

УДК 621.43:62-631.4

## ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СУМІШЕВОГО БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

**В.Н. Бганцев, ст. наук. співр., к.т.н., ІПМаш ім. А.Н. Підгорного  
НАН України, м. Харків**

*Анотація.* Наведено найбільш важливі аспекти, пов'язані з надійністю функціонування елементів паливних систем дизелів при використанні сумішевого біодизельного палива.

*Ключові слова:* сумішеве біодизельне паливо, рослинні олії, паливна система дизеля, прецизійна пара, хімічна корозія.

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСЕВОГО БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

**В.Н. Бганцев, ст. науч. сотр., к.т.н., ИПМаш им. А.Н. Подгорного  
НАН Украины, г. Харьков**

*Аннотация.* Приведены наиболее важные аспекты, связанные с надежностью функционирования элементов топливных систем дизелей при использовании смесового биодизельного топлива.

*Ключевые слова:* смесовое биодизельное топливо, растительные масла, топливная система дизеля, прецизионная пара, химическая коррозия.

## FEATURES OF OPERATION OF THE ELEMENTS OF THE DIESEL FUEL SYSTEM WHEN USING MIXED BIODIESEL FUEL

**V. Bgantsev, Sr. Researcher, Ph. D. (Eng.), A. Podgorny Institute for Mechanical  
Engineering Problems of NAS of Ukraine, Kharkiv**

*Abstract.* The most important aspects related to the elements of fuel systems functioning reliability with the usage of compounded biodiesel fuel are presented. Foreign and domestic experience for fuel usage in the automotive and tractor engineering field is considered. In the review the attention is paid to physical and chemical properties of compounded biodiesel fuels, their interaction with fuel system element features and protection methods from chemical effect.

*Key words:* the blending biodiesel, vegetable oils, diesel fuel system, precision couple, chemical corrosion.

### Вступ

У наш час є очевидною потреба у докладанні зусиль щодо запобігання чи послаблення екологічної кризи, що розвивається, та її наслідків. Провідне місце у вирішенні цієї глобальної проблеми займає пошук альтернативних, екологічно чистих палив для одержання різних видів енергії.

Виробництво та застосування палив на нафтовій основі в ряді випадків призводить до виникнення речовин, що викидаються двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), з високими токсичними показниками. Все зростаючий парк ДВЗ потребує зростання видобутку та виробництва палива. Перехід до дизельних двигунів, які є більш економічними, дозволяє лише частково вирішити паливну

проблему. Тому потрібно вишукувати нові альтернативні палива. Є справедливим, що домінуюча роль у цьому повинна належати продуктам біологічного походження, зокрема рослинним оліям. Вони практично повністю біорозкладаються, не є токсичними і не призводять до утворення ксенобіотиків.

### Аналіз публікацій

Серед найбільш прийнятних для виготовлення біодизельного палива (БДП) використовують рапсову, соняшникову, кукурудзяну та пальмову олії. У різних державах обирають найбільш прийнятну олію залежно від умов вирощування того чи іншого виду рослин.

Для живлення дизелів використовують чисті олії, суміші їх метилових та етилових ефірів з дизельним паливом (ДП). Чисті олії практично ніхто не використовує у зв'язку з їх високою в'язкістю і надмірною залежністю їх від температури.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є проведення огляду особливостей функціонування елементів паливних систем дизельних двигунів при використанні сумішевого БДП.

Сумішеві БДП за своїми енергетичними та фізико-хімічними характеристиками відрізняються від ДП, тому паливна система потребує налаштування з метою стабілізації її функціонування. У цілому відомо, що прецизійні пари є ресурсовизначальними елементами паливної апаратури дизеля. У результаті досліджень у роботі [1] вивчено досвід використання сумішевого мінерально-рослинного палива як альтернативного для тракторних дизелів. Зроблено висновок, що, виходячи із необхідності збереження працездатності паливної апаратури, раціональною композицією слід вважати вміст у сумішевому мінерально-рослинному паливі до 30 % рапсової олії (за об'ємом) і 70 % мінерального ДП.

