

Теоретические предпосылки определения оптимальных составов смесевых топлив

С. А. Плотников¹, Ш. В. Бузиков²

¹доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: sa_plotnikov@vyatsu.ru
²кандидат технических наук, заведующий кафедрой машин и технологии деревообработки,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: usr10012@vyatsu.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью применения смесевых топлив в дизелях. Целью исследования является теоретическое определение оптимальных составов смесевых топлив с учетом эффективных показателей работы дизеля. Для этой цели были проведены теоретические исследования эффективных показателей работы дизеля на разных смесевых топливах. В результате впервые был получен критерий, определяющий эффективность применения смесевых топлив разных концентраций. Анализ полученных зависимостей показал, что в значительной мере на удельный эффективный расход топлива и КПД оказывает влияние состав смесевого топлива, в котором наличие массовой доли водорода максимально, а кислорода минимально. Таким образом получен критерий для определения эффективности применения того или иного состава смесевого топлива. Представленные теоретические предпосылки позволяют определить оптимальный вид и концентрацию жидких альтернативных топлив, входящих в состав смесевых топлив.

Ключевые слова: смесевое топливо, эффективные показатели, массовая доля.

В настоящее время одним из наиболее перспективных источников тепловой энергии, используемых в качестве топлива в дизелях, является применение всевозможных смесевых топлив, получаемых путем предварительного смешивания товарного дизельного топлива (ДТ) и альтернативного [1; 11]. В качестве альтернативных топлив в смесевых топливах наиболее часто применяют спирты, эфиры и растительные масла [1, 5-7, 11]. Непосредственное использование чистых альтернативных топлив в дизелях затруднено из-за их различия в физико-химических и моторных свойствах по сравнению с чистым ДТ [8]. Основными недостатками альтернативных топлив по сравнению с ДТ являются высокая или низкая вязкость, скрытая теплота парообразования, высокая температура воспламенения, низкое цетановое число, меньшая теплотворная способность [2; 9]. На данный момент имеется достаточный объем исследований по применению различных составов смесевых топлив [3; 4; 10]. В то же время данные по оптимальным составам смесевых топлив для их применения в дизелях практически отсутствуют. В связи с этим разработка критериев определения оптимальных составов смесевых топлив является на сегодняшний день весьма актуальной задачей.

Известно, что при использовании смесевых топлив снижается часовой расход дизельного топлива, однако при этом полный часовой расход увеличивается [8-10; 12].

Основными эффективными показателями дизеля является мощность, крутящий момент, среднее эффективное давление, удельный расход топлива и КПД.

При использовании смесевых топлив одним из главных критериев является соответствие значений крутящего момента и мощности дизеля, равное его паспортным значениям, установленным заводом-изготовителем при его работе на чистом дизельном топливе. Однако разность физико-химических свойств смесевых топлив по сравнению с традиционным накладывает определенные условия, например, такие как увеличение цикловой подачи топлива, связанной с уменьшением нижней расчетной теплоты сгорания и теоретически необходимого количества воздуха.

Значение крутящего момента определялось из выражения, Н·м:

$$M_{кр} = \frac{p_e V_h n i}{\pi \tau}, \quad (1)$$

где p_e – среднее эффективное давление, МПа;

V_h – рабочий объем цилиндра, м³;

n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹;

i – количество цилиндров, шт.;

$\pi = 3,14$;

τ – тактность.

При проведении испытаний крутящий момент определялся, Н·м:

$$M_{кр} = Flg, \quad (2)$$

где F – показания весового устройства стенда, кг;

l – плечо весового устройства стенда, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Определили среднее эффективное давление с учетом выражений (1) и (2):

$$p_e = \frac{Flg\pi\tau}{V_h n i}. \quad (3)$$

Эффективную мощность нашли, кВт:

$$N_e = \frac{p_e V_h n i}{30\tau}. \quad (4)$$

После подстановки выражения (3) в (4) получили:

$$N_e = \frac{Flg\pi}{30}. \quad (5)$$

Анализ выражений (2), (3) и (5) показал, что при использовании любого состава топлива крутящий момент, эффективная мощность и среднее эффективное давление должны соответствовать показателям работы на чистом дизельном топливе.

Отличительной особенностью применения смесевых топлив стали показатели удельного эффективного расхода топлива и КПД.

В связи с этим удельный эффективный расход топлива определили как, г/кВт·ч:

$$g_e = \frac{3600\rho_k\eta_v}{p_e l_0 \alpha}, \quad (6)$$

где ρ_k – плотность воздуха после охладителя наддувочного воздуха, кг/м³;

η_v – коэффициент наполнения дизеля с наддувом и с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха;

l_0 – теоретически необходимое количество воздуха в кг для полного сгорания 1 кг смесевого топлива, кг возд./кг топл.;

α – коэффициент избытка воздуха.

