Author credentials**Affiliations**

Milushev Rinat – Full Doctor of Agricultural Sciences, 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: july1931@yandex.ru.

Zharikov Vadim – younger scientific employee of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Shulaev Gennady – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: tnij@yandex.ru.

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorovskikh50@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

УДК 662.75

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-128-135

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНОВОЗДЕЙСТВИЯ
НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ТОПЛИВ**

¹Мещерякова Юлия Владимировна

¹Бусин Игорь Вячеславович

¹Мещеряков Александр Геннадьевич

¹Корнев Алексей Юрьевич

¹Нагорнов Станислав Александрович

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Работоспособность и эффективность двигателей сельскохозяйственной техники напрямую зависит от свойств используемого топлива. Многообещающим направлением по улучшению его качества является волновое и механовоздействие, которое способно изменить структуру и свойства исходного топлива без введения реагентов. Разработан многокамерный смеситель, обеспечивающий многофакторное воздействие на обрабатываемую жидкость. Для определения оптимальных параметров его работы проведен многофакторный эксперимент. Выбран план второго порядка для трех факторов (ортогональный центрально-композиционный) с звездным плечом $\alpha = 1,212$. В качестве выходного, оптимального параметра (Y) была принята кинематическая вязкость обрабатываемого дизельного топлива (ν мм²/с). Исходными факторами (X_1, X_2, X_3) исследуемого процесса являются: мощность ультразвукового излучателя, время обработки, давление на входе в смеситель. Результатом проведения экспериментов является уравнение регрессии, которое адекватно описывает процесс механовоздействия, что проверено по критерию Фишера. Для достижения максимального снижения кинематической вязкости (3,4-3,6 мм²/с) дизельного топлива определены оптимальные параметры работы смесителя: мощность ультразвукового излучателя 40-60 Вт, время обработки 27-38 сек и давление на входе в смеситель 212-213 кПа. Представлены изменения основных показателей качества дизельного и смесового топлив до и после механовоздействия. Установлено, что применение механовоздействия способствует улучшению основных физикохимических показателей дизельного топлива: снижению значений кинематической вязкости, плотности, фракционного состава, температуры вспышки и температуры застывания.

Ключевые слова: дизельное топливо, механовоздействие, смеситель, кинематическая вязкость, многофакторный эксперимент, параметры.

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF MECHANICAL ACTION
ON THE KINEMATIC VISCOSITY OF FUELS¹Meshcheryakova Yulia¹Busin Igor¹Meshcheryakov Alexander¹Alexey Kornev¹Nagornov Stanislav¹All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract. The performance and efficiency of agricultural machinery engines directly depends on the properties of the fuel used. A promising destination for improving its quality is wave and mechanical action, which can change the structure and properties of the initial fuel without the introduction of reagents. A multi-chamber mixer has been developed, which provides a multifactorial effect on the processed liquid. A multifactorial experiment was carried out to determine the optimal parameters of its work. A second-order plan for three factors (orthogonal center-compositional) with a stellar shoulder $\alpha = 1.212$ is selected. The kinematic viscosity of the processed diesel fuel (ν mm²/s) was taken as the output, optimal parameter (Y). The initial factors (X1, X2, X3) of the process under study are: power of the ultrasonic emitter, processing time, pressure at the mixer inlet. The result of the experiments is a regression equation that adequately describes the process of mechanical action, which is verified by Fisher's criterion. The optimal parameters of the mixer operation: the power of the ultrasonic emitter 40 – 60 W, the processing time 27-38 sec and the pressure at the mixer inlet 212-213 kPa were determined to achieve the maximum reduction in the kinematic viscosity (3.4-3.6 mm²/s) of diesel fuel. Changes in the main indicators of the quality of diesel and mixed fuels before and after mechanical action are presented. It was found that the use of mechanical action contributes to the improvement of the main physicochemical indicators of diesel fuel: a decrease in the values of kinematic viscosity, density, fractional composition, flash point and pour point.

Keywords: diesel fuel, mechanical action, mixer, kinematic viscosity, multivariate experiment, parameters.

Введение. Реализация Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия во многом зависит от эффективности использования нефтепродуктов в сельскохозяйственном производстве. В настоящее время по затратам углеводородного топлива отечественное производство превосходит в 2 – 5 раз зарубежные аналоги, при этом большая часть потребляемого топлива приходится на растениеводство. В этой отрасли на обработку почвы, уход за растениями, уборку урожая и его обработку расходуется свыше 80 % всех используемых нефтепродуктов.

Как известно, работоспособность и эффективность двигателей сельскохозяйственной техники напрямую зависит от свойств и качества дизельного топлива. Однако не все дизельное топливо, используемое непосредственно на местах соответствует принятым стандартам [1 – 3].

