

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ БИОТОПЛИВЕ

Д.Т.Н. Плотников С.А., К.Т.Н. Сергеев Д.Г., К.Т.Н. Смольников М.В., Шипин А.И.

Вятский государственный университет (ВятГУ), Киров, Россия

PlotnikovSA@bk.ru

Местные виды топлива занимают 33,6 % в топливном балансе Кировской области. Доля потребления местных видов топлива в регионе является одной из самых высоких в России.

В Вятском государственном университете (ВятГУ) в сотрудничестве с Белорусской государственной сельскохозяйственной академией (БГСХА) ведутся испытания работы автотракторных дизелей на топливах с добавками рапсового масла (РМ) и этанола (Э) и искровых ДВС с добавками генераторного газа (ГГ). Новым направлением работы научной школы является исследование применения многокомпонентных составов биотопливных композиций (МКБТК-15 и МКБТК-25). Использование таких составов в качестве топлива позволяет компенсировать отдельные отличительные свойства для дальнейшего применения в ДВС без изменения конструкции и регулировок.

Использование альтернативных топлив (АТ) в ДВС является актуальной темой для исследования. Однако для использования любых АТ нужно, чтобы экологические показатели двигателя оставались в допустимых пределах. Важной задачей является определение зависимостей выбросов токсичных компонентов от нагрузки.

Применение МКБТК-15 и МКБТК-25 в качестве АТ для двигателей улучшит экологическую обстановку в регионе и сократит потребность в товарном топливе. Работа дизеля на многокомпонентных биотопливных композициях дает возможность снизить дымность ОГ на 65 % и 85 %, содержание суммарных оксидов азота остается на прежнем уровне или несколько снижается.

Отмечается некоторое увеличение содержания углекислого газа CO_2 до 22,3 %, решения данной проблемы давно известны. Одним из способов является сохранение и увеличение бореальных лесов, которые обладают большими возможностями поглощения парниковых газов.

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, МКБТК-15, МКБТК-25, экологические показатели, отработавшие газы.

Для цитирования: Плотников С.А., Сергеев Д.Г., Смольников М.В., Шипин А.И. Исследование экологических показателей дизеля при работе на многокомпонентном биотопливе // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. № 3 (49). С. 70–75. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-70-75

Введение

Подразделение «Россети Сибирь» внедрит в Томской области автономные гибридные энергетические установки (АГЭУ) – солнечные электростанции (СЭС), сопряженные с дизель-генераторами и аккумуляторами. Такое технологическое решение будет использовано в 21 населенном пункте, в которых проживает свыше 12 000 человек [8]. Большинство из этих населенных пунктов – поселки, расположенные более чем в 400 км от Томска. Проект, по оценкам компании, позволит сократить как затраты поселков на дизельное топливо (с 245 млн до 134 млн руб. в год), так и объемы вредных выбросов в атмосферу [8].

С учетом особенностей климата альтернативную генерацию можно развивать в России

скорее как нишевую, а не массовую отрасль энергетики – так считают ученые из Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. К числу потенциальных ниш, по их мнению, относится Арктика, где «сооружение комбинированных ветродизельных установок могло бы снизить зависимость от Северного завоза», и сегмент частных домохозяйств (без привязки к конкретной географии), в котором широкое распространение могли бы получить малые солнечные панели [8].

В Кировской области отмечается динамика по снижению объемов использования дорогих завозных видов топлива (мазута и угля) и росту объема использования местных видов топлива и природного газа в сфере энергетики и ЖКХ [4].

Основную долю в топливном балансе Кировской области составляют природный газ (45 %), опил, и щепа (21,8 %), каменный уголь (14,6 %), дрова (10,4 %), мазут (6,5 %). Завозные виды топлива продолжают занимать значительную часть топливного баланса области, но доля потребления местных видов топлива увеличивается уже с 2009 года и сейчас составляет 33,6 %. Этот показатель является одним из самых высоких среди регионов России. В этой работе есть и позитивный экологический результат: в регионе не образуются новые свалки опила и горбыля. Сейчас отходы деревообработки успешно используются для отопления, что является позитивным примером ресурсосбережения [4].