Плотность воздуха после охладителя наддувочного воздуха определили:

$$\rho_k = \frac{3480p_k}{t_k + 273}, \quad (7)$$

где p_k – давление наддувочного воздуха после теплообменника дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, МПа;

t_k – температура наддувочного воздуха после теплообменника, °С.

$$\eta_v = \frac{33,3G_B}{V_h n i \rho_k}, \quad (8)$$

где G_B – часовой расход воздуха, кг/ч.

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг смесевого топлива определили:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right), \quad (9)$$

где C – массовая доля углерода в 1 кг смесевого топлива, кг;

H – массовая доля водорода в 1 кг смесевого топлива, кг;

O – массовая доля кислорода в 1 кг смесевого топлива, кг;

Элементный состав жидких смесевых топлив выразили:

$$\sum_{i=1}^n (C_i + H_i + O_i) m_i = 1, \quad (10)$$

где C_i – массовая доля углерода в 1 кг i -ого компонента смеси, кг;

H_i – массовая доля водорода в 1 кг i -ого компонента смеси, кг;

O_i – массовая доля кислорода в 1 кг i -ого компонента смеси, кг;

m_i – масса i -ого компонента в смеси;

n – количество компонентов в смеси, шт.

Тогда массовую долю углерода в 1 кг смесевого топлива нашли:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i m_i, \quad (11)$$

Массовая доля водорода в 1 кг смесевого топлива определялась:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i m_i, \quad (12)$$

Массовую долю кислорода в 1 кг смесевого топлива нашли:

$$O = \sum_{i=1}^n O_i m_i, \quad (13)$$

После подстановки (11), (12) и (13) в (9) получили:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \sum_{i=1}^n C_i m_i + 8 \sum_{i=1}^n H_i m_i - \sum_{i=1}^n O_i m_i \right) \quad (14)$$

Из полученного выражения видно, что чем больше массовая доля водорода в 1 кг смесового топлива и чем меньше массовая доля кислорода в 1 кг смесового топлива, тем большее количество воздуха потребуется для сгорания 1 кг смесового топлива.

Коэффициент избытка воздуха нашли:

$$\alpha = \frac{G_B}{G_r l_0}, \quad (15)$$

где G_r – часовой расход смесового топлива, кг/ч.

После подстановки выражений (3), (8) в (6) и преобразований получили:

$$g_e = \frac{3600 \cdot 33,3 G_B}{Flg\pi\tau l_0 \alpha}. \quad (16)$$

Так как коэффициент избытка воздуха и часовой расход воздуха взаимосвязаны, то основным критерием, определяющим значение удельного эффективного расхода смесового топлива, явилось теоретически необходимое количество воздуха в кг для полного сгорания 1 кг смесового топлива.

Эффективный КПД находили:

$$\eta_e = \frac{p_e \alpha l_0}{\rho_k \eta_v H_n}, \quad (17)$$

где H_n – низшая расчетная теплота сгорания смесового топлива, МДж/кг.

$$H_n = 33,91C + 125,60H - 10,89O - 2,51 \cdot 9H, \quad (18)$$

где C – массовая доля углерода в 1 кг смесового топлива, кг;

H – массовая доля водорода в 1 кг смесового топлива, кг;

O – массовая доля кислорода в 1 кг смесового топлива, кг;

Учитывая выражения (11), (12), (13), получили:

$$H_n = 33,91 \sum_{i=1}^n C_i m_i + 125,60 \sum_{i=1}^n H_i m_i - 10,89 \sum_{i=1}^n O_i m_i - 2,51 \cdot 9 \sum_{i=1}^n H_i m_i \quad (19)$$

Анализ полученного выражения показал, что чем больше массовая доля водорода в 1 кг смесового топлива и чем меньше массовая доля кислорода в 1 кг смесового топлива, тем большее значение теплоты выделится при сгорании 1 кг смесового топлива.

После подстановки выражений (3), (8) в (11) и преобразований получили:

$$\eta_e = \frac{Flg\pi\tau l_0 \alpha}{33,3 G_B H_n}. \quad (20)$$

По аналогии с выражением (16) коэффициент избытка воздуха и часовой расход воздуха взаимосвязаны, определяющим критерием значения эффективного КПД стало отношение теоретически необходимого количества воздуха в кг для полного сгорания 1 кг смесового топлива к низшей расчетной теплоте сгорания смесового топлива, кг возд./МДж:

$$\frac{l_0}{H_n} \quad (21)$$

Данный критерий показывает, какое количество кг воздуха необходимо для выделения 1 МДж теплоты из 1 кг смесового топлива.

