

УДК 621.436:662.767.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕГУЛИРОВОК ДИЗЕЛЯ 4ЧН 11,0/12,5 ДЛЯ РАБОТЫ НА СМЕСЯХ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С БИОГАЗОМ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ, В. А. ШАПОРЕВ

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

С. А. ПЛОТНИКОВ

*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
г. Киров, Россия, 610000*

(Поступила в редакцию 10.12.2018)

Одной из основных задач при эксплуатации автотракторной техники является защита окружающей среды от токсичных компонентов отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания. Биогаз – одно из наиболее экологически чистых топлив, поскольку производит минимальный объем выбросов двуокиси углерода и твердых частиц. Газовый двигатель работает тише, уменьшаются вибрации, что способствует улучшению условий труда водителей.

Статья посвящена разработке новых составов топлив на основе дизельного топлива (ДТ) и биогаза (БГ), удовлетворяющих требованиям их применения в дизеле. В статье приведены эффективные показатели работы дизеля по дымности и токсичности при работе на смесях, состоящих из 85 % ДТ + 15 % БГ, а также 70 % ДТ + 30 % БГ при различных значениях установочного угла опережения впрыскивания топлива. Приведены результаты стендовых испытаний дизеля при работе на этих составах топлив. На основе анализа полученных данных экспериментальных исследований определены рациональные регулировки топливоподающей аппаратуры.

По результатам стендовых испытаний дизеля на смесях с БГ следуют выводы: 1) при работе дизеля на топливах с добавлением 15 % БГ и 30 % БГ рациональным установочным углом опережения впрыскивания следует считать угол $\Theta_{впр}=22^\circ$; 2) работа дизеля с добавками 15 % БГ и 30 % БГ, по количеству вводимой теплоты, позволяет сократить расход ДТ, соответственно, на 15 % и 30 %; 3) работа дизеля на смешанных топливах с добавлением БГ сопровождается снижением выбросов с отработавшими газами частиц сажи во всем рассматриваемом диапазоне изменения установочного угла. 4) работа дизеля на смешанных топливах с добавлением БГ во всем рассматриваемом диапазоне изменения установочного угла сопровождается увеличением выбросов с ОГ оксидов азота и несгоревших углеводородов.

Ключевые слова: дизель, дизельное топливо, биогаз, стендовые испытания, рациональный угол, отработавшие газы, дымность, токсичность.

One of the main tasks in the operation of automobile-tractor machinery is to protect the environment from the toxic components of exhaust gases of internal combustion engines. Biogas is one of the most environmentally friendly fuels because it produces minimal emissions of carbon dioxide and particulate matter. The gas engine is quieter, has reduced vibration, which helps to improve the working conditions of drivers.

The article is devoted to the development of new fuel compositions based on diesel fuel (DT) and biogas (BG), satisfying the requirements of their use in diesel. The article presents the effective performance of diesel engine according to smoke and toxicity when working on mixtures consisting of 85% DT + 15% BG, as well as 70% DT + 30% BG for different values of the fuel injection advance angle. The results of stand tests of a diesel engine when operating on these compositions of fuels are given. Based on the analysis of the experimental data obtained, rational adjustments of the fuel supply equipment are determined.

According to the results of stand tests of diesel in mixtures with BG, the following conclusions are made: 1) when operating a diesel engine on fuels with the addition of 15% BG and 30% BG, the $\Theta_{injection} = 22^\circ$ angle should be considered a rational installation injection advance angle; 2) the operation of a diesel engine with additives of 15% BG and 30% BG, according to the amount of heat input, reduces the consumption of diesel fuel, respectively, by 15% and 30%; 3) diesel engine operation on mixed fuels with the addition of BG is accompanied by a decrease in emissions of soot particles with exhaust gases throughout the entire range of changes in the installation angle. 4) diesel engine operation on mixed fuels with the addition of BG in the entire considered range of changes in the installation angle is accompanied by an increase in emissions of nitrogen oxides and unburned hydrocarbons.

Key words: diesel, diesel fuel, biogas, stand tests, rational angle, exhaust gases, smoke, toxicity.

