

УДК 665.753:662.767.2

*А. Н. Карташевич, В. А. Шапоров, Р. С. Даргель*

## ВЛИЯНИЕ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА НА ЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЯ

UDC 665.753:662.767.2

*A. N. Kartashevich, V. A. Shaporev, R. S. Dargel*

## INFLUENCE OF GAS-MOTOR FUEL ON THE EFFECTIVE AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF DIESEL ENGINES

### Аннотация

Представлены экспериментальные исследования работы тракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) на дизельном топливе и смесях дизельного топлива с био- и природным газом. Исследовались эффективные и экологические показатели работы дизеля при работе на этих составах по нагрузочной характеристике, снятой на номинальном скоростном режиме 1800 мин<sup>-1</sup> при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр} = 22^\circ$  до в. м. т.

Проведенный комплекс экспериментальных исследований подтвердил возможность использования биогаза и природного газа в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей. Применение газомоторного топлива на основе био- или природного газа может частично или полностью заменить традиционные нефтяные топлива, сэкономить нефтяные ресурсы, сократить импорт нефтепродуктов без существенного изменения конструкции двигателя.

### Ключевые слова:

дизель, дизельное топливо, биогаз, природный газ, метан, отработавшие газы.

### Abstract

Experimental studies of the operation of a 4ChN 11.0/12.5 tractor diesel (D-245.5S2) using diesel fuel and mixtures of diesel fuel with bio- and natural gas are presented. The effective and environmental performance of the diesel engine when running on these compositions was studied based on the load characteristic taken at the nominal speed mode of 1800 min<sup>-1</sup> with the rational value of fuel injection advance angle equal to  $\Theta_{injection\ advance} = 22^\circ$  before T. D. C.

The conducted set of experimental studies confirmed the possibility of using biogas and natural gas as an alternative fuel for diesel engines. The use of gas-motor fuel based on bio- or natural gas can partially or completely replace traditional oil fuels, save oil resources, and reduce the import of oil products without changing the engine design significantly.

### Keywords:

diesel, diesel fuel, biogas, natural gas, methane, exhaust gases.

### Введение

Стремительное развитие транспортных средств в мире потребовало увеличения добычи и использования нефти, что вызвало сокращение ее запасов и, как следствие, рост цен на нефть и нефтепродукты, ухудшение экологии крупных городов от вредных выбросов

автомобилей. С целью решения возникшей проблемы многие страны стали переводить автотранспорт на более дешевый и экологичный вид топлива – природный газ (ПГ) или альтернативные виды топлива, такие как биогаз [1, 2].

Переход на газомоторное топливо позволяет улучшить или оставить на равном уровне тяговые показатели, со-



кратить расход дизельного топлива (ДТ) и снизить выбросы вредных веществ дизеля. Термодинамические и экологические преимущества газомоторного топлива, по сравнению с дизельным, обусловлены энергетическими и физическими показателями газового топлива. По отечественным и зарубежным данным, при эксплуатации дизелей на газомоторном топливе значения выбросов токсичных веществ снижаются по углеводородному составу и окислам азота в 1,5...2,0 раза. При работе на газодизельном процессе происходит значительное снижение дымности, повышение экономичности (на 2...5 %), увеличение ресурса, межремонтного пробега и срока службы моторного масла (на 20...40 %) [3, 4].

Основными характеристиками газового топлива для дизелей являются низшая теплота сгорания, плотность, цетановое число, содержание общей и органической серы, суммарная доля негорючих компонентов, содержание влаги и механических примесей [5].

Переоборудование двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в газодизель целесообразно проводить на базе дизельных двигателей с высокой степенью сжатия. При этом изменение показателей работы газодизеля вызвано различиями в физико-химических свойствах исследуемых топлив [6, 7].

Целью данной работы является оценка влияния замещения ДТ биогазом (БГ) и ПГ на эффективные и экологические показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2).

### **Основная часть**

Экспериментальные исследования дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) проводились в научно-исследовательской лаборатории «Испытание двигателей внутреннего сгорания» БГСХА на кафедре «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства».