Исходя из анализа опыта Министерства энергетики и ЖКХ регионов России, можно сказать следующее – Министерству транспорта Кировской области желательно идти по аналогичному пути, увеличивая доли использования альтернативного топлива (АТ) на транспорте. Ранее был изучен потенциал Кировской области для определения перспективных видов АТ [9]. Данные показывают, что возможными представителями АТ в нашем регионе на сегодняшний день будут являться этанол и РМ. Исследования работы автотракторных дизелей на топливах с добавками РМ, Э и ГГ уже ведутся [2,5,6,7]. Еще одним направлением исследований научной школы является применение многокомпонентных составов биотопливных композиций (МКБТК-15 и МКБТК-25) [3]. Использование названных составов позволит скомпенсировать отдельные отличительные их свойства для дальнейшего применения в ДВС без изменения конструкции и регулировок.

Цель и задачи

Цель – исследование возможности применения многокомпонентных биотопливных композиций в качестве топлива для дизелей.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить работоспособность дизеля на МКБТК;
- определить зависимости экологических показателей работы дизеля от его нагрузки.

Методы исследования

В эксплуатационных условиях ДВС, в зависимости от условий работы потребителя

энергии, работают при различных частотах вращения коленчатого вала (КВ) и крутящих моментах. На данном этапе исследований (рис. 1, 2, 3) определялись зависимости экологических показателей дизеля от среднего эффективного давления при работе на ДТ, МКБТК-15 и МКБТК-25 на номинальном режиме при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и режиме максимального крутящего момента при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$.

Для приготовления МКБТК нужные количества рапсового масла и биоэтанола добавляли в нужное количество дизельного топлива с предварительно растворенными в нем эмульгатором (0,5 %) и присадкой ЭКОЦЕТАН (0,5 %) и подвергали диспергированию.

Нагрузочные характеристики дизеля 4ЧН 11,0/12,5 снимали в соответствии с ГОСТ 18509–80 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» при постоянной частоте вращения коленчатого вала, последовательно увеличивая подачу топлива в пределах изменения нагрузки от нулевой до полной. Частота вращения КВ не отличалась от заданной более чем на 10 мин^{-1} .

Результаты и обсуждение

Сгорание топлива является химическим процессом, но специалистов по ДВС интересуют, в основном, физические явления, происходящие в процессе сгорания. К таким относятся изменение температуры и давления рабочего заряда, характер протекания химических реакций, если их продукты представляют какую-либо опасность (некоторые составляющие отработавших газов, продукты, способствующие загрязнению масла, увеличивающие отложения на деталях двигателя и т. д.). С точки зрения термодинамики, цикл с адиабатическими сжатием-расширением и сгоранием при постоянном объеме является наиболее выгодным [1].

Кроме продуктов полного сгорания – углекислого газа CO_2 и паров воды, в выпускных газах объекта исследования содержатся в небольших количествах вещества, обладающие токсическим действием. Это продукты неполного сгорания топлива: оксид углерода CO , углеводороды различного состава и строения C_xH_y , в том числе пары несгоревшего топлива, сажа, а также оксиды азота NO_x , образующиеся при высоких температурах в процессе сгорания.

Как видно из кривых графика (рис. 1), содержание суммарных оксидов азота NO_x в ОГ практически одинаково при работе на всех

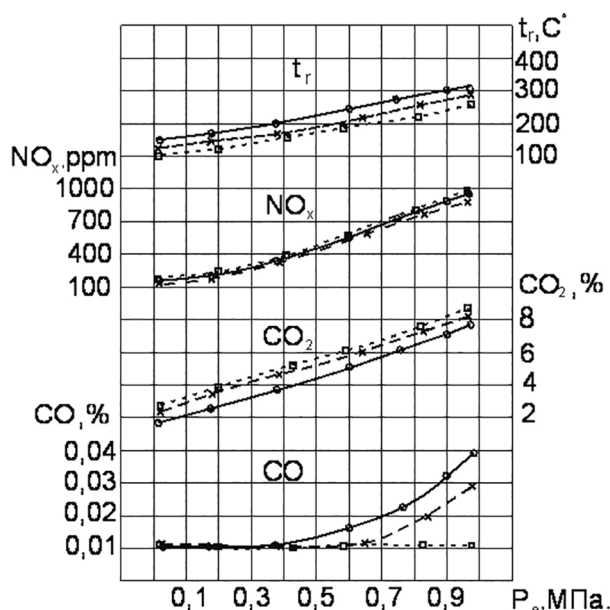


Рис. 1. Экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$:

○ — дизельное топливо;
× — МКБТК-15; □ — МКБТК-25

Fig. 1. Environmental indicators of diesel engine 4CHN 11,0/12,5 at $n = 1800 \text{ min}^{-1}$:

○ — diesel fuel; × — МКБТК-15;
□ — МКБТК-25

испытываемых топливах, но, все-таки на многокомпонентных составах несколько ниже. Так, на номинальном режиме при $p_e = 0,98 \text{ МПа}$ концентрация NO_x в ОГ для случая ДТ составляет 978 ppm, а для случаев МКБТК-15 и МКБТК-25, соответственно, равна 920 ppm и 870 ppm.