Введение

Выбросы автотракторной техники отрицательно влияют на состояние атмосферы, и на нее приходится около 70 % общего объема выбросов загрязняющих веществ. При эксплуатации силовая установка трактора выбрасывает с ОГ более 1000 токсичных компонентов, среди них оксиды азота NO_x , угарный газ CO , сажа C , несгоревшие углеводороды C_nH_m и некоторые другие. Перспективным направлением снижения дымности и токсичности выбросов является применение

альтернативных видов топлива для силовых установок машин. Анализируя текущее положение дел с моторными топливами, можно сделать вывод, что их заменителями уже в ближайшее время могут быть: спирты (этанол, метанол), рапсовое масло и продукты его переработки, природный газ, генераторный газ, а также биогаз [1–4].

Биогаз – сравнительно новое, перспективное, экологически чистое и экономически выгодное моторное топливо. По данным шведских и швейцарских ученых, БГ на 75 % чище ДТ и на 50 % чище бензина [5].

Источниками получения биогаза служат продукты метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения. Эффективность технологии получения БГ отличается высокой рентабельностью, так как позволяет утилизировать стоки животноводческих ферм, сельскохозяйственные и бытовые отходы, отходы лесозаготовки и деревообработки. В мировом сельском хозяйстве накапливается столько отходов, что их энергопотенциал может дважды покрыть общемировой спрос на энергию [6–10].

В ходе исследований разрабатывались новые составы топлив на основе ДТ и БГ, удовлетворяющие требованиям их применения в дизеле. Исследовались эффективные показатели работы дизеля и показатели его дымности и токсичности при работе на смесях 85 % ДТ + 15 % БГ, а также 70 % ДТ + 30 % БГ. Содержание БГ в объеме 15 % и 30 % выбрано из условия наличия необходимого воздуха для обеспечения полноты процесса сгорания. БГ – является малоисследованным альтернативным топливом, отсутствуют необходимые теоретические расчеты. Соответственно, подача большого количества БГ при отсутствии необходимых данных может спровоцировать аварию дизеля. Поэтому нами проводятся исследования при подаче пошаговых объемов БГ.

Основная часть

Для выявления влияния состава смесевое топлива на эффективные и экологические показатели работы дизеля, определения его рациональных регулировок на кафедре «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства» БГСХА были проведены экспериментальные исследования в специализированной научно-исследовательской лаборатории «Испытание двигателей внутреннего сгорания».

Экспериментальная установка включала в себя электротормозной нагрузочный стенд SAK-N670 производства Германии с балансирной маятниковой машиной, дизель 4ЧН 11,0/12,5 и комплект измерительных приборов с выводом данных на монитор компьютера. Коленчатый вал двигателя соединялся с валом электротормозного нагрузочного стенда посредством карданной передачи. Частота вращения коленчатого вала двигателя измерялась путем установки электронного датчика на коленчатый вал. Крутящий момент на коленчатом валу двигателя измерялся с помощью динамометрического устройства, входящего в состав нагрузочного стенда. Расход топлива определялся массовым способом при помощи электронного расходомера АИР–50 с весовым устройством. Подача БГ осуществлялась по запатентованной конструкции [11]. Отбор проб отработавших газов производился через установленные на выпускном тракте дизеля газозаборники. Анализ проб 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 в процентном отношении по величине суммарной вводимой в цилиндры дизеля теплоты, значение которой оставалось постоянным. Состав БГ применяемого для исследований представлен в табл. 1.

Таблица 1. Состав биогаза, применяемого в исследованиях

№, п.п.	Наименование вещества	Молярные доли, %
1	H ₂ S	0,0800
2	O ₂	1,3881
3	N ₂	5,8861
4	CH ₄	61,1161
5	CO ₂	31,6161
6	C ₃ H ₈	0,0018
7	i-C ₄ H ₁₀	0,0010
8	n-C ₄ H ₁₀	0,0024
9	i-C ₅ H ₁₂	0,0014
10	n-C ₅ H ₁₂	0,0015
11	C ₆ H ₁₄	0,0055
12	Сумма	100,00

Переводя дизель для работы на смеси БГ с ДТ, важно сохранить его мощностные и экономические показатели на уровне, установленном заводом-изготовителем. Для выполнения

этого условия было необходимо определить эффективные регулировки системы топливоподачи дизеля. С этой целью первоначально было установлено влияние составов БГ и ДТ на значения рационального установочного угла опережения впрыскивания топлива. Согласно руководству по эксплуатации, установочный угол опережения впрыскивания топлива для тракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) при работе на чистом ДТ составляет $\Theta_{впр.} = 18^\circ$.

