

Показатели токсичности отработавших газов дизельного двигателя, работающего на многокомпонентных смесевых биотопливах

В.А. Марков, д-р техн. наук, профессор¹

С.Н. Девянин, заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор²

В.В. Неверова, канд. техн. наук, доцент¹

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

²Российский государственный аграрный университет- МСХА имени К.А. Тимирязева

e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

Ключевые слова:

дизельный двигатель,
камера сгорания,
нефтяное дизельное топливо,
рапсовое масло,
метиловый эфир рапсового масла,
бензин,
смесевое биотопливо,
экологические характеристики,
токсичность отработавших газов.

Показаны преимущества использования в дизельных двигателях многокомпонентных смесевых биотоплив – смесей нефтяного дизельного топлива с рапсовым маслом, метиловым эфиром рапсового масла и автомобильным бензином. Представлены результаты экспериментальных исследований транспортного дизеля типа Д-245.12С на этих топливах. Предложена методика определения оптимального состава многокомпонентных биотоплив. С использованием предложенной методики проведены оптимизационные расчеты состава таких топлив. Показано, что среди исследуемых биотоплив наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь, содержащая 80% нефтяного дизельного топлива, 10% рапсового масла и 10% автомобильного бензина.

1. Альтернативные биотоплива для транспорта

Неизбежное истощение мировых запасов нефти и других полезных ископаемых, постоянно возрастающий спрос на моторные топлива и необходимость удовлетворения всё более жестких требований к показателям токсичности отработавших газов (ОГ) автомобильных двигателей вынуждают двигателестроителей вести интенсивные поиски альтернативных энергоносителей для транспорта [1, 2]. В ряде стран для автомобильной техники уже достаточно широко применяются такие альтернативные топлива, как природный газ, сжиженный углеводородный газ (пропан-бутановые смеси), биотоплива (биодизельное топливо, биоэтанол). Проводятся исследования и по другим альтернативным топливам (синтетические топлива из различных сырьевых ресурсов, эфиры, газообразный и сжиженный водород, биогаз).

Среди альтернативных топлив наиболее привлекательны биотоплива, поскольку сырьевые ресурсы для

их получения являются практически неисчерпаемыми. Моторные биотоплива находят все более широкое применение на транспорте, а также в сельском хозяйстве и в стационарных энергетических установках. При этом для легковых автомобилей, оснащенных двигателями с искровым зажиганием, наибольшее использование в качестве топлива получил биоэтанол, а для транспортных средств с дизелями — топлива, получаемые из растительных масел и животных жиров. Моторные топлива вырабатывают из различных растительных масел, но для условий средней полосы России наиболее привлекательны топлива, производимые с использованием рапсового масла (РМ) [3]. К топливам, получаемым из растительных масел, относятся чистые растительные масла, их эфиры (например, метиловый эфир рапсового масла — МЭРМ), смеси масел и их эфиров с нефтяными и альтернативными топливами, микроэмульсии на основе растительных масел, воды, спиртов или других альтернативных топлив [3, 4].

2. Свойства биотоплив, получаемых с использованием рапсового масла

Многочисленные публикации подтверждают возможность использования в качестве топлива для дизелей чистых растительных масел, а также их смесей с нефтяными и альтернативными топливами [3, 5, 6]. Однако широкое применение этих топлив сдерживается отличиями их свойств от свойств традиционных нефтяных дизельных топлив (ДТ). Эти отличия оказывают заметное влияние на параметры процесса топливоподачи, приводя к трансформации характеристик впрыскивания и распыливания этих топлив, последующих процессов смесеобразования и сгорания, показателей топливной экономичности и токсичности ОГ дизеля [3]. В частности, при его работе на растительных маслах наблюдается увеличение длины струй распыливаемого топлива и уменьшение угла их конуса, часть топлива может попадать на стенки камеры сгорания, что приводит к недогоранию части топлива. Отмечается ухудшение показателей мелкости распыливания. Все эти факторы приводят к неравномерному распределению топлива по объему камеры сгорания и ухудшению качества процессов смесеобразования и сгорания. Поэтому целесообразна реализация мероприятий, улучшающих эти процессы при работе дизеля на растительных маслах и их производных.

Одной из наиболее острых проблем использования растительных масел в качестве топлива для дизелей является их повышенная вязкость. В частности, вязкостно-температурные характеристики, представленные на рис. 1, а, свидетельствуют о том, что

при нормальной температуре ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) вязкость РМ на порядок выше, чем у нефтяного ДТ [4]. В проведенных исследованиях использовалось ДТ марки «З» по ГОСТ 305–82 и РМ отечественного производства, имеющие кинематическую вязкость соответственно $\nu_t = 2,37$ и $75\text{ мм}^2/\text{с}$ (табл. 1). Существенно меньшей вязкостью обладают смеси растительных масел с нефтяным ДТ. Так, по данным [3] вязкость смеси, содержащей 80% ДТ (по объему) и 20% РМ при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $\nu_t = 9\text{ мм}^2/\text{с}$ (рис. 1, а). Но и такая вязкость заметно превышает вязкость нефтяного ДТ (в соответствии с ГОСТ 305–82 вязкость летнего ДТ составляет $\nu_t = 3\text{--}6\text{ мм}^2/\text{с}$).

Эффективным способом улучшения качества процессов распыливания топлива, смесеобразования и сгорания является приближение свойств биотоплив к свойствам нефтяного ДТ. Но при использовании лишь двух компонентов смесевых биотоплив (например, нефтяного ДТ и РМ) возможности этого способа ограничены. Применение большего числа компонентов, имеющих различные физико-химические свойства, например, ДТ, РМ и МЭРМ, позволяет целенаправленно воздействовать на указанные свойства путем оптимизации состава биотоплива. Как следует из данных табл. 1, использование многокомпонентных биотоплив позволяет обеспечить приближение свойств этих топлив к свойствам нефтяного ДТ. В частности исследуемые ниже биотоплива (смеси ДТ, РМ и МЭРМ) имеют вязкость, близкую к вязкости летнего ДТ по ГОСТ 305–82 ($\nu_t = 3\text{--}6\text{ мм}^2/\text{с}$, см. рис. 1, б).

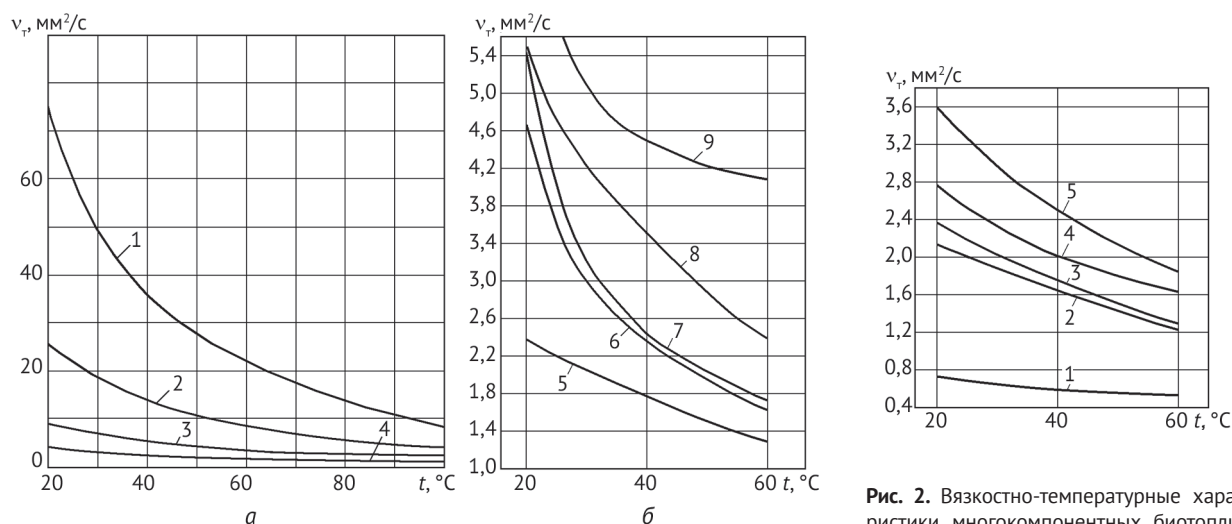


Рис. 1. Вязкостно-температурные характеристики двухкомпонентных (а) и многокомпонентных (б) смесевых биотоплив:

1 – РМ; 2 – 50% ДТ и 50% РМ; 3 – 80% ДТ и 20% РМ; 4 и 5 – ДТ; 6 – 90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ; 7 – 80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ; 8 – 60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ; 9 – МЭРМ

Рис. 2. Вязкостно-температурные характеристики многокомпонентных биотоплив с добавкой бензина АИ-80

1 – АИ-80; 2 – 85% ДТ, 5% РМ и 10% АИ-80; 3 – ДТ; 4 – 80% ДТ, 10% РМ и 10% АИ-80; 5 – 70% ДТ, 20% РМ и 10% АИ-80

Следует отметить, что многокомпонентные смеси биотоплива, полученные путем смешивания нефтяного ДТ с РМ и МЭРМ, имеют плотность и вязкость, все же большие, чем у нефтяного ДТ. Поэтому физические свойства указанных смесей также несколько отличаются от свойств ДТ. Максимальное приближение этих свойств к свойствам нефтяного ДТ может быть достигнуто путем добавления в биотоплива легких нефтяных или альтернативных топлив (легких углеводородов, газовых конденсатов, диметилового эфира). Такая добавка позволяет существенно снизить

вязкость многокомпонентного биотоплива. При этом в качестве маловязкого топлива желательно выбрать бензин, имеющий сравнительно высокое (по сравнению с другими бензинами) цетановое число (например, бензин АИ-80 с цетановым числом, равным 20). Работоспособность дизелей при добавлении бензина в топлива с более тяжелым фракционным составом подтверждена рядом исследований дизелей, работающих не только с добавками бензина в ДТ, но и на чистом бензине [3]. Данные рис. 1, б, рис. 2 и табл. 1 и 2 подтверждают возможность получения вязкостно-температурных харак-

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Свойства	Топлива					
	ДТ	РМ	МЭРМ	90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ
Плотность при 20 °С, кг/м ³	805	913	877	815	821	840
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	2,37	75,0	8,0	4,661	5,421	5,477
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	30,7	–	–	–
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 500	37 300	37 800	42 000	41 500	40 500
Цетановое число	45	36	48	–	–	–
Температура самовоспламенения, °С	250	318	230	–	–	–
Температура помутнения, °С	–25	–9	–13	–	–	–
Температура застывания, °С	–35	–20	–21	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,5	12,6	14,2	14,0	13,6
Содержание, % по массе						
С	87,0	77,0	77,6	86,0	85,1	83,1
Н	12,6	12,0	12,2	12,6	12,5	12,4
О	0,4	11,0	10,2	1,4	2,4	4,5
Общее содержание серы, % по массе	0,20	0,002	0,002	0,18	0,16	0,12
Коксуемость 10 %-ного остатка, % по массе	0,2	0,4	0,3	–	–	–

Примечание: «–» – свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов.

Таблица 2

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Свойства	Топлива						
	ДТ	РМ	АИ-80	80% ДТ и 20% РМ*	85% ДТ, 5% РМ и 10% АИ-80	80% ДТ, 10% РМ и 10% АИ-80	70% ДТ, 20% РМ и 10% АИ-80
Плотность при 20 °С, кг/м ³	805	913	756	848	807	815	823
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	2,37	75,0	0,73	9,0	2,127	2,771	3,599
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	22,0	–	–	–	–
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 500	37 300	44 000	41 500	42 400	42 000	41 500
Цетановое число	45	36	20	–	–	–	–
Температура самовоспламенения, °С	250	318	400	–	–	–	–
Температура помутнения, °С	–25	–9	–	–	–	–	–
Температура застывания, °С	–35	–20	–55	–	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,5	14,8	14,0	14,3	14,2	14,0
Содержание, % по массе							
С	87,0	77,0	85,5	85,0	86,4	85,9	84,9
Н	12,6	12,0	14,5	12,5	12,8	12,7	12,6
О	0,4	11,0	0,0	2,5	0,8	1,4	2,5
Общее содержание серы, % по массе	0,20	0,002	0,05	0,16	0,175	0,165	0,145

Примечание: «–» – свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов; * – по данным работы [3].

теристик смесевых биотоплив, максимально приближенных к аналогичным характеристикам нефтяного ДТ. В частности, кинематическая вязкость при $t = 20^\circ\text{C}$ исследуемого ниже ДТ составляет $\nu = 2,37 \text{ мм}^2/\text{с}$, а аналогичная вязкость смеси 85% ДТ, 5% РМ и 10% АИ-80 равна $\nu = 2,127 \text{ мм}^2/\text{с}$.

3. Экспериментальные исследования смесей дизельного топлива с рапсовым маслом и метиловым эфиром рапсового масла

Оценка влияния состава многокомпонентных биотоплив на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ проведена с использованием результатов испытаний дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) производства Минского моторного завода (ММЗ). Исследуемый четырехцилиндровый дизель с турбонаддувом имел рабочий объем $iV = 4,32 \text{ л}$, степень сжатия $\epsilon = 16$, мощность $N_e = 80 \text{ кВт}$ при частоте вращения коленчатого вала $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. В этом дизеле с полуразделенной камерой сгорания типа ЦНИДИ организовано объемно-пленочное (пристеночное) смесеобразование с частичным попаданием топливного факела на горячие боковые стенки камеры в поршне, прилегающие к горловине. Дизель оснащен топливной аппаратурой разделенного типа, включающей рядный топливный насос высокого давления (ТНВД) типа *PP4M10U1f* фирмы *Motorpal* и форсунки типа *DOP 119S534* фирмы *Motorpal* с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_p = 0,34 \text{ мм}$ и проходным сечением $\mu_p f_p = 0,250 \text{ мм}^2$. Форсунки были отрегулированы на давление начала впрыскивания $p_{\text{фо}} = 21,5 \text{ МПа}$. Более подробное описание параметров исследуемого дизеля приведены в работе [3].

Дизель Д-245.12С испытан на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ) и 13-режимного испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН (нормы *ECE R49*) с установочным углом опережения впрыскивания топлива $\theta = 13^\circ$ поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки и неизменным положением упора дозирующей рейки ТНВД. Дымность ОГ измерялась дымомером *МК-3* фирмы *Hartridge* (Великобритания) с погрешностью измерения $\pm 1\%$, концентрации NO_x , CO , CH_x в ОГ — газоанализатором *SAE-7532* японской фирмы *Yanaco* с погрешностями измерения $\pm 1\%$.

На первом этапе исследований проведены испытания дизеля на режимах ВСХ на нефтяном ДТ, а также на смеси 90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ (смесь № 1), смеси 80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ (смесь № 2), и смеси 60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ (смесь № 3), свойства которых приведены на рис. 1, б и в табл. 1. При испытаниях дизеля на режимах ВСХ отмечено небольшое увеличение часового расхода топлива G_T (рис. 3). В то же время, из-за наличия в молекулах РМ

и МЭРМ атомов кислорода при работе на многокомпонентных биотоплива коэффициент избытка воздуха α изменился незначительно, но теплотворная способность этих топлив была несколько ниже теплотворной способности нефтяного ДТ (см. табл. 1). В результате, при использовании биотоплив удельный эффективный расход топлива g_e оказался выше, чем при работе на нефтяном ДТ. Но при этом снижение эффективного КПД дизеля η_e на этих режимах не превысило 1%, а при работе на смеси № 3 значение η_e даже несколько повысилось (табл. 3). При работе на биотопливах из-за увеличения удельного эффективного расхода топлива g_e мощностные показатели дизеля (крутящий момент M_e и эффективная мощность N_e) несколько снизились (см. рис. 3 и табл. 3). Причем, использование биотоплив сопровождалось заметным уменьшением дымности ОГ.

Экспериментальные исследования дизеля на режимах 13-режимного цикла показали, что использование многокомпонентных биотоплив на указанных режимах привело к незначительному изменению часового расхода топлива G_T (рис. 4, а). Вид топлива оказывает влияние на концентрацию в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (рис. 4, б), но это влияние не очень значительное. От вида топлива зависит и содержание в ОГ монооксида углерода C_{CO} (рис. 4, в). Причем, наименьшие концентрации C_{CO} имели место при работе на смесях № 1 и № 2. Вид топлива оказывает влияние и на концентрацию в ОГ несгоревших углеводородов C_{CH_x} (рис. 4, г). При этом наименьшие концентрации C_{CH_x} также получены при работе на смесях № 1 и № 2.

