в форсунку підводиться під тиском 300–1000 кПа. Діапазон зміни тиску залежить головним чином від необхідної дисперсності розпилу, фізичних властивостей рідини і розмірів дозуючих елементів. Через високий тиск рідини на вході у відцентровий розпилювач розміри її сопла і тангенційних каналів звичайно знаходяться в межах 0,5–3,0 мм [5].

Відцентрові порожнистоконусні розпилювачі серії TR, ITR випускає фірма "Lechler", Hollow cone – фірма "Lurmark", 1299 – фірма "Hardi". Фірма "Spraying Systems" випускає відцентрові розпилювачі "ConeJet" і "Disc and Core". Порожнистоконусний розпилювач "ConeJet" (рис. 5,б,в) нерозбірний, розрахований на робочий тиск до 20 бар. Розпилювач "Disc and Core" (рис. 5,е) розбирається, що дає змогу змінювати тип турбулізатора, завдяки чому він може забезпечувати як порожнистоконусний (рис. 5,г), так і повноконусний (рис. 5,д) факел розпилу. Він розрахований на робочий тиск до 20 бар. Кут розпилу варіюється в межах 30–60° [6].

В техніці пожежогасіння застосовуються дренчерні відцентрові розпилювачі, які утворюють два порожнистоконусних факела, що знаходяться один в одному, при цьому внутрішній факел з кутом

розпили близько 60° має середньоарифметичний діаметр крапель не більше 100 мкм, а зовнішній з кутом розпили близько 90° – не більше 200 мкм. Це дозволяє більш ефективно гасити пожежі [11].

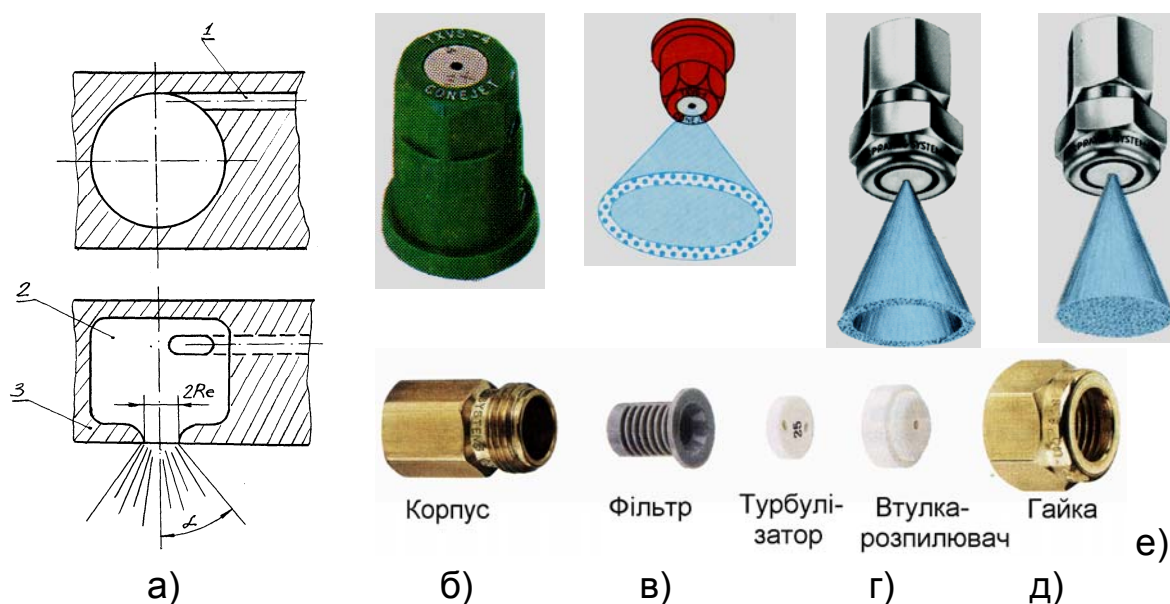


Рис. 5. Відцентровий розпилювач [6]: а) – схематичне зображення: 1 – тангенційний вхідний канал; 2 – камера закручування; 3 – сопло; б) – загальний вигляд розпилювача "ConeJet"; в) – схема дисперсності факелу розпили розпилювача "ConeJet"; г) – схема дисперсності факелу розпили і загальний вигляд розпилювача "Disc and Core" з порожнистоконусним факелом розпили; д) – схема дисперсності факелу розпили і загальний вигляд розпилювача "Disc and Core" з повноконусним факелом розпили; е) – будова розпилювача "Disc and Core".

