

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПАРАМЕТРЫ ДИЗЕЛЯ И ЕГО ЭКОЛОГО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*В.Г.Семёнов, кандидат технических наук, доцент
Национальный технический университет "Харьковский
политехнический институт", Харьков*

*М.Н.Лылка, Казённое предприятие "Харьковское
конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков*

Біодизельне паливо (метилові ефіри жирних кислот олій і жирів) достатньо добре адаптоване до дизельних двигунів. Хімічна формула ефірів відрізняється наявністю карбонільної і метилової груп, подвійними зв'язками, що визначає підвищену здатність до окислювання і біологічного розкладу біодизельного палива. Наявність кисню в молекулі ефірів покращує протікання процесу згоряння в циліндрі двигуна, але в той же час знижує енергетичний потенціал біопалива. Біодизельне паливо, хіммотологічні показники якого відповідають європейському стандарту EN 14214, зумовлює надійну роботу дизельного двигуна і його паливної системи.

Экономия энергоносителей нефтяного происхождения, ужесточение норм выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, а также ограничение эмиссии диоксида углерода заставляют большинство стран искать пути снижения опасности влияния тепловых двигателей на окружающую среду. Зависимость от импорта нефти (Украина добывает около 4 млн. тонн нефти и газового конденсата, дотация - более 10 млн. тонн в год) рассматривается большинством стран как вопрос национальной, экономической и энергетической безопасности, а использование нефтепродуктов несёт в себе значительную экологическую опасность. Именно это определяет актуальность исследований и разработок, направленных на диверсификацию сырьевой базы, поиск альтернативных моторных топлив. В последнее время всё более широкое распространение получают альтернативные биотоплива на основе масел и животных жиров.

Для дизельных двигателей широкое распространение в Европе и США получило биодизельное топливо (биодизель), представляющее из себя смесь метиловых (этиловых) эфиров жирных кислот. Источниками сырья для получения биодизеля служат семена маслосодержащих растений, фритюрный жир, отходы мясокомбинатов и др. В настоящее время в Украине десятки фирм и предприятий производят биоустановки для получения биодизеля мощностью 300-3000 тонн/год. На основании вышесказанного есть все основания полагать, что в ближайшем будущем транспорт-

ные средства с дизельными двигателями (сельхозмашины, тепловозы, суда, грузовые автомобили и др.) будут переводиться на биодизельное топливо.

Как отмечается в работе [1], каждый тип дизельного двигателя: с объёмным DI (direct injection) или вихрекамерным IDI (indirect injection) способами смесеобразования, подвергаемый конвертации при переходе на биодизель, должен быть испытан с целью проверки его эколого-экономических характеристик и показателей надёжности. Проведенный анализ показателей работы дизелей DI и IDI [1, 2, 3] показал, что не возникает проблем с применением биодизеля (БД) и его бинарных смесей с дизельным топливом (ДТ) в качестве энергоносителя. Одним из главных условий нормальной работы дизельных двигателей является хорошее качество биодизеля, которое обеспечивается жёсткими требованиями к его физико-химическим показателям, заложенным в Европейском стандарте EN 14214:2003.

В табл. 1 приведено сравнение некоторых физико-химических показателей ДТ и БД, значение которых необходимо для анализа параметров рабочего процесса дизеля.

Остановимся более подробно на методике определения физико-химических показателей биодизеля.

Таблица 1

Физико-химические показатели дизельного топлива и биодизеля

Показатели	Топливо	
	ДТ	БД
C, %	87,0	76,5
H, %	12,6	12,4
O, %	0,4	11,1
m _B , кг/кмоль	200	288
M _O , кмоль/кг	0,497	0,437
L _O , кг/кг	14,34	12,60
Q _H , МДж/кг	42,5	37,2
Химическая формула	C _{14.5} H ₂₅ O _{0.05}	C _{18.4} H _{35.3} O ₂
ρ ₂₀ ⁰ , кг/м ³	825	882
v ₂₀ ⁰ , мм ² /с	3,05	6,05
Сера, %	0,067	0,012
Зольность, %	0,0100	0,0039
ИЧ, J ₂ г/100 г	6	62