Существует множество способов улучшения качества дизельного топлива. Все их можно разделить на две группы: химические и физические. Химические способы подразумевают использование реагентов, присадок. В настоящее время в РФ применяются несколько видов присадок, однако серьезной проблемой остаётся разработка и организация достаточного производства отечественных противоизносных, депрессорно-диспергирующих присадок [4]. Помочь частично решить ее могут добавки на основе биотоплива, экологические преимущества которого хорошо известны. Вместе с тем биотопливо имеет и ряд недостатков – повышенная вязкость и коксуемость, возможный короткий срок хранения по сравнению дизельным топливом [5 – 8].

Физические способы в свою очередь можно разделить на традиционные (классические) и нетрадиционные методы. К традиционным относятся отстаивание, центрифугирование, фильтрование. Они позволяют избавиться от различных механических примесей и воды. Обработка нетрадиционными способами позволяет изменять свойства и даже состав исходного топлива [9, 10]. К нетрадиционным способам обработки можно отнести магнитную, электрическую, механическую, кавитационную, акустическую, лазерную, радиационную

обработку топлива. Чаще всего используется комбинация различных воздействий – электромагнитная обработка, виброструйная, вибромагнитная и т.д.

Материалы и методы. Эксперименты по обработке дизельного и смесового топлив (20 % биотоплива и 80 % дизельного топлива) при помощи механовоздействия проводились на опытной установке (рисунок 1). Дизельное или смесовое топливо поступало в емкость 1 (температура жидкости в емкости 20 °С), затем насосом 2 с электроприводом 3 перекачивалась по замкнутому круговому циклу. При этом из емкости 5 через дозирующий насос подавалось биотопливо и затем смесовое топливо через манометр 6 отправлялось в многокамерный смеситель 7. За счет своей конструкции в смесителе происходило многофакторное воздействие на обрабатываемое топливо (кинематическое, кавитационное, магнитное, ультразвуковое) [11].

Для проведения исследований пользовались методом планирования многофакторного эксперимента. В качестве плана эксперимента выбран ортогональный центрально-композиционный план второго порядка для трех факторов [12, 13]. Исходными факторами исследуемого процесса взяты: мощность ультразвукового излучателя, время обработки, давление на входе в смеситель – « X_1 , X_2 , X_3 » соответственно. В таблице 1 представлены входные факторы исследуемого процесса и их уровни варьирования. После обработки топливо анализировалось по основным физико-химическим показателям.

а) схема установки

б) общий вид

1 – емкость для исходного дизельного топлива; 2 – насос; 3 – электропривод насоса; 4 – насос дозирующий; 5 – емкость для биотоплива; 6 – манометр; 7 – многокамерный смеситель

Рисунок 1 – Установка для обработки топлива

Таблица 1 – Значения факторов и их кодирование

Факторы	Обозначение	Уровни варьирования				
		-1,215	-1	0	+1	+1,215
Мощность ультразвукового излучателя (P , Вт)	X_1	32,9	35	45	55	57,2
Время обработки (t , сек)	X_2	3,42	6	18	30	32,58
Давление на входе в смеситель (p , кПа)	X_3	90,4	101,3	151,95	202,6	213,5

Результаты и их обсуждение. За критерий оптимизации « Y » принята кинематическая вязкость топлива. Как известно, этот параметр является одним из основных показателей качества дизельного топлива. Отклонение кинематической вязкости от стандартных значений приводит к нарушению работы топливной аппаратуры, нарушению процесса смесеобразования и сгорания. Топливо, имеющее средний показатель вязкости 3,5-4,0 мм²/сек при 20 °С обладает лучшими

свойствами: более высокой проникающей способностью, обеспечивает более легкий запуск и стабильную работу двигателя при низких температурах.

В результате механовоздействия на дизельное топливо при разных параметрах с учетом плана эксперимента получено уравнение регрессии, описывающее зависимость $v=f(P, t, p)$: $Y = 3,819 + 0,027X_1 - 0,145X_2 - 0,233X_3 + 0,123X_1X_2 - 0,036X_1X_3 - 0,06X_2X_3 + 0,366X_1^2 + 0,158X_2^2 - 0,142 \cdot X_3^2$.

Модель проверена на адекватность по критерию Фишера. Влияние входных факторов на изменение кинематической вязкости исследуемого топлива при нулевых значениях X_1 , X_2 и X_3 соответственно представлено на рисунках 2 – 4.