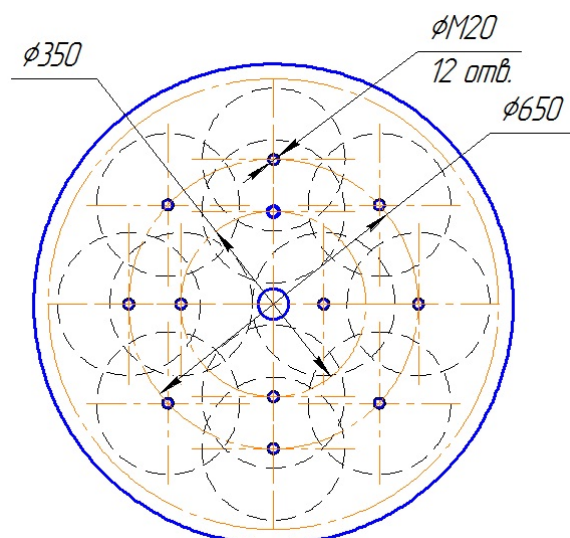


Рис. 6. Схема розташування відцентрових повноконусних розпилювачів на кришці біодизельного реактора із зображенням їх факелу розпили.

Порожнистоконусні відцентрові розпилювачі не дозволяють забезпечити повного перекриття краплинами дзеркала біодизеля в реакторі. Натомість, відцентрові повноконусні розпилювачі забезпечують найбільш ефективне перекривання розпиленими краплинами дзеркала біодизеля в реакторі порівняно із вищерозглянутими типами розпилювачів. При цьому використання одного розпилювача для покриття всієї площі біодизеля в реакторі проблематично, оскільки існуючі розпилювачі мають малий факел розпилу, що вимагає збільшення висоти реактора, а отже і здорожчання всієї конструкції. Більш доцільно розміщувати радіально декілька розпилювачів із забезпеченням певного перекривання їх факелів розпилу, як показано на рис. 6.

Висновки

1. Для аерозольного промивання біодизеля найбільш доцільно застосовувати відцентрові повноконусні розпилювачі.

2. Використання одного розпилювача для покриття всієї площі біодизеля в реакторі недоцільно через здорожчання всієї конструкції. Рекомендується розміщувати радіально декілька розпилювачів із забезпеченням певного перекривання їх факелів розпилу.

Список літератури

1. Дубровін В. О. Дизельні палива із відновлюваних ресурсів / В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, В. М. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2012. – Вип. 174, ч. 2. – С. 32–35.
2. Поліщук О. В. Дослідження впливу частоти обертання валу мішалки на лужність дизельного біопалива при його очищенні / О. В. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 172–177.
3. Polishchuk A. Theoretical foundation of biodiesel flushing / A. Polishchuk, S. Drahnev, V. Polishchuk // Mechanization in agriculture. – Bulgaria, 2015. – Year LXI, Issue 12. – С. 39–41.
4. Полищук Алексей. Определение эффективности нейтрализации биодизеля путем распыления водного раствора лимонной кислоты / Алексей Полищук, Наталья Козак, Виктор Полищук // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol. 17, No 3. – С. 202–207.
5. Распыливание жидкостей / [В. А. Бородин, Ю. Ф. Дитякин, Л. А. Клячко, В. И. Ягодкин]. – М.: Машиностроение, 1967. – 263 с.
6. TeeJet Technologies: Katalog-51RU. – Spraying Systems Co. – 146 с.
7. Поліщук В. М. Аналіз сучасних технічних засобів для забезпечення якісного обприскування польових культур і обґрунтування перспектив їх розвитку / В. М. Поліщук // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – Житомир, 2000. – № 12. – С. 117–124.
8. Барановський О. Сучасні та перспективні розпилювачі штангових обприскувачів / О. Барановський // Пропозиція. – 2003. – №1. – С. 86–88.
9. Барановский А. С. Исследование экспериментального пневматического распылителя жидкости / А. С. Барановский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1987. – Вып. 66. – С. 31–35.

