

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 631.372:621.372:621.436.1

doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-102-111

Оптимизация состава трехкомпонентной биотопливной смеси

Аслан Каральбиевич Апажев¹, Юрий Ахметханович Шекихачев^{✉2},
Владимир Исмелович Батыров³, Анзор Леонидович Болотоков⁴

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹kbr.apagev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

³batyrov.53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2183-4058>

⁴anzor.n@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-4072>

Аннотация. В статье проанализирована проблема снижения зависимости дизельных двигателей от нефтяных топлив и улучшения их показателей за счет использования альтернативных возобновляемых видов топлива. Показано, что на данном этапе развития отечественной альтернативной энергетики более рационально использование в двигателях внутреннего сгорания топлив растительного происхождения. Приведена процедура оптимизации состава трехкомпонентной биотопливной смеси, основанная на результатах исследования влияния ее использования в дизеле Д-240. Получены регрессионные уравнения зависимости свойств трехкомпонентных смесей от их состава и построены изолинии в барцентрических координатах треугольной диаграммы «состав – свойство». Установлено, что при изменении подачи трехкомпонентной биотопливной смеси мощность дизеля меняется от 31 до 55 кВт. При этом заметны существенные отличия в составах смесей при получении одного и того же диапазона мощности. Изменение соотношения этанола и воды на впуске и растительного масла в камеру сгорания меняет содержание окислов азота в отработавших газах дизеля в пределах от 1,32 до 1,95 мг/л. При подаче этанола и воды на впуске и растительного масла в камеру сгорания содержание в отработавших газах углеводородов изменяется от 0,01 до 0,1 мг/л. Анализ совместно нанесенных на симплекс изолиний показывает, что при мощности выше 45 кВт на мощностные и токсические показатели работы дизеля в первую очередь влияют окислы азота. Повышение допустимой концентрации окислов азота всего на 0,07 мг/л значительно увеличивает область получения мощности выше 45 кВт. Второй по степени жесткости наложения ограничений на получение больших мощностей, а, следовательно, и составу смесей, следует сажа. Область мощностей выше 45 кВт резко увеличивается при возрастании допустимой дымности отработавших газов с 0,21 до 0,27 мг/л.

Ключевые слова: дизельный двигатель, биотопливо, этанол, смесь, эффективность, отработавшие газы, дымность

Для цитирования. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Батыров В. И., Болотоков А. Л. Оптимизация состава трехкомпонентной биотопливной смеси // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 3(37). С. 102–111. doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-102-111

Original article

Optimization of the composition of a three-component biofuel mixture

Aslan K. Apazhev¹, Yuri A. Shekikhachev^{✉2}, Vladimir I. Batyrov³, Anzor L. Bolotokov⁴

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

¹kbr.apagev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

³batyrov.53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2183-4058>

⁴anzor.n@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-4072>

Abstract. The article analyzes the problem of reducing the dependence of diesel engines on petroleum fuels and improving their performance through the use of alternative renewable fuels. It is shown that at this stage of the development of domestic alternative energy, it is more rational to use vegetable fuels in internal combustion engines. A procedure for optimizing the composition of a three-component biofuel mixture based on the results of studying the effect of its use in the D-240 diesel engine is presented. Regression equations for the dependence of the properties of three-component mixtures on their composition are obtained and isolines are constructed in barycentric coordinates of the triangular diagram "composition – property". It has been established that when the supply of a three-component biofuel mixture is changed, the diesel power changes from 31 to 55 kW. At the same time, significant differences in the compositions of the mixtures are noticeable when obtaining the same power range. Changing the ratio of ethanol and water at the inlet and vegetable oil into the combustion chamber changes the content of nitrogen oxides in the exhaust gases of a diesel engine in the range from 1.32 to 1.95 mg/l. When ethanol and inlet water and vegetable oil are supplied to the combustion chamber, the content of hydrocarbons in the exhaust gases varies from 0.01 to 0.1 mg/l. An analysis of the isolines plotted together on the simplex shows that at a power above 45 kW, the power and toxic performance of a diesel engine are primarily affected by nitrogen oxides. Increasing the permissible concentration of nitrogen oxides by only 0.07 mg/l significantly increases the area for obtaining power above 45 kW. The second in terms of the severity of imposing restrictions on obtaining high powers, and, consequently, on the composition of mixtures, is carbon black. The power range above 45 kW sharply increases with an increase in the allowable opacity of exhaust gases from 0.21 to 0.27 mg/l.