У [2], поряд із перевагами використання біодизельних палив, наведено і їх недоліки:

- агресивність до гумових та полімерних деталей двигунів;
- можливість пошкодження верхнього шару фарби при попаданні біопалива на лакофарбове покриття кузова;

- зниження на 6–8 % номінальної потужності двигуна;
- погіршення експлуатаційних низькотемпературних властивостей, що ускладнює використання їх в якості зимового та арктичного палива.

Досвід експлуатації суднових дизелів на БДП у США, Франції, Німеччині та проект переведення на цей вид палива ряду невеликих круїзних і пасажирських суден, успішно реалізований урядом Канади в 2004 році у провінції Квебек, вказує на значний інтерес до цього виду палива на державному рівні в ряді країн світу [3].

### Досвід використання сумішевого БДП у дизельних двигунах

БДП можна використовувати в існуючих двигунах і паливній системі без значного негативного впливу на робочі характеристики, є можливим застосування штатної паливної системи збереження і підготовки, такої самої, як і для дизпалива. Суміші БДП із ДП в малих пропорціях (до 5 %) не впливають на характеристики паливної системи і робочі показники двигуна.

П'ятивідсоткова добавка біопалива до мінерального палива вважається всіма автовиробниками нешкідливою для довговічності моторів [4]. Метиловий ефір рапсової олії (МЕРО) як компонент сумішевого палива з біодобавкою є хімічно активною речовиною по відношенню до деталей паливних систем і двигунів, що призводить до їх корозії й виходу з ладу в кінцевому випадку. Тому його вміст у сумішевому паливі як біодобавки обмежено п'ятьма відсотками. У країнах Євро-союзу вважається закономірним змішування 5 % біологічних добавок із мінеральним дизпаливом без попередження покупців, що купують паливо на АЗС.

У роботі [5] наведено результати дослідження на зносостійкість і надійність плунжерних пар паливних насосів високого тиску та розпилювачів форсунок при їх експлуатації на біодизельних сумішевих видах палива. Запропоновано корективи до керівництва з експлуатації дизелів.

Завдяки добрим трібологічним характеристикам біодизельних палив їх використання сприяє збільшенню ресурсу плунжерних пар паливних насосів високого тиску до 40 %.

Але під час випробування тракторів ХТЗ у польових умовах були виявлені негативні явища, що проявилися в розбуханні гумових кілець ущільнювачів насосних секцій.

Як наслідок – залишкове паливо потрапляє в картер насоса, що призводить до викиду олії через сапун паливного насоса. Якщо система змащування паливного насоса об'єднана із системою змащування двигуна, то паливо буде потрапляти в картер двигуна і псувати моторне масло.

Причиною розбухання є залишковий метанол, в паливі якого за стандартом не повинно бути більш ніж 0,2 %. Метанол, який є потужним розчинником, буде викликати не лише розбухання гумових деталей, а й розчинити в паливопроводах та паливному баку бруд, що призведе до швидкого блокування паливних фільтрів.

Експлуатаційними дослідженнями в господарствах також встановлено більш швидке закоксування отворів розпилювачів форсунок під час їх роботи на біодизельному паливі.

Серед рекомендацій щодо застосування біодизельного палива для двигунів є такі:

- контроль наявності залишкового метанолу в паливі;
- експрес-аналіз визначення температури спалаху МЕРО в закритому тиглі, яка повинна бути не менше 120 °С;
- за більш низьких температур спалаху паливо вважається непридатним для використання.

Для ефективної експлуатації дизелів на сумішевих видах палива необхідно скоротити періоди між технічними обслуговуваннями розпилювачів форсунок до 900 мотогодин при використанні В10 та 750 мотогодин – при використанні В30.

