

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ НА СМЕСЕВОМ СУРЕПНО-МИНЕРАЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ, Р. С. ДАРГЕЛЬ, В. А. ШАПОРЕВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 08.05.2020)

В статье отражены исследования работы тракторного дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) на дизельном топливе и смесях дизельного топлива (ДТ) с сурепным маслом (СурМ) – 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ. Приведены результаты стендовых испытаний дизельного двигателя при работе на этих составах топлив. Исследовались эффективные показатели работы дизельного двигателя и показатели его токсичности и дымности при работе на этих составах по нагрузочной характеристике, снятой на номинальном скоростном режиме 1800 мин⁻¹ при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$ до в.м.т.

При работе дизельного двигателя на смесях 90 % ДТ + 10% СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ следует отметить снижение эффективной мощности на 3,07 % и 9,23 %, снижение крутящего момента на 17,73 % и 22,41 %, и увеличением КПД на 11 % и 13,88 % соответственно, в сравнении с показателями работы на чистом ДТ.

Показатели токсичности и дымности дизельного двигателя при $n=1800$ мин⁻¹ на смешевых топливах 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ характеризуются снижением выбросов с ОГ частиц сажи на 16,42 % и 41,8 % и увеличением оксидов азота на 14,33 % и 18,5 %, а также увеличением выбросов с ОГ диоксида углерода на 2,88 % и 10,92 %, углеводородов на 25 % и 51,66 %, и уменьшением соответственно оксидов углерода на 35 % и 48 %.

Ключевые слова: дизель, дизельное топливо, нагрузка, сурепное масло, отработавшие газы, дымность, токсичность, стендовые испытания, альтернативное топливо.

The article presents studies of the operation of tractor diesel engine 4ChN 11.0 / 12.5 (D-245.5S2) on diesel fuel and mixtures of diesel fuel (DF) with rapeseed oil (RO) – 90 % DF + 10 % RO and 80 % DF + 20 % RO. The results of bench tests of a diesel engine during operation on these fuel compositions are presented. We studied the effective performance of a diesel engine and its toxicity and smoke content when working on these compounds according to the load characteristic recorded at a nominal speed mode of 1800 min⁻¹ with a rational value of fuel injection advance angle $\Theta = 22^\circ$ to top dead center. When a diesel engine is running on mixtures of 90 % DF + 10 % RO and 80 % DF + 20 % RO, a decrease in effective power is noted by 3.07 % and 9.23 %, a decrease in torque by 17.73 % and 22.41 %, and an increase in efficiency by 11 % and 13.88 %, accordingly, in comparison with the performance on pure diesel fuel.

The toxicity and smoke levels of a diesel engine at $n = 1800$ min⁻¹ on mixed fuels 90 % DF + 10 % RO and 80 % DF + 20 % RO are characterized by a decrease in exhaust gases emissions of soot particles by 16.42 % and 41.8 % and an increase in nitrogen oxides by 14.33 % and 18.5 %, as well as an increase in carbon dioxide emissions by 2.88 % and 10.92 %, hydrocarbons by 25 % and 51.66 %, and a decrease in carbon oxides by 35 % and 48 %, respectively.

Key words: diesel, diesel fuel, load, rapeseed oil, exhaust gases, smoke content, toxicity, bench tests, alternative fuel.

Введение

Альтернативные моторные топлива находят все большее применение на транспорте и в других областях экономики [1]. Необходимость широкого использования альтернативных топлив обусловлена истощением мировых запасов нефти, нарастающим дефицитом нефтепродуктов и повышением цен на нефтяные моторные топлива. Другой причиной интенсивных поисков альтернативных энергоносителей для транспорта являются ужесточающиеся требования к токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей [2].

Одним из направлений решения указанной общемировой проблемы является частичное замещение минерального топлива смешевым, получаемым смешиванием минерального топлива и растительного масла. Среди растительных масел, применяемых для производства смешевого топлива, наибольшее распространение получило рапсовое масло. Однако технология возделывания рапса сложна и затратна. Альтернативными перспективными биоконпонентами смешевого топлива могут являться и другие виды масличных культур, в частности сурепица.

