

Энергетика и электротехника

УДК 621.436.12

Оценка влияния физико-химических свойств биоминеральных топливных смесей на характеристики впрыска и распыливания

С.А. Плотников¹, Г.Э. Заболотских¹, А.Н. Карташевич²,
П.Ю. Малышкин²

¹ ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

² УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Assessment of the influence of the physico-chemical properties of biomineral fuel mixtures on the characteristics of injection and spraying

S.A. Plotnikov¹, G.E. Zabolotskikh¹, A.N. Kartashevich², P.Yu. Malyshkin²

¹ Vyatka State University

² Belarusian State Agricultural Academy

Исследовано влияние физико-химических свойств биоминеральных топливных смесей на характеристики впрыска и распыливания, а также процессы смесеобразования и сгорания смесевых топлив. Рассмотренные характеристики зависят от плотности, динамической вязкости и силы поверхностного натяжения. Диаметр капель и длина струи впрыскиваемого топлива находятся в зависимости от динамической вязкости, а угол распыления — в обратной. За основу для разработки аналитических моделей взяты зависимости А.С. Лышевского и Н.Ф. Разлейцева. По результатам расчета установлены следующие изменения параметров биоминеральных топливных смесей БМТС-10 и БМТС-25 относительно таковых для дизельного топлива: времени впрыска — 0,88 и 0,71, диаметра капель — 1,06 и 1,17, угла распыления — 0,95 и 0,86 соответственно. Усовершенствована методика определения характеристик впрыска и распыливания биоминеральных топливных смесей.

EDN: KVVZSM, <https://elibrary/kvuzsm>

Ключевые слова: дизельное топливо, биоминеральная топливная смесь, поверхностное натяжение, критерий Вебера, дальность струи, диаметр капель

The paper examines the influence of the physico-chemical properties of biomineral fuel mixtures (BMFM) on the injection and spraying characteristics, as well as on the processes of mixture formation and mixed fuels combustion. The characteristics under consideration depend on the density, kinematic viscosity and surface tension forces. The droplet diameter and length of the injected fuel jet are directly dependent on the kinematic viscosity, and the spraying angle is inversely dependent. Dependences by A.S. Lyshevsky and N.F. Razleytsev

form the basis for developing an analytical model. According to the results obtained in computation, the paper establishes that alteration in the injection time is 0.88 and 0.71, droplet diameter — 1.06 and 1.17, and atomization angle — 0.95 and 0.86 for BMFM-10 and BMFM-25 in relation to the diesel fuel, respectively. An additional research result is the improved method for determining the injection and spraying characteristics of the bio-mineral fuel mixtures.

EDN: KVVZSM, <https://elibrary/kvuzsm>

Keywords: diesel fuel, biomineral fuel mixture, surface tension forces, Weber criterion, jet range, droplet diameter

Рассмотрены две биоминеральные топливные смеси (БМТС): БМТС-10, состоящая из 10 % сурепного масла (СурМ), 10 % этанола и 80 % товарного летнего дизельного топлива (ДТ) ДТЛ-УЛЬТРА (ДТ-Л-К5), и БМТС-25, содержащая 25 % СурМ, 25 % этанола и 50 % ДТ-Л-К5.

Концентрацию компонентов смесей определяли по массе из-за различия их плотностей. Для увеличения времени стабильности использовали диспергирующую сукцинимидную присадку С-5А, содержащую 1 масс. % общего количества готовой смеси.

Цель исследования — разработка методики оценки влияния физико-химических свойств БМТС на параметры впрыска и распыливания, а также анализ изменения характеристик топливной струи при переходе с ДТ на БМТС.

Результаты исследования позволили установить, что добавление биологических компонентов (этанола и СурМ) в традиционное минеральное ДТ приводит к изменению физико-химических свойств БМТС, в частности к увеличению вязкости и плотности, что оказывает влияние на характер впрыска и распыливания смесового топлива [1–8].

Вследствие различия физико-химических свойств БМТС и ДТ процессы их смесеобразования и сгорания также будут отличаться друг от друга. Эти процессы можно оценить, основываясь на аналитических моделях жидких минеральных топлив [9].

