УДК 665.11, 662.75

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-76-83

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕТАНОВОГО ЧИСЛА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА,
ПОЛУЧЕННОГО НА ВИХРЕВОМ РЕАКТОРЕ,
ПО СОСТАВУ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ**

¹Романцова Светлана Валерьевна

²Нагорнов Станислав Александрович

²Корнев Алексей Юрьевич

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Цетановое число является одной из важных эксплуатационных характеристик дизельного топлива. Оно характеризует способность топлива к самовоспламенению в процессе работы дизельного двигателя. Если цетановое число меньше 40, наблюдается детонация, которая увеличивает износ двигателя. Действующие в настоящее время стандарты требуют для дизельного топлива цетановое число не менее 51. Обоснована необходимость определения цетанового числа биодизельного топлива расчетным путем. Создана упрощенная математическая модель для быстрого определения цетанового числа конечного продукта по составу метиловых эфиров жирных кислот. Выявлена необходимость интенсивного перемешивания компонентов с целью снижения времени реакции переэтерификации. Показаны характерные недостатки существующих способов синтеза биодизельного топлива. Разработана схема опытно-промышленной установки по получению биодизельного топлива на основе инновационного вихревого реактора. Впервые выявлено изменение жирнокислотного состава растительных масел при их синтезе под действием вихревого эффекта. Доказан несостоятельным постулат о совпадении жирнокислотного состава исходного масла и конечного продукта в случае использования вихревой трубы. Предложен способ нахождения цетанового числа биодизельного топлива по составу эфиров жирных кислот. Подтверждена гипотеза о распределении влияния отдельных компонентов биодизельного топлива на цетановое число в соответствии с законом аддитивности. Установлено влияние изменения длины цепи молекулы и числа двойных связей в углеродном радикале на величину цетанового числа. Теория построена на полученных и проверяемых данных эксперимента и удовлетворительно согласуется с опубликованными результатами по рассматриваемой тематике.

Ключевые слова: биодизель, вихревой реактор, двойная связь, жирнокислотный состав, математическая модель, прогнозирование, цетановое число, углеродный радикал.

**FORECASTING OF THE CETAN NUMBER OF BIO-DIESEL FUEL OBTAINED BY THE
VORTEX REACTOR, BY THE COMPOSITION OF METHYL ETHERS OF FATTY ACIDS**

¹Romantsova Svetlana

²Nagornov Stanislav

²Kornev Alexey

¹FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"

²FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. The necessity of determining the cetane number of biodiesel fuel by calculation has been substantiated. A simplified mathematical model has been created to quickly determine the cetane number of the final product by the composition of methyl esters of fatty acids. The need for intensive mixing of the components in order to reduce the reaction time transesterification. The characteristic disadvantages of existing methods for the synthesis of biodiesel fuel are shown. The scheme of a pilot plant for producing biodiesel based on an innovative vortex reactor has been developed. For the first time, a change in the fatty acid composition of vegetable oils was revealed during their synthesis under the influence of a vortex effect. The postulate on the coincidence of the fatty acid composition of the starting oil and the final product in the case of the use of a vortex tube is proved to be untenable. A method for finding the

cetane number of biodiesel by the composition of fatty acid esters is proposed. The hypothesis about the distribution of the influence of individual components of biodiesel on the cetane number in accordance with the law of additivity is confirmed. The effect of changing the chain length of the molecule and the number of double bonds in the carbon radical on the value of the cetane number is established. The theory is based on the obtained and verified experimental data and is in satisfactory agreement with the published results on the subject under discussion.

Keywords: *biodiesel, vortex reactor, double bond, fatty acid composition, mathematical model, forecasting, cetane number, carbon radical.*

Введение. Цетановое число является одной из важных эксплуатационных характеристик дизельного топлива. Оно характеризует способность топлива к самовоспламенению в процессе работы дизельного двигателя, т.е. время между впрыском топлива в двигатель и моментом начала горения топлива. С увеличением цетанового числа это время уменьшается, что способствует более спокойному горению топлива в двигателе. Если цетановое число меньше 40, наблюдается детонация, которая увеличивает износ двигателя. Действующие в настоящее время стандарты требуют для дизельного топлива цетановое число не менее 51.

