

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СМЕСЕВЫЕ БИОТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.А. Марков¹, С.В. Гусаков²,
С.Н. Девянин³

¹Кафедра теплофизики
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
2-я Бауманская ул., 5, Москва, Россия, 105005

²Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

³Кафедра тракторов и автомобилей
Московский государственный агроинженерный
университет им. В.П. Горячкина
ул. Тимирязевская, 58, Москва, Россия, 127550

В статье рассмотрены особенности использования в дизелях многокомпонентных биотоплив, получаемых с использованием рапсового масла. Представлены результаты экспериментальных исследований транспортного дизеля типа Д-245.12С, работающего на смесях дизельного топлива, рапсового масла, метилового эфира рапсового масла и бензина. Показана зависимость показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов от состава смесевых биотоплив.

Ключевые слова: дизель, дизельное топливо, бензин, рапсовое масло, метиловый эфир рапсового масла, многокомпонентные биотоплива.

Современный этап развития топливно-энергетического комплекса характеризуется продолжающимся истощением нефтяных месторождений и нарастанием дефицита нефти и нефтепродуктов. По экспертным оценкам, при существующем потреблении энергоносителей мировых запасов нефти может хватить примерно на 40 лет, природного газа — на 70 лет, угля — на 250 лет [1]. Поэтому все большее применение на транспорте получают альтернативные топлива, среди которых наиболее перспективными являются альтернативные топлива, производимые из растительного сырья. Сырьевая база для их получения практически неисчерпаема, а их использование позволяет снизить парниковый эффект, поскольку при выращивании растительного сырья выделяется примерно такое же количество кислорода, которое потребляется при сгорании биотоплива.

В качестве альтернативных топлив для дизелей наибольшее распространение нашли биодизельные топлива, получаемые из растительных масел. Эти топлива весьма разнообразны как по перечню растительных масел, используемых для производства биотоплив, так и по технологии их получения [2]. Для производства биодизельных топлив может быть использовано несколько десятков различных растительных масел: рапсовое, соевое, подсолнечное, кукурузное, хлопковое, льняное, арахисовое, пальмовое, пальмоядровое, кунжутное, касторовое, конопляное и др. Эти масла как моторные топлива применяются в чистом виде или в смесях

с нефтяными и альтернативными топливами. Растительные масла перерабатываются в сложные эфиры — метиловый, этиловый, бутиловый и др., являющиеся самостоятельными моторными топливами. Используются также смеси этих эфиров с другими топливами. Проводятся исследования по созданию водотопливных эмульсий на основе растительных масел и их производных.

Показательны данные рис. 1, на котором представлены направления реализации биодизельных топлив в Германии [3]. В 2006 г. сбыт биодизельного топлива (биодизель или метиловые эфиры растительных масел) в Германии составил 2,5 млн т, в том числе 1,01 млн т было использовано как примесь к нефтяному дизельному топливу и 0,5 млн т реализовано через бензоколонки для легковых и грузовых автомобилей. Кроме этого, в качестве моторного топлива был использован 1 млн т рапсового масла.