По приведенным на рис. 4 характеристикам часового расхода топлива G_T и содержания в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксидов азота NO_x , монооксида углерода CO , несгоревших углеводородов CH_x) с использованием общепринятых методик [3] рассчитаны интегральные показатели дизеля на режимах 13-режимного цикла. Приведенные в табл. 3 данные подтверждают возможность улучшения показателей токсичности ОГ дизеля при его переводе с нефтяного ДТ на многокомпонентные биотоплива. Причем, наилучшее сочетание показателей токсичности ОГ получено при использовании смесей № 1 и № 2.

4. Экспериментальные исследования смесей дизельного топлива с рапсовым маслом и бензином

Как отмечено выше, для снижения вязкости и плотности растительных масел и их смесей с нефтяным ДТ целесообразно добавлять в них маловязкие компоненты, в частности бензин. В проведенных экспериментальных исследованиях использованы многокомпонентные смесевые биотоплива следующих

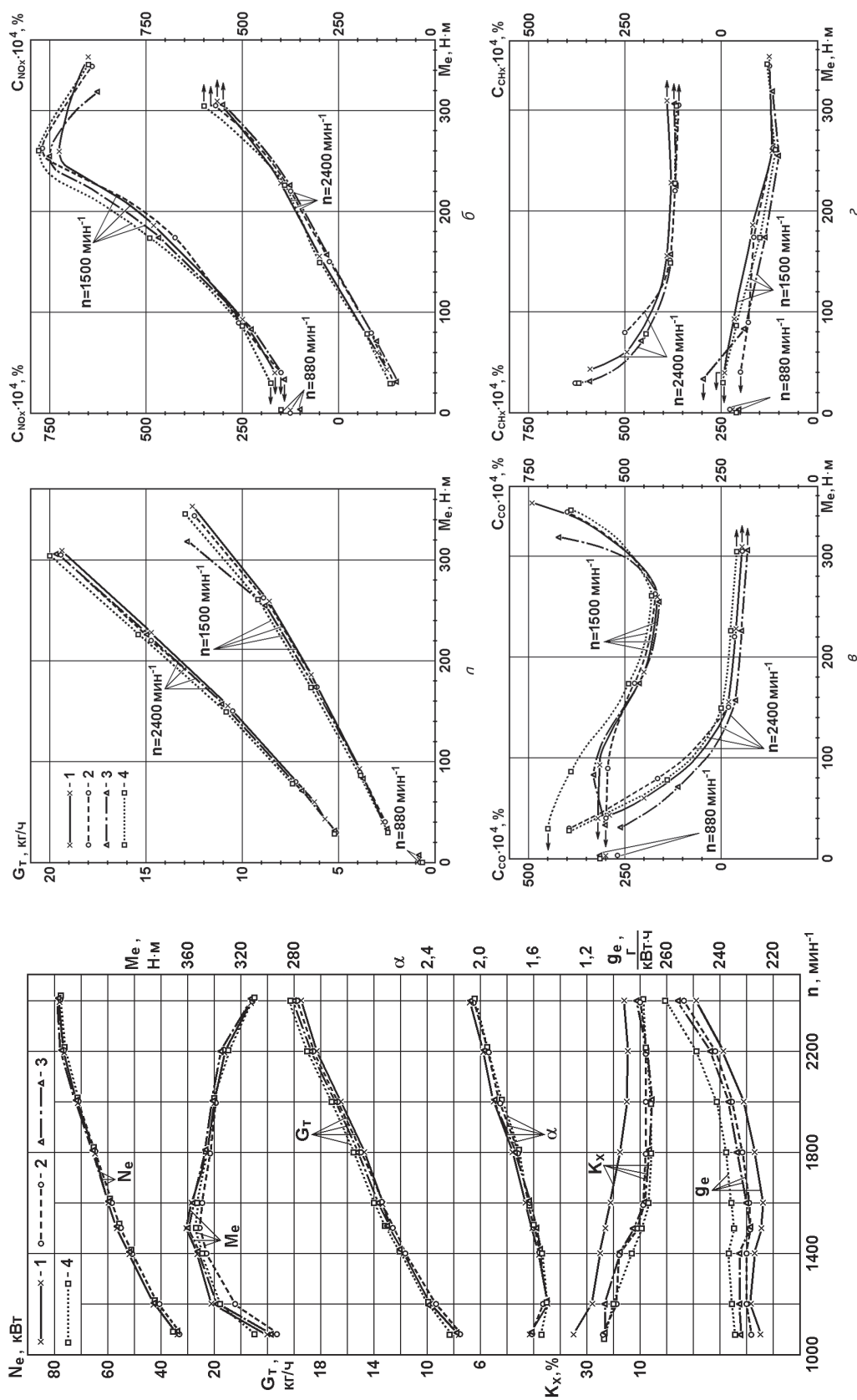


Рис. 3. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива $G_{пр}$, коэффициента избытка воздуха α , дымности K_x и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля типа Д-245.12С на режимах ВСХ: 1 – ДТ; 2 – смесь №1 (90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ); 3 – смесь №2 (80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ); 4 – смесь №3 (60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ)

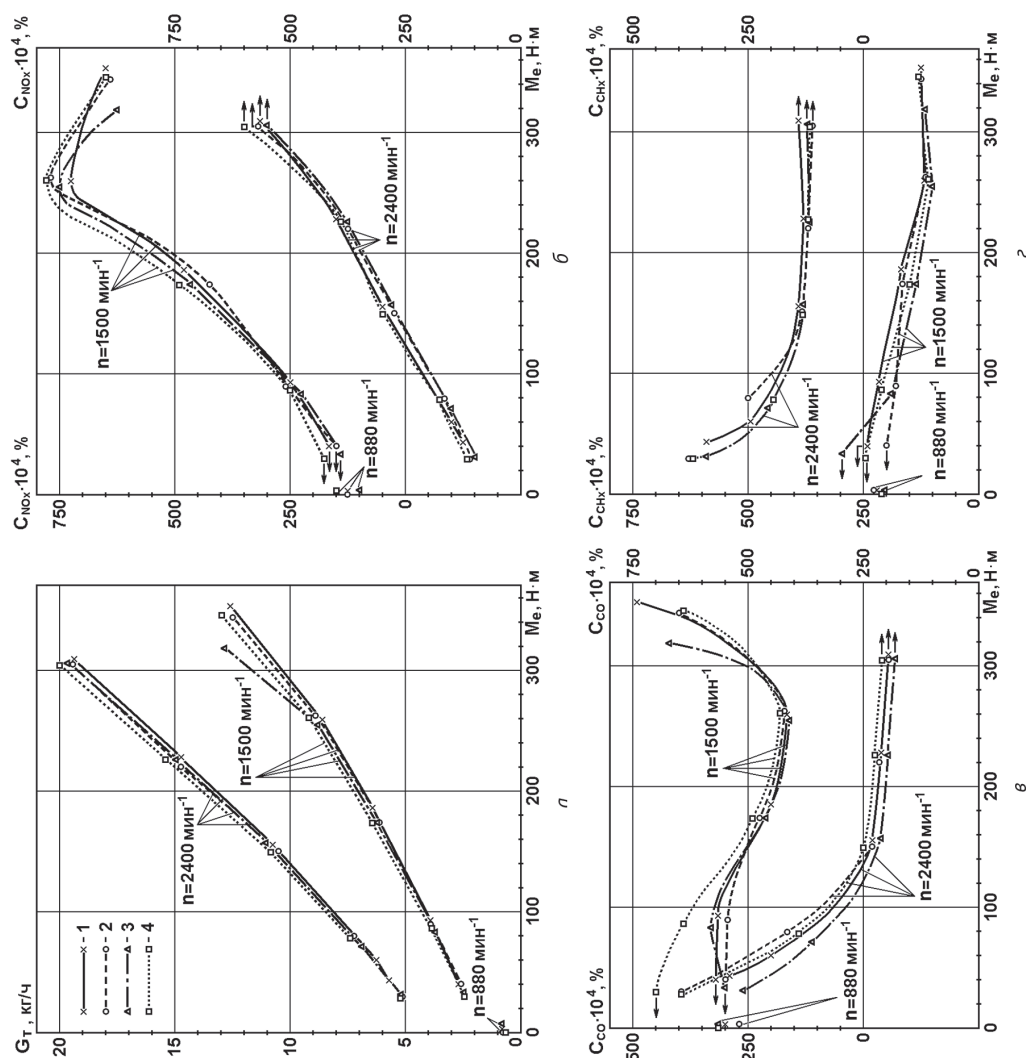


Рис. 4. Зависимость часового расхода топлива $G_{пр}$ (а), объемных концентраций в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и несгоревших углеводородов C_{CH_x} (г) от частоты вращения n и крутящего момента M_e дизеля типа Д-245.12С: 1 – ДТ; 2 – смесь №1 (90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ); 3 – смесь №2 (80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ); 4 – смесь №3 (60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ)

составов — смеси 85% ДТ, 5% РМ и 10% бензина АИ-80 (смесь № 1), 80% ДТ, 10% РМ и 10% АИ-80 (смесь № 2) и 70% ДТ, 20% РМ и 10% АИ-80 (смесь № 3). Свойства этих смесей приведены на рис. 2 и в табл. 2.