10. *Церуашвили Г. Е.* Влияние окружной скорости дисковых распылителей с ненаправленным движением жидкости на ее дисперсность / *Г. Е. Церуашвили, А. А. Рамишвили* // Сборник статей по механизации технологических процессов защиты растений / ВИЗР. – Л., 1970. – С. 49–57.
11. *Распылитель* центробежный РЦ-180. Пособие по применению. – ЗАО "ПО "Спецавтоматика", 2005. – 7 с.

References

1. *Dubrovin, V. O., Myronenko, V. H., Polishchuk, V. M.* (2012). Dyzel'ni palyva iz vidnovlyuvanykh resursiv [Diesel fuel from renewable resources]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energetics AIC. K., Vyp. 174, ch. 2, 32–35.
2. *Polishchuk, O. V.* (2014). Doslidzhennya vplyvu chastoty obertannya valu mishalky na luzhnist' dyzel'noho biopalyva pry yoho ochyshchenni [Research of influence of frequency of rotation of the stirrer shaft on alkalinity of biodiesel when it is cleaned]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energetics AIC. K., Vyp. 196, ch. 3, 172–177.
3. *Polishchuk, A., Drahnev, S., Polishchuk, V.* (2015). Theoretical foundation of biodiesel flushing. Mechanization in agriculture, Bulgaria, Year LXI, Issue 12, 39–41.
4. *Polyshchuk Aleksey, Kozak Natal'ya, Polyshchuk Vyktor.* (2015). Opreddenye effektivnosti neytralizatsyy byodyzelya putem raspilenyya vodnoho rastvora lymonnoy kysloti [Determination of the effectiveness of the neutralization of the biodiesel by spraying an aqueous solution of citric acid]. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture, Lublin-Rzeszow, Vol. 17, No 3, 202–207.
5. *Borodyn, V. A., Dytyakyn, Yu. F., Klyachko, L. A., Yahodkyn, V. Y.* (1967). Raspilyvanye zhydkostey [Atomization of liquids]. M.: Mashynostroenye, 263.
6. TeeJet Technologies (2016). Katalog-51RU, Spraing Systems Co, 146.
7. *Polishchuk, V. M.* (2000). Analiz suchasnyx texnichnyx zasobiv dlya zabezpechennya yakisnoho obpryskuvannya pol'ovyx kul'tur i obhruntuvannya perspektyv yix rozvytku [Analysis of modern technical means to ensure the quality of spraying field crops and justification of prospects of their development]. Bulletin of Zhytomyr Engineering-technological Institute. Zhytomyr, 12, 117–124.
8. *Baranovs'kyi, O.* (2003). Suchasni ta perspektyvni rozpylyuvachi shtanhovyx obpryskuvachiv [Modern and advanced sprayers boom sprayers]. Suggestion, 1, 86–88.
9. *Baranovskyi, A. S.* (1987). Yssledovanye eksperymental'noho pnevmaticheskoho raspilytelya zhydkosti [Experimental study of pneumatic spray fluid]. Mechanization and electrification of agriculture, K.: Urozhay, Vip. 66, 31–35.
10. *Tseruashvily, H. E., Ramyshvily, A. A.* (1970). Vlyyanye okruzhnoy skorosty diskovix raspilyteley s nenapravlennim dyzhenyem zhydkosti na ee dyspersnost' [Influence of the circumferential speed of the disc atomizers with non-directional fluid flow on dispersion]. Collection of articles on mechanization of technological processes of plant protection. VYZR, L., 49–57.
11. *Raspil'tel' tsentrobezhniy RTs-180. Posobye po pryimenenyyu.* [The centrifugal raspylitel RC-180. Allowance for use] (2005). ЗАО "ПО "Спецавтоматика", 7.