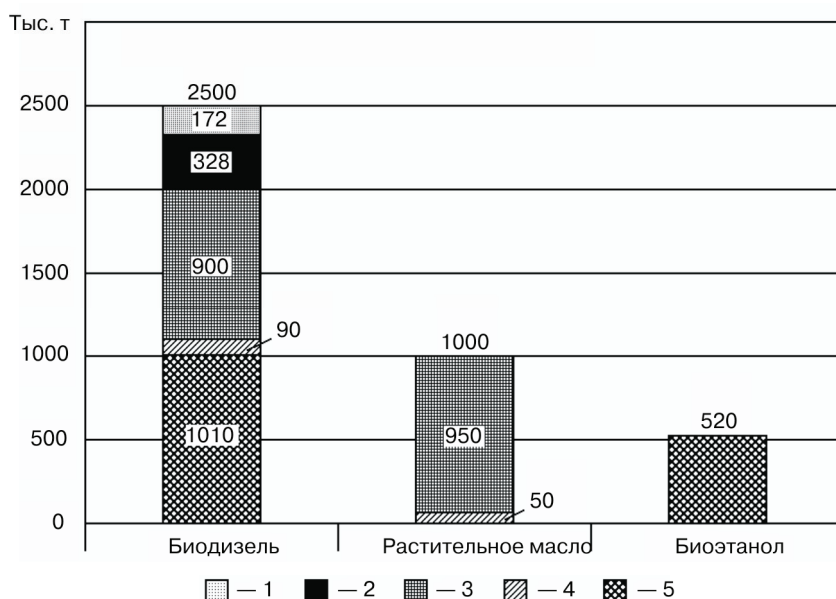


Рис. 1. Объемы и направления реализации биотоплива в Германии:

- 1 — через бензоколонки для легковых автомобилей; 2 — через бензоколонки для грузовых автомобилей;
 3 — для транспортных компаний и грузоперевозчиков; 4 — на нужды сельского хозяйства;
 5 — как добавка к традиционному нефтяному топливу

Такое многообразие видов биотоплив приводит к тому, что при заправке транспортного средства в топливном баке могут оказаться различные топлива и дизель достаточно продолжительное время может эксплуатироваться на смесях нефтяного дизельного топлива и различных биотоплив. Отметим, что вопрос о показателях топливной экономичности и токсичности отработавших газов двигателя, работающего на таких смесях, недостаточно изучен.

Представляет интерес использование указанных смесей с целью изменения их физико-химических свойств путем смешивания различных топлив. Растительные масла смешиваются в любых пропорциях с большинством органических растворителей (в том числе и с нефтепродуктами — бензином и дизельным топливом). Следует отметить и хорошую совместимость различных растительных масел

между собой. Это свойство растительных масел позволяет получать моторные топлива с заданными физико-химическими свойствами путем смешивания различных компонентов в требуемых пропорциях.

Использование биотоплив на основе растительных масел сдерживается отличиями их физико-химических свойств от свойств нефтяного дизельного топлива (ДТ) [2; 4]. Одной из наиболее острых проблем, возникающих при работе дизеля на рапсовом масле (РМ) и других растительных маслах, является их повышенная вязкость. Вязкостно-температурные характеристики, представленные на рис. 2а, показывают, что при нормальной температуре ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) вязкость РМ на порядок выше, чем у нефтяного ДТ [2]. В частности, в представленных исследованиях использовалось дизельное топливо «З» по ГОСТ 305-82, РМ отечественного производства и метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ), имеющие вязкость соответственно $\nu_T = 2,37; 8,0$ и $75,0\text{ мм}^2/\text{с}$ (рис. 2 и табл. 1).

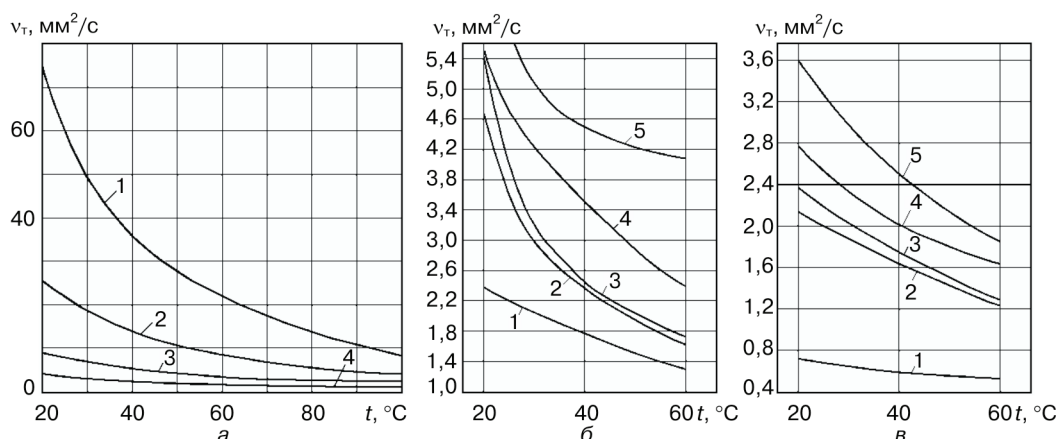


Рис. 2. Вязкостно-температурные характеристики двухкомпонентных (а) и многокомпонентных (б, в) топлив:

а) 1 — РМ; 2 — 50% ДТ, 50% РМ; 3 — 80% ДТ, 20% РМ; 4 — ДТ; б) 1 — ДТ; 2 — 90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ; 3 — 80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ; 4 — 60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ; 5 — МЭРМ; в) 1 — бензин АИ-80; 2 — 85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80; 3 — ДТ; 4 — 80% ДТ, 10% РМ, 10% АИ-80; 5 — 70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80

Таблица 1

Физико-химические свойства ДТ, РМ, МЭРМ и их смесей

Физико-химические свойства	Топливо					
	ДТ	РМ	МЭРМ	90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ, 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, мДж/кг	42,5	37,3	37,8	42,0	41,5	40,5
Цетановое число	45	36	48	—	—	—

Физико-химические свойства	Топливо					
	ДТ	РМ	МЭРМ	90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ
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; ДТ — дизельное топливо; РМ — рапсовое масло; МЭРМ — метиловый эфир рапсового масла.

Существенно меньшей вязкостью по сравнению с РМ обладают смеси РМ и ДТ. Так, по данным работы [2], вязкость смеси, содержащей 80% ДТ (по объему) и 20% РМ при $t = 20$ °С составляет $\nu_T = 9$ мм²/с (см. рис. 2а). Но и такая вязкость смесевое биотоплива заметно превышает вязкость ДТ (в соответствии с ГОСТ 305-82 вязкость летнего дизельного топлива составляет $\nu_T = 3$ —6 мм²/с). Поэтому одним из путей получения биотоплив со свойствами, более близкими к свойствам нефтяного ДТ, является добавление в двухкомпонентные биотоплива (смеси ДТ и РМ) топлив, имеющих вязкость, меньшую, чем у указанных смесей. В качестве таких компонентов использован метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ) и автомобильный бензин АИ-80, имеющий сравнительно высокое (по сравнению с другими бензинами) цетановое число ($\text{ЦЧ} = 20$) [5].

Физико-химические свойства указанных смесей приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 2. Наибольший эффект по целенаправленному изменению физико-химических свойств смесевых биотоплив достигнут при добавлении в смеси ДТ и РМ бензина АИ-80, имеющего пониженные плотность и вязкость (табл. 2, рис. 2б). Исследованы многокомпонентные смесевые биотоплива следующих составов: смесь 85% ДТ, 5% РМ и 10% бензина АИ-80, смесь 80% ДТ, 10% РМ и 10% бензина АИ-80 и смесь 70% ДТ, 20% РМ и 10% бензина АИ-80. Исследуемый бензин АИ-80 при 20 °С имел плотность $\rho_T = 756$ кг/м³ и вязкость $\nu_T = 0,73$ мм²/с, что существенно меньше плотности и вязкости исследуемых ДТ и РМ (табл. 2). Поэтому разбавление смесей ДТ и РМ бензином АИ-80 позволило заметно снизить повышенные плотность и вязкость исходных смесей. Полученные многокомпонентные биотоплива с добавкой бензина при 20 °С имели плотность от 807 до 823 кг/м³ и вязкость от 2,127 до 3,599 мм²/с, что вполне укладывается в допустимый диапазон изменения плотности и вязкости штатного дизельного топлива.

Физико-химические свойства ДТ, РМ, бензина АИ-80 и их смесей

Физико-химические свойства	Топливо						
	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, МДж/кг	42,5	37,3	44,0	41,5	42,4	42,0	41,5
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
Коксуемость 10%-ного остатка, % по массе	0,2	0,4	—	—	—	—	—

Примечание: «—» — свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов; ДТ — дизельное топливо; РМ — рапсовое масло; АИ-80 — бензин; * — по данным работы [2].