Для оценка влияния состава указанных биотоплив на показатели дизеля типа Д-245.12С проведены его экспериментальные исследования. На первом этапе этих исследований проведены испытания на режимах ВСХ. Поскольку исследуемые биотоплива имели физические свойства, близкие к свойствам нефтяного ДТ, при испытаниях отмечена сравнительно слабая зависимость часового расхода топлива G_T от вида топлива (рис. 5 и табл. 4).

При работе на многокомпонентных биотопливах отмечена тенденция некоторого увеличения коэффициента избытка воздуха α , но при этом теплотворная способность многокомпонентных биотоплив была ниже теплотворной способности ДТ (см. табл. 2). Это привело к тому, что при использовании этих биотоплив удельный эффективный расход топлива g_e оказался несколько выше, чем при работе на ДТ. Но при этом снижение эффективного КПД дизеля η_e на этих режимах не превысило 1,8% (табл. 4). При работе на многокомпонентных биотопливах из-за увеличения удельного эффективного расхода топлива g_e крутящий момент M_e и эффективная мощность дизеля N_e несколько снизились (см. рис. 5 и табл. 4), но было отмечено заметное уменьшение дымности ОГ.

Результаты испытаний дизеля типа Д-245.12С на режимах 13-режимного цикла показаны на рис. 6. Использование рассматриваемых многокомпонентных биотоплив не приводило к значительному изменению часового расхода топлива G_T . Лишь при работе на смеси №2 отмечено снижение расхода на величину до 4% (рис. 6, а и табл. 4). При использовании этих биотоплив отмечена тенденция снижения содержания в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (рис. 6, б), обусловленная, в основном, улучшением качества процесса смесеобразования. От типа топлива зависит и содержание в ОГ монооксида углерода C_{CO} (рис. 6, в). Причем, наименьшие концентрации C_{CO} отмечены при работе на смеси № 1. Отмечена также тенденция к увеличению концентрации в ОГ несгоревших углеводородов C_{CH_x} (рис. 6, г), вызванная наличием в исследуемых смесях легких бензиновых фракций с температурами выкипания $t=40-160$ °С, которые отсутствуют в нефтяном ДТ. Легкие углеводороды этих фракций, не сгорающие полностью в камере сгорания дизеля, и дают отмеченный рост C_{CH_x} .

С использованием приведенных на рис. 6 характеристик часового расхода топлива G_T и концентраций в ОГ нормируемых токсичных компонентов рассчитаны условные (средние) показатели топливной эко-

номичности и интегральные показатели токсичности ОГ исследуемого дизеля на режимах 13-режимного цикла. Приведенные в табл. 4 данные свидетельствуют о том, что использование рассматриваемых смесевых биотоплив позволяет улучшить экологические показатели исследуемого дизеля, в первую очередь — снизить дымность ОГ.

5. Методика оптимизации состава многокомпонентных биотоплив

Проведенные исследования работы дизеля типа Д-245.12С на различных многокомпонентных биотопливах подтвердили необходимость оптимизации состава этих топлив. Анализ показал, что задача выбора оптимального состава смесевых топлив достаточно сложна и не имеет однозначного решения. Это обусловлено тем, что работа дизеля характеризуется целым комплексом показателей (критериев) топливной экономичности и токсичности ОГ. Требования к выбору оптимального по данным критериям состава топлива часто противоречат друг другу. В результате задача выбора оптимального состава топлива становится многокритериальной оптимизационной задачей [7].

Известны различные методики решения многокритериальных задач оптимизации, которые классифицируются в зависимости от числа оптимизируемых параметров, количества критериев оптимальности, особенностей их задания и определения степени их значимости. Наиболее известными методиками являются оптимизация иерархической последовательности частных критериев, определение решения, основанное на том или ином виде компромисса, определение множества неулучшаемых точек [8, 9]. Разработаны и методики многокритериальной оптимизации различных параметров ДВС [7, 10, 11, 12]. Применительно к задаче оптимизации состава смесевое топлива можно использовать методики, приведенные в [13, 14, 15]. Они основаны на одном из наиболее эффективных методов оптимизации — методе свертки, при котором обобщенный критерий оптимальности формируется в виде суммы частных критериев. В частности, в [13] предложена методика оптимизации состава смесевое топлива — смесей нефтяного дизельного топлива с рапсовым маслом, построенная на составлении обобщенного аддитивного критерия оптимальности в виде суммы

$$J_o = a_{\eta_e} J_{\eta_e} + a_{NO_x} J_{NO_x} + a_{CO} J_{CO} + a_{CH_x} J_{CH_x}, \quad (1)$$

где: J_{η_e} , J_{NO_x} , J_{CO} , J_{CH_x} — частные критерии оптимальности соответственно по топливной экономичности (эффективному КПД η_e), выбросам NO_x , CO ,

Таблица 3

Показатели дизеля типа Д-245.12С при работе на исследуемых топливах

Показатели	Состав топлива			
	ДТ	90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ (смесь № 1)	80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ (смесь № 2)	60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ (смесь № 3)
Часовой расход топлива G_t , кг/ч:				
• на режиме максимальной мощности	19,50	19,79	19,98	20,27
• на режиме максимального крутящего момента	12,70	12,60	12,99	13,09
Крутящий момент дизеля M_e , Н·м:				
• на режиме максимальной мощности	312	311	312	310
• на режиме максимального крутящего момента	361	351	360	354
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч):				
• на режиме максимальной мощности	249,0	253,6	255,7	260,5
• на режиме максимального крутящего момента	224,3	228,7	229,4	234,8
Эффективный КПД дизеля η_e :				
• на режиме максимальной мощности	0,340	0,338	0,339	0,341
• на режиме максимального крутящего момента	0,378	0,375	0,378	0,379
Дымность ОГ K_x , % по шкале Хартриджа:				
• на режиме максимальной мощности	16,0	10,0	11,0	9,0
• на режиме максимального крутящего момента	23,0	11,0	12,5	9,5
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-режимного цикла:				
• эффективный расход топлива $g_{e\text{ усл}}$, г/(кВт·ч)	247,89	251,72	253,89	260,51
• эффективный КПД $\eta_{e\text{ усл}}$	0,342	0,341	0,342	0,341
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-режимного цикла, г/(кВт·ч):				
• оксиды азота e_{NO_x}	6,862	6,875	6,662	7,182
• монооксид углерода e_{CO}	2,654	2,489	2,496	2,662
• несгоревшие углеводороды e_{CH_x}	0,719	0,687	0,677	0,690