С увеличением среднего эффективного давления от $p_e = 0,01 \text{ МПа}$ до $p_e = 0,98 \text{ МПа}$ (рис. 1, 2) при снижении часового расхода воздуха наблюдается рост максимального давления цикла, температуры отработавших газов (ОГ). Если при работе объекта исследования на ДТ при $p_e = 0,1 \text{ МПа}$ температура ОГ на выходе составляет $t_r = 162^\circ\text{C}$, то при $p_e = 0,96 \text{ МПа}$ температура ОГ на выходе уже равна $t_r = 316^\circ\text{C}$. При добавлении в топливо этанола и рапсового масла температура ОГ на выходе снижается во всем диапазоне нагрузок. Так, при работе дизеля на МКБТК-15 и МКБТК-25 при $p_e = 0,1 \text{ МПа}$ температура ОГ на выходе составляет, соответственно, $t_r = 137^\circ\text{C}$ и $t_r = 115^\circ\text{C}$, а в номинальном режиме температура ОГ составляет, соответственно, $t_r = 291^\circ\text{C}$ и $t_r = 273^\circ\text{C}$.

С увеличением нагрузки дизеля от $p_e = 0,01 \text{ МПа}$ до $p_e = 0,98 \text{ МПа}$ (рис. 2) часовой расход

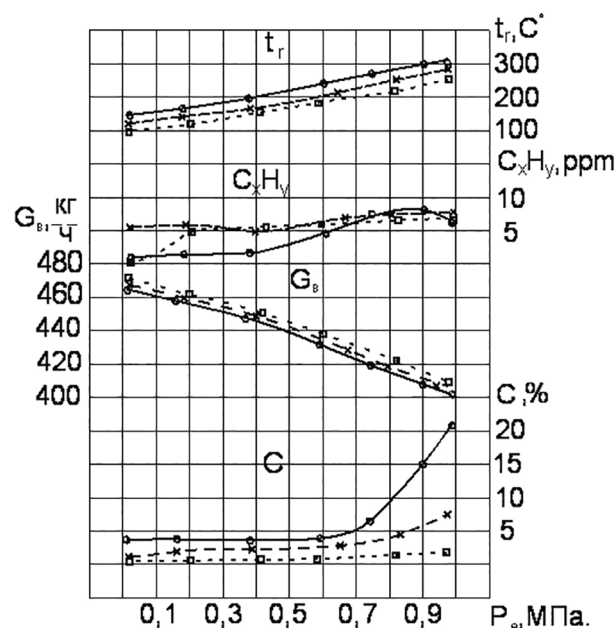


Рис. 2. Нагрузочные характеристики дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$:

○ — дизельное топливо;
× — МКБТК-15; □ — МКБТК-25

Fig. 2. Load characteristics of the diesel engine 4ChN 11,0/12,5 at $n = 1800 \text{ min}^{-1}$:

○ — diesel fuel; × — МКБТК-15;
□ — МКБТК-25

воздуха G_v снижается, причем, на всех исследуемых видах топлива. К примеру, на МКБТК-25 $G_v = 468 \text{ кг/ч}$ при $p_e = 0,01 \text{ МПа}$, тогда как при $p_e = 0,98 \text{ МПа}$ часовой расход воздуха равен $G_v = 413 \text{ кг/ч}$. Данное снижение обусловлено возрастанием цикловой подачи топлива и снижением коэффициента наполнения [10]. При изменении нагрузочного режима также изменяются показатели рабочего цикла, температура отработавших газов.

В области больших нагрузок от $p_e = 0,6 \text{ МПа}$ до $p_e = 0,98 \text{ МПа}$ увеличивается также и химическая неполнота сгорания испытываемых топлив, что приводит к увеличению содержания в ОГ на выходе суммарных углеводородов C_xH_y . Как видно на графике (рис. 2), при работе на МКБТК-15 и МКБТК-25 содержание C_xH_y возрастает по сравнению с ДТ практически во всем диапазоне нагрузки.

