УДК 665.11

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-105-111

РАСЧЁТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

^{1,2}Романцова Светлана Валерьевна²Гладышева Ирина Владимировна²Вервекина Наталья Владимировна¹Нагорнов Станислав Александрович¹Ликсутина Анна Павловна³Романцова Анастасия Анатольевна¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт

использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»³МАОУ «Средняя общеобразовательная школа № 33»

Реферат. Удешевление технологического процесса синтеза биодизельного топлива требует более широкого применения систем автоматизации, а для их внедрения требуются математические зависимости, связывающие физико-химические характеристики компонентов биодизельного топлива со строением его молекул. Наиболее востребованные показатели качества биотоплива: плотность, кинематическая вязкость, йодное число. Исследованы зависимости плотности и кинематической вязкости биодизельного топлива от температуры и жирнокислотного состава топлива. Установлено, что с увеличением молекулярной массы метилового эфира его вязкость увеличивается, а плотность уменьшается. Увеличение числа двойных связей в радикале влечёт за собой увеличение плотности и уменьшение вязкости. Проведены расчёты йодного числа, плотности и кинематической вязкости по формулам, связывающим эти величины с молекулярной массой и степенью непредельности компонентов биотоплива. Установлено, что в формуле для определения йодного числа топлива необходимо выражать массовую долю сложного эфира в смеси в процентах, а при расчёте плотности и кинематической вязкости в долях от единицы. Определено, что расчётная величина кинематической вязкости соответствует температурному интервалу от 40 °С до 50 °С, причём находится ближе к величине вязкости при 50 °С, ошибка составляет от 1 до 4 %. Ошибка по отношению к величине вязкости, измеренной при 40 °С (в соответствии с требованиями ГОСТ), больше – от 13 до 20 %. Расчётная величина плотности соответствует температурному интервалу от 20 °С до 30 °С, ошибка составляет от 0,2 до 0,5 %.

Ключевые слова: биодизельное топливо, плотность, кинематическая вязкость, йодное число, молекулярная масса, степень непредельности.

CALCULATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIODIESEL FUEL

^{1,2}Romantsova Svetlana²Gladysheva Irina²Vervekina Natalia¹Nagornov Stanislav¹Liksutina Anna³Romantsova Anastasia¹FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"²FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"³MAEI "Middle School of General Education № 33"

Abstract. Reducing the cost of the technological process for the synthesis of biodiesel fuel requires a wider application of automation systems, and their implementation requires mathematical relationships linking the physicochemical characteristics of the components of biodiesel fuel with the structure of its molecules. The most demanded indicators of biofuel quality: density, kinematic viscosity, iodine number.

The dependences of the density and kinematic viscosity of biodiesel fuel on temperature and fatty acid composition of the fuel were investigated. It was found that with an increase in the molecular weight of methyl ester, its viscosity increases and its density decreases. An increase in the number of double bonds in a radical entails an increase in density and a decrease in viscosity. Calculations of the iodine number, density and kinematic viscosity were carried out using formulas linking these values with the molecular mass and the degree of unsaturation of biofuel components. It was found that in the formula for determining the iodine number of fuel, it is necessary to express the mass fraction of the ester in the mixture in %, and when calculating the density and kinematic viscosity – in fractions of unity. It was determined that the calculated value of the kinematic viscosity corresponds to the temperature range from 40 °C to 50 °C, and is closer to the value of viscosity at 50 °C; the error is from 1 to 4%. The error in relation to the viscosity value measured at 40 °C (in accordance with the GOST requirements) is greater – from 13 to 20%. The calculated value of the density corresponds to the temperature range from 20 °C to 30 °C; the error is from 0.2 to 0.5%.