Вплив властивостей БДП на процеси впорскування та згоряння наведено в [6]. Більша, ніж у ДП, в'язкість продуктів переробки рослинних олій призводить до збільшення далькості паливного факела. У зв'язку з чим зменшується частка об'ємного сумішоутворення, більша частина палива потрапляє на стінки камери згоряння. Окрім цього, зменшується кут розпилювання паливного факела, збільшується середній діаметр крапель.

Зростання поверхневого натягу МЕРО по відношенню до дизельного палива на 14 % є причиною збільшення неоднорідності розпилювання палива. У зв'язку зі зростанням щільності МЕРО по відношенню до ДП на 6 % збільшується максимальний тиск перед форсункою, переміщується у бік збільшення дійсний момент початку впорскування палива.

Проведені розрахунки показали, що використання 100 % МЕРО порівняно з ДП призводить до збільшення середнього діаметра крапель на 14 %; при цьому кут розпилювання паливного факела зменшується на 15 %. При використанні МЕРО як палива на випаровування необхідно більше часу, паливо згоряє не повністю, збільшується його втрата та інтенсивність нагароутворення.

За наявності деталей з латуні, бронзи, міді, свинцю, олова та цинку відбувається більш інтенсивне окислення БДП з утворенням солей та інших сполук, які сприяють забрудненню фільтрів. Добре сумісними з БДП є вуглецева і нержавіюча сталь, алюміній.

У публікації [7] зазначено, що БД паливо застосовують в основному для дизелів, працездатність яких визначається технічним станом паливної апаратури. Є відомості, що перехід на паливо рослинного походження з більш високою в'язкістю дозволяє продовжити термін роботи двигунів, навіть за умов значного зносу плунжерних пар паливного насоса.

Розглядається питання використання кукурудзяної олії (КО) як БДП [8, 12]. Фізико-хімічні властивості КО суттєво відрізняються від аналогічних властивостей ДП. Більш важкий фракційний склад КО визначає її підвищену щільність та в'язкість.

КО має дещо меншу питому масову теплоту згоряння порівняно з ДП, що пов'язано з наявністю в молекулах жирних кислот КО значної кількості атомів кисню (масова частка 11 %). Слід вказати і на дещо гірше самозапалювання КО в умовах камери згоряння дизеля. КО більш схильна до коксування в таких умовах, що може призвести до значного відкладання коксу на стінках камери згоряння й розпилювачах форсунок. З урахуванням негативних якостей КО найкраще її застосувати як моторне паливо для роботи дизеля на

сумішах з ДП із великим вмістом останнього. Як доводять дослідження, показники двигуна при роботі на різних видах БДП коливаються в широких межах і залежать від конструкції дизеля [9]. У результаті досліджень встановлено, що оптимальним типом БДП може бути сумішевий склад, для зимової експлуатації – не більше 10 % біологічного продукту, інше (90 %) – ДП, для літньої експлуатації – не більше 30 %, інше – (70 %) ДП. За такого співвідношення зниження ефективної потужності та збільшення питомої витрати палива не перевищить 3–5 % за суттєвого зниження рівня вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах.

Виявлено на скорочення ресурсу паперових фільтрів в 2–3 рази при роботі на сумішевому паливі В30.

Експериментальний аналіз фізико-хімічних властивостей зразків біодизельного палива показав, що на сьогодні метилові ефіри рослинних олій, що синтезуються, не в повному обсязі відповідають вимогам до палива дизельних двигунів [10]. Більш висока щільність і в'язкість БДП призводить до збільшення тиску та погіршення показників впорскування, високе йодне число свідчить про наявність у молекулах палива реакційноспроможних кратних зв'язків, що сприяє протіканню небажаних реакцій при зберіганні палива та скорочує термін зберігання. Підвищена кислотність збільшує корозійну агресивність. БДП має високу спорідненість із гумовими матеріалами (підвищення об'ємних розмірів до 38 %), а також гідрофільність (0,23 %) в порівнянні з нафтовим. Тому в наш час БДП використовується тільки як компонент товарного палива (5 об.%). Для можливості використання БДП без зміни конструкції двигуна слід його модифікувати, в першу чергу змінюючи фракційний склад. Найбільш перспективними є домішки складних ефірів граничних карбонових кислот і спиртів меншої молекулярної маси. Додавання компонентів меншої молекулярної маси дозволяє одержати паливо, яке більш повно відповідає вимогам конструкції сучасних дизельних двигунів за рахунок широкого фракційного складу, що містить більш легкокиплячі фракції, ніж МЕРО. Ефіри граничних карбонових кислот і спиртів не містять кратних зв'язків, що дозволяє підвищити хімічну стабільність біодизельного палива під час зберігання.