Keywords: diesel engine, biofuel, ethanol, mixture, efficiency, exhaust gases, smoke

For citation. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I., Bolotokov A.L. Optimization of the composition of a three-component biofuel mixture. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;3(37):102–111. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-102-111

Введение. Одним из самых больших потребителей жидких нефтяных топлив являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Их массовое использование также явилось причиной значительного ухудшения экологического состояния окружающей среды. Как известно, выбросы вредных веществ от ДВС за год в среднем составляют 39% от всего объема вредных выбросов [1–3]. Поэтому на сегодняшний день ученые активно занимаются поиском альтернативных топлив для ДВС, которые можно использовать без внесения изменений в конструкцию дизельных двигателей (ДД) с целью улучшения их

технико-экономических и экологических показателей. С целью снижения зависимости ДД от нефтяных топлив и улучшения их показателей перспективно использование альтернативных возобновляемых видов топлива, которые могли бы частично, а в дальнейшем полностью, заменить традиционные топлива ископаемого происхождения [4–6].

Биотопливо (БТ) является одним из наиболее перспективных заменителей традиционного топлива на основе нефти. Сырьем для производства БТ могут быть различные растительные масла, в частности, доступны рапсовое и отработанное подсолнечное масло.

Физико-химические свойства БТ отличаются от ДТ, это приводит к отдельным особенностям протекания рабочих процессов двигателя, что, в свою очередь, влияет на технико-экономические и экологические показатели энергетических средств. Использование смеси БТ позволяет не только снизить количество вредных выбросов отработавших газов ДД, но и снизить расходы на топливо и зависимость от традиционных нефтяных топлив [7–10].

С учетом изложенного, установление оптимального состава трехкомпонентной смеси БТ является актуальной проблемой.

Цель исследования – установление оптимального состава трехкомпонентной биотопливной смеси.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования базируются на способах физического и математического моделирования, сравнения. Экспериментальные исследования влияния подачи этанола и воды по впускному трубопроводу, а рапсового масла в камеру сгорания на мощностные и экологические показатели дизеля Д-240М проведены на кафедре «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. Эксперименты планировались по симплекс-решетчатому плану Шеффе.

Результаты исследования. При изучении свойств смеси, зависящих только от концентрации ее компонентов, факторное пространство представляет собой правильный симплекс. В этом случае для любой точки области исследований должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1, x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, q, \quad (1)$$

где:

x_i – концентрация компонентов;

q – количество компонентов.

При планировании эксперимента для решения задач на диаграммах состав-свойство предполагается, что изучаемое свойство является непрерывной функцией аргументов и может быть с достаточной точностью представлено полиномом.

Поверхности отклика в многокомпонентных системах имеют, как правило, очень сложный характер. Для адекватного описа-

ния таких поверхностей необходимы полиномы высоких степеней и, следовательно, большое количество опытов. Обычный полином степени n от q переменных имеет

C_{q+n}^n коэффициентов:

$$Y = b_0 + \sum_{1 < i < q} b_i x_i + \sum_{1 < i < j < q} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 < i < j < k < q} b_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \sum_{1 < i_1 < i_2 < \dots < i_n < q} b_{i_1 i_2 \dots i_n} x_{i_1} x_{i_2} x_{i_3}, \quad (2)$$

где:

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijk}, b_{i_1 i_2 \dots i_n}$ – коэффициенты

полинома;

x_i, x_j, x_k – воздействующие факторы.

Свойства смесей следует описывать приведенными полиномами, получаемыми из выражения (2), с учетом условия нормированности суммы независимых переменных и содержащих значительно меньшее число коэффициентов, а, следовательно, минимальное количество экспериментальных точек.

Коэффициенты полиномов получают, используя свойство насыщенности плана: число экспериментальных точек в нем равно числу оцениваемых параметров в уравнении регрессии. В общем случае полином второй степени для трехкомпонентной смеси имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2. \quad (3)$$

Выражение (3) в приведенной форме с учетом условия $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ запишется следующим образом:

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3, \quad (4)$$

где:

$$\beta_1 = y_1, \beta_2 = y_2, \beta_3 = y_3,$$

$$\beta_{12} = 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2,$$

$$\beta_{13} = 4y_{13} - 2y_1 - 2y_3,$$

$$\beta_{23} = 4y_{23} - 2y_2 - 2y_3. \quad (5)$$

Приведенный полином неполного третьего порядка для трехкомпонентной смеси имеет вид:

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (6)$$

где:

$$\beta_{123} = 127y_{123} - 12(y_{12} + y_{13} + y_{23}) - 3(y_1 + y_2 + y_3). \quad (7)$$

После определения коэффициентов уравнения регрессии необходимо провести статистический анализ полученных результатов: проверить адекватность уравнения и построить доверительные интервалы значений отклика, предсказываемые по уравнению регрессии.