Рисунок 2 – Поверхность отклика $Y = f(X_1, X_2)$ (а), сечение поверхности откликов X_1 , X_2 (б) при нулевом уровне X_3

Минимальное значение кинематической вязкости (3,6-3,9 мм²/с) приходится на интервал времени обработки в закодированном формате от -0,2 до 1,5 и мощности ультразвукового излучателя от -0,5 до 0,5, что соответствует значениям 15,6 – 36 сек и 40 – 60 Вт (рисунок 2).

Рисунок 3 – Поверхность отклика $Y = f(X_1, X_3)$ (а), сечение поверхности откликов X_1 , X_3 (б) - при нулевом уровне X_2

Минимальное значение кинематической вязкости (3,31-3,48 мм²/с) приходится на интервал мощности ультразвукового излучателя в закодированном формате -0,6 до 0,5 и давлении от 1 до 1,215, что соответствует значениям 39 – 60 Вт, 202,6 – 264 кПа (рисунок 3).

Минимальное значение кинематической вязкости (3,2-3,4 мм²/с) приходится на интервал времени обработки в закодированном формате от 0,7- 0,75 и давления от 1,2-1,4, что соответствует значениям 38 – 39 сек, 212,6-222,6 кПа (рисунок 4).

Рисунок 4 – Поверхность отклика $Y=f(X_2, X_3)$ (а), сечение поверхности откликов X_2, X_3 (б) при нулевом уровне X_1

Установлено, что увеличение мощности ультразвукового излучателя, времени обработки и давления положительно влияет на снижение показателя кинематической вязкости. Замечено, что в случае недостаточного давления ультразвуковой излучатель повышенной мощности не оказывают должного влияния на снижение кинематической вязкости. Другими словами, наблюдается для каждого вида излучателя свое оптимальное давление, выход за рамки которого влечет к снижению мощности.

Таблица 2 – Некоторые физико-химические характеристики топлив до и после обработки

Показатели	Дизельное топливо необработанное	Дизельное топливо обработанное	Смесевое топливо 20%, необработанное	Смесевое топливо 20%, обработанное
Кинематическая вязкость при 20°C, мм ² /с	4,8	3,4	6,5	5,2
Плотность при 20°C, кг/м ³	840	832	855	845
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	56	50	89	75
Температура помутнения, °C	-5	-8	-6	-8
Температура застывания, °C	-10	-15	-10	-14

Как видно из результатов, приведенных в таблице 2, проводимая обработка способствует улучшению основных показателей качества дизельного топлива: снижению кинематической вязкости, плотности и других параметров.

Заключение. Для достижения максимального снижения кинематической вязкости (3,4 – 3,6 мм²/с) дизельного топлива определены оптимальные параметры работы смесителя: мощность ультразвукового излучателя 40-60 Вт, время обработки 27-38 сек и давление 212-213 кПа. Представлены изменения основных показателей качества дизельного и смесового топлив до и

после механовоздействия. Применение механовоздействия способствует улучшению основных физико-химических показателей дизельного топлива: снижению значений кинематической вязкости, плотности, температуры вспышки и температуры застывания.

Список литературы

1. Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Анализ причин снижения качества топлив, используемых отечественными сельскохозяйственными предприятиями / В сборнике: Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве. – 2016. – С. 117-122.
2. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Ерохин И.В. К вопросу качества нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3 (13). – С. 178-181.
3. Корнев А.Ю., Ликсутина А.П., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Алибаев Б.Т. Контроль качества светлых нефтепродуктов на сельскохозяйственных предприятиях / В сборнике: Современные задачи инженерных наук. сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ - 2017». – 2017. – С. 80-85.
4. Данилов А.М. Новый взгляд на присадки к топливам (обзор) / А.М. Данилов // Нефтехимия. – 2020. – Т.60 № 2. С. 163-171
5. Улюкина Е.А., Нагорнов С.А., Романцова С.В. Свойства биотоплив растительного происхождения / Е.А. Улюкина, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова // Наука в центральной России. - 2014. - № 2 (8). С. 62-69.
6. Улюкина Е.А. Перспективы применения биотоплива при эксплуатации сельскохозяйственной и мобильной техники / Е.А. Улюкина // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2019. - № 57. - С. 183-193.
7. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Мещеряков А.Г. Получение биодизельного топлива из непищевого растительного сырья / Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Мещеряков А.Г. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. - 2017. Т.7. - № 3 (22). - С. 110-116
8. Улюкина Е. А. Особенности применения биотоплива в сельскохозяйственном производстве // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. - 2019. - № 6 (94). -С. 23-27.
9. Пивоварова Н.А. Использование волновых воздействий в переработке углеводородного сырья (обзор) / Н.А. Пивоварова // Нефтехимия. – 2019. – Т.59 № 6. С. 727-738
10. Бусин И.В., Корнев А.Ю. Исследование влияния механоактивации на характеристики биотоплива / Корнев А.Ю., Бусин И.В. // Наука в центральной России. - 2019. - № 2. - С.123-129.
11. Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Мещеряков А.Г. Способ очистки дизельного топлива // Патент на изобретение RU 2645676 C1, 27.02.2018. Заявка № 2017110133 от 27.03.2017.
12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий- М.: Наука, 1976. - 280 с.
13. Определение конструктивно-режимных параметров аппарата для гнездового посева семян сои / А.Н. Зазуля, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, С.Г. Хайруллина // Наука в центральной России. - 2019. - № 3 (39). - С. 15-19.