В качестве тормозного устройства использовался электротормозной нагрузочный стенд SAK-N670, позволяющий регулировать скоростной и нагрузочный режимы. Массовый расход ДТ определялся электронным расходомером АИР-50 с весовым устройством и комплектом измерительных приборов с выводом данных на монитор компьютера. Подача БГ и ПГ осуществлялась системой питания, конструкция которой защищена охраняемым документом (патент Республики Беларусь № 12202 [8]). Объемный расход БГ и ПГ определялся газовым счетчиком СМГ-4, а также блоком управляемых форсунок данной системы. Анализ проб отработавших газов (ОГ) производился с помощью автоматического газоанализатора Maha MGT-5. Дымность ОГ измерялась с помощью дымомера СИДА-107 «АТЛАС». Все приборы прошли государственную поверку.

При проведении исследований ДТ замещалось БГ и ПГ в процентном отношении по величине суммарной вводимой в цилиндры дизеля теплоты, значение которой оставалось постоянным. Количество содержания БГ и ПГ, равное 15 и 30 % соответственно, было выбрано из условия наличия необходимого воздуха для обеспечения полноты процесса сгорания. Исследовались эффективные и экологические показатели работы дизеля на составах смесей 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ, а также 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ по нагрузочной характеристике, снятой на номинальном скоростном режиме 1800 мин<sup>-1</sup> при рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{оп.впр} = 22^\circ$  до в. м. т. [9]. Содержание метана CH<sub>4</sub> составляло в БГ 61,2 %, а в ПГ – 95,4 %.

На рис. 1 представлена нагрузочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>.