На прикладі сумішевого ДП із вмістом рослинної (сафлорової) олії показано, що при вмісті олії більше 50 % необхідні зміни паливної системи двигуна [11]. Найбільш оптимальним співвідношенням компонентів зазначеного палива, з огляду на рівень закоксування розпилювачів форсунок, нагаротворення, ресурсу і техніко-економічних характеристик двигуна, є 20 % рослинної олії та 80 % ДП.

У наш час випускається сумішеве паливо під загальною європейською назвою «E-diesel», яке є сумішшю ДП з етанолом і присадками. Лідером у використанні етанолу у складі нафтового ДП є Швеція [12]. Найбільш вживаним «E-diesel» є суміш із звичайного ДП, 7–10 % етанолу та 1–2 % антикорозійних, стабілізуючих і цетанопідвищуючих присадок. Для використання таких палив не потрібно вносити конструктивні зміни до дизельного двигуна. Шведський автовиробник «Scania» адаптував два своїх дизельних двигуни під паливо, яке вміщує 90 % етанолу. У зв'язку з цим було замінено деталі паливних насосів і форсунок, а також застосовано стійкі до етанолу ущільнення. Аналог E-diesel випускається в США під маркою 02Diesel.

Паливна система дизеля є найбільш складною, коштовною і відповідальною частиною двигуна [13]. Від надійності роботи паливної апаратури залежать потужність, економічність та екологічні показники роботи техніки, що оснащена дизельними двигунами. Аналіз відмов тракторних двигунів показує, що 30–50 % всіх відмов припадає на паливну апаратуру. Це викликано низькою надійністю паливної апаратури дизельних двигунів в умовах експлуатації. За кордоном існує ряд робіт, що підтверджують поліпшення довговічності плунжерних пар паливного насоса високого тиску тракторних дизельних двигунів у разі використання БДП.

Змашувальні властивості дизельних палив є значно гіршими, ніж у рослинних олій, оскільки в'язкість і вміст поверхнево-активних речовин у мінеральних палив є нижчими. Зазначено, що серед найбільш перспективних джерел поверхнево-активних речовин на поточний момент може бути БДП.

При роботі плунжерної пари в середовищі БДП та його сумішей на поверхнях плунжера і втулки утворюється захисний шар, що

складається з молекул поверхнево-активних речовин різної орієнтації. Цей шар сприяє зменшенню втрат на тертя і знижує зношування за рахунок перешкоджання виникненню адгезійного контакту поверхонь тертя. Найбільше підвищення ресурсу склало 33,4 % при використанні 100 % БДП. У роботі [14] наведено особливості застосування сумішевого БДП на основі рапсової олії для тракторного двигуна. Адаптована паливна система має у своєму складі підігрівач сумішевого палива до температури 65–70 °С. Таким чином, досягається необхідна в'язкість БДП для можливості його фільтрації й подавання паливним насосом і форсунками у камери згоряння дизеля.