Таблица 4

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на исследуемых топливах

Показатели	Состав топлива			
	ДТ	85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80 (смесь № 1)	80% ДТ, 10% РМ, 10% АИ-80 (смесь № 2)	70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80 (смесь № 3)
Часовой расход топлива G_t , кг/ч:				
• на режиме максимальной мощности	19,70	19,65	19,69	19,94
• на режиме максимального крутящего момента	13,72	13,53	13,14	13,74
Крутящий момент дизеля M_e , Н·м:				
• на режиме максимальной мощности	317	314	309	311
• на режиме максимального крутящего момента	368	359	342	359
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч):				
• на режиме максимальной мощности	246,8	249,2	253,8	254,6
• на режиме максимального крутящего момента	222,6	225,5	228,9	228,4
Эффективный КПД дизеля η_e :				
• на режиме максимальной мощности	0,343	0,341	0,338	0,341
• на режиме максимального крутящего момента	0,381	0,377	0,374	0,380
Дымность ОГ K_x , % по шкале Хартриджа:				
• на режиме максимальной мощности	14,5	14,0	9,0	12,5
• на режиме максимального крутящего момента	20,0	17,0	10,0	14,5
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-режимного цикла:				
• эффективный расход топлива $g_{e\text{ усл}}$, г/(кВт·ч)	243,24	245,53	253,93	249,95
• эффективный КПД $\eta_{e\text{ усл}}$	0,348	0,346	0,338	0,347
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-режимного цикла, г/(кВт·ч):				
• оксиды азота e_{NO_x}	6,630	6,451	6,689	6,154
• монооксид углерода e_{CO}	2,210	2,123	2,509	2,313
• несгоревшие углеводороды e_{CH_x}	0,580	0,663	0,899	0,722

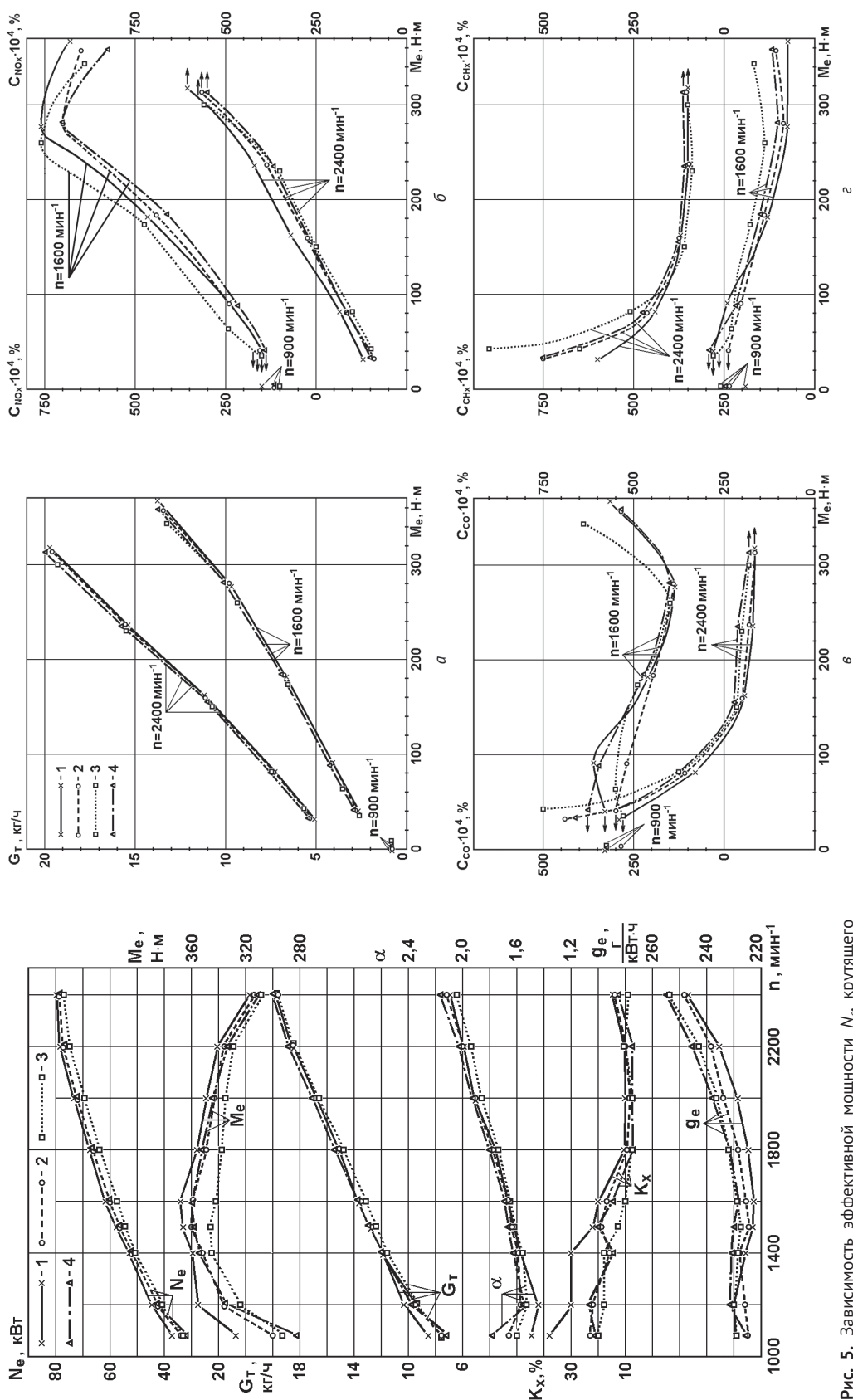


Рис. 5. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива G_T , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_x и удельного эффективного расхода топлива g_e , от частоты вращения n колчатого вала дизеля типа Д-245.12С на режимах ВСХ: 1 – ДТ; 2 – смесь № 1 (85% ДТ, 5% РМ и 10% АИ-80); 3 – смесь № 2 (80% ДТ, 10% РМ и 10% АИ-80); 4 – смесь № 3 (70% ДТ, 20% РМ и 10% АИ-80)

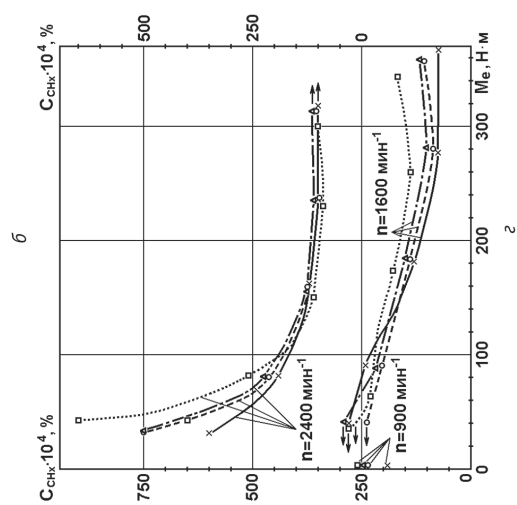
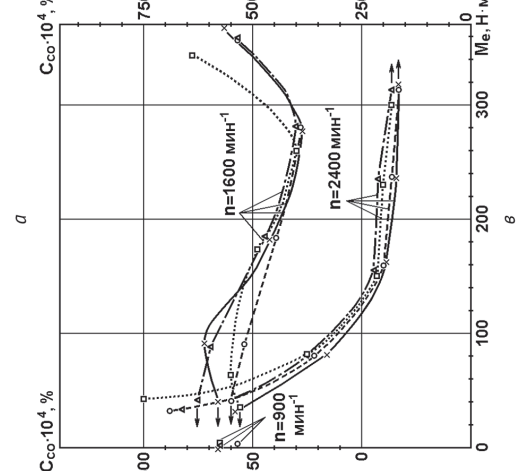
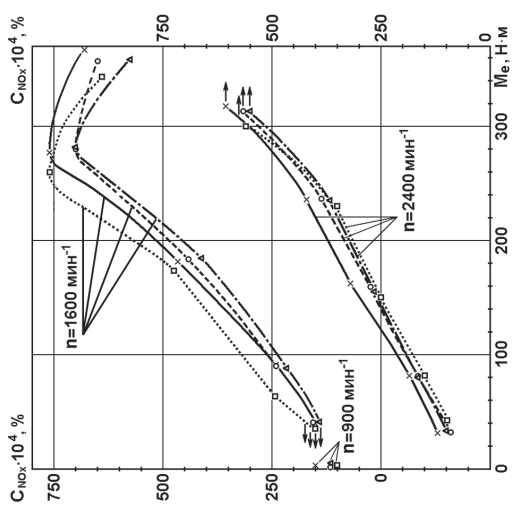
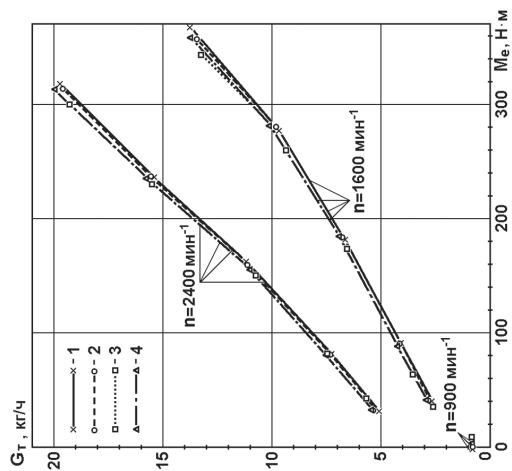