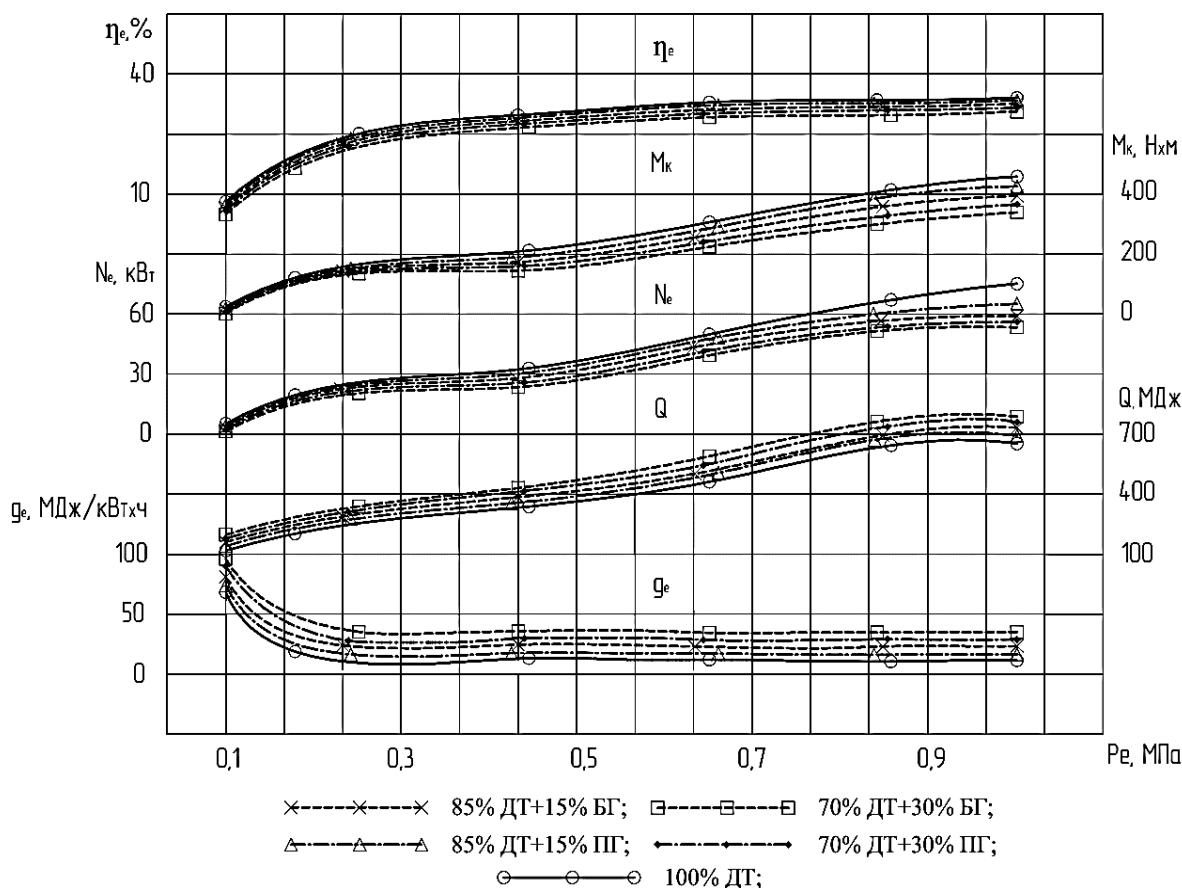


Рис. 1. Нагрузочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{оп.впр}} = 22^\circ$  до в. м. т.

При работе дизеля на номинальном режиме (см. рис. 1) на чистом ДТ значение удельного эффективного расхода теплоты  $g_e$  значительно ниже, чем на топливах с добавкой БГ и М. Таким образом, при нагрузке  $p_e = 0,86 \text{ МПа}$  и работе на чистом ДТ удельный эффективный расход теплоты составляет  $g_e = 9,44 \text{ МДж}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ , при нагрузке  $p_e = 0,83 \text{ МПа}$  и  $p_e = 0,81 \text{ МПа}$  для смесей с добавками 15 % БГ и 30 % БГ значения  $g_e = 16,88 \text{ МДж}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  и  $g_e = 20,15 \text{ МДж}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ , а для смесей с добавками 15 % ПГ и 30 % ПГ при нагрузке  $p_e = 0,81 \text{ МПа}$  и  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$  значения соответственно  $g_e = 13,48 \text{ МДж}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  и  $g_e = 18,04 \text{ МДж}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ . Течение сохраняется во всем диапазоне изменения нагрузки. В процентном выражении этот рост составляет 78,81 и 113,45 %

для смесей с БГ, а для смесей с ПГ – 42,80 и 91,10 % по отношению к значению теплоты, вводимой с ДТ. Изменения значения суммарно потребной вводимой теплоты  $Q_{\Sigma}$  в цилиндры дизеля сопровождаются её определенным ростом во всем диапазоне нагрузки  $p_e$ . Значения теплоты  $Q_{\Sigma}$  в точках нагрузки  $p_e = 0,86 \text{ МПа}$ ,  $p_e = 0,83 \text{ МПа}$  и  $p_e = 0,81 \text{ МПа}$  для ДТ и составов смесей 85 % ДТ + 15 % БГ и 70% ДТ + 30 % БГ составляют  $Q = 686,38 \text{ МДж}$ ,  $Q = 699,22 \text{ МДж}$  и  $Q = 706,56 \text{ МДж}$  соответственно. Для смесей 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ в точках нагрузки  $p_e = 0,81 \text{ МПа}$  и  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$  значения теплоты  $Q_{\Sigma}$  составляют  $Q = 692,45 \text{ МДж}$  и  $Q = 702,32 \text{ МДж}$ . Увеличение количества потребной вводимой теплоты относительно ДТ со-



ставляет на 1,87 и 2,94 % для состава смесей с БГ, а для составов смесей с ПГ – на 1,31 и 2,70 %. Повышение удельного эффективного расхода теплоты и суммарного потребляемого расхода теплоты, вводимой в цилиндры дизеля, при сохранении мощностных показателей на уровне, установленном заводом-изготовителем, объясняется меньшей, чем у ДТ, теплотой сгорания БГ и ПГ и снижением скорости процесса сгорания смешанного топлива.