Анализ выражения (21) показал, что в значительной мере на удельный эффективный расход топлива и КПД оказывает влияние состав смесового топлива, в котором наличие массовой доли водорода будет максимально, а кислорода минимально.

Таким образом получен критерий для определения эффективности применения того или иного состава смесового топлива.

Представленные теоретические предпосылки позволяют определить оптимальный вид и концентрацию жидких альтернативных топлив, входящих в состав смесовых топлив.

Список литературы

1. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения / В. Ф. Федоренко [и др.]. М. : Изд-во ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 68 с.
2. *Карташевич А. Н., Плотников С. А., Товстыка В. С.* Оптимизация параметров топливоподачи тракторного дизеля для работы на рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 3. С. 13–16.
3. *Карташевич А. Н., Плотников С. А., Товстыка В. С.* Применение топлив на основе рапсового масла в тракторных дизелях : монография. Киров : Авангард, 2014. 144 с.
4. Определение эксплуатационных показателей трактора «Беларус-922» при работе на смесовом топливе / С. А. Плотников [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. № 3. С. 445–459.
5. *Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С.* Определение влияния топливных присадок на кинематическую вязкость смесового топлива // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сб. ст. XVIII Всероссийской науч.-практ. конф. : в 3 т. Киров : Изд-во ВятГУ, 2018. С. 766–771.
6. *Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С.* Определение влияния компонентного состава топливной смеси на кинематическую вязкость // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сб. ст. XVIII Всероссийской науч.-практ. конф. : в 3 т. Киров : Изд-во ВятГУ, 2018. С. 759–765.

7. Плотников С. А., Карташевич А. Н., Черемисинов П. Н. Улучшение смесей дизельного топлива с рапсовым маслом для использования в тракторных дизелях // Двигателестроение. 2017. № 4 (270). С. 21–24.
8. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Недостатки применения топлив на основе рапсового масла в дизельных двигателях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4-1 (15-1). С. 97–101.
9. Плотников С. А., Черемисинов П. Н. Влияние присадок на кинематическую вязкость топлив на основе рапсового масла // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сб. ст. 2-е изд., испр. и доп. Киров : Изд-во ВятГУ, 2016. С. 1378–1382.
10. Плотников С. А., Карташевич А. Н., Черемисинов П. Н. Определение оптимальных регулировок системы топливоподачи двигателя 4ч 11,0/12,5 при работе на смесях рапсового масла с дизельным топливом // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017) : сб. ст. Всероссийской ежегодной науч.-практ. конф. Киров : Изд-во ВятГУ, 2017. С. 1841–1847.
11. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе / В. Ф. Федоренко. М. : Изд-во ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 133 с.
12. Plotnikov S. A., Kartashevich A. N., Buzikov S. V. Analysis of pre-heated fuel combustion and heat-emission dynamics in a diesel engine Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). 2018. Т. 944. 012089 с.

Theoretical background for determining the optimal composition of mixed fuels

S. A. Plotnikov¹, Sh. V. Buzikov²

¹Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of mechanical engineering technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: sa_plotnikov@vyatsu.ru

²PhD of Technical Sciences, head of the Department of machinery and woodworking technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr10012@vyatsu.ru

Abstract. The relevance of the study is due to the need to use mixed fuels in diesels. The aim of the study is to determine theoretically the optimal composition of mixed fuels, taking into account the effective performance of the diesel engine. For this purpose, theoretical studies of the effective performance of diesel on different mixed fuels were carried out. As a result, for the first time a criterion was obtained that determines the effectiveness of the use of mixed fuels of different concentrations. The analysis of the obtained dependences showed that the specific effective fuel consumption and efficiency is significantly influenced by the composition of the mixed fuel, in which the presence of the mass fraction of hydrogen is maximum and oxygen is minimal. Thus, a criterion for determining the effectiveness of a particular composition of mixed fuel is obtained. The presented theoretical assumptions allow us to determine the optimal type and concentration of liquid alternative fuels included in the composition of mixed fuels.

Keywords: mixed fuel, effective indicators, mass fraction.