Снизить негативное воздействие ОГ тракторов на окружающую среду и уменьшить зависимость страны от минерального топлива можно, используя смешевое топливо на основе ДТ и сурепного масла (СурМ).

Основная часть

В ходе исследований решалось несколько задач с целью создания новых составов топлив на основе ДТ и СурМ, удовлетворяющих требованиям их применения в дизеле, а также эффективные показатели работы дизельного двигателя и показатели его дымности и токсичности при работе на отмеченных составах топлив.

Выполнены экспериментальные исследования по оценке влияния смесового топлива на показатели дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2). Стендовые испытания дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) проводились в БГСХА на кафедре «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства» в научно-исследовательской лаборатории «Испытание двигателей внутреннего сгорания».

Для выявления влияния смесовых видов топлива на основе СурМ на эффективные и экологические показатели работы дизельного двигателя, определения его оптимальных регулировок были проведены экспериментальные исследования на нагрузочном стенде RAPIDO (Германия) мощностью 250 кВт. На рис. 1 представлен общий вид экспериментальной установки для проведения стендовых испытаний. Стенд для проведения моторных испытаний был оборудован приборами, устройствами и приспособлениями для контроля основных показателей работы двигателя, все приборы прошли государственную поверку (рис. 2).



Рис. 1. Нагрузочный стенд RAPIDO

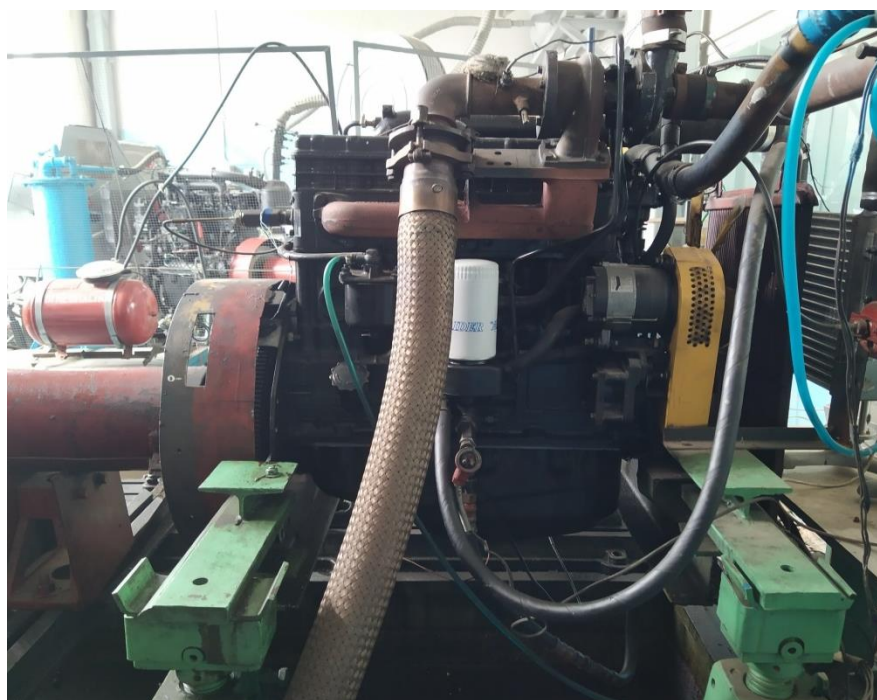


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

Исследования проводились на ДТ и смесях дизельного топлива и СурМ: ДТ 100 %, ДТ с 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ.

На рис. 4 представлена нагрузочная характеристика дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{оп.впр}}=22^\circ$ до в.м.т.

Как видно из данных рис. 4, при работе дизельного двигателя на номинальном режиме на чистом ДТ значение удельного эффективного расхода топлива g_e на незначительно ниже, чем на топливах с добавкой СурМ. При нагрузке $p_e=0,86 \text{ МПа}$ удельный эффективный расход топлива дизельного двигателя, работающего на ДТ, составляет $g_e=210 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$. При работе на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ значение составляет $g_e=210,36 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ и $g_e=212 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ при сопоставимой нагрузке $p_e=0,88 \text{ МПа}$ и $p_e=0,83 \text{ МПа}$. Видно, что удельный расход топлива увеличивается с ростом концентрации СурМ, в сопоставимом выражении это увеличение составляет 0,17 % и 0,995 %.