Характеристики впрыска и распыливания, как правило, включают в себя параметры струи топлива и мелкость распыливания, которые зависят от плотности, динамической вязкости и силы поверхностного натяжения топлива. Пониженная динамическая вязкость приводит к уменьшению диаметра капель и длины струи топлива, а также к увеличению угла распыливания. Повышенная вязкость, наоборот, сопровождается уменьшением угла распыливания и удлинением струи.

Увеличение силы поверхностного натяжения улучшает устойчивость капли к дроблению, тем самым повышая ее размеры и время, необходимое для протекания процессов испарения и смесеобразования.

Аналитическую модель процесса смесеобразования БМТС с добавками этанола и СурМ можно разработать на основе зависимостей А.С. Лышевского и Н.Ф. Разлейцева, применяемых к быстроходным автотракторным дизельным двигателям [9, 10]. Определим длину струи, угол распыливания и диаметр капель впрыскиваемого топлива применительно к составу БМТС. Известные математические зависимости обычно содержат такие физические величины топлива, как плотность ρ_t , динамическая вязкость η_t и поверхностное натяжение σ_t . Принимаем следующие параметры: для летнего ДТ $\rho_{ДТ} = 860 \text{ кг/м}^3$, $\eta_{ДТ} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $\sigma_{ДТ} = 28 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; для этанола $\rho_{\text{э}} = 790 \text{ кг/м}^3$, $\eta_{\text{э}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $\sigma_{\text{э}} = 22,39 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, для СурМ $\rho_{\text{СурМ}} = 918 \text{ кг/м}^3$, $\eta_{\text{СурМ}} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $\sigma_{\text{СурМ}} = 32,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; для БМТС-10 $\rho_{\text{БМТС-10}} = 858,8 \text{ кг/м}^3$, $\eta_{\text{БМТС-10}} = 3,05 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $\sigma_{\text{БМТС-10}} = 27,9 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; для БМТС-25 $\rho_{\text{БМТС-25}} = 857 \text{ кг/м}^3$, $\eta_{\text{БМТС-25}} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $\sigma_{\text{БМТС-25}} = 27,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

С учетом того, что у исследуемых БМТС и ДТ значения указанных величин различаются незначительно, характеристики впрыска и распыливания топливной струи можно legitimately рассчитывать по зависимостям А.С. Лышевского.

Отметим, что при постоянных режимных, конструктивных и регулировочных параметрах работы дизельного двигателя длина струи, угол распыливания и диаметр капель топлива претерпевают существенные изменения вследствие изменения плотности, динамической вязкости и поверхностного натяжения.

Среднюю скорость частиц впрыскиваемого топлива определяем следующим образом:

$$U_0 = \frac{B_{\text{ц}}}{\mu f_{\text{с}} i \rho_{\text{т}} \tau_{\text{впр}}},$$

где $B_{\text{ц}}$ — цикловая порция топлива; $\mu f_{\text{с}}$ — площадь проходного сечения отверстий распылителя; i — количество отверстий распылителя; $\tau_{\text{впр}}$ — время впрыска.

Критерий Вебера, характеризующий соотношение сил поверхностного натяжения и инерции, находим по выражению [11]

$$We = U_0^2 d_{\text{с}} \rho_{\text{т}} / \sigma_{\text{т}},$$

где $d_{\text{с}}$ — диаметр отверстия распылителя.

Критерий, характеризующий соотношение сил поверхностного натяжения и вязкости, вычисляем как [12]

$$M = \frac{\eta_{\text{т}}^2}{\rho_{\text{т}} d_{\text{с}} \sigma_{\text{т}}}.$$

Отношение плотности воздуха в цилиндре дизельного двигателя $\rho_{\text{а}}$ к плотности топлива [13]

$$\rho = \rho_{\text{а}} / \rho_{\text{т}}.$$

Исследуем влияние физико-химических свойств БМТС-10 и БМТС-25 на характеристики впрыска и распыливания, делая допущение, что режимные, регулировочные и конструктивные параметры дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) являются постоянными.