АНАЛИЗ ТИПОВ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ПРОМЫВКИ БИОДИЗЕЛЯ

В. Н. Полищук, Н. И. Казак

Аннотация. Обоснована необходимость очистки биодизеля от щелочного катализатора, которое может проводиться его

путем аэрозольного промывания. Проведен анализ возможности использования известных типов распылителей для аэрозольного промывки биодизеля. Установлено, что для распыления воды над слоем биодизеля в реакторе наиболее целесообразно применять центробежные полноконусные распылители.

Произведенный по традиционной технологии биодизель содержит щелочной катализатор, который негативно влияет на сам двигатель. Для освобождения биодизеля от катализатора производится его нейтрализация слабым водным раствором лимонной кислоты, в результате чего образуются соли кальция, мелкие пластинки которых (диаметром до 100 мкм) осаждаются достаточно долгое время (10 час. и более в зависимости от диаметра пластинки). Для освобождения биодизеля от солей калия проводится его аэрозольное промывание. Для этого используется система распылителей, расположенных над слоем биодизеля, через которые происходит разбрызгивания воды с образованием капель и их движением через слой метилового эфира. При этом капли воды захватывают мелкие пластинки цитрата калия и выносят их из слоя биодизеля. Для аэрозольного промывки биодизеля наиболее целесообразно применять центробежные полноконусные распылители.

Использование одного распылителя для покрытия всей площади биодизеля в реакторе нецелесообразно из-за удорожания всей конструкции. Рекомендуется размещать радиально несколько распылителей с обеспечением определенного перекрытия их факелов распыла.

Ключевые слова: биодизель, распылитель, давление, лимонная кислота, нейтрализация, факел распыления

ANALYSIS OF TYPES OF NOZZLES FOR SPRAY WASHING OF BIODIESEL

V. M. Polischuk, N. I. Kozak

Abstract. The necessity of purification of biodiesel, alkaline catalyst, which may be by spray irrigation. The analysis of the possibility of using known types of aerosol dispensers for washing of biodiesel. It was found that for spraying water over the layer of biodiesel in the reactor is most appropriate to apply centrifugal polnochnye sprays.

Made according to traditional methods biodiesel contains an alkaline catalyst, which adversely affects the engine itself. For exemption of biodiesel from the catalyst is the neutralization of a weak aqueous solution of citric acid, resulting in formation of calcium salts, where the small plates (diameter 100 μm) are deposited for a long time (10 a.m. and more depending on the diameter of the plate). For exemption of biodiesel from the potassium salts being spray washing. For this purpose

the system of nozzles, located above the layer of biodiesel through which razbryzgivaniya water droplets and their movement through the layer of methyl ester. In this case the water droplets capture small plates of potassium citrate and take them out of the biodiesel layer.

For spray washing of biodiesel is most appropriate to apply centrifugal polnochnye sprays.

Use one spray to cover the entire area of the biodiesel in the reactor is impractical due to increased cost of the whole structure. It is recommended to place the radial number of diffusers by providing a specific overlapping of their spray cones.

Keywords: *biodiesel, sprayer, pressure, citric acid, neutralization, spray pattern*

УДК 661.045.1

ОБҐРУНТУВАННЯ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНУ ҐРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА

**О. С. Ковязин, кандидат технічних наук
Запорізька державна інженерна академія**

**Г. А. Голуб, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

**Е. Б. Алієв, кандидат технічних наук
Інститут олійних культур НААН України
e-mail: gagolub@mail.ru**

Анотація. *За допомогою розробленої математичної моделі процесу теплообміну між ґрунтовим теплообмінником і масивом ґрунту, визначено тепловий потік в залежності від форми поперечного перерізу ґрунтового теплообмінника, а також часу функціонування геотермальної вентиляції. Встановлено, що на початковому етапі функціонування геотермальної вентиляції від збільшення площі теплообміну через застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника є відчутний ефект у вигляді збільшення теплового потоку. Однак ефект від застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника з часом зменшується, а потім взагалі зникає. Початковий етап функціонування геотермальної вентиляції має дуже нетривале значення і характеризується різким зниженням ефекту від застосування хвилястої форми поперечного перерізу теплообмінника.*

© О. С. Ковязин, Г. А. Голуб, Е. Б. Алієв, 2016