Численное значение этой величины непосредственно зависит от строения органических соединений, входящих в состав топлива. Нефтяные топлива представляют собой смесь углеводородов, различающихся по строению углеродного скелета. Самые низкие цетановые числа имеют карбоциклические углеводороды ароматического строения, а самые высокие – предельные углеводороды (алканы) с неразветвлённой углеродной цепью. С увеличением длины цепи цетановое число увеличивается, с увеличением разветвлённости углеродного скелета – уменьшается. Кратные связи также уменьшают цетановое число. Следовательно, высокими цетановыми числами должны обладать топлива с высоким содержанием алканов, но такое топливо будет обладать неудовлетворительными низкотемпературными характеристиками из-за сравнительно высокой температуры плавления алканов.

Цетановое число дизельных топлив, производимых российскими нефтеперерабатывающими заводами, в настоящее время составляет 48 – 50 [1]. Его увеличивают, добавляя специальные цетаноповышающие присадки. Часто следствием этого является ухудшение смазывающих характеристик дизельного топлива, что требует введения других присадок. К снижению цетанового числа и ухудшению смазывающих свойств современных топлив приводят процессы глубокой очистки, удаляющие многие нативные гетероатомные соединения и улучшающие экологические свойства топлив. Поэтому создание современного дизельного топлива, соответствующего строгим экологическим нормам и обладающего удовлетворительными эксплуатационными характеристиками невозможно без использования специальных присадок или добавок.

Одной из таких добавок может быть биодизельное топливо – метиловые эфиры высших жирных кислот (МЭЖК). Молекулы биодизельного топлива не содержат ароматических и серусодержащих соединений, поэтому после его сгорания в выхлопных газах отсутствуют оксиды серы (приводящие к образованию кислотных осадков) и полициклические ароматические углеводороды (проявляющие канцерогенные свойства) [2 – 9]. В отличие от углеводородов нефтяных топлив, молекулы МЭЖК содержат атомы кислорода, которые увеличивают полноту сгорания топлива и снижают содержание сажи и несгоревших углеводородов в выхлопных газах. Биодизельное топливо имеет более высокую биоразлагаемость и температуру вспышки, что делает более безопасным его хранение и перевозку. Ещё одно преимущество биодизельного топлива состоит в том, что сырьём для его синтеза является возобновляемая растительная биомасса. МЭЖК получают путем переэтерификации триацилглицеринов растительного масла низкомолекулярным метиловым спиртом. Биодизельное топливо имеет высокое цетановое число (до 58) и его добавление улучшает смазывающие свойства глубоочищенных нефтяных топлив [10 – 12].

В настоящее время определение цетанового числа происходит с помощью сложного и дорогостоящего оборудования в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 32508-2013 «Топлива дизельные. Определение цетанового числа». Поэтому поиск альтернативных путей определения цетанового числа является актуальным.

Целью данного исследования является создание простой математической модели определения цетанового числа конечного продукта по составу метиловых эфиров жирных кислот.

Экспериментальная часть. Синтез биодизельного топлива проводили по реакции переэтерификации. В качестве катализатора использован гидроксид калия, сырьём для синтеза являлось рапсовое масло, выращенное на территории Пензенской области. Жирнокислотный состав биодизельного топлива определяли на хроматографе Кристаллюкс-4000М по ГОСТ 30418-96 «Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава», для обработки результатов хроматографического анализа использовалось программное обеспечение «Хроматэк-Аналитик». Расчет производился при помощи программного продукта Excel (Microsoft).

Результаты и их обсуждение. В настоящее время существует несколько способов аппаратного оформления синтеза биодизельного топлива. Как правило, используется гомогенный щелочной катализ и аппарат с мешалкой. Однако при этом синтез проходит в течение длительного времени (несколько часов). Растительное масло и спирт не обладают взаимной растворимостью, реакция происходит на границе раздела двух жидких фаз. Для интенсификации реакции переэтерификации необходимо обеспечить как можно более интенсивное перемешивание компонентов, для чего можно использовать роторные или кавитационные аппараты. Однако эти аппараты довольно сложны и имеют высокую стоимость.