При одинаковом числе параллельных опытов на каждом сочетании уровней фактора воспроизводимость процесса проверяется по критерию Кохрена:

$$G = \frac{S_{u_{\max}}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G_{0,5;f_n;f_u}, \quad (8)$$

где:

$S_{u_{\max}}^2$ – наибольшая из дисперсий в строках плана;

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^m [(Y_i)_u - \bar{Y}_i]^2}{m} - \text{дисперсия, характеризующая рассеяние результатов опытов на сочетании } u \text{ уровней факторов;}$$

$G_{0,5;f_n;f_u}$ – табличное значение критерия Кохрена при 5%-ном уровне значимости;

$f_n = n$ – число независимых оценок дисперсии воспроизводимости процесса;

n – число параллельных опытов в каждой проверочной точке;

$f_u = m - 1$ – число степеней свободы каждой оценки;

$u = 1, 2, \dots, m$ – число параллельных опытов; i – количество опытов;

\bar{Y}_i – среднее значение в параллельных опытах.

Процесс считается воспроизводимым, если неравенство (8) выполняется. При этом дисперсия воспроизводимости определяется по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n S_u^2}{n}. \quad (9)$$

Проверку адекватности уравнения регрессии проводят в каждой контрольной точке. Для этого составляют отношение:

$$t = \frac{\Delta Y \sqrt{n}}{S_y \sqrt{1 + \zeta}}, \quad (10)$$

где:

$$\Delta Y = |Y_{\text{эксн}} - Y_{\text{расч}}|;$$

$S_y = \sqrt{S_y^2}$ – среднее квадратическое отклонение;

ζ – величина, зависящая только от состава смеси.

Величину t , распределенную по закону Стьюдента, сравнивают с табличным значением

$$t_{p/2k(f)},$$

где:

p – уровень значимости;

k – число проверочных точек;

f – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

Гипотеза об адекватности уравнения регрессии принимается, если $t_{\text{эксн}} < t_{\text{табл}}$ для всех контрольных точек.

Матрица плана Шеффе и условия проведения опытов для получения математической модели неполной третьей степени представлены в таблице 1.

Результаты опытов и значения дисперсий в экспериментальных точках приведены в таблице 2. В каждой точке плана Шеффе было реализовано по два параллельных опыта, среднее значение которых приведено в таблице 2.

Для дизеля Д-240 при подаче этилового спирта и воды на впуске, а рапсового масла – в камеру сгорания определены коэффициенты полиномов и получены следующие уравнения:

Таблица 1. Матрица плана Шеффе и условия опытов для получения математической модели неполной третьей степени
Table 1. Scheffe plan matrix and experimental conditions for obtaining a mathematical model of an incomplete third degree

Номер опыта	Индекс отклика	Матрица планирования			Состав смеси, %		
		x_1	x_2	x_3	PM	B	$ЭС$
1	Y_1	1	0	0	100	0	0
2	Y_2	0	1	0	50	50	0
3	Y_3	0	0	1	50	20	30
4	Y_{12}	1/2	1/2	0	75	25	0
5	Y_{13}	1/2	0	1/2	75	10	15
6	Y_{23}	0	1/2	1/2	50	35	15
7	Y_{123}	1/3	1/3	1/3	66,67	23,33	10

Примечание: PM – рапсовое масло; B – вода; $ЭС$ – этанол.