Используя метод газожидкостной хроматографии [4], был определен состав смеси метиловых эфиров жирных кислот, входящих в применяемый биодизель. Насыщенные кислоты: миристиновая C14:0-6,42 %; пальмитиновая C16:0-22,62 %; стеариновая C18:0-8,34 %; арахидиновая C20:0-1,15 %; бегеновая C22:0-0,95; ненасыщенные: тетрадеценивая C14:1-0,91; олеино-

вая С18:1-46,98; линолевая С18:2-11,63 %; эруковая С22:1-1,00 %. Исходя из того, что молярная масса углерода $C = 12,011$ кг/кмоль, водорода $H = 1,0079$ кг/кмоль и кислорода $O = 15,994$ кг/кмоль, и зная химические формулы метиловых эфиров вышеуказанных жирных кислот [5], можно определить молярную массу биодизеля m_B , относительные доли C , H и O в нём, теоретически необходимое количество воздуха L_O (M_O) для полного сгорания одного килограмма топлива. Йодное число ИЧ характеризует окислительную способность биодизеля и зависит от процентного содержания в нём метиловых эфиров ненасыщенных кислот.

Величина низшей теплоты сгорания Q_H биодизеля определялась на основании его состава и экспериментальных данных, представленных в работах [5, 6]. Плотность ρ и кинематическая вязкость ν исследуемых смесевых топлив, зольность и количество серы в них определялись в химмотологической лаборатории Казённого предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" (КП ХКБД) на основании нормативной документации, представленной в ДСТУ 3868-99 "Топливо дизельное. Технические условия". Для дизельного топлива численные значения величин C , H и O ; m_B , Q_H и ИЧ брались из литературных источников.

В данной статье приводятся результаты стендовых испытаний дизеля 3Ч8,8/8,2 с водяным охлаждением при работе на дизельном топливе и его бинарных смесях с биодизелем, произведенным ННЦ "Институт механизации и электрификации сельского хозяйства" (п.г.т. Глеваха, Киевская обл.).

Объект испытания - дизельный двигатель 3ДТ (Ч8,8/8,2), выпускаемый КП ХКБД. Основные технико-экономические показатели двигателя: четырёхтактный, трёхцилиндровый, вихрекамерный (IDI) дизельный двигатель номинальной мощностью 16,2 кВт при частоте вращения 2200 мин⁻¹, диаметр цилиндра 88 мм и ход поршня 82 мм, степень сжатия $\varepsilon = 18,5$, объём вихревой камеры с соединительным каналом равен 13,1 см³. Форсунка закрытого типа, диаметр распыливающего отверстия 0,37 мм, давление затяжки иглы форсунки $18 \pm 0,5$ МПа, максимальное давление впрыскивания топлива - 35 МПа. Геометрический угол опережения начала подачи топлива, который обеспечивает минимальный удельный эффективный расход исследуемых топлив соответствует 15⁰ п.к.в. до ВМТ. Помимо стандартных измерений показателей работы двигателя (частота вращения коленчатого вала n , мощность N_e , часовой расход топлива V_{ch} , температура отработавших газов t_T , барометрическое давление B_0 и температура окружающей среды), определяли в продуктах сгорания оксид углерода CO и суммарные углеводороды CH , оксиды азота NO_x , измеряли плотность отработавших газов D . Для этого заводской испытательный стенд промышленного производства, оборудованный электрическим нагружающим устройством и автоматизированными системами измерения и регистрации параметров рабочего процесса, был оснащён газоанализаторами ГИАМ-24 и

Клён-22, дымомером ИДС-1М. Комплектовка дизеля соответствовала условию определения эксплуатационной мощности. При испытаниях атмосферное давление и температура окружающей среды находились, соответственно, в пределах (740..750) мм рт. ст., и (34...36) °С.

Испытаниям были подвергнуты топлива различного состава - чистое дизельное топливо ДТ и его объёмные бинарные смеси с биодизелем БД: В10 (10 % БД+90 % ДТ), В25 (25 % БД+75 % ДТ), В50 (50 % БД+50 % ДТ). Программа испытаний предусматривала определение внешних скоростных и нагрузочных характеристик. Вначале снимались внешние скоростные характеристики на каждом из исследуемых топлив. При этом положение упора рейки топливного насоса высокого давления оставалось неизменным. Результаты испытаний приведены в табл. 3 (опыты 17-28, 45-48). Там же представлены показатели работы двигателя на режимах нагрузочных характеристик при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ и 2200 мин^{-1} , мощности $N_e = 10\%, 25\%, 50\%$ и 75% от $N_{e \text{ ном}}$. (опыты 1-16, 29-44).