Как показали наши исследования, обеспечить интенсивное перемешивание может вихревой реактор, действие которого основано на использовании эффекта Ранка-Хилша. Такой реактор компактен, имеет очень простую конструкцию, исключаящую трущиеся детали и систему охлаждения, прост в обслуживании, имеет малую энергоёмкость. На рисунке 1 представлена принципиальная схема установки для синтеза биодизельного топлива с вихревым реактором.

Движение периферийного и приосевого потоков в аппарате описывается законами движения потенциального вихря и квазитвёрдого тела соответственно [13-14]. В аппарате происходят турбулентные пульсации, благодаря которым происходит перенос энергии от одного потока к другому. Вероятно, в результате этого происходит не только интенсификация реакции переэтерификации, но и активация молекул перерабатываемого растительного масла.

Проведённые экспериментальные исследования позволили установить, что после прохождения через вихревую трубу растительного масла происходит заметное изменение его жирнокислотного состава (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение жирнокислотного состава растительного масла и биодизельного топлива

Содержание кислот в исходном масле	Содержание, %	Содержание кислот в биодизельном топливе	Содержание, %	Изменение, %
Миристиновая	0,65	-	0	-0,65
Пальмитиновая	8,88	Пальмитиновая	0,68	-8,2
Стеариновая	4,33	Стеариновая	8,37	+4,04
Олеиновая	47,04	Олеиновая	56,67	+9,63
Линолевая	1,55	Линолевая	2,25	+0,7
Бегеновая	12,37	Бегеновая	12,77	+0,4
Эруковая	5,8	Эруковая	3,58	-2,22
Не идентифицировано	19,38	Не идентифицировано	15,68	-3,7
Итого	100		100	

Следовательно, широко принятое в литературе допущение, что конечный состав кислот биодизельного топлива практически совпадает с составом кислот в исходном масле в нашем случае не применимо.

Цетановое число биодизельного топлива должно отличаться от цетанового числа растительного масла, т.к. в их состав входят сложные эфиры жирных кислот различного состава. В растительном масле это эфиры трёхатомного спирта глицерина, который связывает три остатка различных или одинаковых кислот, образуя молекулу большой молекулярной массы (около 900 г/моль). Молекула МЭЖК содержит только один остаток кислоты и имеет меньшую молекулярную массу (около 300 г/моль). По данным [15] различаются цетановые числа даже метиловых и этиловых эфиров одной и той же кислоты. Так, для метилового и этилового эфира стеариновой кислоты эти величины составляют 86,9 и 76,8, для пальмитиновой кислоты 74,5 и 85,9 соответственно.

В нашем случае ещё и жирнокислотный состав масла не совпадает с жирнокислотным составом синтезированного топлива.

1 – Емкость для спирта/алкоголя; 2 – Емкость предварительного смешивания; 3 – Вихревой биореактор; 4 – Емкость нейтрализации; 5 – Емкость ортофосфорной кислоты; 6 – Емкость нейтрализации; 7 – Емкость выпаривания; 8 – Компрессор; Н1 – насос спирт/алкоголя; Н2 – насос масла исходного; Н3 – насос биореактора; Н4 – насос откачки глицерина/закачки биодизеля после отстаивания; Н5 – насос перемешивающий/выкачки промышленной воды; Н6, Н8 – перекачивающие насосы; Н7 – насос выкачки готового продукта; 1-14 – электроклапаны; С1-С9 – счетчики с импульсным выходом; К1-К25 – краны шаровые.

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

В работе предлагается способ определения цетанового числа биодизельного топлива по составу метиловых эфиров жирных кислот (определённый методом хроматографии), с допущением, что распределение влияния каждого компонента биодизеля на цетановое число подчиняется аддитивному закону. На основании закона аддитивности значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, в некотором классе возможных разбиений объекта на части.