При расчете относительного изменения времени достижения топливной струей стенки камеры сгорания (КС) $\tau_{\text{БМТС}} / \tau_{\text{ДТ}}$ ($\tau_{\text{БМТС}}$ и $\tau_{\text{ДТ}}$ — время достижения струей БМТС и ДТ стенки КС) принимаем, что расстояние, проходимое струей ДТ и БМТС, одинаковое и равное расстоянию от распылителя форсунки до стенки КС [14, 15].

Дальность струи впрыскиваемого ДТ на основном участке ее развития [10] рассчитываем по выражению

$$l_{\text{ДТ}} = B_{\text{ДТ}}^{0,5} \tau_{\text{ДТ}}^{0,5}.$$

Здесь

$$B_{\text{ДТ}} = \frac{d_{\text{с}} U_0 We^{0,21} M^{0,16}}{D_{\text{с}} \sqrt{2} \rho},$$

где $D_{\text{с}}$ — эмпирический коэффициент, $D_{\text{с}} = 4...5$.

Время достижения струей ДТ стенки КС

$$\tau_{\text{ДТ}} = l_{\text{ДТ}}^2 \frac{D_{\text{с}} \sqrt{2} \rho}{d_{\text{с}} U_0 We^{0,21} M^{0,16}},$$

а после некоторых преобразований

$$\tau_{\text{ДТ}} = l_{\text{ДТ}}^2 D_{\text{с}} \sqrt{2} \rho_{\text{ДТ}}^{0,37} \sigma_{\text{ДТ}}^{0,37} \eta_{\text{ДТ}}^{-0,32}.$$

Время достижения струей БМТС стенки КС

$$\tau_{\text{БМТС}} = l_{\text{БМТС}}^2 D_{\text{с}} \sqrt{2} \rho_{\text{БМТС}}^{0,37} \sigma_{\text{БМТС}}^{0,37} \eta_{\text{БМТС}}^{-0,32}.$$

Относительное изменение времени достижения топливной струей стенки КС при переходе от ДТ к БМТС

$$\frac{\tau_{\text{БМТС}}}{\tau_{\text{ДТ}}} = \left(\frac{\rho_{\text{БМТС}}}{\rho_{\text{ДТ}}} \right)^{0,37} \left(\frac{\sigma_{\text{БМТС}}}{\sigma_{\text{ДТ}}} \right)^{0,37} \left(\frac{\eta_{\text{БМТС}}}{\eta_{\text{ДТ}}} \right)^{-0,32}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{БМТС}}$, $\sigma_{\text{БМТС}}$ и $\eta_{\text{БМТС}}$ — плотность, поверхностное натяжение и динамическая вязкость БМТС соответственно.

Влияние физических свойств топлива на размер его капель оцениваем с помощью критериального уравнения для определения среднего диаметра капель впрыскиваемого топлива

$$d_{\text{к}} = E_{\text{к}} d_{\text{с}} (\rho We)^{-0,266} M^{0,0733},$$

где $E_{\text{к}}$ — постоянный коэффициент, зависящий от конструкции форсунок.

С учетом того, что конструкция форсунки остается постоянной при переходе от ДТ к БМТС, коэффициент $E_{\text{к}}$ не изменяется.

Средний диаметр капель ДТ [10]

$$d_{\text{кДТ}} = E_{\text{к}} d_{\text{с}} \left[\frac{\rho_{\text{а}}}{\rho_{\text{ДТ}}} \left(\frac{B}{\mu f_{\text{с}} i \rho_{\text{ДТ}} \tau_{\text{впр}}} \right)^2 d_{\text{с}} \frac{\rho_{\text{ДТ}}}{\sigma_{\text{ДТ}}} \right]^{-0,266} \times \\ \times [\eta_{\text{ДТ}}^2 \rho_{\text{ДТ}}^{-1} d_{\text{с}}^{-1} \sigma_{\text{ДТ}}^{-1}]^{0,0733} = B \rho_{\text{ДТ}}^{0,4587} \sigma_{\text{ДТ}}^{0,1927} \eta_{\text{ДТ}}^{0,1466},$$

где B — константа, включающая в себя все величины, неизменные для разных видов топлива.