Разбавление смесей ДТ и РМ бензином АИ-80 благоприятно сказывается и на коксуемости многокомпонентных биотоплив. Поскольку в бензине АИ-80 смолистые вещества практически отсутствуют (содержание фактических смол — не более 5 мг в 100 мл топлива, а в топливе «Л» по ГОСТ 305-82 — не более 25 мг), получаемые многокомпонентные биотоплива содержат меньше фактических смол, чем исходные смеси ДТ и РМ.

Оценка влияния состава многокомпонентных биотоплив на показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) проведена при экспериментальных исследованиях дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода (ММЗ), предназначенного для малотоннажных грузовых автомобилей ЗиЛ-5301 «Бычок», а его модификации — для автобусов Павловского автомобильного завода (ПАЗ) и тракторов «Беларусь» Минского тракторного завода (МТЗ). Некоторые параметры дизеля приведены в табл. 3.

Параметры дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5)

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра D , мм	110
Ход поршня S , мм	125
Рабочий объем цилиндра V_p , л	1,08
Общий рабочий объем iV_p , л	4,32
Степень сжатия ϵ	16,0
Система турбонаддува	Турбокомпрессор ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов
Тип камеры сгорания, способ смесеобразования	Камера сгорания типа ЦНИДИ, объемно-пленочное смесеобразование
Номинальная частота вращения n , мин ⁻¹	2 400
Номинальная мощность N_e , кВт	80
Литровая мощность $N_{e,l}$, кВт/л	18,5
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система охлаждения	Водяная, принудительная
Система смазки	Принудительная, с разбрызгиванием
Фильтр масляный	Сетчатый
Насос масляный	Шестеренчатый
Система питания	Разделенного типа
Топливный насос высокого давления (ТНВД)	Рядный типа <i>PP4M10U1f</i> фирмы <i>Motorpal</i> с всережимным центробежным регулятором
Диаметр плунжеров ТНВД $d_{пл}$, мм	10
Ход плунжеров ТНВД $h_{пл}$, мм	10
Длина нагнетательных топливопроводов L_T , мм	540
Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс)
Распылители форсунок	Фирмы <i>Motorpal</i> типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_p = 0,34$ мм и проходным сечением $\mu_{p,p} = 0,250$ мм ²
Давление начала впрыскивания форсунок $p_{фo}$, МПа	21,5

Дизель исследовался на моторном стенде АМО «ЗиЛ» на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН с установочным углом опережения впрыскивания $\theta = 13^\circ$ поворота коленчатого вала до ВМТ и неизменным положением упора дозирующей рейки. При испытаниях дымность ОГ измерялась с помощью дымомера МК-3 фирмы *Hartridge* (Великобритания) с погрешностью $\pm 1\%$. Объемные концентрации в ОГ оксидов азота NO_x , монооксида углерода CO и углеводородов CH_x в ОГ определялись газоанализатором *SAE-7532* японской фирмы *Yanaco* с точностью $\pm 1\%$. На первом этапе исследований дизель Д-245.12С испытывался на режимах внешней скоростной характеристики на чистом ДТ, а также на указанных в табл. 1 и 2 многокомпонентных смесях. Результаты этих исследований приведены на рис. 3, на котором представлены данные по дизелю Д-245.12С с различной комплектацией.

