

# Оптимизация состава смесового биотоплива для дизельных двигателей

**В.А. Марков**, д-р техн. наук, профессор

**В.В. Маркова**, канд. техн. наук, доцент

**В.М. Сивачев**, студент

**С.М. Сивачев**, студент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

e-mail: markov@power.bmstu.ru

## Ключевые слова:

дизельный двигатель,  
нефтяное дизельное топливо,  
рапсовое масло,  
метиловый эфир рапсового масла,  
смесовое биотопливо,  
экологические характеристики,  
токсичность отработавших газов.

*Показаны преимущества использования биотоплива на основе растительных масел в дизельных двигателях. Предложены методики определения оптимального состава смесового топлива, содержащего нефтяное дизельное топливо и метиловый эфир рапсового масла. С использованием предложенных методик проведены оптимизационные расчеты состава такого смесового топлива для дизельного двигателя типа Д-245.12С. Показано, что среди исследуемых видов смесового биотоплива наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь, содержащая 60% нефтяного дизельного топлива и 40% метилового эфира рапсового масла. Лучшие экологические характеристики достигаются при регулировании состава такой смеси в соответствии с изменением частоты вращения вала двигателя и нагрузки на двигатель.*

## 1. Введение

Одной из наиболее актуальных проблем современного двигателестроения является поиск моторного топлива, которое сможет успешно заменить традиционные бензин и дизельное топливо [1, 2]. В России разведанных запасов нефти хватит до 2025–2030 гг., а запасов газа — до 2085–2095 гг. В этих условиях использование в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, других секторах экономики России топлива ненефтяного происхождения (альтернативного топлива) становится не только необходимым, но и экономически оправданным.

Необходимо отметить перспективность использования альтернативных видов топлива, производимых из возобновляемых сырьевых ресурсов. В качестве сырья для производства моторных топлив могут быть использованы отходы лесозаготовки и лесопереработки, древесина, продукты и отходы сельскохозяйственного производства, отходы пищевой промышленности, биогазы, водоросли и другие морские биоресурсы. Использование топлива растительного происхождения обеспечивает кругооборот углекислого газа в

атмосфере, поскольку при сжигании биотоплива в двигателях внутреннего сгорания в атмосферу выбрасывается примерно такое же количество углекислого газа, которое поглощается в процессе выращивания сырья для производства биотоплива. Это приводит к уменьшению выброса в атмосферу парниковых газов и предотвращению парникового эффекта.

В настоящее время более 20 стран производят жидкое биотопливо из различного растительного сырья. Среди этих видов биотоплива — растительные масла, продукты их переработки, биоэтанол, биометанол, биодиметиловый эфир, биометил-третбутиловый эфир (биоМТБЭ), биоэтил-третбутиловый эфир (биоЭТБЭ), синтетическое биотопливо, биогаз, биоводород. Международная энергетическая ассоциация (IEA) прогнозирует, что к 2030 г. мировое производство биотоплива достигнет 150 млн т в год (в нефтяном эквиваленте) [2]. Ежегодные темпы прироста их производства составят 7–9%. В результате к 2030 г. доля биотоплива в общем объеме потребления топлива в транспортной сфере достигнет 4–6%. Ожидается, что наибольшее распро-

странение получают биоэтанол и биодизельное топливо, получаемое из растительных масел.

## 2. Использование в дизельных двигателях биотоплива, получаемого из растительных масел

Применительно к наиболее экономичным двигателям внутреннего сгорания — дизельным двигателям — наиболее перспективными считаются виды топлива, производимые из растительных масел. Цена этих видов топлива соизмерима с ценой топлива нефтяного происхождения, а в ряде случаев даже ниже цен на традиционное моторное топливо. Для условий Европейской части России наиболее предпочтительно топливо на основе рапсового масла. Традиционно наибольшие площади яровым рапсом засеваются в Центральном, Приволжском и Сибирском федеральных округах, а основными производителями озимого рапса являются Северо-Кавказский, Южный и Северо-Западный федеральные округа. На рис. 1а показано распределение посевных площадей рапса озимого и ярового в 2011 г. в основных регионах страны. По посевным площадям лидирует Центральный, далее идут Приволжский и Сибирский федеральные округа.

В 2011 г. средняя урожайность ярового рапса составила 11,2 ц/га, а в засушливом 2010 г. — 6,8 ц/га. На рис. 1б показано распределение средней урожайности рапса по федеральным округам. Следует отметить, что средняя урожайность рапса в ряде округов была значительно выше среднероссийского уровня. Причем в СЗФО, как и в предыдущие годы, урожайность была самая высокая — 22,0 ц/га. Кроме этого округа, средняя урожайность данной культуры в Южном (18,2), Северо-Кавказском (17,4) и Центральном (14,0) федеральных округах также превышает среднероссийскую величину. Здесь следует отметить, что в южных регионах и в СЗФО возделывают в основном озимый рапс, урожайность которого больше, чем ярового. Следует также отметить, что урожайность рапса в России пока значительно ниже потенциальных возможностей этой культуры. Однако при лучших агротехнических условиях она может быть существенно больше.

По итогам 2011 г. валовой сбор рапса по Российской Федерации составил 1054,3 тыс. т. Наибольший валовой сбор маслосемян рапса отмечен в ЦФО — 286,5 тыс. т, или 27,2% общего валового сбора в РФ (рис. 1в). В Северо-Кавказском федеральном округе было собрано 187,3 тыс. т рапса, или 17,6%. Примечателен рост валового сбора в Приволжском федеральном округе: в 2010 г. собрано 21,6 тыс. тонн, а в 2011 г. — 180,9 тыс. т (17,2%), т.е. почти в 8,4 раза больше. Сибирский федеральный округ собрал 137,6 тыс. т семян ярового рапса, или 13,05%. Из приведенных вышесказанных следует, что увеличение посевных площадей, урожайности и валового сбора рапса в хозяй-

ствах различных организационно-правовых форм собственности происходит недостаточно быстрыми темпами. Имеет место значительный резерв использования посевных площадей под яровой и озимый рапс. Использование этого резерва позволит значительно увеличить производство рапса в стране с целью создать значительную сырьевую базу для производства биотоплива.