В дизеле мощность обычно снижают уменьшением подачи топлива топливным насосом, воздушный заряд не регулируют. Поэтому коэффициент остаточных газов практически не изменяется, свежий заряд с уменьшением нагрузки до $p_e = 0,01 \text{ МПа}$ становится менее загрязненным такими продуктами сгорания,

как диоксид углерода CO_2 и пары воды, вследствие увеличения часового расхода воздуха. Характер кривых уровня концентрации CO_2 в ОГ одинаков как при работе на ДТ, так и на многокомпонентных составах (рис. 1). При увеличении нагрузки содержание CO_2 в ОГ дизеля возрастает. Так, при работе дизеля на ДТ при $p_e = 0,1$ МПа содержание CO и CO_2 , соответственно, равны 0,01 % и 2 %, а в номинальном режиме при $p_e = 0,98$ МПа, соответственно, равны 0,04 % и 7 %. При добавлении в топливо этанола и РМ содержание в ОГ CO_2 увеличивается. Так, при $p_e = 0,1$ МПа и работе на МКБТК-15 и МКБТК-25 содержание CO в ОГ, соответственно, равно 0,01 % и 0,01 %, а содержание CO_2 , соответственно, равно 2,5 % и 3 %. При работе в номинальном режиме на тех же топливах содержание CO в ОГ на выходе, соответственно, равно 0,03 % и 0,01 %, а содержание CO_2 в ОГ, соответственно, равно 8 % и 9 %.

Характер кривых (рис. 3) содержания токсичных компонентов в ОГ при работе двигателя на режиме максимального крутящего момента схож с характером кривых на номинальном режиме. Содержание сажи в ОГ снижается в случае работы дизеля на МКБТК-15 и МКБТК-25, по сравнению с работой на чистом

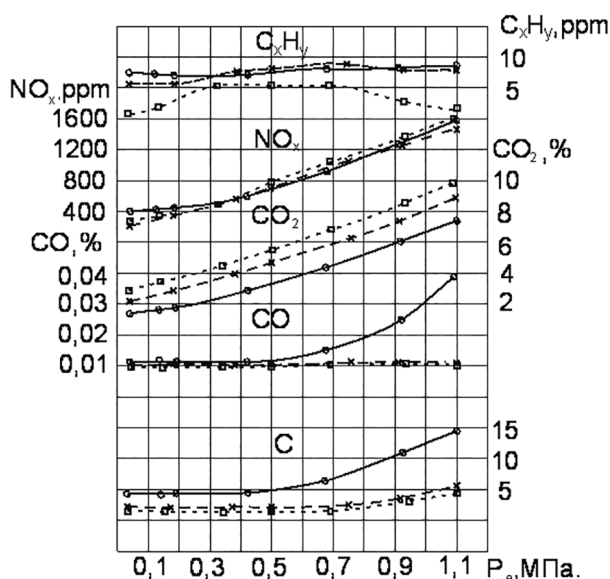


Рис. 3. Нагрузочные характеристики дизеля 4ЧН 11,0Ч12,5 при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$:

○ — дизельное топливо;
× — — — — — МКБТК-15; □ — — — — — МКБТК-25

Fig. 3. Load characteristics of the diesel engine 4ChN 11,0Ч12,5 at $n = 1400 \text{ min}^{-1}$:

○ — diesel fuel; × — — — — — MKBTk-15; □ — — — — — MKBTk-25

ДТ. Так, увеличение нагрузки от $p_e = 0,1$ МПа до $p_e = 0,98$ МПа влечет за собой рост выброса сажи от 4,8 % до 15 %, в то время, как работа на составах сопровождается меньшей эмиссией сажи во всем диапазоне нагрузок. Снижение, как и следовало ожидать, вызывается меньшей склонностью к дымлению композиций в сравнении с ДТ. Так, на номинальном режиме уменьшение выбросов сажи с ОГ составляет, соответственно, 6,1 %, и 4,7 % для случаев работы на МКБТК-15 и МКБТК-25. Повышение содержания сажи в ОГ с повышением нагрузки как при работе на ДТ, так и на МКБТК, обуславливается, в первую очередь, недостатком в воздухе кислорода воздуха, необходимого для окисления впрыснутого в цилиндр топлива [10].

Подводя итог анализа нагрузочных характеристик, следует сделать практический вывод о том, что работа двигателей на частичных нагрузочных режимах нецелесообразна с точки зрения топливной экономичности, износостойкости и токсичности. То же относится и к режимам перегрузки ДВС.