Рациональный установочный угол опережения впрыскивания топлива определялся из соответствующей регулировочной характеристики (рис. 1 и 2), для построения которой снимался ряд нагрузочных характеристик по подаче топлива при различных значениях установочного угла опережения впрыскивания топлива для составов 85 % ДТ + 15 % БГ, а также 70 % ДТ + 30 % БГ.

Из данных представленных графиков (рис. 1) видно, что при работе дизеля на чистом ДТ рациональным установочным углом опережения впрыскивания является угол $\Theta_{впр.} = 18^\circ$ поворота коленчатого вала (п.к.в.). При этом дизель развивает наибольшую паспортную мощность $N_e = 69$ кВт, значение удельного эффективного расхода теплоты равно $g_e = 9,76$ МДж/кВт·ч, значение крутящего момента составляет $M_k = 363$ Н·м, значение эффективного КПД составляет $\eta_e = 0,37$.

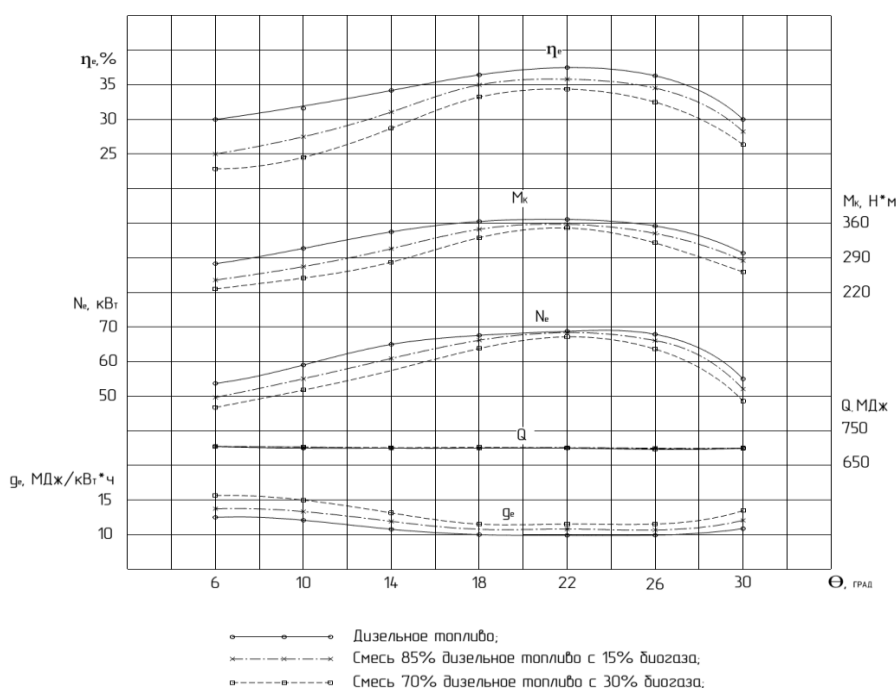


Рис. 1. Регулировочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ (мощностные и экономические показатели)

При переводе дизеля для работы на смеси, содержащей 85 % ДТ и 15 % БГ значение рационального установочного угла увеличивается и составляет $\Theta_{впр.} = 22^\circ$ п.к.в. Мощность дизеля при этом наибольшая и составляет $N_e = 68$ кВт. Удельный эффективный расход теплоты при этом равен $g_e = 11,63$ МДж/кВт·ч. Крутящий момент также наибольший и составляет $M_k = 344$ Н·м, а значение эффективного КПД составляет $\eta_e = 0,36$. При уменьшении или увеличении установочного угла происходит снижение эффективной мощности, увеличение удельного эффективного расхода теплоты и уменьшение величины крутящего момента.

Увеличение значения рационального установочного угла опережения впрыскивания топлива объясняется замедлением скорости процесса сгорания вследствие наличия в составе БГ медленно горящих компонентов.

При работе дизеля на смеси, содержащей 70 % ДТ + 30 % БГ, характер изменения кривых удельного эффективного расхода теплоты, эффективной мощности и крутящего момента практически не изменяется.

Наибольшая мощность дизеля $N_e = 56$ кВт достигается при значении рационального установочного угла $\Theta_{впр.} = 22 \dots 24^\circ$ п.к.в. Значение удельного эффективного расхода теплоты при этом $g_e = 12,76$ МДж/кВт·ч. Крутящий момент также наибольший $M_k = 296$ Н·м. Значение эффективного КПД $\eta_e = 0,34$. При изменении установочного угла происходит снижение эффективной мощности, увеличение удельного эффективного расхода теплоты и уменьшение величины крутящий момента. Учитывая конструктивные возможности установки угла $\Theta_{впр.}$, рациональным его значением в данном случае также следует считать угол $\Theta_{впр.} = 22^\circ$ п.к.в.