Средний диаметр капель БМТС

$$d_{\text{кБМТС}} = B \rho_{\text{БМТС}}^{0,4587} \sigma_{\text{БМТС}}^{0,1927} \eta_{\text{БМТС}}^{0,1466}.$$

Относительное изменение диаметра капель топлива при переходе от ДТ к БМТС

$$\frac{d_{\text{кБМТС}}}{d_{\text{кДТ}}} = \left(\frac{\rho_{\text{БМТС}}}{\rho_{\text{ДТ}}} \right)^{0,4587} \left(\frac{\sigma_{\text{БМТС}}}{\sigma_{\text{ДТ}}} \right)^{0,1927} \left(\frac{\eta_{\text{БМТС}}}{\eta_{\text{ДТ}}} \right)^{0,1466}. \quad (2)$$

Критериальное уравнение для определения угла распыления струи топлива имеет вид

$$\gamma_{\text{т}} = 2 \arctg(F_{\text{с}} We^{0,32} M^{-0,07} \rho^{0,5}),$$

где $F_{\text{с}}$ — постоянный коэффициент, $F_{\text{с}} = 0,009$.

После преобразований имеем

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{т}}}{2} = F_{\text{с}} We^{0,32} M^{-0,07} \rho^{0,5}.$$

Вводя константу C , включающую в себя все неизменные для различных топлив величины, получаем следующие выражения:

• для ДТ

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{ДТ}}}{2} = F_s C \rho_{\text{ДТ}}^{-0,75} \sigma_{\text{ДТ}}^{-0,25} \eta_{\text{ДТ}}^{-0,14}.$$

• для БМТС

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{БМТС}}}{2} = F_s C \rho_{\text{БМТС}}^{-0,75} \sigma_{\text{БМТС}}^{-0,25} \eta_{\text{БМТС}}^{-0,14},$$

где $\gamma_{\text{ДТ}}$ и $\gamma_{\text{БМТС}}$ — углы распыления струи ДТ и БМТС.

Относительное изменение угла распыления топливной струи при переходе от ДТ к БМТС

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{БМТС}}}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{ДТ}}}{2}} = \left(\frac{\rho_{\text{БМТС}}}{\rho_{\text{ДТ}}} \right)^{-0,75} \left(\frac{\sigma_{\text{БМТС}}}{\sigma_{\text{ДТ}}} \right)^{-0,25} \left(\frac{\eta_{\text{БМТС}}}{\eta_{\text{ДТ}}} \right)^{-0,14}.$$

Результаты расчета характеристик впрыска и распыливания БМТС-10 и БМТС-25, полученные по предложенным выражениям, указаны в табл. 1.

Характеристики впрыска и распыливания топлива в номинальном режиме работы дизельного двигателя Д-245.5S2 (при частоте вращения коленчатого вала $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$) на ДТ, БМТС-10 и БМТС-25, рассчитанные по предложенным зависимостям, приведены в табл. 2.

Как видно из выражения (1), по мере изменения плотности, поверхностного натяжения и динамической вязкости БМТС относительно

аналогичных величин ДТ уменьшается время прохождения струей впрыскиваемого топлива расстояния от распылителя форсунки до стенки КС. Это обуславливает снижение количества испарившегося топлива в объеме КС, что оказывает влияние на динамику тепловыделения в подготовительной фазе процесса сгорания и снижение жесткости работы дизельного двигателя.

Если динамическая вязкость топлива ($\eta_{\text{БМТС-10}} = 3,05 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\eta_{\text{БМТС-25}} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$) несколько увеличивается относительно таковой ДТ ($\eta_{\text{ДТ}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$), то относительное время впрыска БМТС-10 и БМТС-25 уменьшается соответственно в 0,88 и 0,71 раз. Большая доля цикловой подачи топлива попадает на стенку КС, что должно привести к увеличению доли пленочного смесеобразования и мягкой работе дизельного двигателя.