Математическая модель на основе закона аддитивности будет выглядеть следующим образом:

Обозначим количество каждой кислоты в масле или топливе за K .

K_1 – содержание 1-ой кислоты, %,

K_2 – содержание 2-ой кислоты, %,

...

K_i – содержание i -ой кислоты, %,

....

K_n – содержание n -ой кислоты, %,

N – количество кислот.

Ц_i – цетановое число i -го компонента.

Тогда цетановое число всего объема можно рассчитать по следующей формуле:

$$\text{Ц}_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n K_i \times \text{Ц}_i. \quad (1)$$

Цетановое число каждого отдельного компонента смеси можно получить экспериментально, значения для самых распространённых метиловых эфиров известны [15]. Но для многих МЭЖК экспериментальные значения не получены.

Существует несколько расчётных формул для определения цетанового числа. Так, авторы работы [16] предлагают следующую формулу:

$$\text{Ц} = -7,8 + 0,302 M - 20 N, \quad (2)$$

где M – молярная масса МЭЖК, N – число двойных связей в радикале жирной кислоты МЭЖК.

В работе [17] предлагается формула для расчёта цетанового числа биодизельного топлива, но и её можно использовать для расчёта соответствующей величины для отдельных МЭЖК:

$$\text{ЦЧ} = 61,1 + 0,088X_1 + 0,133X_2 + 0,152X_3 - 0,101X_4 - 0,039X_5 - 0,243X_6 - 0,395X_7, \quad (3)$$

где $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ – процентное содержание метиловых эфиров соответственно миристиновой, пальмитиновой, стеариновой, пальмитолеиновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот.

В таблице 2 представлены цетановые числа МЭЖК, определённые экспериментально [15] и рассчитанные по формулам (2) и (3).

Таблица 2 – Экспериментальные и расчётные цетановые числа МЭЖК

Метиловый эфир кислоты	Значение цетанового числа, определённое		
	экспериментально	по формуле (2)	по формуле (3)
линоленовой	22,7	20,4	21,6
линолевой	42,2	41,0	36,8
пальмитолеиновой	51,0	53,1	51,0
олеиновой	55,0	61,6	57,2
миристиновой	66,2	65,3	69,9
пальмитиновой	74,5	73,7	74,4
стеариновой	86,2	82,2	76,3

Видно, что обе формулы адекватно учитывают закономерности изменения цетанового числа органического соединения от его строения. Так, с ростом длины цепи молекулы увеличивается и цетановое число, а с ростом числа двойных связей в углеродном радикале цетановое число уменьшается. Ошибка определения цетанового числа не превышает 12 % для обеих формул. Расчёты по обеим формулам в некоторых случаях дают значение больше расчётного, в некоторых – меньше, что хорошо видно на рисунке 2.

Метилловые эфиры жирных кислот: 1 – линоленовой, 2 – линолевой, 3 – пальмитолеиновой, 4 – олеиновой, 5 – миристиновой, 6 – пальмитиновой, 7 – стеариновой.

Рисунок 2 – Значения цетанового числа, определённые: экспериментально (сплошная линия), по формуле (2) (пунктирная линия), по формуле (3) (штриховая линия).

Более предпочтительной является всё же формула (2), так как она является более универсальной. Зная молекулярную массу и число двойных связей, можно рассчитать цетановое число для любой молекулы МЭЖК.

Цетановое число биодизельного топлива на основе рапсового масла, по формулам (1) и (2) составит 58,6, что хорошо совпадает с литературными данными – от 51 до 58.