Эффективная мощность дизеля имеет рост во всем диапазоне увеличения нагрузки, от  $p_e = 0,1$  МПа до  $p_e = 0,9$  МПа, далее этот рост незначителен. Для нагрузки  $p_e = 0,86$  МПа эффективная мощность дизеля, работающего на ДТ,  $N_e = 65$  кВт. При работе на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ значение мощности  $N_e = 59$  кВт и  $N_e = 58$  кВт при сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,83$  МПа и  $p_e = 0,81$  МПа, а при работе на смесях 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ оно составляет  $N_e = 60$  кВт и  $N_e = 58,7$  кВт при нагрузке  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа. Видно, что мощность значительно уменьшается с ростом замещения ДТ смесями с БГ и ПГ. В сопоставимом выражении это уменьшение составляет 9,23 и 10,77 % для БГ и 8,33 и 10,72 % для ПГ.

Крутящий момент дизеля, аналогично эффективной мощности, растет во всем диапазоне увеличения нагрузки. При нагрузке  $p_e = 0,86$  МПа крутящий момент дизеля, работающего на ДТ, составляет  $M_k = 406$  Н·м. При работе на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ его значение  $M_k = 363$  Н·м и  $M_k = 306$  Н·м при сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,83$  МПа и  $p_e = 0,81$  МПа. Следовательно, при работе на смесях 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ его значение составляет  $M_k = 391$  Н·м и  $M_k = 338$  Н·м при сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа. А именно, крутящий

момент уменьшается с ростом замещения ДТ биогазом на 10,59 и 24,63 %, а замещением ПГ – на 3,84 и 20,12 %.

Величина эффективного КПД при работе дизеля на ДТ с нагрузкой  $p_e = 0,86$  МПа составляет 37 %, а при работе на смесях с добавлением БГ значение максимального эффективного КПД  $\eta_e = 36$  % и  $\eta_e = 35$  % при  $p_e = 0,83$  МПа и  $p_e = 0,81$  МПа. Так, при работе на смесях с добавлением ПГ данное значение составляет  $\eta_e = 36,7$  % и  $\eta_e = 35,6$  % при  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа. Следовательно, эффективный КПД дизеля снижается с ростом замещения чистого ДТ на 2,7 и 5,4 % для БГ, а также на 0,81 и 3,78 % для ПГ.

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> представлено на рис. 2.

С увеличением нагрузки (см. рис. 2) содержание сажи  $S$  в ОГ при работе как на ДТ, так и на смесях с БГ и ПГ возрастает. Уровень сажи  $S$  в ОГ дизеля при достижении нагрузки  $p_e = 0,86$  МПа для чистого ДТ составляет 6,7 %, а для смесей, содержащих 15 % БГ и 30 % БГ при сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,83$  МПа и  $p_e = 0,81$  МПа, – 5,6 и 3,9 %. Для смесей, содержащих 15 % ПГ и 30 % ПГ при нагрузке  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа, содержание сажи в ОГ составляет 4,4 и 2,7 % соответственно. То есть с ростом присутствия БГ и ПГ в смешанном топливе содержание сажи в ОГ снижается на 16,42 и 41,8 % с применением БГ и на 34,33 и 62,96 % с применением ПГ. Такое снижение объясняется тем, что образование сажи зависит от свойств топлива. Чем выше молекулярный вес предельных и непредельных углеводородов с прямыми цепями, тем выше скорость образования сажевых частиц. То есть прочность одной и той же связи зависит от длины молекул. Известно, что молекулярный вес предельных и непредельных углеводородов БГ и ПР значительно ниже, чем у ДТ, отсюда и следует снижение сажи [10].