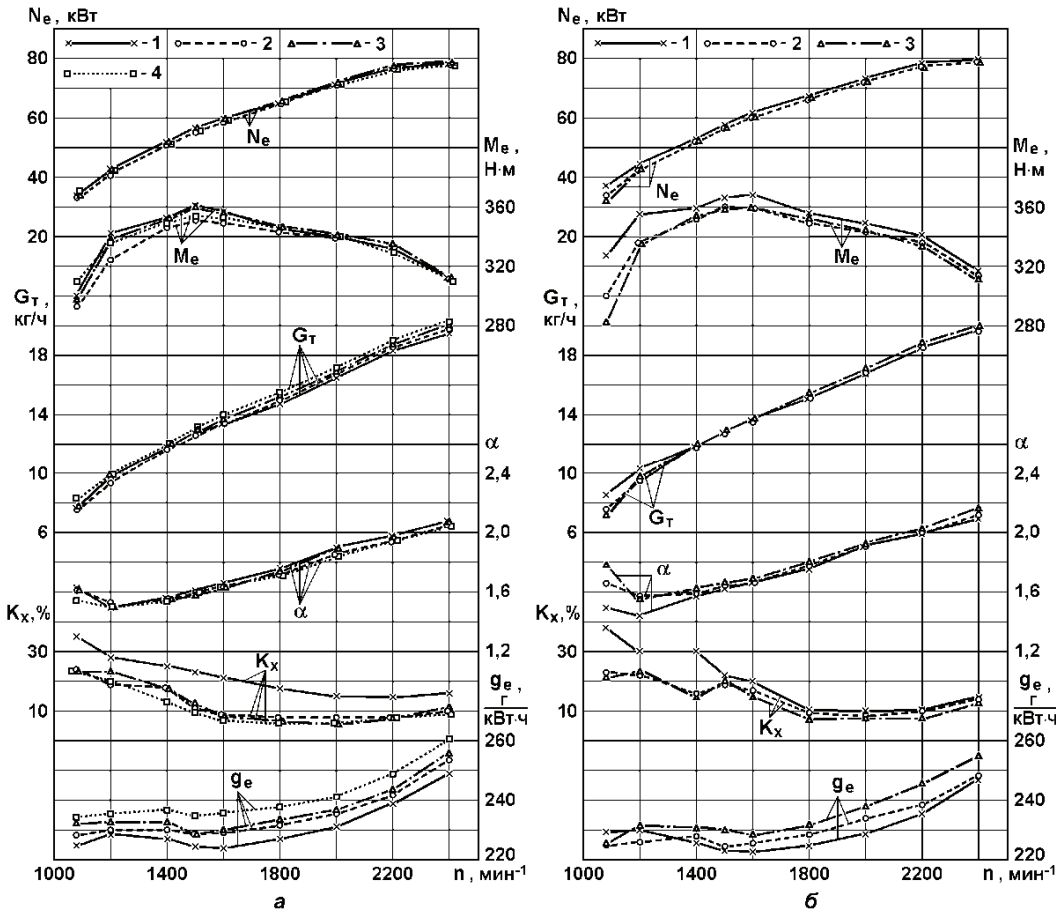


Рис. 3. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , расхода топлива G_T , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_x и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля Д-245.12С на режимах внешней скоростной характеристики при использовании различных топлив:

- а) 1 — ДТ; 2 — 90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ; 3 — 80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ; 4 — 60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ;
- б) 1 — ДТ; 2 — 85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80; 3 — 70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80

Исследуемые многокомпонентные биотоплива имеют физические свойства, приближающиеся к свойствам ДТ. Однако плотность и вязкость большинства этих топлив все-таки несколько выше аналогичных свойств ДТ. Поэтому при испытаниях отмечена тенденция увеличения часового расхода топлива G_T (см. рис. 3). В то же время из-за наличия в молекулах РМ и МЭРМ атомов кислорода при работе на многокомпонентных биотопливах коэффициент избытка воздуха α на большинстве режимов изменился незначительно. Но при этом теплотворная способность многокомпонентных биотоплив несколько ниже теплотворной способности ДТ. Это привело к тому, что при использовании этих биотоплив удельный эффективный расход топлива g_e оказался выше, чем при работе на ДТ (табл. 4 и 5). Однако изменение эффективного КПД дизеля η_e на большинстве режимов не превысило 1%.

