

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА БИОМИНЕРАЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЯХ

Г. Э. ЗАБОЛОТСКИХ<sup>1</sup>, аспирант  
С. А. ПЛОТНИКОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор  
М. В. СМОЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук  
А. Н. КАРТАШЕВИЧ<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет»,  
Киров, Российская Федерация

<sup>2</sup>УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** В условиях внешнеполитических обстоятельств, оказываемых на РФ, был взят курс на обеспечение технологического суверенитета. Но предпосылки для этого были заложены ранее. Одним из приоритетных направлений, необходимых для обеспечения технологической самостоятельности является развитие собственного транспорта. Данное направление отражено в актуальной на сегодняшний день Транспортной стратегии РФ до 2030 г. [1]. Документ затрагивает рекомендации в области развития транспорта, а также, в качестве составляющей, уделяется внимание переводу доли транспортных средств на альтернативные источники энергии.

Долгое время вопросами, связанными с альтернативными топливами, занимаются как отечественные, так и зарубежные ученые, что говорит о неослабевающем научном интересе к обозначенному исследовательскому направлению [2–9].

Целью исследования является обоснование актуальности применения составов биоминеральных топливных смесей (БМТС) для работы дизельного двигателя в режимах различных нагрузок опираясь на сравнение их итогового значения удельного выброса с удельным выбросом токсичных компонентов чистого ДТ согласно методике ЕЭК ООН № 96 (02).

Для достижения данной цели были определены следующие задачи:

1. Оценка работоспособности дизеля на БМТС.
2. Перевод суммарных значений относительных величин исследуемых токсичных компонентов за все испытательные циклы (процентов – % и миллионных долей – ppm) в действительное

содержание данных веществ от общего содержания удельного выброса в отработавших газах (согласно Правил ООН № 96 (2) – г/кВт·ч) [10].

3. Определение зависимости экологических показателей работы двигателя в зависимости от разных режимов нагрузки.

**Основная часть.** Для приготовления БМТС были использованы следующие компоненты: этанол (Э), сурепное масло (СурМ) и дизельное топливо (ДТ). Биологические компоненты примешивались в разных концентрациях к ДТ. Их соотношение в смеси определялось путем лабораторных исследований физико-химических свойств компонентов (плотности, кинематической вязкости и времени стабильности) [11].

На данном этапе лабораторных исследований были определены два принципиальных состава БМТС:

1. БМТС-10, состоящий из 10 % Э, 10 % СурМ и 80 % ДТ.
2. БМТС-25, содержащий 25 % Э, 25 % СурМ и 50 % ДТ.

Для увеличения времени стабильности смесей добавлялся 1 % диспергирующей сукцинимидной присадки С-5А от общего содержания смеси [11].

Проведение моторных испытаний осуществлялось на базе Белорусской государственной орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии (Республика Беларусь, г. Горки) в рамках договора о взаимном сотрудничестве между БГСХА и Вятским государственным университетом (Российская Федерация, г. Киров). Смесей были подвергнуты стендовым испытаниям на установке, оснащенной дизелем Д-245.5S2 с электротормозным стендом RAPIDO SAK N670 с балансировочной маятниковой машиной (производство Германия), при помощи которого устанавливалась необходимая нагрузка на коленчатый вал (КВ) двигателя.

Следует отметить также, что в связи с отличиями от чистого ДТ физико-химическими свойствами БМТС были изменены установочные углы опережения впрыскивания. В процессе предыдущих стендовых испытаний (ГОСТ 18509-88) на предмет определения рациональных регулировок топливоподающей аппаратуры (ТПА) (ЯЗДА-773-40.28) удалось установить, что оптимальными установочными углами опережения впрыскивания топлива являются:  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 18^\circ$  п.к.в.,  $\Theta_{\text{впр БМТС-10}} = 20^\circ$  п.к.в.,  $\Theta_{\text{впр БМТС-25}} = 22^\circ$  п.к.в. Указанные значения установочных углов опережения впрыскивания позволяют достичь оптимальных показателей в отношении эмиссии вредных веществ в отработавших газах, а также сохранить эффективные показатели при работе дизеля на БМТС.

Снятие экологических показателей отработавших газов фиксировалось с помощью газоанализатора MGT-5 МАНА через выхлопную систему.

Измерение экологических показателей проводилось согласно методике Правил ООН № 96 (02) «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной мобильной технике в отношении выброса загрязняющих веществ этими двигателями» [5]. Согласно данной методике, было установлено, что паспортные характеристики данного двигателя, относительно номинальной мощности соответствуют диапазону мощности  $G$  (согласно паспортной документации для дизеля Д-245.5S2  $N_e = 70 \pm 2$  кВт) (табл. 2). Определение экологического класса представляется возможным установить только после анализа полученных результатов при стендовых испытаниях двигателя.

Испытательный цикл двигателя данного класса согласно Правилам ООН № 96 (02) подразумевает постепенное снижение скоростного режима двигателя с соответствующим данному режиму снижению нагрузки (крутящего момента) (табл. 1).