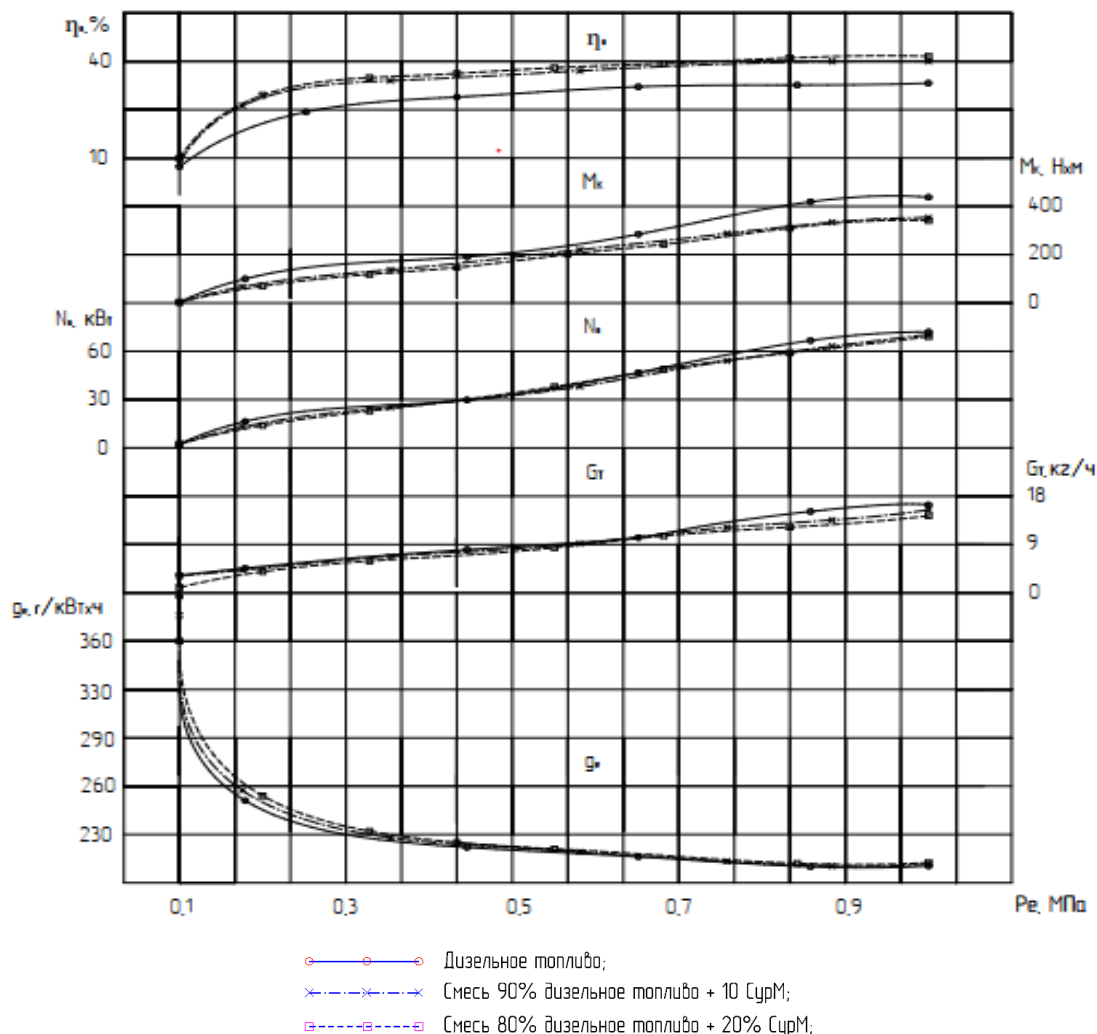


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{оп.впр}}=22^\circ$ до в.м.т.