Заключение. Для бесперебойной работы автотракторной техники необходимо знать характеристику воспламеняемости смесового моторного топлива для дизельных двигателей, оцениваемую с помощью цетанового числа. Наименее изучена проблема нахождения цетанового числа для биодизельного топлива как одного из основных компонентов смесового топлива. В настоящее время практически отсутствуют достаточно строгие теории (математические и физические модели), объясняющие экспериментально установленный факт существенного изменения жирнокислотного состава растительного масла под воздействием вихревого эффекта. В то же время наши эксперименты и немногочисленные литературные данные свидетельствуют о непосредственном влиянии на величину цетанового числа изменения длины цепи молекул и количества двойных связей в углеродном радикале. Слабость существующих модельных представлений привела к тому, что основным способом выявления реальной физической картины рассматриваемого процесса и базой развития теории остается пока эксперимент. Поэтому предложенная математическая модель прогнозирования цетанового числа биодизельного топлива, позволяющая применять ее как при оценке качества конечного продукта, так и при расчетах оптимизации технологического процесса, может использоваться для решения конкретных технологических задач в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Митусова Т.Н. Современное состояние производства присадок к дизельным топливам. Требования к качеству // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний, 2009. – № 9-10. – С. 10-16.
2. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Дворецкий С.И., Макушин А.А. Биотопливо для дизелей // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 10. – С. 34-36.
3. Нагорнов С.А., Марков В.А., Девянин С.Н. Применение смесовых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 6. – С. 26-33.
4. Марков В.А., Нагорнов С.А., Девянин С.Н. Состав и теплота сгорания биотоплив, получаемых из растительных масел. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. – 2012. – № 2(45). – С. 65-80.

5. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Дворецкий С.И. Исследование кинетики процесса метанолиза при переработке растительного сырья в биотопливо. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15. № 3. – С. 572-580.
6. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Ермаков А.А. Моделирование гидродинамики в реакторе с вихревым слоем ферромагнитных частиц при синтезе биотоплива. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2010. – № 10-12(31). – С. 359-368.
7. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Рязанцева И.А., Бодягина С.В. Интенсификация синтеза биодизельного топлива вращающимся электромагнитным полем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – С. 8-10.
8. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Романцова С.В. Сбалансированный состав экологически чистого топлива из растительного сырья как одно из условий механизации в садоводстве. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 63-55.
9. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Быковская Л.И. Оптимизация состава многокомпонентных биотоплив для дизелей сельскохозяйственных машин. // Наука в центральной России. – 2013. – № 3. – С. 36-53.
10. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Преимущества биодизельного топлива // Инновационная наука, 2016. – № 5. – С. 72-74
11. Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Варнакова Е.А. Результаты исследований низкотемпературных свойств и цетанового числа биодизельного топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. – № 2 (34). – С. 168-173.
12. Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Товстыка В.С., Черемисинов П.Н. Определение эксплуатационных показателей трактора "Беларус-922" при работе на смесевом топливе // Вестник Мордовского университета, 2018. – Т. 28. – № 3. – С. 445-458.
13. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект, Т. 1 : Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование. – М.: Научтехлитиздат, 2013. – 342 с.
14. Хоробрых М. А., Клементьев В. А. Вихревой эффект Ранка-Хилша. Вихревая труба // Молодой ученый, 2012. – №6. – С. 54-55.
15. Knothe, G. Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters // Fuel Processing Technology, 2005. – № 86. – P. 1059-1070.
16. Сергеева Я.Э., Мостова Е.Б., Горин К.В., Комова А.В., Конова И.А., Пожидаев В.М., Готовцев П.М., Василов Р.Г., Синецкий С.П. Расчет характеристик биодизельного топлива на основе жирнокислотного состава липидов некоторых биотехнологически значимых микроорганизмов // Биотехнология, 2017. – Т. 33. – № 1. – С. 53-61
17. Семёнов В.Г., Пясецкий А.А. Оценка влияния жирнокислотного состава биодизельного топлива на его характеристики // Масла и жиры, 2013. – № 9/10. – С. 38-39.