Таблица 2. Результаты опытов и значения дисперсий (S_u^2) в экспериментальных точках
Table 2. Experimental results and dispersion values (S_u^2) at experimental points

Номер опыта	Индекс отклика	Параметры оптимизации (в скобках S_u^2)				
		N_e , кВт	NO_x , мг/л	CH_x , мг/л	CO , мг/л	C , мг/л
1	Y_1	54,99 (0,0121)	2,715 (0,0256)	0,1444 (0,000161)	1,6954 (0,0025)	0,2900 (0,000225)
2	Y_2	28,43 (0,0121)	1,974 (0,0144)	0,0223 (0,000046)	0,0852 (0,00057)	0,1256 (0,00151)
3	Y_3	38,90 (0,0324)	1,778 (0,0484)	0,0322 (0,00176)	0,5113 (0,00176)	0,1080 (0,00160)
4	Y_{12}	33,27 (0,0324)	1,320 (0,0841)	0,0125 (0,000025)	0,2354 (0,00193)	0,0958 (0,000566)
5	Y_{13}	45,15 (0,0361)	1,564 (0,0074)	0,0361 (0,000038)	0,4821 (0,00302)	0,1953 (0,000581)
6	Y_{23}	50,15 (0,0400)	2,013 (0,01416)	0,0335 (0,000061)	0,4238 (0,00230)	0,2081 (0,00073)
7	Y_{123}	43,32 (0,0031)	1,539 (0,0164)	0,0341 (0,000020)	0,4754 (0,00291)	0,1729 (0,00040)

Примечание: N_e – эффективная мощность; NO_x – оксид азота; CH_x – углеводород; CO – окись углерода; C – сажа.

$$N_e = 54,99x_1 + 28,43x_2 + 38,9x_3 - 7,18x_1x_3 + 65,94x_2x_3 - 11,64x_1x_2x_3 \text{ (кВт);} \quad (11)$$

$$NO_x = 2,715x_1 + 1,974x_2 + 1,778x_3 - 4,098x_1x_2 - 2,73x_1x_3 + 0,548x_2x_3 - 2,19x_1x_2x_3 \text{ (мг/л);} \quad (12)$$

$$CH_x = 0,1444x_1 + 0,0223x_2 + 0,0322x_3 - 0,2834x_1x_2 - 0,2088x_1x_3 + 0,0250x_2x_3 + 0,8292x_1x_2x_3 \text{ (мг/л);} \quad (13)$$

$$CO = 1,6954x_1 + 0,0852x_2 + 0,5113x_3 - 2,6196x_1x_2 - 2,485x_1x_3 + 0,5022x_2x_3 + 6,0159x_1x_2x_3 \text{ (мг/л);} \quad (14)$$

$$C = 0,290x_1 + 0,1256x_2 + 0,1080x_3 - 0,4480x_1x_2 - 0,0148x_1x_3 + 0,3652x_2x_3 + 0,2487x_1x_2x_3 \text{ (мг/л)}. \quad (15)$$

Результаты статического анализа и проверки адекватности полученных уравнений приведены в таблице 3. Проверка показала, что

процесс воспроизводим, а полученные уравнения неполного третьего порядка адекватны.

Зависимости свойств трехкомпонентных смесей от их состава по уравнениям (11)-(15) показаны на рисунке 1 изолиниями в барицентрических координатах треугольной диаграммы «состав – свойство».

Таблица 3. Результаты статического анализа уравнений регрессии
Table 3. Results of static analysis of regression equations

Параметры	$G_{расч}$	$G_{табл}$	S_y^2	$Y_{эксп}$	$Y_{расч}$	$ \Delta Y $	ζ	$t_{эксп}$	$t_{табл}$
N_e	0,2422	0,5612	0,02358	43,32	43,11	0,210	0,53	1,564	2,365
NO_x	0,3997	0,5612	0,0306	1,539	1,327	0,212	0,53	1,398	2,365
CH_x	0,4248	0,5612	0,000054	0,0341	0,0451	0,011	0,53	1,711	2,365
CO	0,2014	0,5612	0,00214	0,4754	0,4721	0,0033	0,53	1,000	2,365
C	0,2851	0,5612	0,00080	0,1729	0,1587	0,0142	0,53	0,574	2,365

Анализ полученных диаграмм «состав – свойство» позволяет сделать вывод о сложности протекающих в цилиндрах дизеля процессах при изменении соотношений совместно подаваемых на впуске этанола и воды, а также рапсового масла. Так, при изменении подачи этанола и воды на впуске и РМ в камеру сгорания в кодовых переменных от 0 до 1 (рис. 1а) мощность дизеля меняется от 34 до 55 кВт. При этом можно отметить существенные отличия в составах смесей при получении одного и того же диапазона мощности.