Эффективная мощность дизельного двигателя растет во всем диапазоне увеличения нагрузки от $p_e=0,1 \text{ МПа}$ до $p_e=0,9 \text{ МПа}$, далее этот рост незначителен. При нагрузке $p_e=0,86 \text{ МПа}$ эффективная мощность дизельного двигателя, работающего на ДТ, составляет $N_e=65 \text{ кВт}$. При работе на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ значение мощности составляет $N_e=63 \text{ кВт}$ и $N_e=59 \text{ кВт}$ при сопоставимой нагрузке $p_e=0,88 \text{ МПа}$ и $p_e=0,83 \text{ МПа}$. Видно, что мощность уменьшается с ростом концентрации СурМ, в сопоставимом выражении это уменьшение составляет 3,07 % и 9,23 %.

Крутящий момент дизельного двигателя также, как и эффективная мощность, растет во всем диапазоне увеличения нагрузки. При нагрузке $p_e=0,86 \text{ МПа}$ крутящий момент дизельного двигателя, работающего на ДТ составляет $M_k=406 \text{ Н}\cdot\text{м}$. При работе на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ его значение составляет $M_k=334 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и $M_k=315 \text{ Н}\cdot\text{м}$ при сопоставимой нагрузке

$p_e=0,88$ МПа и $p_e=0,83$ МПа. То есть, крутящий момент уменьшается с ростом концентрации СурМ на 17,73 % и 22,41 %.

Значение эффективного КПД при работе дизельного двигателя на ДТ с нагрузкой ($p_e=0,86$ МПа) составляет 37 %, а при работе на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ значение максимального эффективного КПД составило $\eta_e=36$ % и $\eta_e=40$ % при $p_e=0,88$ МПа и $\eta_e=41$ % при $p_e=0,83$ МПа. Следовательно, эффективный КПД дизельного двигателя увеличивается с ростом концентрации СурМ на 11 % и 13,88 %.

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 на $n=1800$ мин⁻¹ представлены на рис. 4.