Keywords: *biodiesel fuel, density, kinematic viscosity, iodine number, molecular weight, degree of unsaturation.*

Введение. Биодизельное топливо на сегодняшний день можно рассматривать как эффективную добавку к нефтяному дизельному топливу, улучшающую его экологические и эксплуатационные свойства. Особенно необходима такая добавка для современных глубоочищенных дизельных топлив, отвечающих требованиям стандартов Евро. Введение биодизельного топлива позволяет одновременно повысить цетановое число нефтяного топлива, улучшить его смазывающие свойства и снизить содержание вредных компонентов в выхлопных газах. Широкое распространение биодизельного топлива сдерживает относительно высокая себестоимость и некоторые отличия физико-химических свойств (плотность, вязкость, йодное число, теплота сгорания и др.) по сравнению с традиционным нефтяным топливом.

В состав биодизельного топлива входят эфиры метанола и высших карбоновых кислот. К высшим относят кислоты, молекулы которых содержат 12 и более атомов углерода. Обычно в составе биодизельного топлива присутствуют эфиры преимущественно непредельных карбоновых кислот с числом атомов углерода от 18 до 24. Углеводороды нефтяного топлива имеют меньший размер и их молекулы содержат меньше кратных связей. Различия в строении приводят к увеличению значения таких характеристик биодизельного топлива, как йодное число, плотность, вязкость, температура кипения. Всё это может негативно сказаться на работоспособности двигателя [1 – 4] и привести к сокращению сроков хранения горючего, в состав которого входит биодизельное топливо. Последнее особенно важно для сельскохозяйственных предприятий, вынужденных хранить топливо в период межсезонья. Наличие в эфирах двух атомов углерода, с одной стороны, способствует более полному сгоранию топлива, что приводит к снижению содержания сажи и несгоревших углеводородов в выхлопных газах, а с другой стороны уменьшает высшую теплоту сгорания биодизельного топлива.

В настоящее время во всём мире активно идёт поиск всё новых возобновляемых источников для синтеза биодизельного топлива. Это отработанные (например, фритюрные) масла, жировые отходы пищевой промышленности, масла водорослей, бактерий и грибов [5-6]. У каждого масла свой неповторимый жирнокислотный состав, следовательно, в состав образцов биодизельного топлива, синтезированного из разных масел, будут входить эфиры разных жирных кислот. Именно от этого состава зависят свойства топлива. Кроме того, методы селекции и генной инженерии позволяют целенаправленно менять жирнокислотный состав масел так, чтобы получить биодизельное топливо с составом, позволяющим получить требуемые характеристики топлива. Поэтому очень важно уметь прогнозировать свойства биодизельного топлива в зависимости от его состава. Это позволит быстро и правильно оценить соотношения нефтяного и биодизельного топлива при их смешивании.

Кроме того, к недостаткам способов получения биодизельного топлива, удорожающим этот процесс, можно отнести несовершенные режимы управления технологическим процессом. Одним из способов, который позволит усовершенствовать управление технологическим процессом получения биодизельного топлива и позволит перейти к оптимальным режимам работы, является автоматизация установок для получения биодизельного топлива. Для этого необходимо иметь

математические зависимости, связывающие основные физико-химические характеристики биодизельного топлива со строением его молекул.

Цель работы – исследование зависимости физико-химических характеристик биодизельного топлива от его состава.

Материалы и методы. Синтез биодизельного топлива и индивидуальных метиловых эфиров жирных кислот проводили с помощью методов тонкого органического синтеза. Для реакции этерификации как катализатор использовали серную кислоту, переэтерификацию растительных масел проводили в условиях гомогенного щелочного катализа (использовали гидроксид калия). В качестве сырья для синтеза образцов биодизельного топлива использовали по два сорта масел рыжика и рапса, льняное и подсолнечное масла. Для определения физико-химических характеристик биодизельного топлива использовали методы, закреплённые в ГОСТ Р 52368-2005. Для установления жирнокислотного состава биодизельного топлива использовали методы газовой хроматографии (хроматограф «Кристалл-2000м»), снабжённый программным обеспечением «Хроматэк-Аналитик», которое обрабатывало результаты хроматографического анализа.