Таблица 4

Показатели дизеля Д-245.12С, работающего ДТ и смесях ДТ, РМ и МЭРМ

Показатели дизеля	Состав топлива			
	ДТ	90% ДТ, 5% РМ и 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ и 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ и 20% МЭРМ
Удельный эффективный расход топлива на режиме максимальной мощности при частоте вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, g_e , г/(кВт·ч)	249,0	253,6	255,7	260,5
Удельный эффективный расход топлива на режиме максимального крутящего момента при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, g_e , г/(кВт·ч)	224,3	228,7	229,4	234,8
Эффективный КПД дизеля на режиме максимальной мощности, η_e	0,340	0,338	0,339	0,341
Эффективный КПД дизеля на режиме максимального крутящего момента, η_e	0,378	0,375	0,378	0,379
Дымность ОГ на режиме максимальной мощности, K_x , % по шкале Хартриджа	16,0	10,0	11,0	9,0
Дымность ОГ на режиме максимального крутящего момента, K_x , % по шкале Хартриджа	23,0	11,0	12,5	9,5
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла эффективный расход топлива, $g_{e, \text{усл}}$, г/(кВт·ч)	247,89	251,72	253,89	260,51
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла эффективный КПД, $\eta_{e, \text{усл}}$	0,342	0,341	0,342	0,341
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный выброс оксидов азота, e_{NOx} , г/(кВт·ч)	6,862	6,875	6,662	7,182
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный выброс монооксида углерода, e_{CO} , г/(кВт·ч)	2,654	2,489	2,496	2,662
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный выброс углеводородов, $e_{\text{Снх}}$, г/(кВт·ч)	0,719	0,687	0,677	0,690

Таблица 5

Показатели дизеля Д-245.12С, работающего на ДТ и смесях ДТ, РМ и АИ-80

Показатели дизеля	Состав топлива		
	ДТ	85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80	70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80
Удельный эффективный расход топлива на режиме максимальной мощности при частоте вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, g_e , г/(кВт·ч)	246,8	249,2	254,6
Удельный эффективный расход топлива на режиме максимального крутящего момента при частоте вращения $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$, g_e , г/(кВт·ч)	222,6	225,5	228,4
Эффективный КПД дизеля на режиме максимальной мощности, η_e	0,343	0,341	0,341
Эффективный КПД дизеля на режиме максимального крутящего момента, η_e	0,381	0,377	0,380
Дымность ОГ на режиме максимальной мощности, K_x , % по шкале Хартриджа	14,5	14,0	12,5

Показатели дизеля	Состав топлива		
	ДТ	85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80	70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80
Дымность ОГ на режиме максимального крутящего момента, K_x , % по шкале Хартриджа	20,0	17,0	14,5
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла эффективный расход топлива, $g_{e\text{ усл}}$, г/(кВт·ч)	243,24	245,53	249,95
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла эффективный КПД, $\eta_{e\text{ усл}}$	0,348	0,346	0,347
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный выброс оксидов азота, e_{NO_x} , г/(кВт·ч)	6,630	6,451	6,154
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный выброс монооксида углерода, e_{CO} , г/(кВт·ч)	2,210	2,123	2,313
Интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный выброс углеводородов, $e_{\text{СН}_x}$, г/(кВт·ч)	0,580	0,663	0,722

Наличие в молекулах РМ и МЭРМ атомов кислорода привело к заметному уменьшению дымности ОГ K_x при работе исследуемого дизеля на многокомпонентных биотопливах (см. табл. 4 и 5). Так, при переводе дизеля Д-245.12С с ДТ на смеси ДТ, РМ и МЭРМ дымность ОГ снизилась примерно в два раза (на 50—60%), а при переходе на смеси ДТ, РМ и АИ-80 — на 10—30%.

Результаты экспериментальных исследований Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН представлены на рис. 4 и в табл. 4 и 5 (см.). При работе дизеля на смесях ДТ, РМ и МЭРМ отмечена тенденция снижения объемного содержания в ОГ несгоревших углеводородов $C_{\text{СН}_x}$ при незначительном изменении объемных концентраций оксидов азота C_{NO_x} и монооксида углерода e_{CO} . При работе дизеля на смесях ДТ, РМ и АИ-80 отмечена тенденция снижения объемного содержания в ОГ оксидов азота C_{NO_x} при незначительном изменении объемной концентрации монооксида углерода e_{CO} и росте объемной концентрации в отработавших газах несгоревших углеводородов $C_{\text{СН}_x}$.