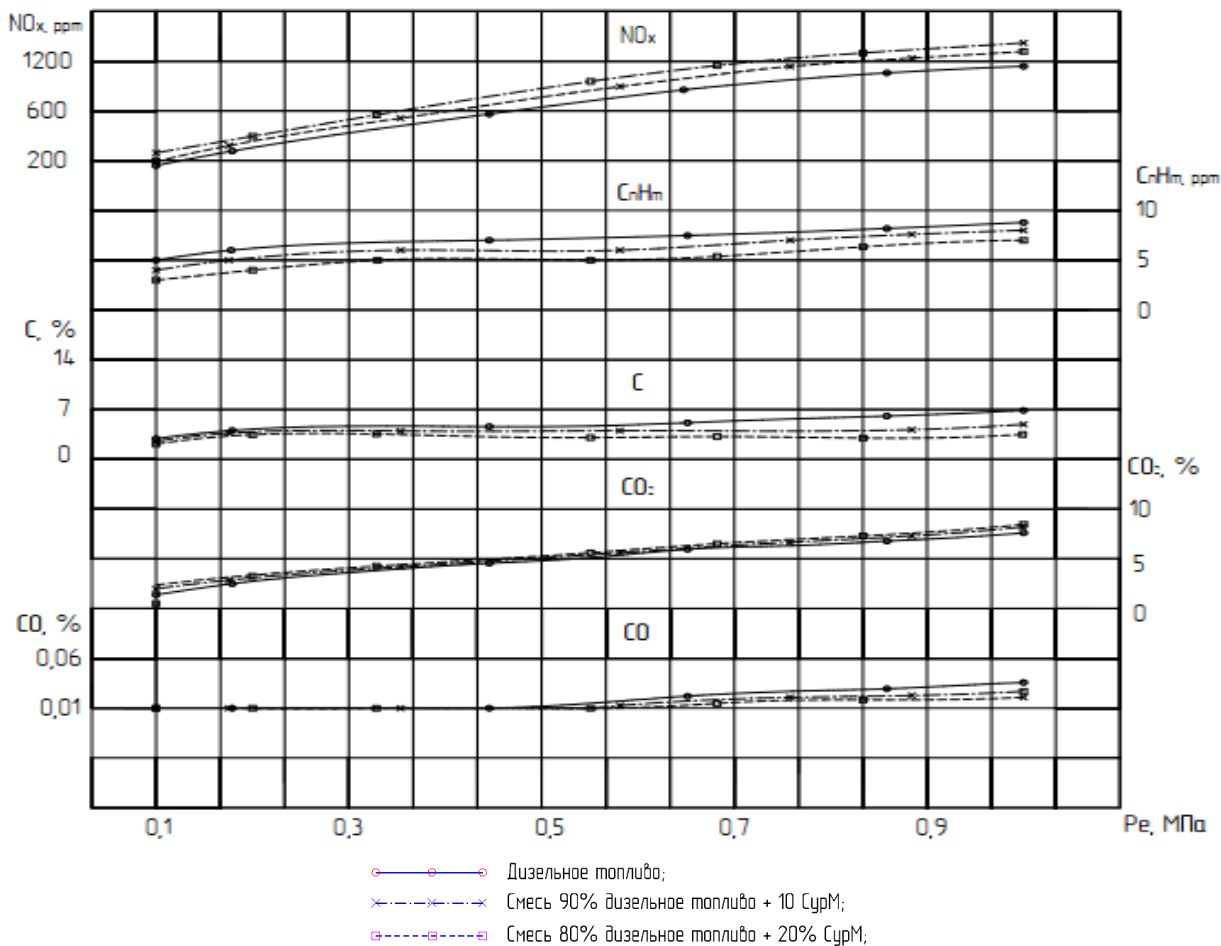


Рис. 4. Показатели токсичности и дымности дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 при $n=1800$ мин⁻¹ и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива $\Theta_{оп.впр}=22^\circ$ до в.м.т.

Содержание оксидов азота NO_x в ОГ при работе на ДТ и на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ повышается при увеличении нагрузки во всем диапазоне. При $p_e=0,86$ МПа для чистого ДТ, при $p_e=0,88$ МПа для смеси 10 % СурМ, а при $p_e=0,83$ МПа для смеси и 20 % СурМ содержание оксидов азота NO_x соответственно, составляет 1058 ppm, 1235 ppm и 1298 ppm. Содержание оксидов азота NO_x в ОГ на смеси 90 % ДТ + 10 % больше чем на чистом ДТ на 14,33 %, а на смеси 80 % ДТ + 20 % СурМ больше ДТ на 18,5 %. Следует отметить, что образование оксидов азота происходит по нескольким механизмам, преобладающая роль каждого существенно зависит от температуры процесса сгорания, наличия свободного кислорода и состава топлива.

При увеличении нагрузки содержание сажи C в ОГ при работе, как на ДТ, так и на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ возрастает. Уровень сажи C в ОГ дизельного двигателя при достижении нагрузки $p_e=0,86$ МПа для чистого ДТ составляет 6,0 %, а для смесей, содержащих 10 % СурМ и 20 % СурМ при сопоставимой нагрузке $p_e=0,88$ МПа и $p_e=0,83$ МПа содержание сажи в ОГ составляет 4,15 % и 6,6 %, соответственно. То есть, с ростом присутствия СурМ в смесевом топливе содержание сажи в ОГ снижается на 30,77 % и увеличится на 10 %.

Из графика показателей дымности и токсичности (рис. 2) видно, что выбросы оксидов углерода CO с ОГ повышаются с увеличением нагрузки во всем диапазоне и работе на всех составах топлив. При этом с добавлением 10 % СурМ и 20 % СурМ концентрацию CO в ОГ дизельного двигателя

уменьшается. Так, при $p_e=0,86$ МПа и работе на чистом ДТ выбросы СО составляет 0,023 %, а для смеси 90 % ДТ + 10 % СурМ и сопоставимой нагрузке $p_e=0,88$ МПа значение выбросов СО равно 0,015 %. Для смеси, состоящей из 80 % ДТ + 20 % СурМ при нагрузке $p_e=0,83$ МПа выброс СО уже равен 0,012 %. Можно констатировать, что содержание СО в ОГ дизельного двигателя при работе на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ меньше, чем на чистом ДТ, примерно на 35 % и 48 %. Снижение выбросов оксидов углерода можно объяснить исходным составом используемого топлива.