References

1. Kornev A.Ju., Nagornov S.A., Alibaev B.T. Analiz prichin snizhenija kachestva topliv, ispol'zuemyh otechestvennymi sel'skhozajstvennymi predpriyatijami / V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti i jekologicheskie aspekty ispol'zovanija resursov v sel'skhozajstvennom proizvodstve. – 2016. – S. 117-122.
2. Nagornov S.A., Kornev A.Ju., Erohin I.V. K voprosu kachestva nefteproduktov, ispol'zuemyh v sel'skom hozjajstve // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2015. – № 3 (13). – S. 178-181.
3. Kornev A.Ju., Liksutina A.P., Nagornov S.A., Busin I.V., Alibaev B.T. Kontrol' kachestva svetlyh nefteproduktov na sel'skhozajstvennyh predpriyatijah / V sbornike: Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk. sbornik nauchnyh trudov VI-ogo Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo Simpoziuma «Sovremennye jenergo- i resursosberegajushhie tehnologii SJeTT - 2017». – 2017. – S. 80-85.
4. Danilov A.M. Novyj vzgljad na prisadki k toplivam (obzor) / A.M. Danilov // Neftehimija. – 2020. – Т.60 № 2. S. 163-171

5. Uljukina E.A., Nagornov S.A., Romancova S.V. Svojstva biotopliv rastitel'nogo proishozhdenija / E.A. Uljukina, S.A. Nagornov, S.V. Romancova // *Nauka v central'noj Rossii*. - 2014. - № 2 (8). S. 62-69.
6. Uljukina E.A. Perspektivy primeneniya biotopliva pri jekspluatacii sel'skohozjajstvennoj i mobil'noj tehniki / E.A. Uljukina // *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. - 2019. - № 57. - S. 183-193.
7. Nagornov S.A., Meshherjakova Ju.V., Meshherjakov A.G. Poluchenie biodizel'nogo topliva iz nepishhevogo rastitel'nogo syr'ja / Nagornov S.A., Meshherjakova Ju.V., Meshherjakov A.G. // *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija*. - 2017. T.7. - № 3 (22). - S. 110-116
8. Uljukina E. A. Osobennosti primeneniya biotopliva v sel'skohozjajstvennom proizvodstve // *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V. P. Gorjachkina*. - 2019. - № 6 (94). - S. 23-27.
9. Pivovarova N.A. Ispolzovanie volnovyh vozdeystvij v pererabotke uglevodorodnosyr'ja (obzor) / N.A. Pivovarova // *Neftehimija*. - 2019. - T.59 № 6. S. 727-738
10. Busin I.V., Kornev A.Ju. Issledovanie vlijanija mehanoaktivacii na harakteristiki biotopliva / Kornev A.Ju., Busin I.V. // *Nauka v central'noj Rossii*. - 2019. - № 2. - S.123-129.
11. Alibaev B.T., Kornev A.Ju., Nagornov S.A., Busin I.V., Meshherjakov A.G. Sposob ochistki dizel'nogo topliva // Patent na izobretenie RU 2645676 C1, 27.02.2018. Zajavka № 2017110133 ot 27.03.2017.
12. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij- M.: Nauka, 1976. - 280 s.
13. Opredelenie konstruktivno-rezhimnyh parametrov apparata dlja gnezdovogo poseva semjan soi / A.N. Zazulja, A.V. Balashov, S.P. Strygin, A.A. Sinel'nikov, S.G. Hajrullina // *Nauka v central'noj Rossii*. - 2019. - № 3 (39). - S. 15-19.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Мещерякова Юлия Владимировна – 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: yulya-belova@yandex.ru.

Бусин Игорь Вячеславович – 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: igorek19883108@mail.ru.

Мещеряков Александр Геннадьевич – соискатель, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: alex_mec@bk.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@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.

Author credentials

Affiliations

Meshcheryakova Yulia – 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: viktrikt@mail.ru.

Busin Igor – 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: viktrikt@mail.ru.

Meshcheryakov Alexander – applicant of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: alex_mec@bk.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.

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.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021