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива при частоте вращения 1800 мин^{-1} представлено на рис. 2.

Видно, что рост установочного угла $\Theta_{\text{впр.}}$ в пределах от 6 до 30 градусов п.к.в. вызывает снижение выбросов сажи (С) с 0,5 % до 12 %. Выбросы суммарных оксидов азота NO_x и несгоревших углеводородов C_nH_m при этом возрастают. Для оксидов азота NO_x этот рост составляет 95 %, с 151 до 2976 ppm, а для несгоревших углеводородов C_nH_m составляет 81,5 %, с 5 до 27 ppm соответственно.

Содержание других токсичных компонентов – CO и CO_2 с изменением установочного угла изменяется незначительно.

Увеличение содержания БГ в смеси вызывает снижение выбросов сажи С во всем рассматриваемом диапазоне изменения установочного угла. Так, при угле $\Theta_{\text{впр.}}=18^\circ$ и работе на чистом ДТ, относительное содержание сажи С составляет 8,9 %. Добавка 15 % БГ и 30 % БГ в смесь при угле $\Theta_{\text{впр.}}=22^\circ$ снижает относительное содержание сажи до 2,5 % и 0,5 % соответственно.

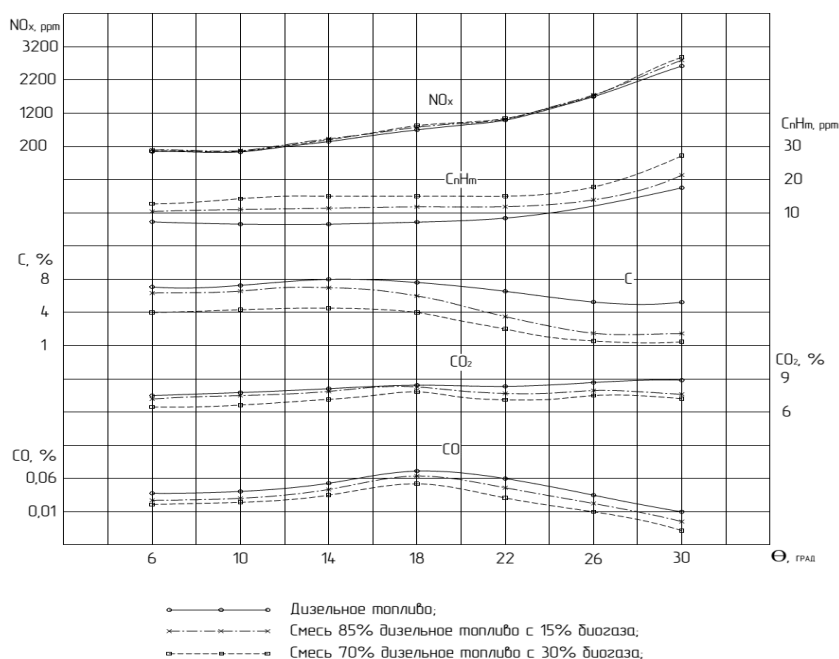


Рис. 2. Регулировочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ (показатели дымности и токсичности)

Выброс оксидов азота NO_x увеличивается при росте угла $\Theta_{\text{впр.}}$ как при работе на чистом ДТ, так и при работе с добавками БГ. Рост оксидов азота NO_x в ОГ дизеля легко объясняется увеличением локальной и осредненной температур цикла при ранних углах опережения впрыскивания топлива.

Выбросы несгоревших углеводородов C_nH_m с увеличением содержания БГ в смеси также увеличиваются. Так, для значения установочного угла $\Theta_{\text{впр.}} = 22^\circ$ при работе на чистом ДТ их количество составляет 8 %, а при работе на смеси 70 % ДТ + 30 % БГ – уже 17 %. Рост выбросов несгоревших углеводородов при работе дизеля с добавками БГ можно объяснить наличием в последнем многочисленных плохо горящих компонентов.