Внаслідок зниження цетанового числа суміші ДП і рослинної олії ускладнюється пуск холодного двигуна, тому для адаптування дизельного двигуна до моторного палива на основі рапсової олії пропонується використовувати електрофакельний підігрівач повітряного заряду, що встановлюється у впускному колекторі. Розділити систему живлення дизеля на дизельну і біодизельну частини, ввести автоматичне регулювання співвідношення цих палив у процесі роботи пропонується в [15]. У такому варіанті частина системи живлення БДП адаптована до його застосування. Основним параметром, яким треба керувати і який відсутній у класичній системі живлення, є співвідношення компонент суміші палив, визначення і керування яким є основною особливістю розробленої системи живлення. Підігрів БДП є обов'язковим для його використання, особливо за низьких температур оточуючого середовища. При підігріві БДП від 20 °С до 50 °С його в'язкість зменшується приблизно на 50 %.

Процес запуску дизеля відбувається на ДП, і коли температура БДП досягає необхідних значень, то система живлення дизеля перемикається на БДП або його суміші з ДП.

Процентний склад суміші палив визначають шляхом оцінки значення кута повороту колінчастого вала, за якого відбувається закінчення горіння суміші палив. Застосування методики керування системою живлення дизеля при переведенні його на роботу із сумішшю дизельного і БДП з динамічним регулюванням її процентного складу дозволяє забезпечити роботу двигуна з базовими тех-

нічними показниками дизеля, при цьому значно поліпшити його екологічні показники.

### Висновки

З метою захисту елементів паливної апаратури дизеля від високої хімічної активності МЕРО в [16] рекомендується забезпечити стійке покриття всіх компонентів паливної системи. Для створення якісних сумішей МЕРО з ДП пропонуються установки типу УСБ торгової марки Globe Core. Це обладнання розроблено спеціально для змішування від двох до п'яти початкових компонентів. В установках досягається стійкий стан одержаного палива протягом як мінімум 180 днів.

За наведеним аналітичним оглядом можна зробити такі висновки. В Україні ще не існує масового застосування БДП. Його в певній пропорції з дизельним паливом використовують тільки деякі сільські господарства, фермерські господарства для тракторної техніки. Вміст біологічної складової в сумішевому паливі до 5 % не впливає на надійність і стабільність функціонування паливної апаратури. Для безпечної експлуатації двигуна на сумішевих паливах із більшою концентрацією біологічного продукту необхідні захисні заходи для нейтралізації його корозійного впливу на елементи паливної системи та гумові і пластикові деталі, що контактують із біодизельним паливом. Необхідно скорочувати терміни між технічними обслуговуваннями двигунів.

### Література

1. Быченин А.П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смесового минерально-растительного топлива: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» / Александр Павлович Быченин. – Пенза, 2007. – 17 с.
2. Лядский И. Смесевые биотоплива – энергетический авангард планеты. – Режим доступа: [http://www.biotoplivo.ru/bioethanol/news/smesevye\\_biotopliva\\_energeticheskijj\\_avangard\\_planety/](http://www.biotoplivo.ru/bioethanol/news/smesevye_biotopliva_energeticheskijj_avangard_planety/).
3. Горбов В.М. Состояние и перспективы использования биодизельных топлив в судовой энергетике / В.М. Горбов,