Влияние подачи этанола и воды на впуске и РМ в камеру сгорания на содержание окислов азота (NO_x) в отработавших газах (OG) дизеля представлено на рис. 1б). Изменение соотношения подаваемых смесей меняет содержание NO_x в OG дизеля в пределах от 1,32 до 1,95 мг/л.

При подаче этанола и воды на впуске, а РМ – в камеру сгорания концентрация сажи в OG дизеля изменяется в пределах от 0,09 до 0,36 мг/л (рис. 1с).

При подаче этанола и воды на впуске и РМ – в камеру сгорания содержание в OG углеводов CH_x изменяется от 0,01 до 0,1 мг/л (рис. 1е).

Для определения оптимальных составов смесей этанола, воды и РМ, подаваемых в цилиндры дизеля, и их граничных значений, обуславливающих получение наилучших показателей по всем исследуемым параметрам работы дизеля, необходимо на один симплекс нанести изолинии равного выхода, ограничивающие оптимальные участки по всем полученным диаграммам «состав – свойство».

На рисунке 2 на симплекс нанесены граничные изолинии мощностных и токсических показателей работы дизеля. По мощности нанесена область значений более 45 кВт; по NO_x – изолинии, соответствующие концентрации 1,67 и 1,74 мг/л; по саже – изолинии, соответствующие 0,21 и 0,27 мг/л; по CO – 0,35 и 0,40 мг/л; по CH_x – 0,04 и 0,05 мг/л.

Анализ совместно нанесенных на симплекс изолиний показывает, что при мощности выше 45 кВт на размеры этой области в первую очередь влияют NO_x . Повышение допустимой концентрации NO_x всего на 0,07 мг/л значительно увеличивает область получения мощности выше 45 кВт. Второй по степени жесткости наложения ограничений на получение больших мощностей, а следовательно, и составу смесей следует сажа. Область мощностей выше 45 кВт резко увеличивается при возрастании допустимой дымности OG с 0,21 до 0,27 мг/л.