References

1. Mitusova T.N. Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva prisadok k dizel'nyim toplivam. Trebovaniya k kachestvu // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompaniy, 2009. – № 9-10. – S. 10-16.
2. Nagornov S.A., Romancova S.V., Dvoreckij S.I., Makushin A.A. Biotoplivo dlya dizelej // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 2006. – № 10. – S. 34-36.
3. Nagornov S.A., Markov V.A., Devyanin S.N. Primeneniye smesevykh biotopliv na osnove metilovykh efirov rastitel'nykh masel v transportnykh dizelyah // Bezopasnost' v tekhnosfere. – 2011. – № 6. – S. 26-33.
4. Markov V.A., Nagornov S.A., Devyanin S.N. Sostav i teplota sgoraniya biotopliv, poluchaemykh iz rastitel'nykh masel. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya Estestvennye nauki. – 2012. – № 2(45). – S. 65-80.
5. Nagornov S.A., Romancova S.V., Dvoreckij S.I. Issledovanie kinetiki processa metanoliza pri pererabotke rastitel'nogo syr'ya v biotoplivo. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2009. – Т. 15. № 3. – S. 572-580.
6. Nagornov S.A., Dvoreckij D.S., Dvoreckij S.I., Ermakov A.A. Modelirovaniye gidrodinamiki v reaktore s vihrevym sloem ferromagnitnykh chastic pri sinteze biotopliva. // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2010. – № 10-12(31). – S. 359-368.
7. Nagornov S.A., Romancova S.V., Ryazanceva I.A., Bodyagina S.V. Intensifikatsiya sinteza biodizel'nogo topliva vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya

sel'skogo hozyajstva. – 2010. – № 5. – S. 8-10.

8. Nagornov S.A., Zazulya A.N., Romancova S.V. Sbalansirovannyj sostav ekologicheski chistogo topliva iz rastitel'nogo syr'ya kak odno iz uslovij mekhanizacii v sadovodstve. // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 3. – S. 63-55.

9. Markov V.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A., Bykovskaya L.I. Optimizaciya sostava mnogokomponentnyh biotopliv dlya dizelej sel'skohozyajstvennyh mashin. // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 3. – S. 36-53.

10. Gafurov N.M., Khismatullin R.F. Preimushchestva biodizel'nogo topliva // Innovatsionnaya nauka, 2016. – № 5. – S. 72-74

11. Varnakov D.V., Varnakov V.V., Varnakova Ye.A. Rezul'taty issledovaniy nizkotemperaturnykh svoystv i tsetanovogo chisla biodizel'nogo topliva // Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 2016. – № 2 (34). – S. 168-173.

12. Plotnikov S.A., Buzikov S.H.V., Tovstyka V.S., Cheremisinov P.N. Opredeleniye ekspluatatsionnykh pokazateley traktora "Belarus-922" pri rabote na smesevom toplive // Vestnik Mordovskogo universiteta, 2018. – T. 28. – № 3. – S. 445-458.

13. Piralishvili S.H.A. Vikhrevoy effekt, T. 1 : Fizicheskoye yavleniye, eksperiment, teoreticheskoye modelirovaniye. – M.: Nauchtekhizdat, 2013. – 342 s.

14. Khorobrykh M. A., Klement'yev V.A. Vikhrevoy effekt Ranka-Khilsha. Vikhrevaya truba // Molodoy uchenyy, 2012. – №6. – S. 54-55.

15. Knothe, G. Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters // Fuel Processing Technology, 2005. – № 86. – P. 1059-1070.

16. Sergeyeva YA.E., Mostova Ye.B., Gorin K.V., Komova A.V., Konova I.A., Pozhidayev V.M., Gotovtsev P.M., Vasilov R.G., Sineokiy S.P.. Raschet kharakteristik biodizel'nogo topliva na osnove zhirokislotojnogo sostava lipidov nekotorykh biotekhnologicheski znachimykh mikroorganizmov // Biotekhnologiya, 2017. – T. 33. – № 1. – S. 53-61

17. Semonov V.G., Pyasetskiy A.A. Otsenka vliyaniya zhirokislotojnogo sostava biodizel'nogo topliva na yego kharakteristiki // Masla i zhiry, 2013. – № 9/10. – S. 38-39.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Нагорнов Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru

Nagornov Stanislav – Full Doctor of Technical sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 19.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2019