- В.С. Митенкова // Вісник СевДТУ: зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 97 (Механіка, енергетика, екологія). – С. 107–112.
4. Ажгирей М. Дизтопливо с биодобавкой: смерть или жизнь для двигателя? / М. Ажгирей // Автобизнес. – 2010. – 3 (709). – 21 января. – Режим доступа: [https://www.abw.by/number/see\\_note/6046/](https://www.abw.by/number/see_note/6046/).
  5. Особливості експлуатації паливної апаратури дизелів сільськогосподарського призначення при застосуванні біологічного палива / В.А. Войтов, М.С. Даценко, М.В. Карнаух, С.П. Сорокін // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – Т. 144, Ч. 1. – С. 322–329.
  6. Техника и технологии производства и переработки растительных масел / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов: Издательство ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 92 с.
  7. Таманджа И. Перспективы и обоснование использования биодизеля в судовых дизельных установках / И. Таманджа, Н.Н. Шуйтасов // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 158–166.
  8. Марков В.А. Кукурузное масло как противодымная присадка к нефтяным топливам / В.А. Марков, С.Н. Девянин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 5 (23). – С. 6–10.
  9. Войтов В.А. Биотопливо и последствия его использования для двигателя и окружающей среды / В.А. Войтов, Н.В. Карнаух. – Режим доступа: <http://tv.sb.by/vestnik-ro-belagroservis/article/biotoplivo-i-posledstviya-ego-ispolzovaniya.html>.
  10. Дворецкий С.И. Производство биодизельного топлива из органического сырья / С.И. Дворецкий // Вопросы современной науки и практики. Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № 39. – С. 126–135.
  11. Кожевников А.А. Обеспечение работоспособности топливной аппаратуры дизелей при использовании смесового дизельного топлива (на основе сафлорового масла): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» / Александр Александрович Кожевников. – Саратов, 2012. – 20 с.
  12. Полищук В. Альтернативные дизельные топлива / В. Полищук, В. Дубровин, А. Полищук // Motrol. – 2012. – Vol. 14, № 3. – С. 20–31.
  13. Дрюпин П.В. Повышение долговечности плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизельных двигателей: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» / Павел Валерьевич Дрюпин. – Улан-Удэ, 2012. – 19 с.
  14. Селиванов Н.И. Технология производства и использования смесового топлива на основе рапсового масла для автотракторных дизелей / Н.И. Селиванов, А.А. Доржеев. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2013. – 15 с.
  15. Галушак А. Методика управления системой питания дизеля при использовании динамического регулирования процентного содержания смеси топлива / А. Галушак // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 3. – С. 1–8.
  16. Проблемы и перспективы использования смеси дизельного топлива и рапсового масла // GlobeCore. – 17 июня 2016. – Режим доступа: <http://blending.globecore.ru/2016/06/17/>.

#### References

1. Byichenin A.P. *Povyishenie resursa plunzhernykh par toplivnogo nasosa vyisokogo davleniya traktornykh dizeley primeneniem smesevogo mineralno-rastitelnogo topliva*. Avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. teh. nauk: 05.20.03 «Tekhnologii i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v sel'skom khozyaystve» [Improving resource plunger high-pressure fuel pump of tractor diesel engines using blends with mineral and vegetable fuel]. Penza, 2007. 17 p.
2. Lyadskiy I. *Smesevyie biotopliva – energeticheskiy avangard planety* [Mixed biofuel – energy vanguard of the planet]. Available at: [http://www.biotoplivo.ru/bioethanol/news/sme-evye\\_biotopliva\\_energeticheskij\\_avangard\\_planety/](http://www.biotoplivo.ru/bioethanol/news/sme-evye_biotopliva_energeticheskij_avangard_planety/) (accessed 15.11.2016).
3. Gorbov V.M., Mitenkova V.S. *Sostoyanie i perspektivy ispolzovaniya biodizelnykh topliv v sudovoy energetike* [State and pro-