По приведенным на рис. 4 характеристикам объемного содержания в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксидов азота C_{NO_x} , монооксида углерода C_{CO} , несгоревших углеводородов $C_{\text{СН}_x}$) с использованием общепринятых методик [6; 7] рассчитаны их интегральные удельные массовые выбросы на режимах 13-ступенчатого цикла (соответственно e_{NO_x} , e_{CO} , $e_{\text{СН}_x}$). С использованием полученных при испытаниях характеристик часового расхода топлива G_T определены значения удельного эффективного расхода топлива g_e и эффективного КПД η_e по известным зависимостям

$$g_e = \frac{1000G_T}{N_e}; \quad \eta_e = \frac{3600}{H_U \cdot g_e},$$

где H_U — низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

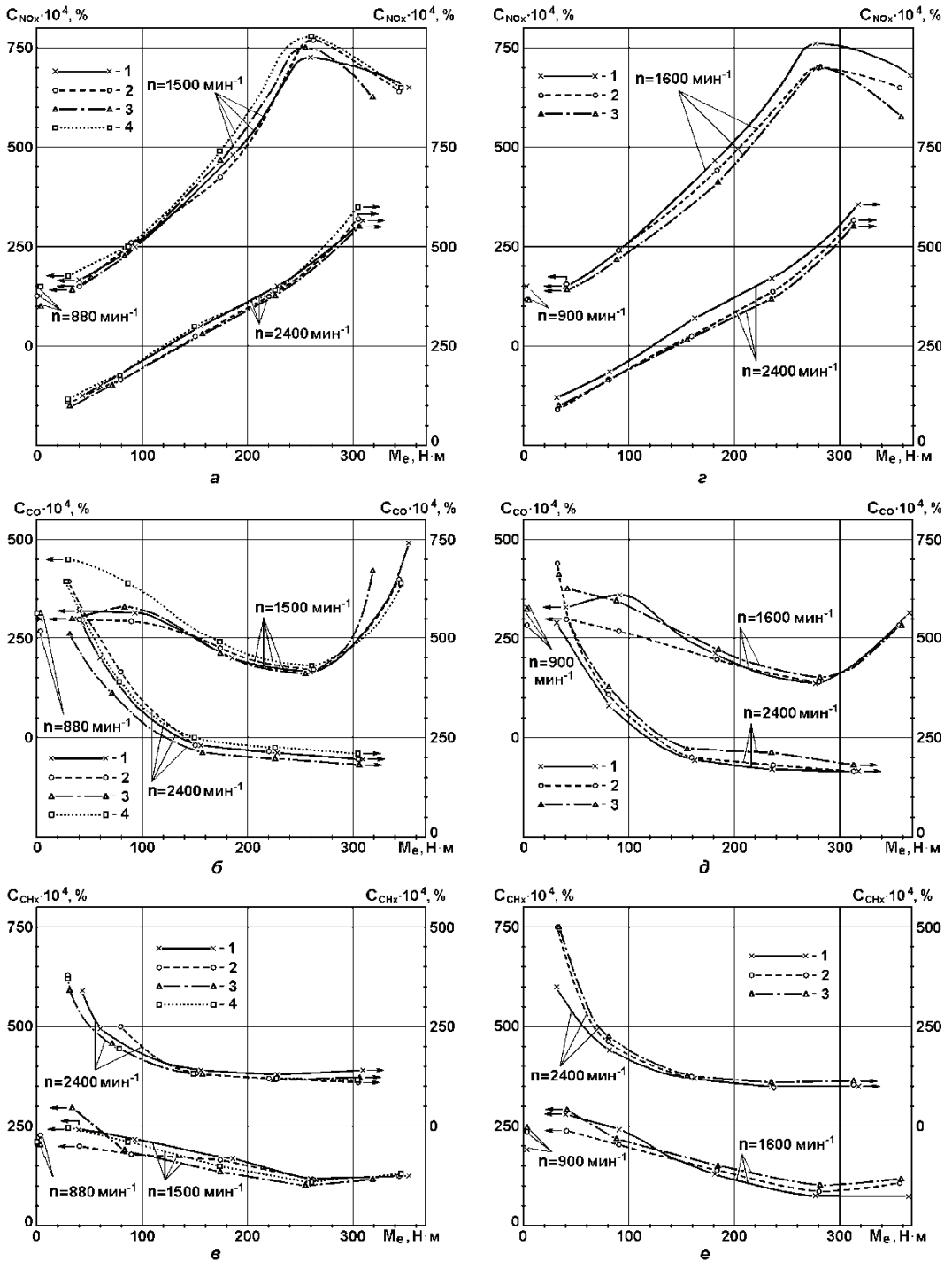


Рис. 4. Зависимость содержания в ОГ оксидов азота C_{NOx} (а, г), монооксида углерода C_{CO} (б, д) и углеводородов $C_{C_{nHx}}$ (в, е) от частоты вращения n и крутящего момента дизеля M_e :

а, б, в) 1 — ДТ; 2 — смесь 90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ; 3 — смесь 80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ; 4 — смесь 60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ;
 г, д, е) 1 — ДТ; 2 — 85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80; 3 — 70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80

Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-ступенчатого цикла проведена по среднему (условному) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [2]

$$g_{\text{еусл}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{\text{тi}} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{\text{ei}} \cdot K_i},$$

где $G_{\text{тi}}$ — часовой расход топлива на i -том режиме.

Поскольку смесевые биотоплива имеют меньшую теплотворную способность, топливную экономичность дизеля при его работе на этих топливах целесообразно оценивать не удельным эффективным расходом топлива g_e , а эффективным КПД дизеля η_e , причем для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{\text{еусл}} = \frac{3600}{H_U \cdot g_{\text{еусл}}}.$$

Результаты этих расчетов представлены в табл. 4 и 5 (см.).