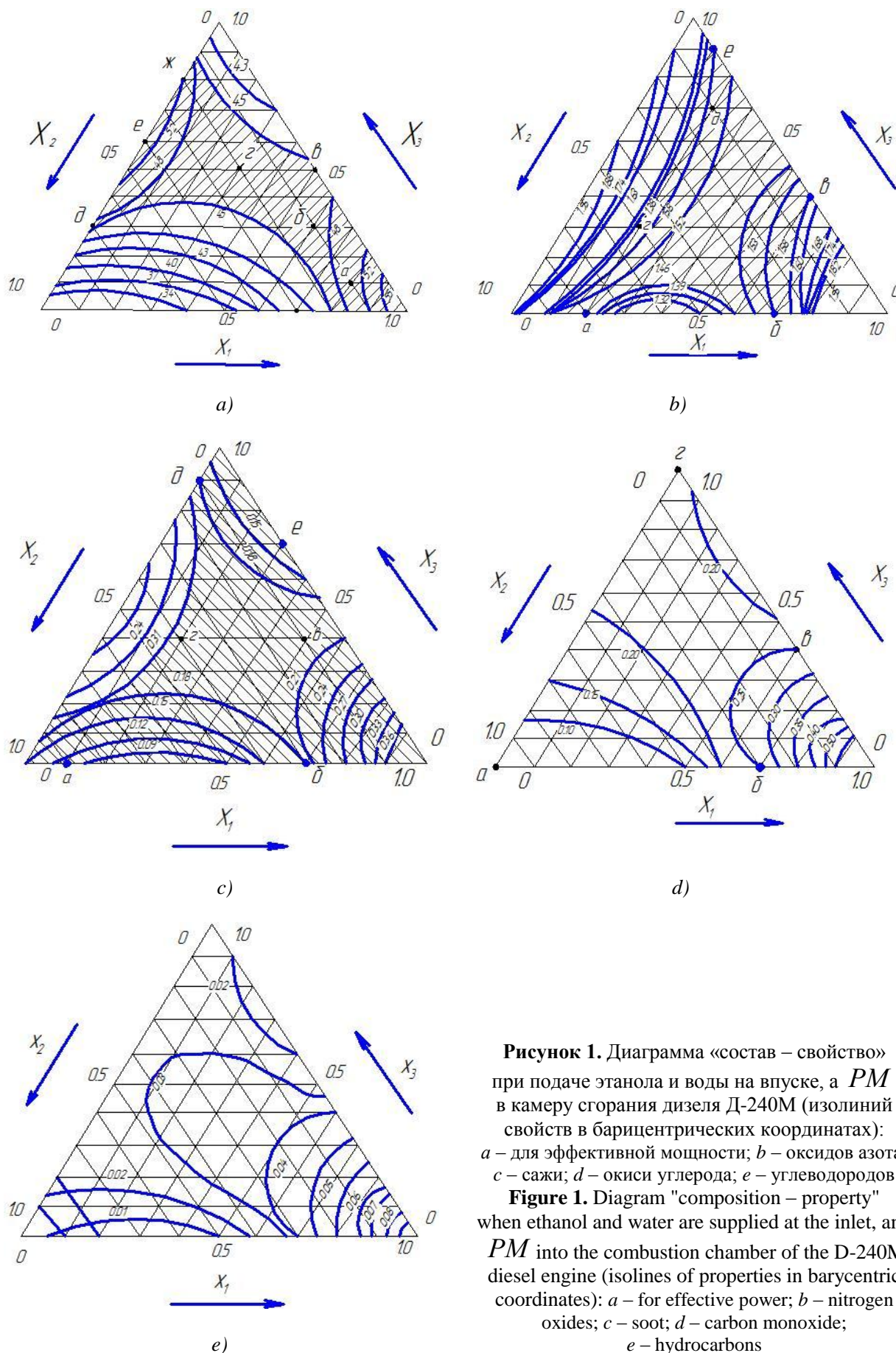


Рисунок 1. Диаграмма «состав – свойство» при подаче этанола и воды на впуск, а *PM* в камеру сгорания дизеля Д-240М (изолиний свойств в барицентрических координатах): *a* – для эффективной мощности; *b* – оксидов азота; *c* – сажи; *d* – окиси углерода; *e* – углеводородов

Figure 1. Diagram "composition – property" when ethanol and water are supplied at the inlet, and *PM* into the combustion chamber of the D-240M diesel engine (isolines of properties in barycentric coordinates): *a* – for effective power; *b* – nitrogen oxides; *c* – soot; *d* – carbon monoxide; *e* – hydrocarbons

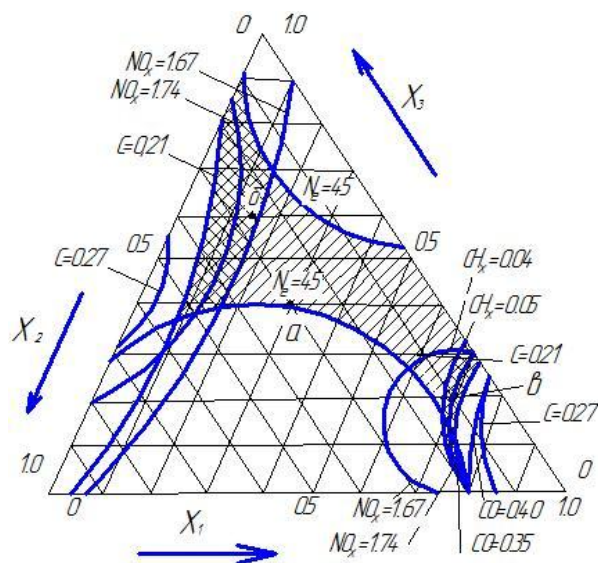


Рисунок 2. Ограничения, накладываемые по мощностным и токсическим показателям на состав смеси (в барицентрических координатах) при оптимизации подачи этанола и воды во впускной трубопровод, а *PM* в камеру сгорания дизеля Д-240М
Figure 2. Restrictions imposed on the composition of the mixture in terms of power and toxic indicators (in barycentric coordinates) when optimizing the supply of ethanol and water to the intake pipeline, and *PM* to the combustion chamber of the D-240M diesel

Меньшие ограничения на мощность дизеля накладывают требования по ограничению CO и CH_x в OG .

Выводы. 1. Планирование эксперимента с помощью симплекс-решетчатых планов Шеффе позволяет качественно решить задачу установления влияния подачи этанола, воды и *PM* на мощность и содержание в

OG дизеля основных токсичных компонентов и выбора наиболее приемлемых составов смесей.

2. С помощью полученных диаграмм состав-свойство можно прогнозировать содержание токсичных компонентов в OG и мощность дизеля в зависимости от состава композиционного биотоплива.