Таблица 1. Испытательный цикл дизеля согласно Правилам ООН № 96 (02)

Номер режима	Скоростной режим двигателя	Крутящий момент, % от наибольшего на данном скоростном режиме
1	номинальный	100
2	номинальный	75
3	номинальный	50
4	номинальный	10
5	промежуточный	100
6	промежуточный	75
7	промежуточный	50
8	холостого хода	0

Указанная методика исследования экологических показателей предусматривает, что определение количества продуктов сгорания фиксируется в виде удельного выброса (г/(кВт·ч) за весь испытательный цикл (табл. 2).

По мнению А. Р. Кульчицкого, на сегодняшний день в системе Минсельхоза, проводящей испытания сельхозтехники имеются определенные сложности с оборудованием («туннелем»), позволяющим получать данные удельного выброса токсичных веществ [12]. В России

станции технического обслуживания оснащены газоанализаторами для измерения концентрации газообразных веществ (оксидов азота, оксидов углерода, суммарных углеводородов).

Таким образом, дополнительной задачей, требующей решения для достижения поставленной цели исследования стал перевод полученных суммарных значений концентрации токсичных веществ за весь испытательный цикл (% , ppm) в значения удельного выброса (г/(кВт·ч) путем математического расчета полученных данных газоанализатора.

Таблица 2. Диапазоны мощности и значения удельного выброса для двигателей, работающих от сжатия

Диапазон мощности	Экологиче-ский класс	Полезная мощность двигателя, $P$ , кВт	Удельный выброс, г/(кВт·ч)			
			Оксид углерода $CO$	Углеводороды $HC$	Оксиды азота $NO_x$	Твердые частицы $PT$
$E1$	Stage II (до 01.09.2023)	$130 \leq P \leq 156$	3,5	1,0	6,0	0,2
$E2$		$156 \leq P < 560$	3,5	4,0		0,2
$F$		$75 \leq P < 130$	5,0	1,0	6,0	0,3
$G$		$37 \leq P < 75$	5,0	1,3	7,0	0,4
$D$		$19 \leq P < 37$	5,5	1,5	8,0	0,8

Сначала необходимо было определить эффективный расход топлива  $g_e$  (ДТ, БМТС-10 и БМТС-25) и воздуха для достижения эффективной мощности  $N_e$ .

Для расчета часового расхода воздуха, необходимого для полного сгорания определенных составов смесей были рассчитаны стехиометрические числа:

- ДТ – 14,6;
- БМТС-10 – 14,03;
- БМТС-25 – 13,16.

С помощью этих чисел были определены показатели теоретически необходимого расхода воздуха ( $L_{теор}$ ), связанные с эффективным расходом топлива  $g_e$  (при  $\alpha = 1$ ). Также известно, что дизельные двигатели работают при избыточном количестве воздуха, поступающего в цилиндры ( $\alpha > 1$ ). В этой связи было рассчитано среднее значение коэффициента избытка воздуха на всех испытательных режимах  $\alpha = 2$ . Таким образом, получается, что общее содержание удельного выброса являет собой сумму показателей эффективного расхода топлива  $g_e$  с теоретически необходимым удвоенным расходом воздуха ( $2L_{теор}$ ). Рас-

четыре позволили определить искомые суммарные значения удельного выброса за весь испытательный цикл, исходя из концентраций конкретных веществ.

Как представлено в табл. 1, методика испытания дизеля по Правилам ООН № 96 (02) представляет собой восьмимодный цикл, предполагающий поступательное снижение скоростных режимов от номинального, через промежуточный, до режима холостого хода. При каждом из скоростных режимов наблюдается снижение оказываемой на двигатель нагрузки. Так, номинальный скоростной режим в зависимости от нагрузки подразделяется еще на четыре режима, промежуточный – на три, а в режиме холостого хода нагрузка на КВ полностью отсутствует.

Полученные результаты позволяют рассчитать итоговые значения эмиссии вредных веществ согласно методике Правил ЕЭК ООН № 96 (02). Сравнение итогового (суммарного) значения эмиссии  $CO$ ,  $C_xH_y$ ,  $NO_x$ ,  $C$  для ДТ, БМТС-10, БМТС-25 отражено на диаграммах (рис. 1).

Данные графиков указывают, что при увеличении концентрации биологического компонента в изучаемых топливах наблюдается снижение эмиссии всех рассматриваемых вредных веществ в отработавших газах (рисунок). Экологическому стандарту *Stage II* дизельный двигатель Д-245.5S.2 при работе на ДТ, БМТС-10, БМТС-25 соответствует только в отношении значений эмиссии углерода. Так, пороговое итоговое значение за весь испытательный цикл по удельному выбросу углерода  $C$  по методике Правил ЕЭК ООН № 96 (02) для двигателей с диапазоном мощности  $G$  составляет  $0,4 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ . Из диаграммы (рис. 1) видно, что значения удельного выброса углерода  $C$  для ДТ, БМТС-10, БМТС-25 составляют  $0,34 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ ,  $0,33 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ ,  $0,28 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ , соответственно. В остальных же случаях в отношении эмиссии монооксида углерода  $CO$ , оксидов азота  $NO_x$  и углеводородов  $C_xH_y$  полученные значения завышены. В связи с тем, что БМТС по своим характеристикам отличаются от ДТ, для достижения необходимого результата, кроме изменения угла опережения впрыскивания, предположительно, необходимо произвести оптимизацию давления начала впрыскивания топлива форсунками; для чего в последующем произвести индицирование давления в топливопроводе высокого давления для чистого ДТ, БМТС-10 и БМТС-25).