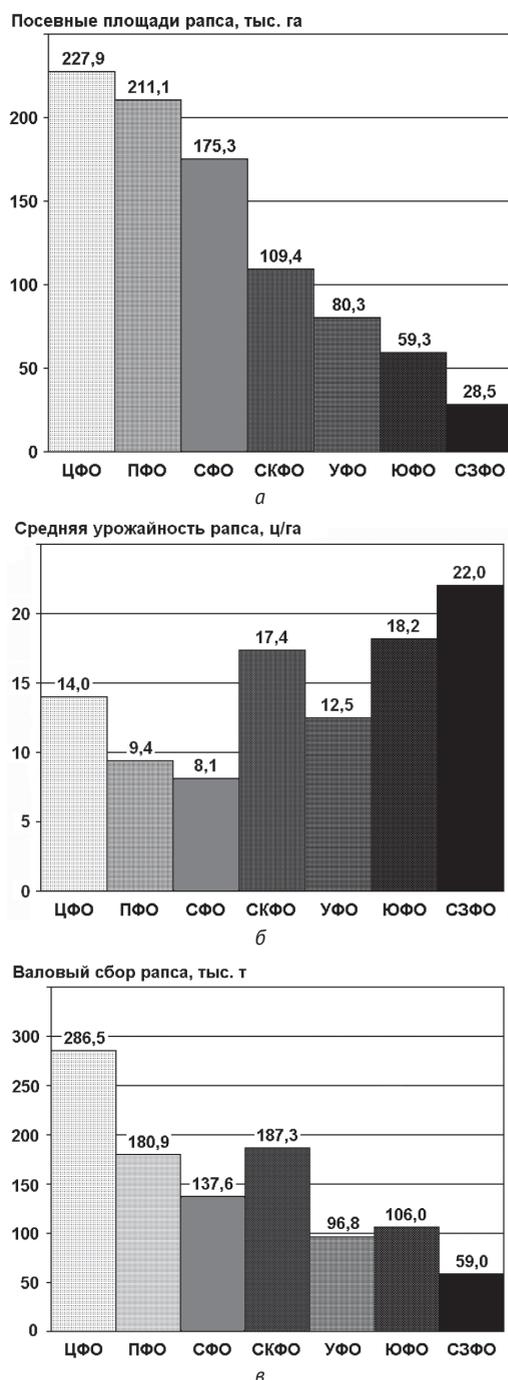


Рис. 1. Посевная площадь (а), средняя урожайность (б) и валовой сбор рапса (в) в РФ (данные 2011 г., по округам)

Использование биотоплива на базе рапсового масла позволит не только заместить нефтяное моторное топливо альтернативными видами, но и улучшить показатели токсичности отработавших газов (ОГ). При работе дизельных двигателей на биотопливе, как правило, отмечается заметное уменьшение эмиссии токсичных компонентов ОГ. В первую очередь это относится к дымности ОГ и выбросам других продуктов неполного сгорания топлива, которые при использовании биотоплива снижаются в 1,5–2 раза.

Следует отметить, что по своим физико-химическим свойствам биотопливо ближе к дизельному топливу, чем к бензину: у них сравнительно высокие плотность и вязкость, плохая испаряемость. Поэтому их использование возможно лишь в дизельных двигателях, отличающихся меньшей чувствительностью к свойствам применяемого топлива. К тому же дизельные двигатели, работающие с большой степенью сжатия и повышенными значениями коэффициента избытка воздуха, характеризуются лучшими показателями топливной экономичности и токсичности ОГ.

По физико-химическим свойствам биотопливо отличается от традиционного дизельного. Поэтому при переводе на биотопливо двигателей, изначально адаптированных к работе на дизельном топливе, возникает ряд проблем, связанных с организацией рабочих процессов, в первую очередь — процессов топливоподачи, распыления топлива, смесеобразования и сгорания. При этом возможно нарушение исходных регулировок двигателя, ухудшение ряда эксплуатационных показателей, увеличение износа деталей двигателей и уменьшение ресурса их работы. Одним из эффективных путей адаптации двигателей к работе на биотопливе является применение смесового биотоплива — смеси дизельного топлива и биотоплива, получаемого из рапсового масла.

### 3. Необходимость оптимизации состава смесового биотоплива

Одной из проблем, возникающих при использовании смесового биотоплива в дизельных двигателях, является выбор состава этих смесей. Опубликованные в технической литературе данные не позволяют однозначно определить наиболее предпочтительный состав смесового биотоплива, поскольку оценку эффективности их использования в дизелях необходимо проводить по целому комплексу показателей токсичности ОГ и топливной экономичности [3–8]. На современном этапе развития двигателестроения важнейшим показателем работы автотракторных и транспортных дизелей является токсичность их ОГ, т.е. выбросы в атмосферу нормируемых токсичных компонентов — оксидов азота  $\text{NO}_x$ , монооксида угле-

рода CO, несгоревших углеводородов  $\text{CH}_x$  и твердых частиц, основными компонентами которых является сажа (углерод C) [9–10]. Это обусловлено как ухудшением экологической обстановки, так и ужесточением требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания нормативными документами на токсичность ОГ. Недостаточно высокие экологические показатели дизелей, работающих на нефтяном дизельном топливе, становятся причиной более широкого использования биотоплива. Как отмечено выше, наибольшее применение нашло рапсовое масло, но возможно использование и других растительных масел (подсолнечного, соевого и др.) [2].

Для использования в сельской местности — непосредственно на месте производства растительного масла — предпочтительным представляется применение в качестве моторного топлива чистого растительного масла или его смесей с нефтяным дизельным топливом. В этом случае исключаются затраты на транспортировку масла и его переработку. Для централизованного снабжения городского автотранспорта более целесообразно использование метиловых или этиловых эфиров указанных растительных масел (метиловые эфиры растительных масел дешевле).

Эфиры растительных масел получают с использованием реакций этерификации и переэтерификации. Реакция переэтерификации рапсового масла метиловым спиртом (метанолом)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  в присутствии катализатора — едкого калия KOH — протекает при температурах от 80 до 90 °C [2]. Эта реакция происходит в три стадии — с распадом триацилглицеридов жирных кислот растительных масел с образованием диацилглицеридов, затем моноацилглицеридов и, наконец, с расщеплением последних и образованием метиловых эфиров жирных кислот рапсового масла и глицерина. При переэтерификации из 1040 кг рапсового масла и 144 кг метанола получают 1 т метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) и 200 кг глицерина.

По физико-химическим свойствам МЭРМ приближены к нефтяному дизельному топливу. Вязкость МЭРМ на порядок меньше вязкости исходного рапсового масла. Этот эфир целесообразно применять в смесях с нефтяным дизельным топливом (ДТ). В этом случае МЭРМ можно рассматривать как кислородсодержащую присадку, улучшающую экологические характеристики нефтепродуктов. Однако недостаточно изучена проблема выбора оптимального состава такого смесового биотоплива.