References

1. *Innovacionnye tekhnologii proizvodstva biotopliva vtorogo pokoleniya* [Innovative technologies for the production of second-generation biofuels] / V. F. Fedorenko [et al.]. M. Rosinformagroteh. 2009. 68 p.
2. *Kartashevich A. N., Plotnikov S. A., Tovstyka V. S. Optimizaciya parametrov toplivopodachi traktornogo dizelya dlya raboty na rapsovom masle* [Optimization of parameters of fuel supply of tractor diesel for work on rapeseed oil] // *Traktory i sel'hozmashiny* – Tractors and agricultural machines. 2011. No. 3. Pp. 13–16.
3. *Kartashevich A. N., Plotnikov S. A., Tovstyka V. S. Primenenie topliv na osnove rapsovogo masla v traktornyh dizelyah : monografiya* [The use of fuels based on rapeseed oil in the tractor diesel engines : monograph]. Kirov. Avangard. 2014. 144 p.
4. *Opredelenie ekspluatatsionnykh pokazatelej traktora "Belarus-922" pri rabote na smesevom toplive* [Determination of operational indicators of the tractor "Belarus-922" when working on mixed fuel] / S. A. Plotnikov [et al.] // *Vestnik Mordovskogo universiteta* – Herald of the Mordovian University. 2018. Vol. 28. No. 3. Pp. 445–459.
5. *Plotnikov S. A., Buzikov Sh. V., Kozlov I. S. Opredelenie vliyaniya toplivnykh prisadok na kinematicheskuyu vyazkost' smesevogo topliva* [Determining the effect of fuel additives on the kinematic viscosity of mixed fuel] // *Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK-2018) : sb. st. XVIII Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. : v 3 t.* – Society. The science. Innovations (NPK-2018) : collection of article XVIII of the all-Russian scient.-pract. conf. : in 3 vols. Kirov. VyatSU. 2018. Pp. 766–771.
6. *Plotnikov S. A., Buzikov Sh. V., Kozlov I. S. Opredelenie vliyaniya komponentnogo sostava toplivnoy smesi na kinematicheskuyu vyazkost'* [Determination of the influence of the component composition of the fuel mixture on the kinematic viscosity] // *Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK-2018) : sb. st. XVIII Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. : v 3 t.* – Society. The science. Innovations (NPK-2018) : collection of article XVIII of the all-Russian scient.-pract. conf. : in 3 vols. Kirov. VyatSU. 2018. Pp. 759–765.
7. *Plotnikov S. A., Kartashevich A. N., Cheremisinov P. N. Uluchshenie smesey dizel'nogo topliva s rapsovim maslom dlya ispol'zovaniya v traktornyh dizelyah* [Improving mixtures of diesel fuel with rapeseed oil for use in tractor diesels] // *Dvigatelistroenie* – Engine building. 2017. No. 4 (270). Pp. 21–24.

8. Plotnikov S. A., Cheremisinov P. N. *Nedostatki primeneniya topliv na osnove rapsovogo masla v dizel'nyh dvigatelyah* [Disadvantages of using rapeseed oil-based fuels in diesel engines] // *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* – Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2015. Vol. 3. No. 4-1 (15-1). Pp. 97–101.

9. Plotnikov S. A., Cheremisinov P. N. *Vliyanie prisadok na kinematicheskuyu vyazkost' topliv na osnove rapsovogo masla* [Influence of additives on the kinematic viscosity of fuels based on rapeseed oil] // *Obshchestvo, nauka, innovacii (NPK-2016) : sb. st. 2-e izd., ispr. i dop.* – Society, science, innovation (NPK-2016) : col. art. 2nd ed., corr., add. Kirov. VyatSU. 2016. Pp. 1378–1382

10. Plotnikov S. A., Kartashevich A. N., Cheremisinov P. N. *Opredelenie optimal'nyh regulirovok sistemy toplivopodachi dvigatelya 4ch 11,0/12,5 pri rabote na smesyah rapsovogo masla s dizel'nyim toplivom* [Determination of optimal adjustments of the fuel supply system of the 4h 11.0/12.5 engine when working on mixtures of rapeseed oil with diesel fuel] // *Obshchestvo. Nauka. Innovacii (NPK-2017) : sb. st. Vserossijskoj ezhegodnoj nauch.-prakt. konf.* – Society. The science. Innovations (NPK-2017) : collection of articles of the all-Russian annual scientific-pract. conf. Kirov. VyatSU. 2017. Pp. 1841–1847.

11. *Rezultaty ispytaniy i perspektivy ekspluatscii dizelej na biotoplive* [Test results and prospects of operation of diesel engines on biofuel] / V. F. Fedorenko. M. Rosinformagroteh. 2008. 133 p.

12. Plotnikov S. A., Kartashevich A. N., Buzikov S. V. *Analysis of pre-heated fuel combustion and heat-emission dynamics in a diesel engine* Journal of Physics: Conference Series (see in books). 2018. Vol. 944. 012089 p.