Рассмотрим влияние физических показателей (плотность и вязкость) ДТ и БД на характеристики топливной аппаратуры. Если плотность топлива обуславливает массовую цикловую подачу топлива, то от вязкости зависят утечки топлива через зазоры прецизионных пар топливной аппаратуры, степень дросселирования топлива в наполнительных и отсечных отверстиях втулки плунжера при их открытии и закрытии, а также в сопловом отверстии распылителя форсунки. От вязкости и коэффициента сжимаемости топлива зависит коэффициент подачи топливного насоса высокого давления, действительный угол опережения подачи топлива и объемная подача топлива [7]. На безмоторном стенде была определена производительность топливной аппаратуры дизеля ЗДТА на внешней характеристике при работе ДТ и БД. Зависимость цикловой подачи топлива от частоты вращения представлена в табл.2. До и после испытаний определялось гидравлическое сопротивление распылителей форсунок методом пролива топлива под давлением 4 МПа. За время испытаний гидравлическое сопротивление распылителей форсунок не изменилось, пролив топлива через распылители для секций составил, соответственно, 521, 480, 525 г/мин.

Таблица 2

Результаты испытаний топливной аппаратуры дизеля ЗДТА

$n_{\text{кв}}, \text{ мин}^{-1}$	ДТ, $g_{\text{ц}}, \text{ мм}^3/\text{цикл}$	БД, $g_{\text{ц}}, \text{ мм}^3/\text{цикл}$
1200	2,7	3,6
1150	27,6	27,0
1100	35,4	38,8
1000	35,2	40,7
900	36,0	39,6
800	35,4	39,4

Таблица 3

Нагрузочные и внешние скоростные характеристики дизельного двигателя ЗДТА (Ч8,8/8,2) при работе на различных видах топлива