Результаты и их обсуждение. В состав триацилглицеринов растительных масел, а значит, и в состав биодизельного топлива входят эфиры высших алифатических предельных и непредельных кислот. Если биодизельное топливо синтезировано из жидких масел (растительного происхождения), в его составе будут преобладать метиловые эфиры непредельных кислот, преимущественно олеиновой, линолевой, линоленовой, в меньшей мере пальмитолеиновой, эруковой и арахидоновой. Если синтез биодизельного топлива проводили на основе твердых жиров (животного происхождения), в его составе будут преобладать эфиры предельных кислот, преимущественно пальмитиновой и стеариновой, реже миристиновой и бегеновой.

Жирнокислотный состав синтезированных образцов биодизельного топлива приведён в таблице 1. Кислоты имеют общепринятое обозначение: после буквы «С» указано число атомов углерода в молекуле кислоты, затем через двоеточие число двойных связей в её радикале. Так, обозначение «С18:0» относится стеариновой кислоте, имеющей 18 атомов углерода в молекуле и предельное строение, а «С18:2» – к линолевой кислоте, в молекуле которой присутствуют 18 атомов углерода и две двойные связи.

Таблица 1 – Жирнокислотный состав образцов биодизельного топлива

Масло для синтеза	Метиловые эфиры кислот, %														
	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C20:4	C22:0	C22:1	C22:2	C24:0	C24:1
рапсовое 1	–	6,4	0,3	2,7	50,0	24,0	12,0	0,5	1,6	–	0,1	0,9	–	–	–
рапсовое 2	0,33	3,99	–	–	59,53	20,29	6,03	–	0,66	4,32	0,25	4,60	–	–	–
рыжиковое 1	0,29	5,65	–	–	67,46	2,39	–	–	1,6	17,9	0,59	4,12	–	–	–
рыжиковое 2	0,49	1,67	0,78	2,76	3,0	31,82	–	–	–	–	3,84	41,13	8,49	1,09	2,4
подсолнечн.	4,56	8,61	0,6	4,77	49,25	9,42	18,12	–	0,34	2,43	1,9	–	–	–	–
льняное	7,56	6,46	–	2,25	7,89	23,32	46,73	–	–	2,14	–	–	–	–	–
редьки масло	10,64	11,85	–	3,53	31,82	24,59	9,38	–	8,19	–	–	–	–	–	–

При анализе данных хроматографического исследования видно, что даже разные сорта одной и той же масличной культуры могут иметь довольно сильно различающийся набор высших кислот. Рыжиковое масло, выращенное в Черноземье (образец 1), содержит в качестве основного компонента линолеовую кислоту, а выращенное в Крыму (образец 2) – чуть больше 40 % эруковой кислоты. Льняное масло содержит больше всего линоленовой кислоты, а рапсовое – олеиновой. Метиловые эфиры соответствующих кислот преобладают в биодизельном топливе, синтезированном из этих масел. Это определяет различие в физико-химических, а, следовательно, и в эксплуатационных свойствах топлив. Так, биодизельное топливо с высоким содержанием эфиров полиеновых кислот (содержащих в радикале две и более двойных связей) имеют более высокую плотность, но меньшую вязкость; они легче окисляются, что может привести к сокращению сроков хранения топлива.

Проведённые нами ранее исследования и анализ литературных данных [7] показали, что с увеличением молекулярной массы метилового эфира его вязкость увеличивается, а плотность уменьшается. Так, например, для метилкаприлата и метиллаурата относительные молекулярные

массы равны 158 и 214, а плотность при 20 °С составляет 0,8775 г/см³ и 0,8702 г/см³ соответственно. Значения кинематической вязкости при 40 °С для этих же соединений составляет 1,16 мм²/с и 2,38 мм²/с.

Увеличение числа двойных связей в радикале влечёт за собой увеличение плотности и уменьшение вязкости. Так, для метиловых эфиров олеиновой и линолевой кислот, содержащих одну и две двойные связи, плотность при 18 °С равна 0,879 г/см³ и 0,888 г/см³, а вязкость при 40 °С 4,45 мм²/с и 3,64 мм²/с соответственно.