Работа тракторного дизельного двигателя на топливе с добавлением 10 % СурМ и 20 % СурМ сопровождается незначительным повышением выбросов диоксида углерода CO_2 с ОГ по всему диапазону нагрузки. При $p_e=0,86$ МПа для чистого ДТ, при $p_e=0,88$ МПа для смеси 90 % ДТ + 10 % СурМ, а при $p_e=0,83$ МПа для смеси 80 % ДТ + 20 % СурМ содержание диоксида углерода CO_2 составляет 6,59 %, 6,78 % и 7,31 %. Выбросы диоксида углерода CO_2 с ОГ увеличиваются с ростом замещения чистого ДТ смесевым топливом, в процентном соотношении составляет 2,88 % и 10,92 %. Следует отметить, что данный рост диоксида углерода CO_2 является незначительным, важно помнить, что диоксида углерода является менее опасным для человека с физиологической точки зрения, чем другие нормируемые компоненты ОГ дизельного двигателя.

Выбросы несгоревших углеводородов C_nH_m в ОГ дизельного двигателя увеличивается во всем диапазоне увеличения нагрузки, но меньше в сравнении с работой дизельного двигателя на чистом ДТ. Так, при работе дизельного двигателя на чистом ДТ выбросы углеводородов C_nH_m составляют 7 ppm при $p_e=0,86$ МПа, а на топливах с добавлением 10 % СурМ и 20 % СурМ выбросы углеводородов C_nH_m составляют 6 ppm и 5 ppm при сопоставимой нагрузке $p_e=0,88$ МПа и $p_e=0,83$ МПа. В процентном выражении снижение выбросов C_nH_m в ОГ применительно к чистому ДТ составляет 28,57 % и 14,28 %.

Заключение

Анализ нагрузочной характеристики дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5, работающего при $n=1800$ мин⁻¹ на смесях ДТ с СурМ, позволяет сделать следующие выводы:

1. Эффективные показатели работы дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ в отличии от работы на чистом ДТ, показывают снижение мощности на 3,07 % и 9,23 %, снижение крутящего момента на 17,73 % и 22,41 %, и увеличение КПД на 11,11 % и 13,88 %, следовательно, это происходит по всему диапазону роста нагрузки.

2. Работа дизельного двигателя на смесях 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ характеризуется увеличением удельного эффективного расхода смесевоего топлива на 0,17 % и 0,995 % по отношению к работе на чистом ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки.

3. Показатели дымности и токсичности дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 при $n=1800$ мин⁻¹ на смесевых топливах 90 % ДТ + 10 % СурМ и 80 % ДТ + 20 % СурМ характеризуются снижением выбросов с ОГ частиц сажи на 30,77 % и увеличится на 10 % и увеличением оксидов азота на 14,33 % и 18,5 % соответственно, а также увеличением выбросов с ОГ диоксида углерода на 2,88 % и 10,92 %, углеводородов на 25 % и 51,66 %, и снижением соответственно оксидов углерода на 35 % и 48 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей: монография / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, П. Ю. Малышкин [и др.]. – Горки, БГСХА, 2013. – 376 с.
2. Карташевич, А. Н. Возобновляемые источники энергии: науч.-практ. пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2008. – 261 с.
3. Карташевич А. Н. Тракторы и автомобили. Газовое оборудование для автотракторной техники: курс лекций / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, А. А. Сысоев – Горки, 2012. – 86 с.
4. Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для высш. школы / А. Р. Кульчицкий. – 2-е изд. – М.: Академический Проект, 2004. – 400 с
5. Карташевич, А. Н. Определение рациональных регулировок дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 для работы на смесях дизельного топлива с биогазом / А. Н. Карташевич, В. А. Шапоров, С. А. Плотников // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 149–153.
6. Плотников, С. А. Разработка числовых методов определения свойств новых топлив. / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич // Вестник машиностроения. – 2018. – № 3. – С. 7–10.
7. Альтернативные топлива для автотракторной техники: курс лекций / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки, 2013. – 60 с.
8. Kartashevich, A. N. Flammability of New Diesel Fuels / S. A. Plotnikov // Russian Engineering Research, 2018, Vol. 38, No. 6, pp. 424–427.
9. Карташевич А. Н. Показатели работы тракторного дизельного двигателя на рапсовом масле. / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников, В. С. Товстыка // Двигателестроение. – 2011. – № 2. – С. 39–41.