	Вид топлива	Ne, кВт	Вч, кг/ч	ge, г/кВт·ч	g'е, МДж/кВт·ч	α	t _г , °С	η _е , %	g _ц ·10 ³ , г/цикл	Q _ц , мм ³ /цикл	CO ₂ , кг/ч	W _{CO} , ppm	W _{CH} , ppm	W _{NOx} , ppm	D, %
n = 1600 мин ⁻¹															
1	ДТ	1,26	1,22	964,6	41,00	4,20	155	8,8	8,47	10,27	3,89	880	60	240	2
2	В10	1,25	1,32	1056,0	44,25	3,95	155	8,1	9,17	11,04	4,16	960	70	200	16
3	В25	1,25	1,36	1088,0	44,72	3,89	160	8,1	9,44	11,25	4,20	1050	60	170	9
4	В50	1,25	1,40	1120,0	44,57	3,85	160	8,1	9,72	11,39	4,19	1111	60	130	17
5	ДТ	3,09	1,50	485,7	20,40	3,39	200	17,4	10,42	12,63	4,78	500	70	320	2
6	В10	3,09	1,55	501,8	21,03	3,34	200	17,1	10,76	12,95	4,88	530	70	300	18
7	В25	3,09	1,58	511,6	21,30	3,33	200	17,1	10,97	13,07	4,88	600	70	250	8
8	В50	2,94	1,58	537,2	21,38	3,40	203	16,8	10,97	12,85	4,73	660	70	220	20
9	ДТ	6,32	2,07	327,4	13,91	2,44	275	25,9	14,37	17,42	6,60	340	70	450	8
10	В10	6,25	2,15	343,9	14,41	2,38	275	25,0	14,93	17,97	6,77	360	70	430	19
11	В25	6,25	2,20	352,0	14,47	2,37	275	24,9	15,28	18,20	6,79	370	70	380	11
12	В50	6,25	2,22	355,2	14,14	2,41	270	25,5	15,42	18,07	6,64	390	70	340	24
13	ДТ	9,56	2,89	302,3	12,85	1,75	380	28,0	20,06	24,32	9,22	410	80	540	15
14	В10	9,34	2,89	309,5	12,97	1,76	380	27,7	20,07	24,16	9,10	420	80	490	23
15	В25	9,34	2,93	313,8	12,90	1,78	370	27,9	20,39	24,29	9,05	470	80	460	17
16	В50	9,26	3,00	323,8	12,89	1,79	360	27,9	20,83	24,41	8,98	500	80	400	25
17	ДТ	12,6	3,70	292,5	12,43	1,37	515	28,9	25,68	31,13	11,8	1030	90	460	46
18	В10	12,5	3,72	297,6	12,47	1,37	530	28,9	25,83	31,09	11,7	960	80	450	51
19	В25	12,4	3,75	301,8	12,40	1,38	525	29,0	26,04	31,03	11,6	920	90	420	49
20	В50	12,4	3,90	313,9	12,50	1,35	530	28,8	27,08	31,73	11,7	850	80	370	41
n=1800мин ⁻¹															
21	ДТ	14,2	4,23	298,1	12,67	1,33	555	28,4	26,11	31,65	13,5	-	-	-	35
22	В10	14,0	4,24	301,9	12,65	1,35	560	28,4	26,17	31,51	13,3	-	-	-	36
23	В25	13,8	4,26	308,2	12,67	1,36	549	28,4	26,30	31,33	13,1	-	-	-	40
24	В50	14,0	4,41	315,7	12,56	1,34	555	28,7	27,22	31,89	13,2	-	-	-	34
n=2000мин ⁻¹															
25	ДТ	15,5	4,64	299,1	12,71	1,35	572	28,3	25,78	31,25	14,0	-	-	-	42
26	В10	15,2	4,61	302,9	12,69	1,38	570	28,4	25,61	30,83	14,0	-	-	-	42
27	В25	15,6	4,80	307,9	12,65	1,35	581	28,4	26,67	31,77	14,8	-	-	-	39
28	В50	15,7	4,98	318,0	12,66	1,33	585	28,4	27,67	32,42	15,6	-	-	-	39
n=2200мин ⁻¹															
29	ДТ	1,62	1,77	1094,1	46,50	3,96	180	7,7	8,94	10,84	5,65	390	50	350	8
30	В10	1,51	1,82	1201,5	50,34	3,94	180	7,2	9,19	11,06	5,73	410	60	320	2
31	В25	1,49	1,86	1246,2	51,22	3,90	180	7,0	9,39	11,19	5,74	340	60	33	6
32	В50	1,50	1,87	1338,5	53,27	3,98	175	6,8	9,44	11,06	5,60	420	60	250	8
33	ДТ	3,82	2,12	554,5	23,57	3,31	215	15,3	10,71	12,98	6,76	220	80	490	10
34	В10	3,75	2,20	586,7	24,58	3,23	220	14,6	11,11	13,37	6,93	240	80	470	5
35	В25	3,60	2,20	610,6	25,10	3,29	210	14,3	11,11	13,24	6,79	200	80	440	9
36	В50	3,60	2,22	616,2	24,53	3,33	212	14,7	11,21	13,13	6,64	270	80	390	11
37	ДТ	7,57	2,78	367,1	15,60	2,52	290	23,1	14,04	17,02	8,87	330	80	550	23
38	В10	7,50	2,81	374,7	15,70	2,52	290	22,9	14,19	17,08	8,85	310	80	530	15

Продолжение таблицы 3

	Вид топлива	Ne, кВт	Вч, кг/ч	ge, г/кВт·ч	g'e, МДж/кВт·ч	α	tT, 0C	ηe, %	gц·103, г/цикл	Qц, мм3/цикл	CO2, кг/ч	Wco, ppm	Wсн, ppm	WNOx, ppm	Д, %
39	B25	7,35	2,85	387,6	15,93	2,52	290	22,6	14,39	17,14	8,80	280	80	470	20
40	B50	7,28	2,94	403,9	16,08	2,50	285	22,4	14,85	17,40	8,80	260	80	430	20
41	ДТ	11,4	3,57	313,2	13,31	1,95	385	27,0	18,03	21,85	11,4	480	80	600	36
42	B10	11,3	3,61	320,8	13,44	1,96	380	26,8	18,23	21,95	11,4	500	80	550	23
43	B25	11,0	3,65	330,9	13,60	1,97	375	26,5	18,43	21,96	11,3	450	90	520	31
44	B50	10,9	3,70	340,0	13,53	1,98	375	26,6	18,69	21,90	11,1	350	90	470	30
45	ДТ	15,4	4,65	301,1	12,80	1,49	530	28,1	23,49	28,47	14,8	660	100	580	45
46	B10	15,2	4,63	304,2	12,75	1,52	510	28,2	23,38	28,15	14,6	700	100	550	34
47	B25	14,7	4,59	312,1	12,83	1,56	500	28,1	23,18	27,62	14,2	630	110	520	33
48	B50	14,6	4,68	321,5	12,80	1,56	490	28,1	23,64	27,70	14,0	480	100	460	35