В литературе предлагаются различные математические зависимости, позволяющие рассчитать величины таких характеристик, как плотность, вязкость, йодное и цетановое число, наивысшую теплоту сгорания и другие величины в зависимости от молекулярной массы и степени ненасыщенности метиловых эфиров жирных кислот. Так, в [8] предлагается вести расчёт йодного числа по формуле (1):

$$\text{ИЧ} = \sum (254 \cdot N_i \cdot w_i) / M_i, \quad (1)$$

где N_i – число двойных связей в молекуле эфира, M_i – его относительная молекулярная масса, а w_i – массовая доля данного сложного эфира в смеси (биодизельном топливе).

Для расчёта плотности биодизельного топлива предлагается выражение (2):

$$\rho = \sum \rho_i \cdot w_i, \quad (2)$$

где $\rho_i = 0,8463 + 4,9/M_i + 0,0118 \cdot N_i$

Для расчёта кинематической вязкости биодизельного топлива предлагается выражение (3):

$$\eta = \exp \left(\sum w_i \cdot \ln(\eta_i) \right), \quad (3)$$

где $\ln(\eta_i) = -12,53 + 2,496 \cdot \ln(M_i) - 0,178 \cdot N_i$

Проверка предлагаемых формул показала следующее.

Йодное число является характеристикой степени непредельности биодизельного топлива. Численно оно равно массе йода (в г), которая может присоединиться к 100 г топлива. Если выражать массовую долю данного сложного эфира в смеси в долях от единицы, величина ИЧ получается очень маленькой – чуть больше или чуть меньше единицы, нормируемая размерность гI₂/100г наблюдается только в том случае, если долю вещества в смеси выражать в процентах (таблица 2). Расчётные значения хорошо коррелируют со степенью непредельности эфиров, входящих в состав биодизельного топлива.

Таблица 2 – Йодное число образцов биодизельного топлива

Йодное число (гI ₂ /100г) для биодизельного топлива, синтезированного из масла					
подсолнечника	рапса	льна	редьки	рыжика (образец 1)	рыжика (образец 2)
114	119	176	101	123	103

При расчёте плотности и вязкости порядок цифр удовлетворительный при использовании массовой доли компонента биодизельного топлива в долях от единицы, но авторы не указывают, к какой температуре привязаны эти формулы.

Ранее мы исследовали зависимость плотности и вязкости биодизельного топлива от температуры [7]. Для плотности установлена линейная зависимость, а для вязкости – экспоненциальная.

Нами был проведён расчёт плотности (таблица 3) и вязкости (таблица 4) различных образцов биодизельного топлива по формулам (2) и (3). Исходными величинами для расчёта являлись данные хроматографического анализа (таблица 1). Полученные значения сравнивали с этими же характеристиками, измеренными при различных температурах в интервале от 20 °С до 80 °С.

Видно, что расчётная величина плотности соответствует температурному интервалу от 20 °С до 30 °С (кроме масла рыжика с высоким содержанием эруковой кислоты), ошибка расчёта составляет от 0,2 до 0,5 %. Следовательно, полученную при расчёте величину можно соотносить с плотностью, измеренной при 20 °С или 30 °С. Это не очень удобно, т.к. ГОСТ Р 53605-2009 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метиловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования» нормирует плотность при 15 °С, т.е. расчётная величина будет заведомо меньше нормируемой.

Таблица 3 – Плотность образцов биодизельного топлива

Температура	Плотность (г/см ³) для биодизельного топлива, синтезированного из масла				
	подсолнечника	рапса	льна	редьки	рыжика
20	0,880	0,883	0,890	0,877	0,893
30	0,875	0,876	0,882	0,872	0,886
40	0,870	0,870	0,877	0,866	0,880
50	0,862	0,862	0,868	0,860	0,874
60	0,855	0,855	0,862	0,854	0,867
70	0,848	0,849	0,852	0,847	0,862
80	0,840	0,841	0,845	0,840	0,856
Расчёт по формуле (2)	0,877	0,879	0,887	0,877	0,876