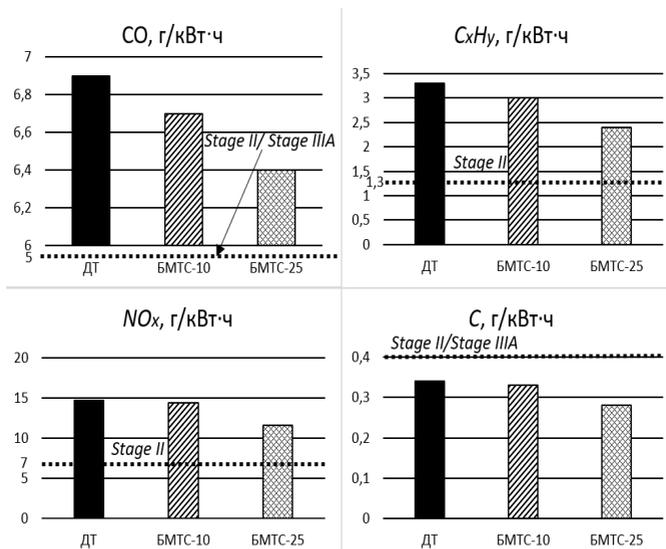


Рис. 1. Суммарные значения удельного выброса токсичных веществ за весь испытательный цикл

**Заключение.** Итоги проделанной работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Использование БМТС в качестве топлива не вызывает сбоев в работе двигателя.

2. Увеличение содержания биологических компонентов в БМТС значительно снижает общую токсичность отработавших газов; но при этом также, из-за снижения среднего эффективного давления, незначительно снижается эффективная мощность.

3. Хотя БМТС показывают сниженные значения эмиссии вредных веществ в выхлопных газах по сравнению с чистым ДТ, они не могут привести дизель к экологическим показателям *Stage II* Правил ЕЭК ООН № 96 (02); необходима оптимизация системы топливоподачи, установка дополнительных систем фильтрации отработавших газов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda>. – Дата доступа: 11.12.2023.

2. Бирюков, А. Л. Оценка некоторых экологических показателей дизельного двигателя при работе на рапсовом масле / А. Л. Бирюков, Ф. А. Новокшанов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 163–167.

3. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак, З. С. Ковалевич. – Минск: РИВШ, 2023. – 404 с.

4. Бузиков, Ш. В. Оптимизация состава смесового топлива для применения в тракторных дизелях / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников, И. С. Козлов // Тр. НАМИ. – 2021. – № 1 (284). – С. 16–24.

5. Карташевич, А. Н. Оптимизация эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесовом топливе / А. Н. Карташевич, Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Вестн. БГСХА. – 2022. – № 4. – С. 163–167.

6. Карташевич, А. Н. Применение методики планирования эксперимента в исследованиях свойств биотоплив / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 200–207.

7. Малышкин, П. Ю. Оценка экологической и экономической эффективности применения газового топлива для питания дизелей / П. Ю. Малышкин, А. Н. Карташевич // Вестн. БГСХА. – 2023. – № 2. – С. 185–189.

8. Новокшанов, Ф. А. Исследование мощностных показателей дизельного двигателя при работе на рапсовом масле с подачей воды на впуске / Ф. А. Новокшанов, А. Л. Бирюков, П. Ю. Малышкин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 306–309.

9. Челноков, А. А. Безопасность жизнедеятельности / А. А. Челноков, В. Н. Босак, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Выш. шк., 2023. – 407 с.

10. The United Nations Economic Commission for Europe. Regulation No. 24. E/ECE/TRANS/505-Rev.1/Add.23/Rev.2/Amend.1/Amend.2/Amend.3. 5 April 2007.

11. Исследование свойств новых топлив для автотракторной техники / С. А. Плотников, Г. Э. Заболотских, П. Я. Кантор, М. Н. Втюрина // Вестн. Рязанского гос. агротехнологического ун-та им. П. А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 117–125.

12. Кульчицкий, А. Р. О новых требованиях к экологическим показателям сельскохозяйственных тракторов в таможенном союзе // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 3. – С. 167–174.

*Аннотация.* Рассматривается работа дизеля Д-245.5S2 на биоминеральных топливных смесях (БМТС) на предмет их экологичности по методике Правил ООН № 96 (02).

Установлено, что использование этих смесей положительно сказывается на экологической составляющей отработавших газов: замечено снижение эмиссии исследуемых токсичных компонентов при работе на БМТС в сравнении с традиционным дизельным топливом.

*Ключевые слова:* биоминеральная топливная смесь, дизельное топливо, монооксид углерода, оксиды азота, углеводороды, сажа.