Рассматривая полученные результаты экспериментальных исследований, необходимо отметить следующее. При анализе топливной экономичности двигателя, работающего на топливах с различной низшей теплотой сгорания, интересным является введение величины $g'_e = g_e \times Q_H$, которая характеризует количество теплоты, введенной в цилиндр для совершения единицы работы. При расчёте коэффициента избытка воздуха α , удельного эффективного расхода топлива g'_e , эффективного к.п.д. η_e и количества диоксида углерода CO_2 в отработавших газах двигателя, работающего на бинарных топливных смесях, необходимо знать величину Q_H^{CM} , M_o^{CM} и C^{CM} для топлив B10, B25 и B50. Значение этих величин определялось по соотношениям:

$$Q_H^{CM} = (Q_H^{dm} \cdot \delta_{dm} \cdot \rho_{dm} + Q_H^{bd} \cdot \delta_{bd} \cdot \rho_{bd}) / \rho_{cm} \quad \text{МДж/кг};$$

$$M_o^{CM} = (M_o^{dm} \cdot \delta_{dm} \cdot \rho_{dm} + M_o^{bd} \cdot \delta_{bd} \cdot \rho_{bd}) / \rho_{cm} \quad \text{кмоль/кг};$$

$$C^{CM} = (C_{dm} \cdot \delta_{dm} \cdot \rho_{dm} + C_{bd} \cdot \delta_{bd} \cdot \rho_{bd}) / \rho_{cm};$$

$$\rho_{cm} = \rho_{dm} \cdot \delta_{dm} + \rho_{bd} \cdot \delta_{bd}, \quad \text{кг/м}^3,$$

где ρ_{dm} и δ_{bd} - относительные доли ДТ и БД в бинарных топливах; ρ_{dt} , ρ_{bd} и ρ_{cm} - плотность ДТ, БД и их смесей.

Рассмотрим характер изменения показателей работы дизельного двигателя ЗДТ на режимах нагрузочных характеристик при применении различных видов топлив (см. табл. 2). Как видно, на всех режимах нагрузочных характеристик по мере роста доли биодизеля в бинарных топливных смесях и связанным с этим уменьшением их теплоты сгорания Q_H^{CM} монотонно увеличивается часовая и удельный эффективный расходы топлива. При этом необходимо отметить практически одинаковую эффективность (g'_e и η_e) преобразования химической энергии сгораемого топлива в совершаемую работу для всех видов топлив. Коэффициент избытка воздуха α , температура отработавших газов t_T и объёмная цикловая порция топлива Q_c на каждом из режимов нагрузочных характеристик изменялись незна-

чительно. Величину α определяли с учётом условий на впуске в двигатель по соотношению:

$$\alpha = \eta_v \cdot M_h / q_u \cdot M_o,$$

где $\eta_v = 0,95 \div 0,96$ - коэффициент наполнения; M_h - потенциальный заряд, кмоль; q_u - цикловая порция топлива, кг/цикл.

Мало изменяющиеся значения величин α и $Q_{ц}$ на каждом из режимов нагрузочных характеристик обеспечивают идентичность протекания рабочего процесса в цилиндре двигателя при его работе на различных видах топлив.

На режимах внешних скоростных характеристик в диапазоне $n = 1600 \div 2200$ мин⁻¹ характер изменения показателей работы двигателя на ДТ и В10÷В50 идентичен (см. табл. 2). Из-за снижения механического к.п.д. по мере роста частоты вращения уменьшается η_e и, как следствие, увеличиваются g_e и g'_e .