### 4. Экспериментальные исследования дизельного двигателя, работающего на смесовом биотопливе

При проведении аналитических исследований по определению оптимального состава смесового биотоплива в качестве наиболее пер-

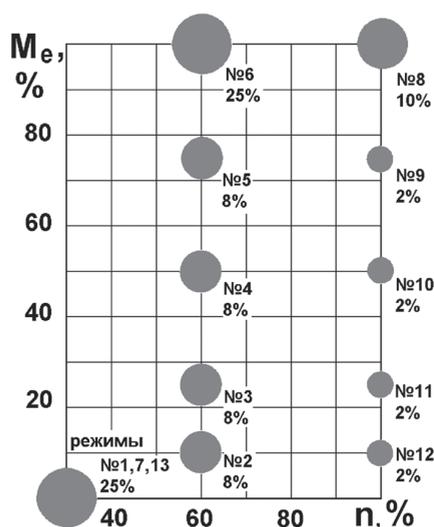


Рис. 2. Испытательный 13-ступенчатый цикл ECE R49 для оценки токсичности ОГ дизелей в стендовых условиях (около точки каждого режима указаны номер и доля этого режима в общем объеме времени работы)

спективных видов топлива для автомобильных двигателей рассмотрены смеси нефтяного ДТ по ГОСТ 305–82 и МЭРМ. Чтобы получить исходные данные для расчета оптимального состава этих смесей, проведены экспериментальные исследования дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода. Исследуемый четырехцилиндровый дизель с турбонаддувом имел рабочий объем  $iV = 4,32$  л, степень сжатия  $\epsilon = 16$ , мощность  $N_e = 80$  кВт при частоте вращения коленчатого вала  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup>. В этом дизеле с полуразделенной камерой сгорания (КС) типа ЦНИДИ организовано объемно-пленочное (пристеночное) смесеобразование с частичным попаданием топливного факела на горячие боковые стенки КС, прилегающие к горло-

вине. 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  $d_p = 0,34$  мм и проходным сечением  $\mu_p f_p = 0,250$  мм<sup>2</sup>. Форсунки были отрегулированы на давление начала впрыскивания  $p_{\phi 0} = 21,5$  МПа. Более подробное описание конструктивных особенностей исследуемого дизеля приведено в [2].

Исследования проведены с установочным углом опережения впрыскивания топлива (УОВТ)  $\theta = 13^\circ$  поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки (п.к.в. до ВМТ) и неизменным положением упора дозирующей рейки ТНВД (упора максимальной подачи топлива). Исследуемый дизель работал на нефтяном ДТ и смесях нефтяного ДТ и МЭРМ с концентрацией последнего от 0 до 60 % (по объему). В табл. 1 представлены некоторые физико-химические свойства указанных видов топлива. На каждом из исследуемых видов топлива испытания проводились на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла ECE R49 для оценки токсичности ОГ дизелей в стендовых условиях (рис. 2). При этом дымность ОГ измерялась с помощью ручного дымомера МК-3 фирмы *Hartridge* с погрешностью измерения  $\pm 1\%$ . Концентрация  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $CH_x$  в ОГ определялась газоанализатором SAE-7532 фирмы *Yanaco* с погрешностью измерения  $\pm 1\%$ .

### 5. Результаты экспериментальных исследований

Результаты испытания дизеля на указанных видах топлива на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ) представлены в табл. 2, а экспериментальные данные, полученные на режиме 13-ступенчатого испытательного цикла ECE R49, приведены в табл. 3–8.

Таблица 1

Физико-химические свойства	Физико-химические свойства исследуемых видов топлива						
	Виды топлива						
	ДТ	МЭРМ	95% ДТ + 5% МЭРМ	90% ДТ + 10% МЭРМ	80% ДТ + 20% МЭРМ	60% ДТ + 40% МЭРМ	40% ДТ + 60% МЭРМ
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	830	877	832	835	839	848	858
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,80	8,00	3,94	4,09	4,41	5,2	6,0
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	42,5	37,8	42,2	41,9	41,5	40,5	39,6
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,6	14,2	14,1	14,0	13,6	13,3
Содержание, % по массе:							
С	87,0	77,6	86,5	86,1	85,1	83,2	81,4
Н	12,6	12,2	12,6	12,5	12,5	12,4	12,3
О	0,4	10,2	0,9	1,4	2,4	4,4	6,3
Общее содержание серы, % по массе	0,20	0,002	0,19	0,18	0,16	0,12	0,08

Таблица 2

Эффективная мощность  $N_e$ , удельный эффективный расход топлива  $g_e$  и дымность ОГ  $K_x$  дизеля типа Д-245.12С, работающего на смеси ДТ и МЭРМ на режиме ВСХ

Показатель	Частота вращения коленчатого вала двигателя, $n$ , мин <sup>-1</sup>								
	1080	1200	1400	1500	1600	1800	2000	2200	2400
<b>Чистое дизельное топливо</b>									
$N_e$ , кВт	35,6	40,5	50,6	55,1	58,8	63,7	70,1	75,1	76,8
$g_e$ , г/(кВт·ч)	224,8	227,0	226,4	223,2	222,6	226,2	231,0	239,2	249,2
$K_x$ , ед. Bosch	36,0	33,0	30,0	21,0	20,0	18,0	12,0	15,0	18,0
<b>Смесь 95 % ДТ и 5 % МЭРМ</b>									
$N_e$ , кВт	36,3	40,7	51,7	55,9	58,9	64,0	69,6	75,4	76,9
$g_e$ , г/(кВт·ч)	225,9	228,2	226,8	223,7	227,4	230,2	233,4	241,5	252,9
$K_x$ , ед. Bosch	24,0	21,5	17,5	17,0	16,0	17,0	12,0	17,0	18,0
<b>Смесь 90 % ДТ и 10 % МЭРМ</b>									
$N_e$ , кВт	36,2	39,1	50,6	55,0	58,8	64,5	70,1	75,9	77,8
$g_e$ , г/(кВт·ч)	228,0	230,5	229,3	228,0	229,4	231,9	236,7	242,5	253,8
$K_x$ , ед. Bosch	22,5	20,0	17,0	16,0	15,0	14,0	11,0	13,5	13,5
<b>Смесь 80 % ДТ и 20 % МЭРМ</b>									
$N_e$ , кВт	35,5	39,6	50,5	55,0	58,8	64,2	70,1	75,8	77,4
$g_e$ , г/(кВт·ч)	232,1	232,9	234,2	230,6	230,5	234,7	237,2	244,4	255,3
$K_x$ , ед. Bosch	25,0	17,5	15,0	13,0	10,5	8,0	7,0	6,0	11,0
<b>Смесь 60 % ДТ и 40 % МЭРМ</b>									
$N_e$ , кВт	34,8	36,3	51,0	55,3	59,0	64,8	70,3	75,7	77,5
$g_e$ , г/(кВт·ч)	233,3	236,2	236,1	234,7	234,5	236,6	240,0	248,3	258,5
$K_x$ , ед. Bosch	22,0	13,0	13,0	7,5	4,0	4,0	5,0	6,0	10,0
<b>Смесь 40 % ДТ и 60 % МЭРМ</b>									
$N_e$ , кВт	35,5	37,9	51,1	55,8	59,6	65,5	70,9	76,1	77,9
$g_e$ , г/(кВт·ч)	234,9	238,0	238,1	236,0	237,1	239,9	243,0	251,0	262,2
$K_x$ , ед. Bosch	18,0	10,0	11,0	8,5	5,0	5,0	5,0	4,0	7,0

Примечание.  $N_e$  – эффективная мощность;  $g_e$  – удельный эффективный расход топлива;  $K_x$  – дымность ОГ (в единицах по шкале Bosch).