Рис. 6. Зависимость часового расхода топлива G_T , (*a*), объемных концентраций в ОГ оксидов азота C_{NO_x} , (*b*), монооксида углерода C_{CO} (*c*) и несгоревших углеводородов C_{CH_x} (*d*) от частоты вращения n и крутящего момента M_e дизеля типа Д-245.12С: 1 – ДТ; 2 – смесь № 1 (85% ДТ, 5% РМ и 10% АИ-80); 3 – смесь № 2 (80% ДТ, 10% РМ и 10% АИ-80); 4 – смесь № 3 (70% ДТ, 20% РМ и 10% АИ-80)

CH_x ; a_{η_e} , a_{NO_x} , a_{CO} , a_{CH_x} — весовые коэффициенты частных критериев оптимальности. Частные критерии оптимальности, входящие в выражение (1), предложено определять на каждом i -м режиме из соотношений

$$J_{\eta_e} = \frac{\eta_{e\text{ дт}}}{\eta_{e\text{ и}}}; J_{NO_x} = \frac{e_{NO_x\text{ и}}}{e_{NO_x\text{ дт}}}; J_{CO} = \frac{e_{CO\text{ и}}}{e_{CO\text{ дт}}}; J_{CH_x} = \frac{e_{CH_x\text{ и}}}{e_{CH_x\text{ дт}}}, \quad (2)$$

где: $\eta_{e\text{ и}}$, $e_{NO_x\text{ и}}$, $e_{CO\text{ и}}$, $e_{CH_x\text{ и}}$ — параметры дизеля, работающего на i -том топливе; $\eta_{e\text{ дт}}$, $e_{NO_x\text{ дт}}$, $e_{CO\text{ дт}}$, $e_{CH_x\text{ дт}}$ — параметры дизеля, работающего на нефтяном ДТ. При решении оптимизационной задачи с использованием формулы (1) обобщенный критерий оптимальности J_o минимизируется. При этом удельные массовые выбросы токсичных компонентов ОГ $e_{NO_x\text{ и}}$, $e_{CO\text{ и}}$, $e_{CH_x\text{ и}}$ (числители выражений для частных критериев J_{NO_x} , J_{CO} , J_{CH_x}) минимизируются, а эффективный КПД $\eta_{e\text{ и}}$ (знаменатель выражения для частного критерия J_{η_e}) — максимизируется.

Наиболее сложной проблемой использования этой методики является выбор значений весовых коэффициентов частных критериев оптимальности, который не имеет однозначного решения. Еще один недостаток данной методики заключается в том, что не учитывается такой важный показатель работы дизеля, как дымность ОГ. Следует отметить и трудоемкость использования этой методики, обусловленную необходимостью расчетов сразу четырех частных критериев и их суммы — обобщенного критерия. Причем, каждый из частных критериев формулы (1) вычисляется как результат суммирования данных по соответствующим показателям на 13 режимах (в [13] анализируется работа дизеля на режимах 13-режимного цикла норм ECE R49). При оценке интегральной токсичности ОГ двигателя на режимах такого цикла на каждом режиме определяются концентрации в ОГ токсичных компонентов (C_{NO_x} , C_{CO} , C_{CH_x} , $C_{Tч}$) и рассчитываются их часовые массовые выбросы (E_{NO_x} , E_{CO} , E_{CH_x} , $E_{Tч}$). Полученные значения вредных выбросов суммируют за весь цикл по каждому компоненту (с учетом весовых коэффициентов K_i , отражающих долю времени каждого режима) и затем делением на условную среднюю мощность дизеля за испытательный цикл $\sum(N_{ei} \cdot K_i)$ определяют удельные выбросы вредных веществ по формулам из [3]:

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{NO_x\text{ и}} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i}, \quad e_{CO} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CO\text{ и}} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i},$$

$$e_{CH_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CH_x\text{ и}} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i}, \quad e_{Tч} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{Tч\text{ и}} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i}. \quad (3)$$

Таким образом, для определения каждого из частных критериев (3) необходимо определить и рассчитать соответствующие показатели дизеля (N_{ei} , C_{NO_x} , C_{CO} , C_{CH_x} , $C_{Tч}$, E_{NO_x} , E_{CO} , E_{CH_x} , $E_{Tч}$, e_{NO_x} , e_{CO} , e_{CH_x} , $e_{Tч}$) на 13 исследуемых режимах работы дизеля.

С целью устранения указанных недостатков рассмотренной методики для оптимизации состава многокомпонентного топлива предлагается использовать следующую методику. Во-первых, желательно сократить число частных критериев оптимальности выражения (1). При этом следует отметить сравнительно слабую зависимость эффективного КПД η_e дизеля типа Д-245.12С от состава рассматриваемых биотоплив (см. табл. 3 и 4). Во-вторых, известно, что из нормируемых токсичных компонентов ОГ дизелей наиболее значимыми являются оксиды азота NO_x и сажа (дымность ОГ). Еще два нормируемых токсичных компонента — монооксид углерода CO и несгоревшие углеводороды CH_x имеют значительно меньшую токсикологическую значимость. Так, в соответствии с данными [7] токсикологическая значимость CO , NO_x , CH_x , твердых частиц (сажи) и оксидов серы SO_x оценивается как отношение 1:41,1:3,16:200:22.

При формировании обобщенного критерия оптимальности указанные факторы позволяют использовать всего два основных частных критерия — эмиссию оксидов азота и дымность ОГ. Для определения эксплуатационных режимов, которые целесообразно учитывать при оптимизации состава биотоплив, рассмотрим 13-режимный цикл норм ECE R49 (рис. 7), используемый для испытаний дизелей грузовых

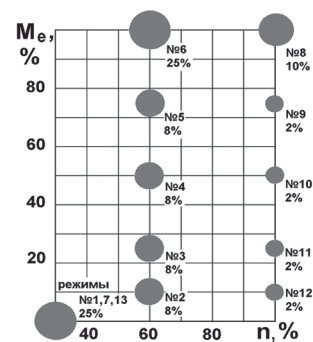


Рис. 7. Европейский 13-режимный цикл (нормы ECE R49)

автомобилей грузоподъемностью более 3,5 т. Этот испытательный цикл включает 13 установившихся режимов: три режима холостого хода с минимальной частотой вращения $n = 0,25-0,3 n_{ном}$ (всего 25% времени работы), пять нагрузочных режимов (10, 25, 50, 75, 100% нагрузки) при номинальной частоте вращения $n_{ном}$ и пять нагрузочных режимов (10, 25, 50, 75, 100% нагрузки) при частоте вращения $n_{Mmax}=0,6-0,7 n_{ном}$, соответствующей максимальному крутящему моменту дизеля. Доля номинального режима составляет 10% от общего времени работы дизеля, а доля режима максимального крутящего момента — 25%. Здесь необходимо отметить некоторую схематичность отображения распределения режимов в условиях реальной эксплуатации транспортного средства в испытательных циклах (в частности, в 13-режимном цикле ECE R49) [7].

В соответствии с ГОСТ 17.2.2.01-84 — «Дымность отработавших газов дизелей» и Правилами ЕЭК ООН R 24-02 дымность ОГ определяется только на режимах ВСХ [7]. При этом наиболее важными являются режим максимальной мощности (номинальный режим) и режим максимального крутящего момента. В цикле ECE R49 (рис. 7) режим холостого хода при минимальной частоте вращения имеет существенную значимость (его доля составляет 25% от общего времени работы). Но поскольку расход ОГ на этом режиме значительно меньше, чем на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента, то и массовый выброс токсичных компонентов ОГ сравнительно невелик. Кроме того, дымность ОГ на этом режиме незначительна и не нормируется стандартами на токсичность ОГ.