Приведенные в табл. 4 и 5 данные подтверждают возможность улучшения экологических показателей дизеля Д-245.12С при его переводе с ДТ на многокомпонентные биотоплива практически без ухудшения эффективности рабочего процесса дизеля (без заметного изменения эффективного КПД дизеля η_e). В целом, проведенные исследования подтвердили возможность получения многокомпонентных биотоплив с заданными физико-химическими свойствами путем добавления в смеси ДТ и РМ небольшого количества МЭРМ или бензина АИ-80.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] URL: www.geology.com
- [2] Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. — М.: Инженер, 2011.
- [3] Биоэнергетика: Мировой опыт и прогнозы развития / Л.С. Орси́к, Н.Т. Сорокин, В.Ф. Федоренко и др. / Под ред. В.Ф. Федоренко. — М.: Росинформагротех, 2008.
- [4] *Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С.* Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000.
- [5] *Гуреев А.А., Азев В.С.* Автомобильные бензины. Свойства и применение. — М.: Нефть и газ, 1996.
- [6] *Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.* Токсичность отработавших газов дизелей. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
- [7] *Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А.* Топливная аппаратура и системы управления дизелей. — М.: Легион-Автодата, 2005.

MULTIPROPELLANT MIXED BIOFUELS FOR DIESEL ENGINES

V.A. Markov¹, S.V. Gusakov², S.N. Devyanin³

¹Department of thermal physics
Bauman Moscow State Technical University
2 Baumanskaja str., 5, Moscow, Russia, 105005

²Department of heating engineers and heat engine
Engineering faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikindze str., 3, Moscow, Russia, 115419

³Department of tractors and automobiles
Moscow State Rural Engineering University n.a. V.P. Goryachkin
Timiryazevskaja str., 58, Moscow, Russia, 127550

The characteristic features of using multi-propellant mixed biofuels with rapeseed oil in diesel engines have been considered. The results of experimental research of a type D-245.12S vehicle diesel engine running on diesel fuel, rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester and gasoline multi-propellant mixtures have been shown. The dependence of fuel efficiency and exhaust emission characteristics on mixed biofuel components has been shown.

Key words: diesel engine, diesel fuel, gasoline, rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester, multipropellant mixed biofuels.