Таблица 3

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на чистом дизельном топливе на режиме 13-ступенчатого цикла

№ режима	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$G_T$ , кг/ч	$G_B$ , кг/ч	$C_{NOx}$ , ppm	$C_{CO}$ , ppm	$C_{CHx}$ , ppm
1	890	0	0	0,85	123	140	330	212
2	1500	6,8	43,3	2,70	234	150	390	260
3	1500	13,8	87,9	3,50	238	200	360	230
4	1500	29,2	186,0	6,50	249	500	210	150
5	1500	40,8	259,9	8,40	262	725	180	100
6	1500	54,5	347,1	12,30	290	610	480	110
7	890	0	0	0,85	123	140	330	212
8	2400	76,2	303,3	18,94	575	550	240	140
9	2400	57,1	227,3	14,17	511	400	220	130
10	2400	39,2	156,1	11,01	472	280	240	150
11	2400	16,3	64,9	6,18	408	150	450	300
12	2400	10,1	40,2	5,44	399	100	540	380
13	890	0	0	0,85	123	140	330	212

Примечание.  $n$  – частота вращения;  $N_e$  – эффективная мощность;  $M_e$  – крутящий момент двигателя;  $G_T$ ,  $G_B$  – часовой расход топлива и воздуха;  $C_{NOx}$ ,  $C_{CO}$ ,  $C_{CHx}$  – объемная концентрация в ОГ оксидов азота, монооксида углерода, несгоревшие углеводороды; ppm – миллионные объемные доли.

Таблица 4

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на смеси 95% ДТ и 5% МЭРМ  
на режиме 13-ступенчатого испытательного цикла

№ режима	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$G_T$ , кг/ч	$G_B$ , кг/ч	$C_{NOx}$ , ppm	$C_{CO}$ , ppm	$C_{CHx}$ , ppm
1	890	0	0	0,81	125	125	240	196
2	1500	6,3	40,1	2,38	236	150	360	210
3	1500	13,8	87,9	3,80	239	230	300	195
4	1500	27,6	175,8	6,19	249	485	180	135
5	1500	41,8	266,2	8,93	264	760	135	100
6	1500	55,3	352,2	12,56	295	650	360	102
7	890	0	0	0,81	125	125	240	196
8	2400	75,7	301,4	19,17	574	550	180	120
9	2400	56,0	222,9	14,75	523	325	180	116
10	2400	38,5	153,3	10,85	471	275	195	130
11	2400	18,9	75,2	7,10	423	160	315	180
12	2400	7,3	29,1	5,00	399	90	480	330
13	890	0	0	0,81	125	125	240	196

Таблица 5

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на смеси 90% ДТ и 10% МЭРМ  
на режиме 13-ступенчатого испытательного цикла

№ режима	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$G_T$ , кг/ч	$G_B$ , кг/ч	$C_{NOx}$ , ppm	$C_{CO}$ , ppm	$C_{CHx}$ , ppm
1	890	0	0	0,85	129	100	240	200
2	1500	5,5	35,0	2,43	236	130	330	220
3	1500	14,0	89,2	3,90	240	225	300	200
4	1500	26,5	168,8	6,08	247	440	195	140
5	1500	40,2	256,1	8,79	262	700	140	100
6	1500	54,5	347,1	12,55	292	675	330	100
7	890	0	0	0,85	129	100	240	200
8	2400	75,7	301,4	19,35	568	500	180	130
9	2400	56,0	222,9	14,95	519	340	180	126
10	2400	36,9	146,9	10,60	461	230	210	140
11	2400	20,1	80,0	7,05	420	130	330	200
12	2400	7,5	29,9	5,14	396	80	500	350
13	890	0	0	0,85	129	100	240	200

Таблица 6

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на смеси 80% ДТ и 20% МЭРМ  
на режиме 13-ступенчатого испытательного цикла

№ режима	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$G_T$ , кг/ч	$G_B$ , кг/ч	$C_{NOx}$ , ppm	$C_{CO}$ , ppm	$C_{CHx}$ , ppm
1	890	0	0	0,81	127	100	240	205
2	1500	5,2	33,1	2,50	236	130	265	250
3	1500	14,1	89,8	3,94	240	225	300	230
4	1500	27,5	175,2	6,33	248	440	180	160
5	1500	40,1	255,4	8,90	260	700	116	110
6	1500	53,9	343,3	12,57	290	600	330	120
7	890	0	0	0,81	127	100	240	205
8	2400	74,8	297,8	19,34	568	510	165	135
9	2400	57,2	227,7	15,34	525	370	160	125
10	2400	36,8	146,5	10,62	462	250	180	145
11	2400	19,4	77,2	7,25	422	150	300	210
12	2400	7,6	30,3	5,16	398	90	510	390
13	890	0	0	0,81	127	100	240	205

Таблица 7.

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на смеси 60% ДТ и 40% МЭРМ  
на режиме 13-ступенчатого испытательного цикла

№ режима	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$G_T$ , кг/ч	$G_B$ , кг/ч	$C_{NO_x}$ , ppm	$C_{CO}$ , ppm	$C_{CH_x}$ , ppm
1	890	0	0	0,84	130	100	270	207
2	1500	5,2	33,1	2,53	234	125	300	235
3	1500	14,2	90,4	4,07	239	220	305	210
4	1500	26,8	170,7	6,36	247	435	180	160
5	1500	40,2	256,1	9,17	258	720	120	115
6	1500	53,8	342,7	12,89	289	635	300	117
7	890	0	0	0,84	130	100	270	207
8	2400	74,8	297,8	19,70	557	575	135	120
9	2400	57,0	226,9	15,57	511	320	165	120
10	2400	37,8	150,5	11,04	455	260	180	140
11	2400	19,1	76,0	7,31	415	150	300	200
12	2400	7,3	29,1	5,16	390	90	510	360
13	890	0	0	0,84	130	100	270	207

Таблица 8

Показатели дизеля типа Д-245.12С, работающего на смеси 40% ДТ и 60% МЭРМ  
на режиме 13-ступенчатого испытательного цикла

№ режима	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м	$G_T$ , кг/ч	$G_B$ , кг/ч	$C_{NO_x}$ , ppm	$C_{CO}$ , ppm	$C_{CH_x}$ , ppm
1	890	0	0	0,83	127	120	255	200
2	1500	6,3	40,1	2,78	234	165	270	230
3	1500	14,0	89,2	4,06	237	235	320	215
4	1500	26,7	170,1	6,48	244	450	195	170
5	1500	40,0	254,8	9,26	257	750	115	121
6	1500	54,0	343,9	13,00	284	700	295	119
7	890	0	0	0,83	127	120	255	200
8	2400	75,9	302,1	20,17	561	575	120	116
9	2400	57,0	226,9	15,79	515	400	150	120
10	2400	37,6	149,7	11,20	457	275	180	137
11	2400	19,4	77,2	7,45	416	160	300	190
12	2400	7,8	31,1	5,46	395	100	495	350
13	890	0	0	0,83	127	120	255	200

Анализ приведенных в табл. 2–8 экспериментальных данных подтверждает улучшение показателей токсичности ОГ при использовании смесей ДТ и МЭРМ, а также возможность оптимизации состава смесевое топлива. При этом необходимо учитывать совокупность показателей топливной экономичности, дымности и токсичности ОГ.