Для дальнейших исследований работы трактора на МКБТК в условиях эксплуатации была разработана оригинальная система питания (рис. 4) [11].

Выводы

1. В России и, в частности, в Кировской области имеется огромный потенциал сырьевой базы для получения АТ.

2. Применение МКБТК-15 и МКБТК-25 в качестве АТ для двигателей улучшит экологическую обстановку в регионе и сократит потребность в товарном топливе.



Рис. 4. Система питания трактора для работы на МКБТК

Fig. 4. Tractor power system for work on MKBTk

3. Работа дизеля на МКБТК-15 и МКБТК-25 дает возможность снизить дымность ОГ на 65 % и 85 %, содержание суммарных оксидов азота остается на прежнем уровне или не сколько снижается.

4. Существует некоторое увеличение содержания углекислого газа CO_2 до 22,3 % при работе на МКБТК-15 и МКБТК-25, решения данной проблемы известны.

5. Для дальнейших исследований работы трактора на МКБТК в условиях эксплуатации разработана оригинальная система питания.

Литература

1. Брозе Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях. М.: Машиностроение. 1969. 247 с.
2. Карташевич А.Н., Плотников С.А., Смольников М.В., Бажан П.И., Миронов А.А. Оптимизация системы топливоподачи тракторного дизеля для работы на топливах с добавками этанола // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева: Нижний Новгород, 2019. № 1 (124). С. 186–193.
3. Карташевич А.Н., Плотников С.А., Смольников М.В., Шипин А.И. Оценка регулировочных показателей двигателя сельскохозяйственных транспортных средств при применении многокомпонентных биотоплив // Вестник РГАТУ, 2021. № 1 (13). С. 149–155.
4. Местные виды топлива занимают 33,6 % в топливном балансе Кировской области // Пресс-центр Правительства Кировской области. URL: https://www.kirovreg.ru/news_other/detail.php?ID=102059.
5. Плотников С.А., Бузилов Ш.В., Козлов И.С. Определение регулировочных параметров системы топливоподачи тракторного дизеля при работе на топливных композициях с добавками рапсового масла // Вестник РГАТУ, 2018. № 4 (40). С. 133–138.
6. Плотников С.А., Шишкин Г.П., Смольников М.В. Расчет стабильности этанола-топливной эмульсии для применения в дизелях // Двигателестроение, 2019. № 1. С. 24–27.
7. Плотников С.А., Зубакин А.С., Бирюков А.Л. Теоретический расчет оптимального угла опережения зажигания при работе двигателя на генераторном газе на основе времени горения // Известия МГТУ «МАМИ», 2019. № 4 (42). С. 54–60.
8. «Россети» установят в Томской области комбинированные солнечно-дизельные электростанции // Глобальная энергия. URL: <https://globalenergyprize.org/ru/2021/04/29/rosseti-ustanovyat-v-tomskoj-oblasti-kombinirovannye-solnechno-dizelnye-elektrostancii/>
9. Смольников М.В., Сергеев Д.Г. Потенциал Кировской области в выборе альтернативного топлива. Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В.Р. Петровец [и др.]. Горки: БГСХА, 2020. Вып. 5. С. 31–35.
10. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени / Н.А. Чигир, Р.Дж. Вейнберг, К.Т. Боумэн и др.; пер. с англ. под ред. Ю.Ф. Дитякина. Москва: Машиностроение, 1981. 407 с.
11. Плотников С.А., Шипин А.И., Карташевич А.Н., Малышкин П.Ю. Способ получения многокомпонентной биотопливной композиции. Патент РФ № 2743350, МПК C10L 1/08. 4С, 1 табл.