Согласно выражению (2), на диаметр капель топлива оказывают влияние его плотность, поверхностное натяжение и динамическая вязкость. По мере их увеличения средний диаметр капель возрастает. При применении в качестве топлива БМТС-10 и БМТС-25 средний диаметр капли увеличивается соответственно в 1,06 и 1,17 раз по сравнению с аналогичным параметром ДТ. Это может стать причиной ухудшения процессов их испарения и смесеобразования. Рост диаметра капель вызовет увеличение дальности струи топлива, что несколько компенсирует ухудшение процессов испарения и смесеобразования крупных капель впрыскиваемой БМТС.

Таблица 1

Значения характеристик впрыска и распыливания различных БМТС

Марка топлива	Относительное изменение времени достижения топливной струей стенки $\tau_{\text{БМТС}}/\tau_{\text{ДТ}}$	Относительное изменение диаметра капля топлива $d_{\text{кБМТС}}/d_{\text{кДТ}}$	Относительное изменение угла распыления струи $\gamma_{\text{БМТС}}/\gamma_{\text{ДТ}}$
БМТС-10	0,88	1,06	0,95
БМТС-25	0,71	1,17	0,86

Таблица 2

Значения характеристик впрыска и распыливания топлива в номинальном режиме работы дизельного двигателя Д-245.5S2

Вид топлива	Время достижения топливной струей стенки КС τ , мс	Диаметр капель впрыскиваемого топлива d_k , мкм	Угол распыления топлива γ , град
ДТ	0,9	12,00	21,5
БМТС-10	0,8	12,70	20,4
БМТС-25	0,6	14,04	18,5

При впрыске в цилиндр дизельного двигателя более вязкой БМТС угол распыления струи топлива и ее боковая поверхность уменьшаются: для БМТС-10 — в 0,95 раз, для БМТС-25 — в 0,86 раз. Это должно привести к уменьшению количества испарившегося топлива за период задержки воспламенения и к более мягкой работе дизельного двигателя.

Выводы

1. Усовершенствована методика определения характеристик впрыска и распыливания БМТС.

2. Предложенная методика позволяет упростить расчет изменения времени впрыска, диаметра капель и угла распыления БМТС относительно подобных характеристик минерального ДТ, если известна плотность, динамическая вязкость и сила поверхностного натяжения топлива.

3. Установлено, что при переходе от ДТ к БМТС-10 изменение времени впрыска, диаметра капель и угла распыления составило 0,88, 1,06 и 0,95, а при переходе от ДТ к БМТС-25 — 0,71, 1,17 и 0,86, соответственно.