#### 6. Методики оптимизации состава смесевое биотоплива

При использовании смесевое биотоплива различного состава удельный эффективный расход топлива  $g_e$  не в полной мере характеризует эффективность процесса сгорания, поскольку эти виды топлива имеют различную теплотворную способность. Поэтому в процессе оптимизации состава смесевое топлива в качестве частного критерия

оптимальности, характеризующего топливную экономичность дизеля, выбран эффективный КПД  $\eta_e$ . В качестве частных критериев оптимальности, отражающих токсичность ОГ, принято содержание в ОГ нормируемых токсичных компонентов — оксидов азота  $NO_x$ , монооксида углерода CO, несгоревших углеводородов  $CH_x$ . Кроме того, необходимо учесть выбросы сажи (дымность ОГ) или твердых частиц. Но определение дымности ОГ практически более доступно, чем определение выброса твердых частиц.

Для выбора наиболее целесообразной методики оптимизации состава смесевое топлива предложено три методики. В первой обобщенный критерий оптимальности  $J_o$  формируется в виде произведения двух частных критериев. В качестве критерия топливной экономичности  $J_{\eta_e}$  принят эффективный КПД двигателя, а в качестве критерия токсичности

ОГ  $J_{NO_x}$  — выброс оксидов азота как наиболее значимого токсичного компонента ОГ. Такой обобщенный критерий оптимальности можно записать в виде:

$$J_o = J_{\eta_e} J_{NO_x} = \frac{\eta_{e_{дт}} C_{NO_x i}}{\eta_{e_i} C_{NO_x дт}}, \quad (1)$$

где:  $\eta_{e_{дт}}$  и  $C_{NO_x дт}$  — эффективный КПД и концентрация оксидов азота в ОГ дизеля, работающего на нефтяном ДТ;  $\eta_{e_i}$  и  $C_{NO_x i}$  — эффективный КПД и концентрация оксидов азота в ОГ дизеля, работающего на смесевом топливе  $i$ -го состава. Этот обобщенный критерий оптимальности отличается простотой и сравнительно небольшим объемом необходимых расчетов, но не учитывает выброс ряда нормируемых токсичных компонентов — монооксида углерода CO, несгоревших углеводородов  $CH_x$  и сажи С.

Во второй методике обобщенный критерий оптимальности  $J_o$  формируется в виде суммы частных критериев, характеризующих топливную экономичность  $J_{\eta_e}$ , выброс с ОГ оксидов азота  $J_{NO_x}$ , монооксида углерода  $J_{CO}$ , несгоревших углеводородов  $J_{CH_x}$ , а также дымность ОГ  $J_{K_x}$ :

$$J_o = J_{\eta_e} + J_{NO_x} + J_{CO} + J_{CH_x} + J_{K_x} = \frac{\eta_{e_{дт}}}{\eta_{e_i}} + \frac{C_{NO_x i}}{C_{NO_x дт}} + \frac{C_{CO i}}{C_{CO дт}} + \frac{C_{CH_x i}}{C_{CH_x дт}} + \frac{K_{x i}}{K_{x дт}}, \quad (2)$$

где:  $C_{CO дт}$ ,  $C_{CH_x дт}$ ,  $K_{x дт}$  — концентрация монооксида углерода и несгоревших углеводородов в ОГ двигателя, работающего на нефтяном ДТ, а также дымность его ОГ;  $C_{CO i}$ ,  $C_{CH_x i}$ ,  $K_{x i}$  — концентрация монооксида углерода и несгоревших углеводородов в ОГ дизеля, работающего на смесевом топливе  $i$ -го состава, а также дымность его ОГ. При формировании этого обобщенного критерия оптимальности последнее слагаемое учитывалось лишь на режимах ВСХ, на которых измерялась дымность ОГ. На режимах с неполной нагрузкой дымность ОГ не нормируется, и обобщенный критерий оптимальности  $J_o$  выражения (2) включает лишь первые четыре слагаемые.

Третья методика предусматривает формирование обобщенного критерия оптимальности  $J_o$  в виде суммы частных критериев, аналогичной выражению (2), но вводятся весовые коэффициенты, характеризующие значимость каждого слагаемого:

$$J_o = a_{\eta_e} J_{\eta_e} + a_{NO_x} J_{NO_x} + a_{CO} J_{CO} + a_{CH_x} J_{CH_x} + a_{K_x} J_{K_x} = a_{\eta_e} \frac{\eta_{e_{дт}}}{\eta_{e_i}} + a_{NO_x} \frac{C_{NO_x i}}{C_{NO_x 4B}} + a_{CO} \frac{C_{CO i}}{C_{CO дт}} + a_{CH_x} \frac{C_{CH_x i}}{C_{CH_x дт}} + a_{K_x} \frac{K_{x i}}{K_{x дт}}. \quad (3)$$

При этом весовой коэффициент  $a_{\eta_e}$ , характеризующий эффективный КПД дизеля, принят равным 1, а весовые коэффициенты  $a_{NO_x}$ ,  $a_{CO}$ ,  $a_{CH_x}$  характеризующие выброс нормируемых токсичных компонентов, определялись как отношение действительной эмиссии токсичных компонентов ОГ дизеля, работающего на нефтяном ДТ ( $e_{NO_x}$ ,  $e_{CO}$ ,  $e_{CH_x}$ ), к предельным величинам эмиссии, определяемым нормами на токсичность ОГ ( $e_{NO_x пр}$ ,  $e_{CO пр}$ ,  $e_{CH_x пр}$ ):

$$a_{NO_x} = e_{NO_x} / e_{NO_x пр};$$

$$a_{CO} = e_{CO} / e_{CO пр};$$

$$a_{CH_x} = e_{CH_x} / e_{CH_x пр};$$

Весовой коэффициент частного критерия дымности ОГ  $a_{K_x}$  определялся как отношение дымности ОГ  $K_x$  дизеля, работающего на дизельном топливе на режиме максимального крутящего момента, к предельному значению дымности ОГ  $K_{x пр}$  дизеля на этом режиме, определяемому нормами на дымность ОГ:

$$a_{K_x} = K_x / K_{x пр}.$$

Как и в выражении (2), в третьей методике последнее слагаемое в выражении для  $J_o$  учитывалось лишь на режимах ВСХ, а на режимах с неполной нагрузкой обобщенный критерий оптимальности  $J_o$  выражения (3) включает лишь первые четыре слагаемые. При расчетных исследованиях с использованием третьей методики весовые коэффициенты  $a_{NO_x}$ ,  $a_{CO}$ ,  $a_{CH_x}$  частных критериев оптимальности, характеризующих выбросы газообразных токсичных компонентов ОГ, определялись при ограничениях на эти выбросы, накладываемых нормами EURO-4. Весовой коэффициент, характеризующий дымность ОГ, определялся по выражению  $a_{K_x} = K_x / K_{x пр}$ , где ограничение на предельную дымность ОГ регламентируется Правилами 24–03 ЕЭК ООН. С использованием принятых допущений получены следующие значения весовых коэффициентов частных критериев оптимальности:

$$a_{\eta_e} = 1,0;$$

$$a_{NO_x} = e_{NO_x} / e_{NO_x пр} = 7,286/3,5 = 2,08;$$

$$a_{CO} = e_{CO} / e_{CO пр} = 2,834/1,5 = 1,89;$$

$$a_{CH_x} = e_{CH_x} / e_{CH_x пр} = 0,713/0,5 = 1,426;$$

$$a_{K_x} = K_x / K_{x пр} = 21,0/56,2 = 0,37.$$

Эти значения весовых коэффициентов приняты постоянными для всех исследуемых видов топлива и режимов работы.

Для получения необходимой для расчетов информации экспериментальные данные по дизелю типа

Д-245.12С, представленные в табл. 2–8, обработаны с использованием методов линейной интерполяции и экстраполяции. В результате получены данные о расходе топлива и концентрации в ОГ нормируемых токсичных компонентов ОГ в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов работы дизеля типа Д-245.12С, работающего на различных видах топлива. С использованием данных об удельном эффективном расходе топлива  $g_e$  получены соответствующие значения эффективного КПД  $\eta_e$  по зависимости:

$$\eta_e = 3600 / (H_U \cdot g_e),$$

где  $H_U$  — низшая теплота сгорания топлива (для нефтяного ДТ равна 42,5 МДж/кг). Затем рассчитан оптимальный состав смесового топлива во всем диапазоне эксплуатационных режимов — при частоте вращения  $n = 800, 1200, 1600, 2000, 2400$  мин<sup>-1</sup> и нагрузках, соответствующих относительным значениям крутящего момента двигателя  $M_e$  — 10, 25, 50, 75 и 100% от максимального  $M_e$ . В соответствии с предложенными методиками в каждой узловой точке определялись значения обобщенных критериев оптимальности с использованием выражений (1), (2) и (3) при работе на каждом из исследуемых видов топлива. Затем в каждой узловой точке определялся состав топлива, обеспечивающий минимальное значение обобщенного критерия. Этот состав топлива и принимался за оптимальный.

### 7. Результаты оптимизационных расчетов состава смесового биотоплива

В использовании разработанных методик оптимизации и приведенных выше результатов экспериментальных исследований дизеля, работающего на смесовом биотопливе, проведены оптимизационные расчеты состава смесового биотоплива — смесей ДТ и МЭРМ. В результате расчетных исследований получены три базовые характеристики оптимального состава биотоплива, представленные на рис. 3.

Для определения показателей дизеля, в котором реализуются полученные базовые характеристики (рис. 3), в соответствии с экспериментальными данными (табл. 3–8) рассчитаны значения удельного выброса основных нормируемых токсичных компонентов  $e_{NO_x}$ ,  $e_{CO}$ ,  $e_{CH_x}$  на режиме 13-ступенчатого цикла ECE R49 (см. рис. 2) по выражениям:

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{NO_x i} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e i} \cdot K_i};$$

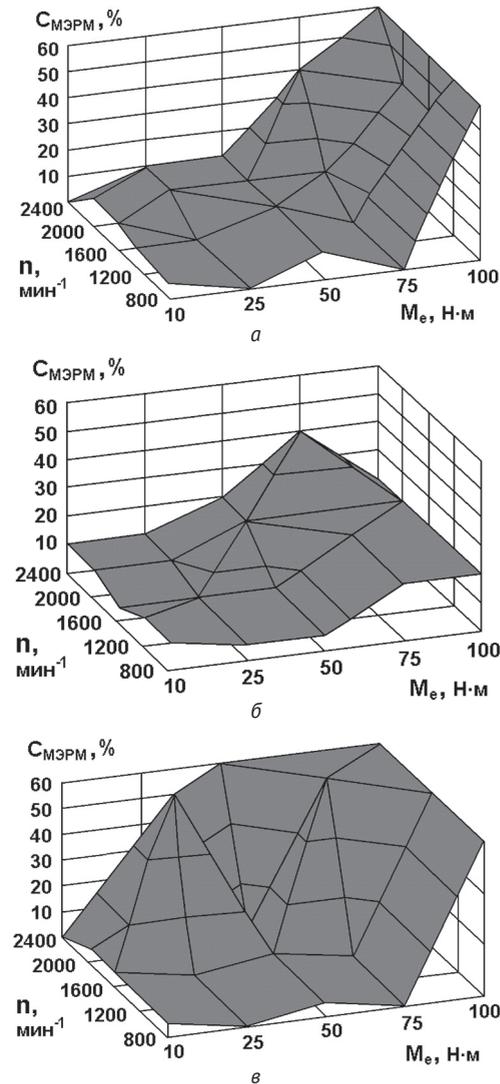


Рис. 3. Базовые характеристики оптимального состава биотоплива: а — полученная по выражению (1); б — по выражению (2); в — по выражению (3)

$$e_{CO} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CO i} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e i} \cdot K_i};$$

$$e_{CH_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CH_x i} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e i} \cdot K_i},$$

где:  $E_{NO_x i}$ ,  $E_{CO i}$ ,  $E_{CH_x i}$  — массовые выбросы токсичных компонентов ОГ на  $i$ -м режиме, г/ч;  $N_{e i}$  — мощность двигателя на этом режиме, кВт;  $K_i$  — доля времени  $i$ -го режима в 13-ступенчатом цикле ECE R49. Оценка эксплуатационного расхода топлива проведена по среднему на режиме 13-ступенчатого цикла (услов-

Показатели дизеля при различном составе смесового биотоплива  
и формировании различных оптимизированных характеристик состава смесового биотоплива