Работа дизеля на топливе с добавлением БГ сопровождается повышением выбросов оксидов углерода CO с отработавшими газами. Так, для топлива с концентрацией БГ 30 % при угле $\Theta_{\text{впр.}}=22^\circ$ выброс CO составляет 0,02 %, что на 50 % выше, чем при работе дизеля на чистом ДТ. Указанное обстоятельство объясняется снижением наличия свободного кислорода в составе заряда из-за понижения коэффициента избытка воздуха при добавке в топливо БГ. Известно, что при наличии свободного кислорода и достаточного времени углерод в составе топлива вначале образует оксид углерода и лишь затем доокисляется в диоксид углерода CO_2 .

Эмиссия диоксидов углерода CO_2 с ОГ изменяется в незначительных пределах как при работе дизеля на ДТ, так и при его работе на рассматриваемых смесях ДТ и БГ. Максимальное значение выбросов CO_2 для этих топлив достигается при $\Theta_{\text{впр.}} = 22^\circ$ и составляет 8,51 % на чистом ДТ, и 6,91 % на смеси 70 % ДТ + 30 % БГ соответственно. Следует, однако, учитывать, что диоксид углерода CO_2 является наименее опасным с физиологической точки зрения.

Заклучение

На основе анализа приведенных данных можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Показатели работы дизеля на чистом ДТ соответствуют паспортным данным и достигаются при регламентированном значении установочного угла опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр.}}=18^\circ$. При работе дизеля на топливах с добавлением 15 % БГ и 30 % БГ рациональным установочным углом опережения впрыскивания следует считать угол $\Theta_{\text{впр.}}=22^\circ$.

2. Работа дизеля с добавками 15 % БГ и 30 % БГ, по количеству вводимой теплоты, позволяет сократить расход ДТ, соответственно, на 15 % и 30 %. При этом в зависимости от режима работы дизеля, значения эффективной мощности и эффективного КПД остаются на уровне, характерном для работы дизеля на чистом ДТ или снижаются, но не более, чем на 6 %.

3. Работа дизеля на смесевых топливах с добавлением БГ сопровождается снижением выбросов с отработавшими газами частиц сажи во всем рассматриваемом диапазоне изменения установочного угла. Это снижение равно 71,9 % при содержании 15 % БГ, и 99,4 % при содержании 30 % БГ соответственно по сравнению с показателями работы дизеля на чистом ДТ.

4. Работа дизеля на смесевых топливах с добавлением БГ во всем рассматриваемом диапазоне изменения установочного угла сопровождается увеличением выбросов с отработавшими газами оксидов азота и несгоревших углеводородов. Рост выбросов составляет: для оксидов азота – 151...2976 ppm, для несгоревших углеводородов – 5...27 ppm.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2012. – С. 376.
2. Карташевич, А. Н. Основные принципы и расчетные соотношения теоретических исследований процесса сгорания спиртосодержащих топлив в дизеле / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 2. – С. 145–149.
3. А. Н. Kartashevich, S. A. Plotnikov. Flammability of New Diesel Fuels. // Russian Engineering Research, 2018, Vol. 38, No. 6, pp. 424–427.
4. Исследование работы двигателя 1Ч 6,8/5,4 на альтернативных топливах / А. Н. Карташевич [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4. – С. 115–117.
5. Плотников, С. А. Разработка числовых методов определения свойств новых топлив / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич // Вестник машиностроения. – 2018. – № 3. – С. 7–10.
6. Плотников, С. А. Черемисинов П. Н. Улучшение смесей дизельного топлива с рапсовым маслом для использования в тракторных дизелях / О. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Н. Черемисинов // Двигателестроение. – 2017. – № 4. – С. 21–24.
7. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени. Пер. с англ. / Под ред. Ю. Ф. Дитякина. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.
8. Williams, F. A. Combustion theory. – Benjamin. // Cummings. – Menlo Park, 1984.
9. Данилов, А. М. Введение в химмотологию / А. М. Данилов. – М.: Техника. ООО «ТУМА ГРУПП», 2003. – 464 с.
10. Кухаренок, Г. М. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания: Методическое пособие для студентов заочной формы обучения специальностей 1-37.01.01 Двигателей внутреннего сгорания / Г. М. Кухаренок. – Минск: БНТУ, 2011. — 62 с.
11. Пат. 20669 Республика Беларусь. МПК F02 М 43/00. Система подачи газового топлива в двигатель внутреннего сгорания на переходных режимах / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, Д. С. Короленок; заявитель УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». Зарегистрирована в государственном реестре полезных моделей 2016.03.01. // Афіцыйны бюл. / Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры. – Мн.: Дзяржаўны патэнтны камітэт Рэспублікі Беларусь, 2016. – №2 (105).