Литература

- [1] Плотников С.А., Сапунов В.Н., Черепанова А.Д. и др. О механизме действия молибден-содержащей присадки в высококонцентрированных ЭТЭ. *Грузовик*, 2022, № 1, с. 15–20.
- [2] Карташевич А.Н., Даргель Р.С., Плотников С.А. и др. Определение рациональных режимов работы дизеля на газомоторном топливе. *Сельский механизатор*, 2023, № 12, с. 10–11.
- [3] Марков В.А., Девянин С.Н., Са Б. и др. Исследование работы дизельного двигателя на смесевых и эмульгированных биотопливах с добавками рапсового масла. *Двигателестроение*, 2023, № 1, с. 70–90.
- [4] Марков В.А., Девянин С.Н., Нагоров С.А. и др. Особенности использования смесевых биотоплив с добавками метилового эфира подсолнечного масла в автотракторном дизеле. *Автомобильная промышленность*, 2022, № 4, с. 28–33.
- [5] Марков В.А., Иванкин А.Н., Са Б. и др. Талловое масло как сырье для производства биодизельного топлива. *Двигателестроение*, 2022, № 2, с. 72–83.
- [6] Бирюков А.Л., Новокшанов Ф.А., Булавина Т.Г. Модернизация системы подачи топлива дизельного двигателя для работы на растительном масле с подачей воды. *Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования. Мат. XIV Межд. науч.-тех. конф.* Вологда, Вологодский гос. ун-т, 2020, с. 342–346.
- [7] Плотников С.А., Карташевич А.Н., Заболотских Г.Э. Исследование составов и способов подачи новых топлив с добавками сурепного масла в дизель. *Инженерные технологии и системы*, 2023, т. 33, № 1, с. 100–113, doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.100-113>
- [8] Плотников С.А., Заболотских Г.Э., Кантор П.Я. и др. Исследование свойств новых топлив для автотракторной техники. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*, 2022, т. 14, № 1, с. 117–125, doi: <https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.92.31.01>
- [9] Разлейцев Н.Ф., Филипповский А.И. Математическая модель процесса сгорания в дизеле со струйным смесеобразованием. *Двигателестроение*, 1990, № 7, с. 52–56.
- [10] Лышевский А.С. *Распыливание топлива в судовых дизелях*. Ленинград, Судостроение, 1971. 248 с.
- [11] Коровин Н.В. *Общая химия*. Москва, Высшая школа, 1998. 559 с.
- [12] Новиков Г.И. *Основы общей химии*. Москва, Высшая школа, 1988. 431 с.
- [13] Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. *Общая и неорганическая химия*. Москва, Химия, 1993. 588 с.
- [14] Картошкин А.П., Корабельников С.К., Чистяков А.Н. Сравнительный анализ процесса смесеобразования в двигателе со стандартным процессом и интенсифицированным процессом воздухоподдачи. *Известия Международной академии аграрного образования*, 2020, № S49, с. 26–32.
- [15] Кульчицкий А.Р. К вопросу о расчетном определении эмиссии частиц с отработавшими газами дизелей. *Двигателестроение*, 2000, № 1, с. 37–38.

References

- [1] Plotnikov S.A., Sapunov V.N., Cherepanova A.D. et al. On the mechanism of action of a molybdenum-containing additive in highly concentrated ETE. *Gruzovik* [Truck], 2022, no. 1, pp. 15–20. (In Russ.).
- [2] Kartashevich A.N., Dargel R.S., Plotnikov S.A. et al. Determination of rational modes of operation of a diesel engine powered by natural gas. *Selskiy mekhanizator*, 2023, no. 12, pp. 10–11. (In Russ.).
- [3] Markov V.A., Devyanin S.N., Sa B. et al. Investigation of diesel engine operation on mixed biofuels and emulsified biofuels with rapeseed oil additives. *Dvigatelistroenie* [Engines Construction], 2023, no. 1, pp. 70–90. (In Russ.).
- [4] Markov V.A., Devyanin S.N., Nagorov S.A. et al. Feature of the use of mixed biofuels with additives of methyl ether of sunflower oil in an automotive diesel engine. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2022, no. 4, pp. 28–33. (In Russ.).
- [5] Markov V.A., Ivankin A.N., Sa B. et al. Tallow oil as a raw material for the production of bio-diesel fuel. *Dvigatelistroenie* [Engines Construction], 2022, no. 2, pp. 72–83. (In Russ.).
- [6] Biryukov A.L., Novokshanov F.A., Bulavina T.G. [Modernisation of diesel engine fuel supply system for operation on vegetable oil with water supply]. *Avtomatizatsiya i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstva: tekhnologiya i nadezhnost mashin, priborov i oborudovaniya. Mat. XIV Mezhd. nauch.-tekhn. konf. [Automation and Energy Saving of Machine-Building and Metallurgical Production: Technology and Reliability of Machines, Devices and Equipment. Proc. XIV Int. Sci.-Tech. Conf.]*. Vologda, Vologodskiy gos. un-t, 2020, pp. 342–346. (In Russ.).
- [7] Plotnikov S.A., Kartashevich A.N., Zabolotskikh G.E. The study of compositions and methods of supplying new fuels with additives of brassica rapa oil to the diesel. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* [Engineering Technologies and Systems], 2023, vol. 33, no. 1, pp. 100–113, doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.100-113> (in Russ.).
- [8] Plotnikov S.A., Zabolotskikh G.E., Kantor P.Ya. et al. Investigation of properties of new fuels for automotive equipment. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva* [Herald of Ryazan State Agrotechnological University n.a. P.A. Kostychev], 2022, vol. 14, no. 1, pp. 117–125, doi: <https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.92.31.01> (in Russ.).
- [9] Razleytsev N.F., Filipkovskiy A.I. Mathematical model of the combustion process in a diesel engine of the jet type mixture formation. *Dvigatelistroenie* [Engines Construction], 1990, no. 7, c. 52–56. (In Russ.).
- [10] Lyshevskiy A.S. *Raspylivanie topliva v sudovyykh dizelyakh* [Fuel atomization in marine diesel engines]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1971. 248 p. (In Russ.).
- [11] Korovin N.V. *Obshchaya khimiya* [General chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1998. 559 p. (In Russ.).
- [12] Novikov G.I. *Osnovy obshchey khimii* [Fundamentals of general chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 431 p. (In Russ.).
- [13] Karapetyants M.Kh., Drakin S.I. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya* [General and inorganic chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1993. 588 p. (In Russ.).
- [14] Kartoshkin A.P., Korabelnikov S.K., Chistyakov A.N. Comparative analysis of the process of mixture formation in the engine with a standard process and an intensified air supply process. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*, 2020, no. S49, pp. 26–32. (In Russ.).
- [15] Kulchitskiy A.R. On the analysis of solid particle contents in engine exhaust gas. *Dvigatelistroenie* [Engines Construction], 2000, no. 1, pp. 37–38. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 02.09.2024