Состав смеси	$e_{NOx}$ г/(кВт·ч)	$e_{CO}$ г/(кВт·ч)	$e_{CHx}$ г/(кВт·ч)	Дымность ОГ, % по шкале Хартриджа на режимах с полной нагрузкой		$g_{e_{усл}}$ г/(кВт·ч)	Условный эффективный КПД двигателя $\eta_{e_{усл}}$	Суммарный услов- ный коэффициент агрессивности ОГ $A_{OG}$
				$n = 2400 \text{ мин}^{-1}$	$n = 1500 \text{ мин}^{-1}$			
100% ДТ	7,286	2,834	0,713	18,0	21,0	245,8	0,345	245,3
95 % ДТ + 5% МЭРМ	6,894	2,234	0,626	18,0	17,0	249,2	0,342	204,4
90 % ДТ + 10% МЭРМ	6,718	2,199	0,658	13,5	16,0	253,6	0,338	194,0
80 % ДТ + 20% МЭРМ	6,542	2,096	0,727	11,0	13,0	256,5	0,338	164,7
60 % ДТ + 40% МЭРМ	7,441	2,021	0,692	10,0	7,5	261,3	0,339	116,9
40 % ДТ + 60% МЭРМ	7,759	1,932	0,681	7,0	8,5	265,0	0,342	128,4
Характеристика № 1	7,216	2,075	0,745	7,0	7,5	257,7	0,339	116,2
Характеристика № 2	6,555	2,155	0,685	11,0	13,0	255,1	0,338	164,6
Характеристика № 3	6,796	2,081	0,671	7,0	7,5	256,7	0,342	113,5

ному) удельному эффективному расходу топлива, который определен с использованием зависимости [2]:

$$g_{e_{усл}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{Ti} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{e_i} \cdot K_i},$$

где  $G_{Ti}$  — часовой расход топлива на  $i$ -м режиме. Топливная экономичность дизеля при его работе на этих видах топлива оценивалась эффективным КПД  $\eta_e$ . Для интегральной оценки работы дизеля на режиме 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{e_{усл}} = \frac{3600}{H_U \cdot g_{e_{усл}}}.$$

Результаты этих расчетов приведены в табл. 9.

Для оценки суммарной токсикологической агрессивности ОГ дизеля, работающего на различных видах топлива, предлагается использовать суммарный условный коэффициент агрессивности ОГ  $A_{OG}$ , определяемый как сумма относительных удельных выбросов нормируемых токсичных компонентов ОГ  $e_{NOx}$ ,  $e_{CO}$ ,  $e_{CHx}$ , а также дымности ОГ  $K_x$  на режиме максимального крутящего момента с учетом относительных условных коэффициентов агрессивности  $A_i$  этих компонентов:

$$A_{OG} = A_{NOx} \frac{e_{NOx i}}{e_{NOx_{дт}}} + A_{CO} \frac{e_{CO i}}{e_{CO_{дт}}} + A_{CHx} \frac{e_{CHx i}}{e_{CHx_{дт}}} + A_{K_x} \frac{K_{x i}}{K_{x_{дт}}},$$

где:  $e_{NOx_{дт}}$ ,  $e_{CO_{дт}}$ ,  $e_{CHx_{дт}}$ ,  $K_{x_{дт}}$  — выброс с ОГ токсичных компонентов и дымность ОГ по Хартриджу при использовании нефтяного ДТ;  $e_{NOx i}$ ,  $e_{CO i}$ ,  $e_{CHx i}$ ,  $K_{x i}$  — аналогичные параметры при работе дизе-

ля на смесовом топливе  $i$ -го состава;  $A_{NOx} = 41,1$ ,  $A_{CO} = 1,0$ ,  $A_{CHx} = 3,16$ ,  $A_{K_x} = 200$  — коэффициенты агрессивности нормируемых токсичных компонентов ОГ, предложенные НАМИ [2]. Они учитывают не только значения предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ, но и вероятность накопления их в атмосфере, их вторичных химических превращений, оседание твердых частиц на поверхность земли, воздействие токсичных компонентов ОГ на растения и животных. При определении суммарного условного коэффициента агрессивности ОГ  $A_{OG}$  использованы значения дымности исследуемого дизеля на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ , поскольку из двух нормируемых режимов (максимальной мощности и максимального крутящего момента) на этом режиме отмечается большая дымность ОГ. Результаты расчетов суммарного условного коэффициента агрессивности ОГ  $A_{OG}$  для рассматриваемого смесового биотоплива и для полученных базовых характеристик состава топлива приведены в табл. 9.

Полученные значения коэффициентов свидетельствуют о том, что среди рассматриваемых видов смесового биотоплива наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь 60% ДТ и 40% МЭРМ. При работе дизеля на этой смеси коэффициент агрессивности ОГ оказался минимальным —  $A_{OG} = 116,9$ . Это значение в два раза ниже, чем при работе на нефтяном ДТ ( $A_{OG} = 245,3$ ). Среди полученных базовых характеристик состава смесового биотоплива наилучшими экологическими свойствами отличается характеристика № 3 (см. рис. 3в). При ее реализации достигается минимальное значение суммарного условного коэффициента агрессивности ОГ  $A_{OG} = 113,5$  (см. табл. 9). Следует отметить, что при формировании базовой характеристики № 3 достигается улучшение показателей топливной экономич-

ности по сравнению с работой на смеси 60% ДТ и 40% МЭРМ. В первом случае эффективный КПД  $\eta_{\text{е усл}}$  был равен 0,342, а во втором — 0,339.

### 8. Заключение

Представленные результаты расчетно-экспериментальных исследований подтверждают эффективность использования смесового биотоплива в отечественных дизелях и необходимость оптимизации состава смесового биотоплива. При этом целесообразно проводить сравнительную оценку экологических характеристик различных видов смесового биотоплива с использованием разработанных методик. Проведенные расчеты подтвердили эффективность предложенных методик.

Для оценки суммарной токсикологической агрессивности ОГ дизеля, работающего на различных видах топлива, рекомендовано использовать суммарный условный коэффициент агрессивности ОГ  $A_{\text{ОГ}}$ . Его предложено определять как сумму относительных удельных выбросов нормируемых токсичных

компонентов — оксидов азота, монооксида углерода, несгоревших углеводородов, а также дымности ОГ — на режиме максимального крутящего момента с учетом относительных условных коэффициентов агрессивности этих компонентов. Расчеты показали, что наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь 60% нефтяного ДТ и 40% МЭРМ. При работе дизеля типа Д-245.12С на этой смеси коэффициент агрессивности ОГ оказался минимальным (116,9). Целесообразно регулировать состав рассматриваемых смесей в соответствии с изменением частоты вращения и нагрузки на двигатель. Наилучшие результаты получены для базовой характеристики на рис. 3в, построенной по методике оптимизации в соответствии с выражением (3). При ее реализации достигается минимальное значение суммарного условного коэффициента агрессивности ОГ  $A_{\text{ОГ}} = 113,5$ . Кроме того, при формировании базовой характеристики на рис. 3в улучшаются показатели топливной экономичности по сравнению с работой на смеси 60% нефтяного ДТ и 40% МЭРМ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. — М.: НИЦ «Инженер», «Онико-М», 2012.
2. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях. — М.: НИЦ «Инженер», «Онико-М», 2011.
3. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000.
4. Девянин С.Н., Марков В.А., Коршунов Д.А. Улучшение экологических показателей транспортных дизелей при использовании смесового биотоплива // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. № 12. — С. 27–33.
5. Марков В.А., Нагорнов С.А., Девянин С.Н. Применение смесовых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях // Безопасность в техносфере. — 2011. № 6. — С. 26–33.
6. Hemmerlein N., Korte V., Richter H., Schröder G. Performance, Exhaust Emissions and Durability of Modern Die-