Таким образом, для решения задачи оптимизации состава многокомпонентных биотоплив для дизеля типа Д-245.12С предлагается использовать метод свертки, при котором частные критерии оптимальности сводятся к обобщенному критерию J_o , определяемому в виде суммы основных частных критериев, характеризующих концентрацию в ОГ оксидов азота J_{NOx} и дымность ОГ по шкале Хартриджа J_{Kx} , в соответствии с выражением

$$J_o = J_{NOx} + J_{Kx} . \quad (4)$$

Если при оптимизации состава смесового топлива учитываются показатели токсичности ОГ только двух основных режимов (максимальной мощности N_{max} и максимального крутящего момента M_{max}), то выражение (4) принимает вид

$$J_o = J_{NOx Nmax} + J_{NOx Mmax} + J_{Kx Nmax} + J_{Kx Mmax} , \quad (5)$$

где $J_{NOx Nmax}$, $J_{NOx Mmax}$, $J_{Kx Nmax}$, $J_{Kx Mmax}$ — частные критерии оптимальности (концентрация в ОГ оксидов азота и дымность ОГ по шкале Хартриджа) на указанных режимах. Поскольку в предлагаемой методике в качестве частных критериев оптимальности выражения (5) использованы концентрация в ОГ оксидов азота C_{NOx} и дымность ОГ по шкале Хартриджа K_x , имеющие различную размерность, целесообразно их использование в относительных величинах в следующем виде:

$$J_{NOx Nmax} = \frac{C_{NOx Nmax i}}{C_{NOx Nmax ДТ}} ; J_{Kx Nmax} = \frac{K_{x Nmax i}}{K_{x Nmax ДТ}} , \quad (6)$$

где параметры с индексом «ДТ» соответствуют работе на нефтяном ДТ, а параметры с индексом «i» — работе на смесовом топливе i -го состава. Обобщенный критерий оптимальности (5) также удобно использовать в относительном виде:

$$\bar{J}_o = J_{oi} / J_{o ДТ} . \quad (7)$$

Минимум этого обобщенного критерия (целевой функции) в виде (5) или (7) соответствует оптимальному составу смеси. При этом частные критерии оптимизации, характеризующие концентрацию в ОГ оксидов азота J_{NOx} и дымность ОГ по шкале Хартриджа J_{Kx} на двух основных режимах — максимальной мощности N_{max} и максимального крутящего момента M_{max} , определяются по выражениям (6). Эта методика не предполагает ранжирования (определения значимости) этих частных критериев оптимальности путем задания соответствующих весовых коэффициентов, как это принято в выражении (1). Кроме того, эта методика отличается от методики (1) существенно меньшим объемом вычислений.

6. Результаты оптимизационных расчетов состава биотоплива

Для решения этой многокритериальной оптимизационной задачи использованы экспериментальные данные и методика многокритериальной оптимизации, приведенные выше. Результаты проведенных расчетных исследований сведены в табл. 5.

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что все рассматриваемые смесовые биотоплива заметно улучшают показатели токсичности ОГ дизеля типа Д-245.12С. С точки зрения обобщенного критерия предложенной методики оптимизации наилучшие результаты достигнуты при использовании смеси

Оптимизация состава многокомпонентных биотоплив для дизеля типа Д-245.12С

Вид топлива	Показатели дизеля									
	$C_{NO_x, Mmax}^{ppm}$	$J_{NO_x, Mmax}$	$C_{NO_x, Mmax}^{ppm}$	$J_{NO_x, Mmax}$	$K_X^{Mmax, \%}$	$J_{K_X, Mmax}$	$K_X^{Mmax, \%}$	$J_{K_X, Mmax}$	J_o	\bar{J}_o
<i>Смеси нефтяного дизельного топлива, рапсового масла и метилового эфира рапсового масла</i>										
ДТ	565	1,000	650	1,000	16,0	1,000	23,0	1,000	4,000	1,000
90% ДТ+5% РМ+5% МЭРМ	570	1,009	640	0,985	10,0	0,625	11,0	0,478	3,097	0,774
80% ДТ+10% РМ+10% МЭРМ	550	0,973	625	0,962	11,0	0,688	12,5	0,543	3,166	0,792
60% ДТ+20% РМ+20% МЭРМ	600	1,062	650	1,000	9,0	0,563	9,5	0,413	3,038	0,760
<i>Смеси нефтяного дизельного топлива, рапсового масла и бензина АИ-80</i>										
ДТ	605	1,000	680	1,000	14,5	1,000	20,0	1,000	4,000	1,000
85% ДТ+5% РМ +10% АИ-80	565	0,934	650	0,956	14,0	0,966	17,0	0,850	3,706	0,927
80% ДТ+10% РМ +10% АИ-80	560	0,926	640	0,941	9,0	0,621	10,0	0,500	2,988	0,747
70% ДТ+20% РМ+10% АИ-80	550	0,909	575	0,846	12,5	0,862	14,5	0,725	3,342	0,836

80% ДТ, 10% РМ и 10% бензина АИ-80. При работе дизеля на этой смеси обобщенный критерий оптимальности \bar{J}_o , определяемый по формуле (7), оказался минимальным и равным $\bar{J}_o = 0,747$. При работе на нефтяном ДТ этот критерий равен 1. На режиме максимальной мощности перевод дизеля с ДТ на указанную смесь сопровождался снижением дымности ОГ K_X от 14,5 до 9,0% по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента — от 20,0 до 10,0%. При этом интегральный на режимах 13-режимного цикла удельный выброс оксидов азота e_{NO_x} немного возрос — с 6,630 до 6,689 г/(кВт×ч), что свидетельствует о росте эффективности процесса сгорания. При этом выброс монооксида углерода e_{CO} увеличился с 2,210 до 2,509 г/(кВт×ч), а выброс негоревших углеводородов e_{CH_x} возрос — от 0,580 до 0,899 г/(кВт×ч). Но, как отмечено выше, выбросы СО и CH_x эффективно снижаются при использовании нейтрализаторов ОГ.

Среди рассматриваемых многокомпонентных биотоплив наименьший эффект при снижении токсичности ОГ дало использование смеси 80% ДТ, 5% РМ и 10% бензина АИ-80. В этом случае обобщенный критерий оптимальности \bar{J}_o , снизился от 1 при работе на нефтяном ДТ до 0,927 при работе на указанной смеси. Но и при ее использовании отмечено заметное улучшение показателей токсичности ОГ. Так, замена нефтяного ДТ указанной смесью привела к снижению дымности ОГ: на режиме максимальной мощности — с 14,5 до 10,0% по шкале Хартриджа, на режиме максимального крутящего момента — с 20,0 до 17,0%. Одновременно снизились интегральные удельные выбросы оксидов азота e_{NO_x} — с 6,630 до 6,451 г/(кВт×ч) и монооксида углерода e_{CO} — с 2,210 до 2,123 г/(кВт×ч). Только инте-

гральный удельный выброс углеводородов e_{CH_x} вырос — с 0,580 до 0,663 г/(кВт×ч).

Заключение

Представленные результаты расчетно-экспериментальных исследований подтверждают эффективность конвертирования отечественных дизелей на многокомпонентные смесевые биотоплива. Использование этих топлив не только обеспечивает улучшение показателей токсичности ОГ, но и позволяет приблизить свойства биотоплив к свойствам нефтяного ДТ. Это облегчает организацию процессов топливоподачи, распыливания топлива, смесеобразования и сгорания. Кроме того, адаптация двигателей к работе на многокомпонентных биотопливах упрощает снабжение транспортных средств и сельскохозяйственной техники необходимыми моторными топливами.