Таблица 4 – Кинематическая вязкость образцов биодизельного топлива

Температура	Кинематическая вязкость (мм ² /с) для биодизельного топлива, синтезированного из масла				
	подсолнечника	рапса	льна	редьки	рыжика
20	6,59	6,55	5,55	7,41	10,264
30	6,30	6,35	5,23	6,15	7,99
40	5,08	5,00	4,44	4,94	6,38
50	3,98	4,15	3,54	4,07	5,26
60	3,2	3,50	2,91	3,46	4,46
70	2,61	2,91	2,32	2,93	3,74
80	2,24	2,45	2,09	2,45	3,27
Расчёт по формуле (3)	4,14	4,32	3,51	4,15	5,48

Видно, что расчётная величина вязкости соответствует температурному интервалу от 40 °С до 50 °С, причём находится ближе к величине вязкости при 50 °С, ошибка расчёта для этой температуры составляет от 1 до 4 %. Ошибка по отношению к величине вязкости, измеренной при 40 °С, намного больше – от 13 до 20 %. Следовательно, полученную при расчёте величину можно соотносить с плотностью, измеренной при 50 °С. Это тоже не очень удобно, т.к. ГОСТ Р 53605–2009 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования» нормирует кинематическую вязкость при 40 °С, т.е. расчётная величина будет заведомо меньше нормируемой.

Однако данные зависимости можно использовать для прогнозирования соответствующих параметров биодизельного топлива, для которого известен жирнокислотный состав. Это может помочь при планировании генетических и селекционных экспериментов – можно понять, в каком направлении вести работу, содержание каких кислот требуется увеличить или уменьшить. Также они могут быть использованы для создания программ для систем автоматизации процессов синтеза биодизельного топлива и его смешения с товарным нефтяным топливом.

Заключение. Экспериментально определены плотность и кинематическая вязкость индивидуальных метиловых эфиров жирных кислот с разной молекулярной массой и числом двойных связей. Те же параметры определены и для образцов биодизельного топлива различного жирнокислотного состава в широком температурном интервале (от 20 °С до 80 °С). Проведены расчёты йодного числа, плотности и кинематической вязкости по формулам, связывающим эти величины с молекулярной массой и степенью непредельности компонентов биотоплива.

Установлено, что вязкость сложных эфиров метанола и жирных кислот увеличивается, а их плотность уменьшается с ростом молекулярной массы эфира. Увеличение числа двойных связей в радикале приводит к увеличению плотности и уменьшению вязкости эфиров.

Установлено, что в формуле для определения йодного числа топлива необходимо выражать массовую долю сложного эфира в смеси в процентах, а при расчёте плотности и кинематической вязкости в долях от единицы.

Определено, что расчётная величина кинематической вязкости ближе всего к величине вязкости при 50 °С, ошибка составляет от 1 до 4 %. Ошибка по отношению к величине вязкости, измеренной при 40 °С, больше – от 13 до 20 %.

Расчётная величина плотности соответствует температурному интервалу от 20 °С до 30 °С, ошибка составляет от 0,2 до 0,5 %.

Список литературы

1. Мифтахова Л.Х. Промышленные методы производства биодизельного топлива // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т. 16. – № 12. – С. 80-83
2. Дидманидзе О.Н., Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Карев А.М., Варнакова Е.А., Платонов А.В. Результаты определения оптимального соотношения компонентов биодизельного топлива при условии обеспечения низкотемпературных свойств и цетанового числа // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина», 2016. – № 5 (75). – С. 30-35.
3. Улюкина Е.А. Перспективы применения биотоплива при эксплуатации сельскохозяйственной и мобильной техники // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2019. – № 4 (57). – С. 183-193.
4. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Преимущества биодизельного топлива // Инновационная наука, 2016. – № 5. – С. 72-74.
5. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Акимов В.С. Биодизельные топлива из различных сырьевых ресурсов // Транспорт на альтернативном топливе, 2011. – № 3 (21). – С. 25-31.
6. Белозерцева Н.Е., Богданов И.А., Алтынов А.А., Бальжанова А.Т., Белинская Н.С. и др. Выбор наиболее предпочтительного сырья для синтеза биодизельного топлива с позиции его выхода и физико-химических свойств // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2020. – № 1(32). – С. 114-123.
7. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П. Физико-химические свойства биодизельного топлива и способы их изменения // Наука в центральной России, 2019. – № 5 (41). – С. 110-118.
8. Сергеева Я.Э. и др. Расчет характеристик биодизельного топлива на основе жирнокислотного состава липидов некоторых биотехнологически значимых микроорганизмов // Биотехнология, 2017. – Т. 33. – № 1. – С. 53-61.