- sel Engines Running on Rapeseed Oil // SAE Technical Paper Series. — 1991. № 910848. — P. 1–16.
7. Krahl J., Munack A., Bahadir M., Schumacher L., Elser N. Review: Utilization of Rapeseed Oil, Rapeseed Oil Methyl Ester or Diesel Fuel: Exhaust Gas Emissions and Estimation of Environmental Effects // SAE Technical Paper Series. — 1996. № 962096. — P. 319–338.
8. Sharp C.A., Howell S.A., Jobe J. The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part II. Unregulated Emissions and Chemical Characterization // SAE Technical Paper Series. — 2000. № 2000–01–1968..
9. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
10. Марков В.А., Девянин С.Н., Маркова В.В. Оценка экологической безопасности силовых установок с дизельными двигателями // Безопасность в техносфере. — 2014. № 2. — С. 23–32.

### REFERENCES

1. Aleksandrov A.A., Arkharov I.A., Markov V.A. *Al'ternativnye topliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Alternative fuels for internal combustion engines]. Moscow, LLC Scientific Research Centre «Engineer» Publ., LLC «Oniko-M» Publ., 2012. 791 p.
2. Markov V.A., Devyanin S.N., Semenov V.G. *Ispol'zovanie rastitel'nykh masel i topliv na ikh osnove v dizel'nykh dvigatelyakh* [Using vegetable oils and vegetable oils based fuels in diesel engines]. Moscow, LLC Scientific Research Centre «Engineer», LLC «Oniko-M» Publ., 2011. 536 p.
3. Liotko V., Lukanin B.N., Hachian A.S. *Primenenie al'ternativnykh topliv v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya* [Application Alternative Fuels in Internal Combustion Engines]. Moscow, MADI (TU) Publ., 2000. 311 p.
4. Devyanin S.N., Markov V.A., Korshunov D.A. Improving Ecological Characteristics of Vehicle Diesel Engines Using Mixed Biofuel. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety], 2005, I. 12, pp. 27–33 (in Russian)
5. Markov V.A., Nagornov S.A., Devyanin S.N. The Application of Biofuels on the Basis of Blended Methyl Esters of

- Vegetable Oils in Vehicle Diesel Engines. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2011, I. 6, pp. 26–33 (in Russian)
- Hemmerlein N., Korte V., Richter H., Schröder G. Performance, Exhaust Emissions and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil. SAE Technical Paper Series. 1991. № 910848. P. 1–16.
  - Krahl J., Munack A., Bahadir M., Schumacher L., Elser N. Review: Utilization of Rapeseed Oil, Rapeseed Oil Methyl Ester or Diesel Fuel: Exhaust Gas Emissions and Estimation of Environmental Effects. SAE Technical Paper Series. 1996. № 962096. P. 319–338.
  - Sharp C.A., Howell S.A., Jobe J. The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part II. Unregulated Emissions and Chemical Characterization. SAE Technical Paper Series. 2000. № 2000–01–1968. 7 p.
  - Markov B.A., Bashirov P.M., Gabitov I.I. *Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizeley* [Toxicity of Diesel Engines Exhaust Gases]. Moscow, MGTU named after N.E. Bauman Publ., 2002. 376 p
  - Markov V.A., Devyanin S.N., Markova V.V. Environmental Friendliness Assessment of Power Installations with Diesel Engines. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2014, I. 2, p. 23–32. DOI: 10.12737/3668 (in Russian)

## Optimization of Mixed Biofuels Composition for Diesel Engines

**V.A. Markov**, Doctor of Engineering, Professor

**V.V. Markova**, Ph.D. of Engineering, Bauman Moscow State Technical University

**V.M. Sivachev**, Student, Bauman Moscow State Technical University

**S.M. Sivachev**, Student, Bauman Moscow State Technical University

*The advantages of vegetable oil-based biofuels using in diesel engines have been demonstrated. Methods for determining of optimal composition for mixed fuels containing petroleum diesel fuel and methyl ester of rapeseed oil have been proposed. Optimization calculations of such mixed fuel composition for a type 245.12C diesel engine have been carried out using the proposed methods. It has been shown that a mixture containing 60 % of petroleum diesel fuel and 40 % of methyl ester of rapeseed oil has the best ecological characteristics among the researched mixed biofuels. Even better ecological characteristics are reached when such mixture's ingredients are regulated according to changes of the engine's shaft rotation speed and load.*

**Keywords:** diesel engine, petroleum diesel fuel, rapeseed oil, methyl ester of rapeseed oil, mixed biofuel, ecological characteristics, exhaust gases toxicity.

### Авиационное биотопливо

Компания Boeing, авиакомпания South African Airways (SAA) и SkyNRG объявили о начале совместной работы по производству авиационного биотоплива из сорта табака Solaris, разработанного и запатентованного компанией Sunchem Holding. В случае успеха эксперимента по выращиванию табака в Лимпопо в Южной Африке проект будет расширен и, возможно, охватит и другие страны. В ближайшие годы ожидается появление новых технологий, которые позволят увеличить объем

производства авиационного биотоплива из листьев и стеблей растения.

Экологически чистое авиационное биотопливо, полученное из растительного сырья Solaris, может снизить объем углеродосодержащих выбросов на 50–75%, обеспечив соблюдение порога выбросов, установленного Круглым столом по экологически чистым биоматериалам (RSB). Первый испытательный полет будет проведен авиакомпанией SAA.

### Биоэтанол нового поколения в США

В Хьюджете (США, штат Канзас) начал работу комплекс по производству биоэтанола второго поколения. Производство запустила испанская компания Abengoa Bioenergy.

Проектная мощность комплекса составляет 95 млн л биоэтанола в год. Работы над проектом длились в течение десяти лет, большая часть из которых пришлось на раз-

работку технологии ферментативного гидролиза, которая позволяет перерабатывать биомассу в сбраживаемые сахара.

В Хьюджете в качестве сырья используется кукурузная солома, а также некоторые другие виды несельскохозяйственной биомассы.

Источник: [GreenEvolution.ru](http://GreenEvolution.ru)