Информация об авторах

ПЛОТНИКОВ Сергей Александрович — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения». ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (610000, Киров, Российская Федерация, ул. Московская, д. 36, e-mail: plotnikovsa@bk.ru).

ЗАБОЛОТСКИХ Георгий Эдуардович — аспирант кафедры «Технология машиностроения». ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (610000, Киров, Российская Федерация, ул. Московская, д. 36, e-mail: zabolotskikh88@yandex.ru).

КАРТАШЕВИЧ Анатолий Николаевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник образования Республики Беларусь, заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства». УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (213410, Могилевская обл., Горки, Республика Беларусь, ул. Мичурина, д. 5, e-mail: kartashevich@yandex.ru).

МАЛЫШКИН Павел Юрьевич — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства». УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (213410, Могилевская обл., Горки, Республика Беларусь, ул. Мичурина, д. 5, e-mail: pavelm36@yandex.by).

Information about the authors

PLOTNIKOV Sergey Aleksandrovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. FSBEI of HE Vyatka State University (610000, Kirov, Russian Federation, Moskovskaya St., Bldg. 36, e-mail: plotikovsa@bk.ru).

ZABOLOTSKIKH Georgy Eduardovich — Postgraduate, Department of Mechanical Engineering Technology. FSBEI of HE Vyatka State University (610000, Kirov, Russian Federation, Moskovskaya St., Bldg. 36, e-mail: zabolotskikh88@yandex.ru).

KARTASHEVICH Anatoly Nikolaevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Head of the Department Tractors, Vehicles and Machines for Environmental Management. Belarusian State Agricultural Academy (213410, Mogilev region, Gorki, Republic of Belarus, Michurina St., Bldg. 5, e-mail: kartashevich@yandex.ru).

MALYSHKIN Pavel Yuryevich — Candidate of Science (Eng.), Senior Lecturer, Department of Tractors, Vehicles and Machines for Environmental Management. Belarusian State Agricultural Academy (213410, Mogilev region, Gorki, Republic of Belarus, Michurina St., Bldg. 5, e-mail: pavelm36@yandex.by).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Плотников С.А., Заболотских Г.Э., Карташевич А.Н., Малышкин П.Ю. Оценка влияния физико-химических свойств биоминеральных топливных смесей на характеристики впрыска и распыливания. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 6, с. 105–111.

Please cite this article in English as:

Plotnikov S.A., Zabolotskikh G.E., Kartashevich A.N., Malyshekin P.Yu. Assessment of the influence of the physico-chemical properties of biomineral fuel mixtures on the characteristics of injection and spraying. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 6, pp. 105–111.