Список литературы

1. Девятин С. Н., Марков В. А., Коршунов Д. А. Использование смесевых биотоплив в дизелях // Сборник научных трудов по проблемам двигателестроения. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. С. 63–68.
2. Кириллов Н. Г. Альтернативные моторные топлива XXI века // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2003. № 3. С. 58–63.
3. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I. [et al.] Vegetal fuel as environmentally safe alternative energy source for Diesel engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 663(1). 012049. doi: 10.1088/1757-899X/663/1/012049.
4. Батыров В. И., Шекихачев Ю. А. Особенности перевода дизеля на работу на смеси дизельного и биодизельного топлива // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 4(30). С. 65–69.
5. Марков В. А., Девятин С. Н., Коршунов Д. А. Работа дизелей на растительных маслах // Грузовик. 2006. № 7. С. 33–46.
6. Марков В. А., Гайворонский А. И., Девятин С. Н. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля // Автомобильная промышленность. 2006. № 2. С. 1–3.
7. Семенов В. Г. Оптимизация состава бинарного альтернативного дизельного топлива // Химия и технология топлив и масел. 2003. Т. 39. № 4. С. 29–32.
8. Шекихачев Ю. А., Батыров В. И. Экономическое обоснование внутривозвратного производства и применение биотоплива на основе рапсового масла // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 1(31). С. 104–107.
9. Шекихачев Ю. А., Батыров В. И., Шекихачева Л. З. Использование биотоплива в качестве альтернативного источника энергии в сельском хозяйстве // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2019. № 2(24). С. 100–105.

10. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 81–89. doi: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-90-97.

References

1. Devyatin S.N., Markov V.A., Korshunov D.A. *Ispol'zovanie smesevykh biotopliv v dizelyah. Sbornik nauchnykh trudov po problemam dvigatelestroeniya* [The use of mixed biofuels in diesel engines] *Sbornik nauchnykh trudov po problemam dvigatelestroeniya*. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2005. P. 63–68. (In Russ.)
2. Kirillov N.G. *Al'ternativnye motornye topliva XXI veka* [Alternative motor fuels of the 21st century]. *Avtogazozapravochnyj kompleksy + al'ternativnoe toplivo*. 2003;(3):58–63. (In Russ.)
3. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Batyrov V.I. [et al.] Vegetal fuel as environmentally safe alternative energy source for Diesel engines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 663(1). 012049. doi: 10.1088/1757-899X/663/1/012049.
4. Batyrov V.I., Shekikhachev Yu.A. Regularities of transfer of a diesel to work on a mixture of diesel and biodiesel fuels. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;4(30):65–69. (In Russ.)
5. Markov V.A., Devyatin S.N., Korshunov D.A. The operation of diesel engines on vegetable oils. *Gruzovik*. 2006;(7):33–46. (In Russ.)
6. Markov V.A., Gajvoronskij A.I., Devyatin S.N. Rapeseed oil as an alternative diesel fuel. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2006;(2) :1–3. (In Russ.)
7. Semen V.G. Optimization of the composition of binary alternative diesel fuel. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2003;39(4):29–32. (In Russ.)
8. Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I. Economic justification of domestic production and application of biofuels based on rape seed oil. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;1(31):104–107. (In Russ.)
9. Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I., Shekikhacheva L.Z. Use of biofuel as the alternative energy source in agriculture. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2019. № 2(24). S. 100–105. (In Russ.)
10. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Optimizing the functioning of agricultural production systems. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):81–89. doi: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-90-97. (In Russ.)

Сведения об авторах

Апажев Аслан Каральбиевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Батыров Владимир Исмелович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технического обслуживания и ремонта машин в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1074-2232, Author ID: 270325, Scopus ID: 57214136440

Болотоков Анзор Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технического обслуживания и ремонта машин в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 7116-4270, Author ID: 751712, Scopus ID: 57214128830

Information about the authors

Aslan K. Apazhev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Yuri A. Shekikhachev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Vladimir I. Batyrov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Maintenance and Repair of Machines in the Agroindustrial Complex, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1074-2232, Author ID: 270325, Scopus ID: 57214136440

Anzor L. Bolotokov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Maintenance and Repair of Machines in the Agroindustrial Complex, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 7116-4270, Author ID: 751712, Scopus ID: 57214128830

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 25.07.2022;
одобрена после рецензирования 22.08.2022;
принята к публикации 25.08.2022.*

*The article was submitted 25.07.2022;
approved after reviewing 22.08.2022;
accepted for publication 25.08.2022.*