References

1. Miftahova L.H. Promyshlennyye metody proizvodstva biodizel'nogo topliva // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta, 2013. – T. 16. – № 12. – S. 80-83
2. Didmanidze O.N., Varnakov D.V., Varnakov V.V., Karev A.M., Varnakova E.A., Platonov A.V. Rezul'taty opredeleniya optimal'nogo sootnosheniya komponentov biodizel'nogo topliva pri uslovii obespecheniya nizkotemperaturnykh svoystv i cetanovogo chisla // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Gorjachkina», 2016. – № 5 (75). – S. 30-35.
3. Uljukina E.A. Perspektivy primeneniya biotopliva pri jekspluatcii sel'skhozjajstvennoj i mobil'noj tehniki // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019. – № 4 (57). – S. 183-193.
4. Gafurov N.M., Hismatullin R.F. Preimushhestva biodizel'nogo topliva // Innovacionnaja nauka, 2016. – № 5. – S. 72-74.
5. Markov V.A., Devjanin C.N., Nagornov S.A., Akimov V.S. Biodizel'nye topliva iz razlichnykh syr'evykh resursov // Transport na al'ternativnom toplive, 2011. – № 3 (21). – S. 25-31.
6. Belozerceva N.E., Bogdanov I.A., Altynov A.A., Bal'zhanova A.T., Belinskaja N.S. i dr. Vybora naibolee predpochtitel'nogo syr'ja dlja sinteza biodizel'nogo topliva s pozicii ego vyhoda i fiziko-himicheskikh svoystv // Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija, 2020. – № 1(32). – S. 114-123.
7. Romancova S.V., Kornev A.Ju., Nagornov S.A. Liksutina A.P. Fiziko-himicheskie svoystva biodizel'nogo topliva i sposoby ih izmenenija // Nauka v central'noj Rossii, 2019. – № 5 (41). – S. 110-118.
8. Sergeeva Ja.Je. i dr. Raschet harakteristik biodizel'nogo topliva na osnove zhirnokislотного состава lipidov nekotorykh biotehnologicheski znachimykh mikroorganizmov // Biotehnologija, 2017. – T. 33. – № 1. – S. 53-61.

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.

Гладышева Ирина Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Вервекина Наталья Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: vervekinanv@mail.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.

Ликсутина Анна Павловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: liksutina68@gmail.com.

Романцова Анастасия Анатольевна – преподаватель Муниципального автономного общеобразовательного учреждения «Средняя общеобразовательная школа № 33», Россия, г. Тамбов, e-mail: romantsova.aa@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.

Gladysheva Irina – 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: gladysheva_irina78@mail.ru.

Vervekina Natalia – 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: vervekinanv@mail.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.

Lixutina Anna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: liksutina68@gmail.com.

Romantsova Anastasia – Teacher of Municipal Autonomous Educational Institution “Middle School of General Education № 33”, Russia, Tambov, e-mail: romantsova.aa@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.08.2020 Принята к публикации (Accepted): 02.10.2020

УДК 662.76, 620.97

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-111-118

СПОСОБ СИНТЕЗА БИОГАЗА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА

^{1,2}Романцова Светлана Валерьевна

³Якунина Ирина Владимировна

³Галкин Павел Александрович

³Милосердов Алексей Михайлович

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт

использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»

³ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»