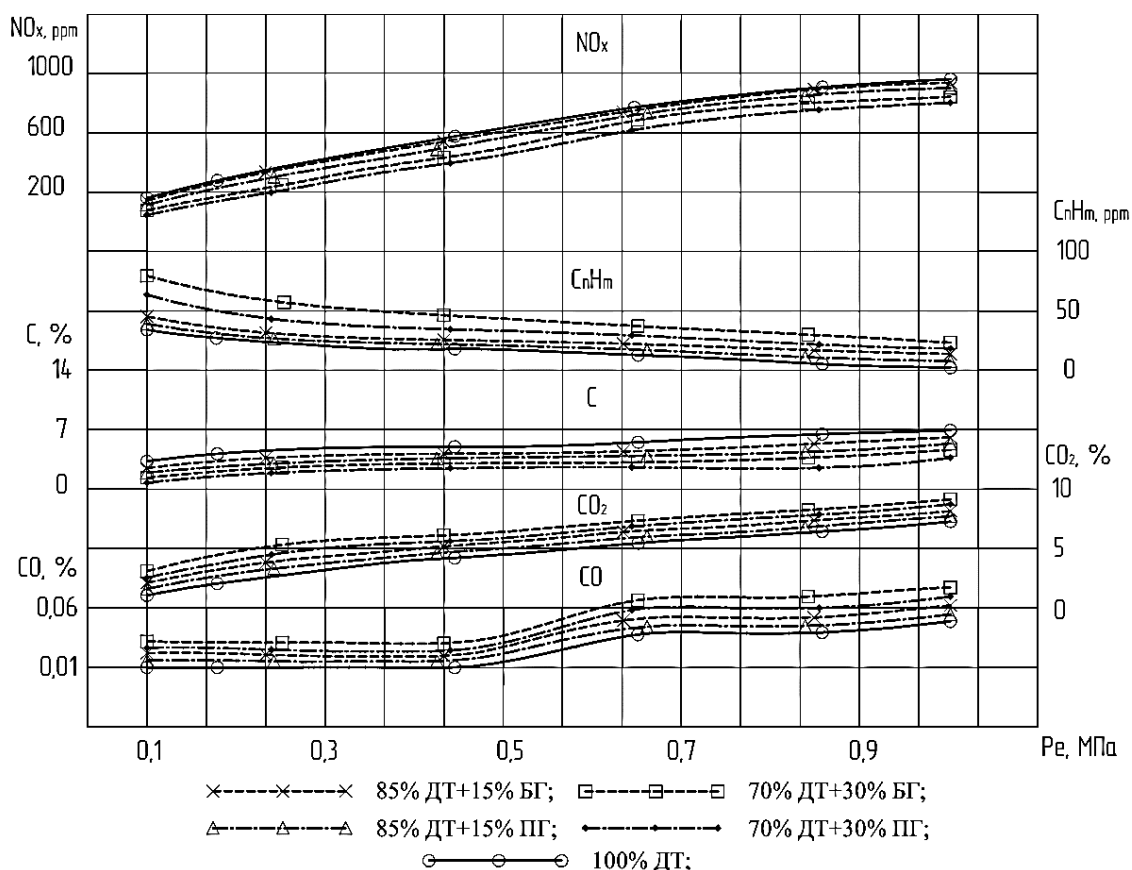


Рис. 2. Экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и рациональном значении угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{оп.впр}} = 22^\circ$  до в. м. т.

Содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе как на ДТ, так и на смесях с БГ и ПГ возрастает при увеличении нагрузки во всем диапазоне, но с увеличением присутствия БГ и ПГ в смесях оксидов азота становится меньше  $\text{NO}_x$  в сравнении с работой дизеля на чистом ДТ. При  $p_e = 0,86 \text{ МПа}$  для чистого ДТ, при  $p_e = 0,83 \text{ МПа}$  для смеси 85 % ДТ + 15 % БГ и при  $p_e = 0,81 \text{ МПа}$  для смеси 70 % ДТ + 30 % БГ содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  соответственно составляет 898, 891 и 885 ppm. При нагрузке  $p_e = 0,81 \text{ МПа}$  и  $p_e = 0,84 \text{ МПа}$  для смесей 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  – 887 и 878 ppm. Содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ меньше, чем на чистом ДТ, на 0,78 и 1,45 %, а на смесях 85 % ДТ +

15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ меньше ДТ на 1,2 и 2,80 %. Текущее обстоятельство объясняется малым избытком свободного кислорода, необходимого для окисления азота, вследствие чего часть поступающего воздуха на впуске замещается БГ или ПГ.