- spects of using biodiesel fuels in marine energy]. *Visnik SevDTU: zb. nauk. pr.* 2009, Vol. 97, pp. 107–112.
4. Azhgirey M. *Diztoplivo s biодо-bavkoy: smert ili zhizn dlya dvigatelya?* [Diesel fuel with bio-additives: death or life for the engine?]. *Avtobiznes*, 2010. Vol. 3 (709). 21 January. Available at: [https://www.abw.by/number/see\\_note/6046/](https://www.abw.by/number/see_note/6046/) (accessed 15.11.2016).
  5. Voitov V.A., Datsenko M.S., Karnaukh M.V., Sorokin S.P. *Osoblyvosti ekspluatatsii' palyvnoi' aparatury dyzeliv sil's'kogospodars'kogo pryznachennja pry zastosuvanni biologichnogo palyva* [Features of operation of fuel equipment of diesel engines for agricultural purposes in the application of biofuels]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy.* 2010, iss. 144, Vol. 1, pp. 322–329.
  6. Nagornov S.A., Dvoret'skiy D.S., Romantsova S.V., Tarov V.P. *Tehnika i tehnologii proizvodstva i pererabotki rastitelnykh masel* [Technique and technology of production and processing of vegetable oils]. Tambov: GOU VPO TGTU Publ., 2010. 92 p.
  7. Tamandzha I., Shuytasov N.N. *Perspektivy i obosnovanie ispolzovaniya biodizelya v sudovykh dizelnykh ustanovkakh* [Prospects and grounds for the application of a biodiesel in marine power plants]. *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tehnika i tehnologiya.* 2010, Vol. 1, pp. 158–166.
  8. Markov V.A., Devyanin S.N. *Kukuruznoe maslo kak protivodyimnaya prisadka k neftyanyim toplivam* [Corn Oil as Antismoke Additive to Petroleum Fuels]. *Transport na alternativnom toplive.* 2011, Vol. 5 (23). pp. 6–10.
  9. Voytov V.A., Karnauh N.V. *Biotoplivo i posledstviya ego ispolzovaniya dlya dvigatelya i okruzhayushey sredy* [Biofuels and the consequences of its use for the engine and the environment]. Available at: <http://tv.sb.by/vestnik-ro-belagroservis/article/biotoplivo-i-posledstviya-ego-ispolzovaniya.html> (accessed 15.11.2016).
  10. Dvoret'skiy S.I., Zazulja A.N., Nagornov S.A., Romancova S.V., Rjazanceva Y.A. *Proizvodstvo biodizelnogo topliva iz organicheskogo syrya* [Biodiesel Production from Organic Raw Materials]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Tavricheskiy natsionalnyy universitet im. V.I. Vernadskogo.* 2012, Vol. 39, pp. 126–135.
  11. Kozhevnikov A.A. *Obespechenie rabotosposobnosti toplivnoy apparatury dizeley pri ispolzovanii smesevogo dizelnogo topliva (na osnove saflorovogo masla).* *Avtoref. dis. na soiskanie uchenoy stepeni kand. tech. nauk: 05.20.03 «Tekhnologii i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v sel'skom khozyaystve».* Saratov, 2012. 20 p.
  12. Polischuk V., Dubrovin V., Polischuk A. *Alternativnyye dizelnyye topliva* [Alternative diesel fuel]. *Motrol.* 2012, Vol. 3, pp. 20–31.
  13. Dryupin P.V. *Povyishenie dolgovechno-sti plunzhernykh par toplivnogo nasosa vyiskogo davleniya traktornykh dizelnykh dvigateley.* *Avtoref. dis. na soiskanie uchenoy stepeni kand. teh. nauk: 05.20.03 03 «Tekhnologii i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v sel'skom khozyaystve»* [Increased durability of the fuel pump plunger high pressure of tractor diesel engines]. Ulan-Ude, 2012, 19 p.
  14. Selivanov N.I., Dorzheev A.A. *Tehnologiya proizvodstva i ispolzovaniya smesevogo topliva na osnove rapsovogo masla dlya avtotraktornykh dizeley* [The technology of production and use of mixed fuel based on rapeseed oils for automotive diesel engines]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarniy universitet Publ., 2013, 15 p.
  15. Galuschak A. *Metodika upravleniya sistemoy pitaniya dizelya pri ispolzovanii dinamicheskogo regulirovaniya protsentnogo soderzhaniya smesi topliva* [Methods of control of diesel power system using a dynamic control of the percentage of fuel mixture]. *Naukovi pratsi VNTU.* 2015, Vol. 3, pp. 1–8.
  16. Problemy i perspektivy ispolzovaniya smesi dizelnogo topliva i rapsovogo masla [Problems and prospects of using a mixture of diesel fuel and rapeseed oil]. Available at: <http://blending.globecore.ru/2016/06/17/> (accessed 15.11.2016).

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.