Показана необходимость оптимизации состава многокомпонентных смесевых биотоплив и предложена методика оптимизации их состава. Эта методика базируется на формировании обобщенного критерия оптимальности в виде суммы частных критериев, характеризующих содержание в ОГ оксидов азота и их дымности на режимах максимального крутящего момента и максимальной мощности. Проведенные расчеты подтвердили эффективность предложенных методик. Расчеты показали, что наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь 80% ДТ, 10% РМ и 10% бензина АИ-80. При работе дизеля типа Д-245.12С на этой смеси предложенный обобщенный критерий оптимальности оказался минимальным и равным 0,747 (при использовании нефтяного ДТ он был равен 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. — М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. — 791 с.
2. Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. — 311 с.
3. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. — М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011. — 536 с.
4. Марков В.А., Нагорнов С.А., Девянин С.Н. Применение смесевых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях // Безопасность в техносфере. — 2011. — № 6. — С. 26–33.
5. Савельев Г.С., Кочетков М.Н. Использование рапсового масла в качестве топлива в дизельных двигателях // Транспорт на альтернативном топливе. — 2009. — № 1. — С. 62–66.
6. Spessert B.M., Schleicher A. Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Gerauschemission kleiner Industriedieselmotoren // MTZ. — 2007. — Jg. 68. — № 3. — S. 212–221.
7. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 376 с.
8. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. — М.: Мир, 1985. — 509 с.
9. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. — М.: Факториал Пресс, 2002. — 824 с.
10. Крутов В.И., Шаров Г.И. Управление турбопоршневыми двигателями по парето-оптимальным функциям // Двигателестроение. — 1989. — № 9. — С. 19–21.
11. Кузнецов А.Г. Анализ критериев экономичности и токсичности работы транспортных двигателей // Двигателестроение. — 1996. — № 2. — С. 67–68.
12. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. — Харьков: Изд-во ХПИ, 2003. — 244 с.
13. Марков В.А., Маркова В.В., Сивачев В.М., Сивачев С.М. Оптимизация состава смесового биотоплива для дизельных двигателей // Безопасность в техносфере. — 2014. — № 6. — С. 19–30.
14. Оптимизация состава смесового биотоплива для транспортного дизеля / Н.А. Иващенко, В.А. Марков, А.А. Зенин и др. // Безопасность в техносфере. — 2007. — № 5. — С. 22–25.
15. Фомин В.М., Атраш Р. Совершенствование показателей работы тракторного дизеля на смесовом биодизельном топливе // Тракторы и сельхозмашины. — 2013. — № 5. — С. 5–10.

REFERENCES

1. Aleksandrov A.A., Markov V.A. *Al'ternativnye topliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Alternative fuels for internal combustion engines]. Moscow, ООО NITs «Inzhener» Publ., ООО «Oniko-M» Publ., 2012. 791 p.
2. Lotko V., Lukanin V.N., Khachiyani A.S. *Primenenie al'ternativnykh topliv v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya* [The use of alternative fuels in internal combustion engines]. Moscow, Izd-vo MADI (TU) Publ., 2000. 311 p.
3. Markov V.A., Devyanin S.N., Semenov V.G. *Ispol'zovanie rastitel'nykh masel i topliv na ikh osnove v dizel'nykh dvigatelyakh* [The use of vegetable oils and fuels based on them in diesel engines]. Moscow, ООО NITs «Inzhener» Publ., ООО «Oniko-M» Publ., 2011. 536 p.
4. Markov V.A., Nagornov S.A., Devyanin S.N. *Primenenie smesevykh biotopliv na osnove metilovykh efirov rastitel'nykh masel v transportnykh dizelyakh* [Application of mixed biofuels based on methyl esters of vegetable oils in diesel engines]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in technosphere]. 2011, I. 6, pp. 26–33.
5. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N. *Ispol'zovanie rapsovogo masla v kachestve topliva v dizel'nykh dvigatelyakh* [The use of rapeseed oil as fuel in diesel engines]. *Transport na al'ternativnom toplive* [Transport alternative fuel]. 2009, I. 1, pp. 62–66.
6. Spessert B.M., Schleicher A. Einfluss von Biokraftstoffen auf die Abgas- und Gerauschemission kleiner Industriedieselmotoren. MTZ. 2007. Jg. 68. № 3, S. 212–221.
7. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. *Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizeley* [The toxicity of the exhaust gases of diesel engines]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2002. 376 p.
8. Gill F., Myurrey U., Rayt M. *Prakticheskaya optimizatsiya* [Practical Optimization]. Moscow, Mir Publ., 1985. 509 p.
9. Vasil'ev F.P. *Metody optimizatsii* [Optimization methods]. Moscow, Faktorial Press Publ., 2002. 824 p.
10. Krutov V.I., Sharov G.I. *Upravlenie turboporshnevymi dvigatelyami po pareto-optimal'nym funktsiyam* [Management turbo-piston engine of a Pareto optimal function]. *Dvigatelsestroenie* [engine building]. 1989, I. 9, pp. 19–21.
11. Kuznetsov A.G. *Analiz kriteriev ekonomichnosti i toksichnosti raboty transportnykh dvigateley* [Analysis of the criteria of profitability and job toxicity]. *Dvigatelsestroenie* [engine building]. 1996, I. 2, pp. 67–68.
12. Parsadanov I.V. *Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizeley na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya* [improving the quality and competitiveness through an integrated diesel fuel and

- environmental criteria]. Khar'kov, Izd-vo KhPI Publ., 2003. 244 p.
13. Markov V.A., Markova V.V., Sivachev V.M., Sivachev S.M. Optimizatsiya sostava smesevogo biotopliva dlya dizel'nykh dvigateley [Optimization of the composition of the mix of biofuel for diesel engines]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in technosphere]. 2014, I. 6, pp. 19–30.
14. Ivashchenko N.A., Markov V.A., Zenin A.A. Optimizatsiya sostava smesevogo biotopliva dlya transportnogo dizelya [Optimization of the composition of the mix of biofuels for the transport of diesel]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in technosphere]. 2007, I. 5, pp. 22–25.
15. Fomin V.M., Atrash R. Sovershenstvovanie pokazately raboty traktornogo dizelya na smesevom biodizel'nom toplive [Improving the performance of the tractor diesel to biodiesel smesevom]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and farm machinery]. 2013, I. 5, pp. 5–10.

Toxicity Parameters of Exhaust Gases of Diesel Engine Running on Mixed Composition Biofuels

V.A. Markov, Doctor of Engineering, Professor, Bauman Moscow State Technical University

S.N. Devyanin, Doctor of Engineering, Professor, Head of Department, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

V.V. Neverova, Doctor of Engineering, Assistant Professor, Bauman Moscow State Technical University

The article displays advantages of using multicomponent mixed biofuels for diesel engines, i.e. mixtures of oil diesel fuel and rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester, gasoline. The results of experimental research on a D-245.12C type automotive diesel engine running on these fuels are presented. A method of determining the optimal composition of multicomponent biofuels is proposed. Using this method optimization calculations of the fuel compositions are made. It is demonstrated that among tested biofuels the mixture of 80% oil diesel fuel, 10% of rapeseed oil and 10% of gasoline possesses the superior ecological parameters.

Keywords: diesel engine, combustion chamber, oil diesel fuel, rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester, gasoline, biofuel mixture, ecological characteristics, exhaust gases toxicity, optimization.

На Курильских островах осваивают альтернативные источники энергии

На смену изношенному оборудованию устаревших электростанций на острове Кунашир установили две ветротурбины. В результате домашние лампочки стали гореть всегда ярко и без раздражающего мигания.

Гигантские ветровые установки вырабатывают электричество даже при слабом ветре. Мощности хватает на то, чтобы обеспечить светом два небольших поселка. Когда на море полный штиль и лопасти установок замирают, сигнал к действию автоматически получает классический дизель-генератор. Работу станции контролирует компьютерная программа, но без участия оператора здесь пока не обойтись.

Новый принцип работы современной электростанции, когда дизельный генератор используется только для подстраховки, экономит традиционное топливо и бюджетные деньги.

Жителей Южно-Курильска обеспечивают электроэнергией и вовсе без единой капли солярки. Турбину вращает живая энергия действующего вулкана. Таким образом, сама природа стала для большинства островитян поставщиком главных коммунальных благ — света и тепла.

По мнению экспертов, Курильские острова в силу географической удаленности от центров цивилизации обязаны стать экспериментальной площадкой для альтернативной энергетики. Чтобы окончательно использовать стихию во благо человека, ученые предлагают на достигнутом не останавливаться. Теперь они думают, как островитянам может пригодиться энергия Солнца и почему бы не использовать в качестве биотоплива богатые запасы морских водорослей.

Источник: <http://greenevolution.ru>.

В России пока альтернативная энергетика не получила широкого распространения. Однако в последние годы развитию ветровой, солнечной и геотермальной энергетики уделяется повышенное внимание. Есть положительные примеры ее применения, о чем информировалось на страницах журнала.

Необходима подготовка профессиональных кадров в этой области. В МГТУ им. Н.Э. Баумана с 2015 г. в рамках направления 20.00.00 — «Техносферная безопасность» начата подготовка кадров по нетрадиционным источникам энергии, энерго- и ресурсосбережению.