График показателей токсичности и дымности (см. рис. 2) отображает следующее: выбросы оксидов углерода СО с ОГ повышаются по всему диапазону нагрузки и работе на всех составах топлив. При этом добавление БГ и ПГ увеличивает концентрацию СО в ОГ дизеля. В частности, при  $p_e = 0,86 \text{ МПа}$  и работе на чистом ДТ выбросы СО составляют 0,04 %, а для смеси 85 % ДТ + 15 % БГ и сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,83 \text{ МПа}$  значение выбросов СО равно 0,05 %. Для смеси, состоящей из 70 % ДТ + 30 % БГ, при нагруз-



ке  $p_e = 0,81$  МПа выброс CO уже равен 0,067 %. Соответственно, для смесей 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ при нагрузке  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа выбросы CO составляют 0,046 и 0,06 %. Можно констатировать, что содержание CO в ОГ дизеля при работе на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ и 70 % ДТ + 30 % БГ больше, чем на чистом ДТ, на 25 и 67,5 %, а при работе на смесях 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ – на 15 и 50 %. Рост выбросов оксидов углерода поясняется тем, что он происходит вследствие холоднопламенных реакций, при сгорании смесей ДТ+ БГ и ДТ + ПГ с некоторым недостатком кислорода.

Работа дизеля с добавлением 15 % БГ, 30 % БГ, 15 % ПГ и 30 % ПГ сопровождается незначительным повышением выбросов диоксида углерода CO<sub>2</sub> с ОГ по всему диапазону нагрузки. Так, при  $p_e = 0,86$  МПа для чистого ДТ, при  $p_e = 0,83$  МПа для смеси 85 % ДТ + 15 % БГ, а при  $p_e = 0,81$  МПа для смеси 70 % ДТ + 30 % БГ содержание диоксида углерода CO<sub>2</sub> составляет 6,49; 7,32 и 7,39 %. Для смесей 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ при нагрузке  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа выбросы CO<sub>2</sub> составляют 7,07 и 7,34 %. Выбросы диоксида углерода CO<sub>2</sub> с ОГ увеличиваются с ростом замещения чистого ДТ в процентном соотношении для БГ на 12,79 и 13,87 %, а для ПГ – на 8,93 и 13,10 %. Данный рост диоксида углерода CO<sub>2</sub> является незначительным. Также важно помнить, что диоксид углерода менее опасен для человека с физиологической точки зрения, чем другие нормируемые компоненты ОГ дизеля. Текущий рост можно объяснить завышенной концентрацией водорода и гидроксидов в продуктах сгорания газомоторных топлив (БГ и ПГ в данном случае), чем у ДТ [11].

Выбросы несгоревших углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> в ОГ дизеля снижаются по всему диапазону увеличения нагрузки, но с увеличением присутствия БГ и ПГ

в смеси их становится больше в сравнении с работой дизеля на чистом ДТ. Так, при работе дизеля на чистом ДТ выбросы углеводородов C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> составляют 12 ppm при  $p_e = 0,86$  МПа, а на топливах с добавлением 15 % БГ и 30 % БГ – 15 и 23 ppm при сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,83$  МПа и  $p_e = 0,81$  МПа. Также и на топливах с добавлением 15 % ПГ и 30 % ПГ выбросы C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> составляют 13 и 19 ppm при сопоставимой нагрузке  $p_e = 0,81$  МПа и  $p_e = 0,84$  МПа. В процентном выражении рост выбросов C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> в ОГ применительно к чистому ДТ составляет 25 и 91,66 % на смесях с БГ и 8,33 и 58,30 % на смесях с ПГ. Данное обстоятельство объясняется малым избытком свободного кислорода, необходимого для окисления, вследствие замещения части поступающего на впуске воздуха БГ или ПГ, а также наличием многочисленных плохо горящих компонентов, содержащихся в БГ.