References

1. Broze D.D. Sgoraniye v porshnevykh dvigatelyakh [Combustion on piston engines]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1969. 247 p.
2. Kartashevich A.N., Plotnikov S.A., Smol'nikov M.V., Bazhan P.I., Mironov A.A. Optimization of the fuel supply system of a tractor diesel engine for operation on fuels with ethanol additives. Trudy NGTU im. R.E. Alekseyeva: Nizhniy Novgorod, 2019. No 1 (124), pp. 186–193 (in Russ.).
3. Kartashevich A.N., Plotnikov S.A., Smol'nikov M.V., Shipin A.I. Evaluation of the regulation parameters of the engine of agricultural vehicles when using multicomponent biofuels. Vestnik RGATU, 2021. No 1 (13), pp. 149–155 (in Russ.).
4. Local types of fuels occupy 33,6 % in the fuel balance of the Kirov region. Press-tsentr Pravitel'stva Kirovskoy oblasti. URL: https://www.kirovreg.ru/news_other/detail.php?ID=102059
5. Plotnikov S.A., Buzikov SH.V., Kozlov I.S. Determination of the adjusting parameters of the fuel supply system of a tractor diesel engine when operating on fuel compositions with rapeseed oil additives. Vestnik RGATU, 2018. No 4 (40), pp. 133–138 (in Russ.).
6. Plotnikov S.A., Shishkin G.P., Smol'nikov M.V. Calculation of the stability of ethanol-fuel emulsion for use in diesel engines. Dvigatelayestroyeniye, 2019. No 1, pp. 24–27 (in Russ.).
7. Plotnikov S.A., Zubakin A.S., Biryukov A.L. Theoretical calculation of the optimal ignition timing when the engine is running on generator gas based on the burning time. Izvestiya MGТУ «МАМИ», 2019. No 4 (42), pp. 54–60 (in Russ.).
8. Rosseti will install combined solar-diesel power plants in the Tomsk region. Global'naya energiya. URL: <https://globalenergyprize.org/ru/2021/04/29/>

- rosseti-ustanovyat-v-tomskoj-oblasti-kombinirovannye-solnechno-dizelnye-elektrostancii/
9. Smol'nikov M.V., Sergeyev D.G. Potential of the Kirov region in the choice of alternative fuels. Innovatsionnyye resheniya v tekhnologiyakh i mekhanizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: sb. nauch. tr. / red-kol.: V.R. Petrovets [i dr.]. Gorki: BGSKHA, 2020. Vyp. 5, pp. 31–35 (in Russ.).
10. Obrazovaniye i razlozheniye zagryaznyayushchikh veshchestv v plameni [Formation and decomposition of pollutants in the flame] / N.A. Chigir, R.Dzh. Veynberg, K.T. Boum-en i dr.; per. s angl. pod red. Yu.F. Dityakina. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1981. 407 p.
11. Plotnikov S.A., Shipin A.I., Kartashevich A.N., Malyshkin P.Yu. Sposob polucheniya mnogokomponentnoy biotoplivnoy kompozitsii [Method for producing multicomponent biofuel composition]. Patent RF No 2743350, MPK S10L 1/08. 4 p, 1 tabl.

INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE WHEN OPERATING ON MULTICOMPONENT BIOFUEL

DSc in Engineering **S.A. Plotnikov**, PhD in Engineering **D.G. Sergeyev**, PhD in Engineering **M.V. Smol'nikov**, **A.I. Shipin**
Vyatka State University, Kirov, Russia
PlotnikovSA@bk.ru

Local types of fuels occupy 33,6 % in the fuel balance of the Kirov region. The share of consumption of local fuels in the region is one of the highest in Russia.

The Vyatka State University (VyatSU) in cooperation with the Belarusian State Agricultural Academy (BSAA) carry out the tests of the operation of automotive diesel engines on fuels with rapeseed oil (RO) and ethanol (E) additives, and spark internal combustion engines with generator gas (GG) additives. A new area of work of the scientific school is the study of the use of multicomponent compositions of biofuel compositions (MKBTK-15 and MKBTK-25). The use of such compositions as a fuel compensates some of their distinctive properties for further use in internal combustion engines without changing the design and adjustments.

The use of alternative fuels (AF) in internal combustion engines is a main topic for research. However, the use of any AF requires that the environmental indicators of the engine remain within acceptable limits. An important task is to determine the dependences of the emissions of toxic components on the load. The use of MKBTK-15 and MKBTK-25 as AF for engines will improve the environmental situation in the region and reduce the need for commercial fuel. The operation of a diesel engine on multicomponent biofuel compositions makes it possible to reduce the smoke content of exhaust gases by 65 % and 85 %, the content of total nitrogen oxides remains at the same level or slightly decreases.

There is a slight increase in the content of carbon dioxide CO₂ up to 22,3 %, but the solutions to this problem are already known. One of the ways is to preserve and increase boreal forests, which have great potential for absorbing greenhouse gases.

Keywords: diesel, alternative fuel, MKBTK-15, MKBTK-25, environmental indicators, exhaust gases.

Cite as: Plotnikov S.A., Sergeyev D.G., Smol'nikov M.V., Shipin A.I. Investigation of the environmental performance of a diesel engine when operating on multicomponent biofuel. Izvestiya MGTU «MAMI». 2021. No 3 (49), pp. 70–75 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-70-75