### Заключение

Анализ нагрузочной характеристики дизеля 4ЧН 11,0/12,5, работающего при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ, 70 % ДТ + 30 % БГ, 85 % ДТ + 15 % ПГ и 70 % ДТ + 30 % ПГ, позволяет сделать следующие выводы:

- эффективные показатели работы дизеля на данных смесях показывают незначительное снижение мощности на 9,23; 10,77; 8,33 и 10,72 %, крутящего момента – на 10,59; 24,63; 3,84 и 20,12 %, КПД – на 2,7; 5,4; 0,81 и 3,78 %, что происходит по всему диапазону роста нагрузки. Также работа дизеля характеризуется увеличением удельного эффективного расхода теплоты смеси на 78,81; 113,45; 42,80 и 91,10 % и суммарно потребного количества теплоты, вводимой в цилиндры дизеля, на 1,87; 2,94; 1,31 и 2,70 %;
- экологические показатели сопровождаются снижением выбросов с ОГ частиц сажи на 16,42; 41,8; 34,33;



62,96 % и оксидов азота на 0,78; 1,45; 1,2 и 2,80 %, а также незначительным увеличением выбросов с ОГ оксидов углерода на 25; 67,5; 15 и 50 %, диоксида углерода на 12,79; 13,87; 8,93; 13,10 % и углеводов на 25; 91,66; 8,33 и 58,30 %;

– смеси, содержащие ПГ, имеют лучшие показатели относительно смесей, содержащих БГ. Данное обстоятельство объясняется большей долей содержания метана и цетанового числа у ПГ, чем у БГ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтернативные виды топлива для двигателей: монография / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2013. – 376 с.
2. **Карташевич, А. Н.** Возобновляемые источники энергии: научно-практическое пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2008. – 261 с.
3. **Носырев, Д. Я.** Перспективы и проблемы применения водорода в локомотивных энергетических установках: монография / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов, С. А. Петухов. – Самара: Самарский гос. ун-т путей сообщения, 2014. – 112 с.
4. **Кавтарадзе, Р. З.** Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород / Р. З. Кавтарадзе. – Москва: Московский гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана, 2011. – 238 с.
5. **Анисимов, А. С.** Особенности математического моделирования рабочего процесса двухтопливного двигателя / А. С. Анисимов, И. В. Чернышков // Локомотивы. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы): материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Самара: Самарский гос. ун-т путей сообщения, 2016. – 135 с.
6. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: учебное пособие / В. А. Марков [и др.]. – Москва: Легион-Автодата, 2008. – 464 с.
7. **Васильев, Ю. Н.** Газовые и газодизельные двигатели / Ю. Н. Васильев, Л. С. Золотаревский, С. И. Ксенофонтов. – Москва: Газпром, 1992. – 127 с.
8. Система подачи газообразного топлива в дизель: пат. ВУ 12202. – Оpubл. 01.11.2019.
9. **Карташевич, А. Н.** Определение рациональных регулировок дизеля 4ЧН 11,0/12,5 для работы на смесях дизельного топлива с биогазом / А. Н. Карташевич, В. А. Шаповрев, С. А. Плотников // Вестн. Белорус. гос. сельскохозяйственной акад. – 2019. – № 1. – С. 149–153.
10. **Гуреев, А. А.** Исследование влияния свойств топлива на сажеобразование / А. А. Гуреев, В. З. Махов, М. М. Ховак // Автотракторные двигатели внутреннего сгорания: тр. МАДИ. – 1975. – Вып. 92. – С. 29–38.
11. **Брозе, Д. Д.** Сгорание в поршневых двигателях / Д. Д. Брозе. – Москва: Машиностроение, 1969. – 247 с.

*Статья сдана в редакцию 12 марта 2020 года*

**Анатолий Николаевич Карташевич**, д-р техн. наук, проф., Белорусская сельскохозяйственная академия. Тел.: +375-296-62-19-88.

**Виталий Александрович Шаповрев**, аспирант, Белорусская сельскохозяйственная академия. Тел.: +375-299-74-97-94.

**Руслан Сергеевич Даргель**, аспирант, Белорусская сельскохозяйственная академия. Тел.: +375-298-70-65-85.

**Anatoly Nikolayevich Kartashevich**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian State Agricultural Academy. Phone: +375-296-62-19-88.

**Vitaly Aleksandrovich Shaporev**, PhD student, Belarusian State Agricultural Academy. Phone: +375-299-74-97-94.

**Ruslan Sergeevich Dargel**, PhD student, Belarusian State Agricultural Academy. Phone: +375-298-70-65-85.