При переходе от дизельного топлива к бинарной смеси В50 из-за повышения плотности на 3,5 % и вязкости на 42 % уменьшаются утечки топлива в зазоре плунжер-втулка плунжера, что приводит к росту цикловых подач на 5,5÷7 % (см. табл. 2, опыты 17-28). При $n = 2200$ мин⁻¹ из-за роста ρ и ν по мере перехода от ДТ к В50 происходит снижение эффективности наполнения надплунжерного пространства и цикловая подача практически одинакова (см. табл. 2, опыты 45-48), при этом на 13 % уменьшается общий уровень $V_{ц}$, что приводит к повышению α и снижению t_T , уменьшению крутящего момента.

В части экологических показателей следует отметить главные отличия биодизеля, связанные с наличием в молекуле метиловых эфиров кислорода (10-11 %) [1, 2, 7]:

- лучшая полнота сгорания и меньший выход вредных компонентов (СО, СН и дымность);

- больший выход NO_x .

По данным [7] для ряда двигателей IDI при применении биодизеля снижение выбросов вредных веществ составляет: СО – 12 %, СН – 35 %, сажа – 50 % при повышении выбросов NO_x на 10 %. Фирма "Фольксваген" провела исследования четырёхцилиндрового вихрекамерного безнаддувного дизеля размерностью $S/D = 8,64/7,65$ и мощностью 40 кВт при его работе на дизельном топливе и биодизеле (метиловых эфирах рапсового масла). При работе двигателя на стенде по тесту ЕСЕ и переводе с дизельного топлива на биодизель выбросы СО снижаются с 4,5 до 3,57 г/тест, углеводородов - с 0,82 до 0,37 г/тест, снижаются дымность отработавших газов (на 1-2 ед. по шкале "Бош"), а оксиды азота, наоборот, возрастают с 2,56 до 3,01 г/тест.

Замена части дизельного топлива биотопливом из возобновляемых источников позволяет снизить опасность парникового эффекта, так как

CO₂, содержащийся в отработавших газах, поглощается растущими масло-содержащими растениями. Например, 1 га растущего рапса поглощает около 22 т диоксида углерода, который образуется при сгорании 6,8 т ДТ (7,8 т БД).

Рассмотрим экологические показатели двигателя ЗДТ при его работе на исследуемых видах топлив. При работе двигателя на режимах нагрузочных характеристик (см. табл. 2, опыты 1-20, 29-48) при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ выбросы CO увеличиваются при переходе от ДТ к В50, кроме режима $Ne_{ном}$; при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ видимое снижение выбросов CO при переходе от ДТ к В50 происходит в диапазоне мощности двигателя (0,5...1,0) $Ne_{ном}$. Уменьшение концентрации оксида углерода в смесевых бинарных топливах обусловлено наличием кислорода в молекулах биодизельного топлива. Характер протекания кривой CO для ДТ и В10...В50 идентичен.

Выбросы оксидов азота NO_x на каждом из режимов нагрузочных характеристик уменьшаются при переходе от ДТ к смеси В50 (см. табл. 2, опыты 1-20, 29-48), при этом эмиссия NO_x достигает максимального значения на режимах 75% $Ne_{ном}$.

Дымность отработавших газов на режимах нагрузочных характеристик возрастает по мере увеличения мощности (уменьшается α). Закономерности изменения выбросов твёрдых сажистых частиц при переходе от ДТ к В50 не просматриваются (см. табл. 2, опыты 1-20, 29-36). На режимах нагрузочной характеристики при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ (см. табл. 2, опыты 37-48) дымность отработавших газов уменьшается при переходе от ДТ к В50, что обусловлено, как отмечалось выше, наличием в составе биодизеля 11, 1% кислорода.

Выводы.

1. Основные физико-химические показатели БД, такие как плотность, кинетическая вязкость, содержание серы, коксуемость, цетановое число, зольность, практически соответствуют ДТ.

2. В результате стендовых параметрических испытаний установлено, что параметры дизеля, полученные на бинарных смесях ДТ и БД, практически не отличаются от базовых параметров, полученных на ДТ. Ухудшение экономичности на бинарных смесях связано с уменьшением теплотворной способности топлив.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смайлис В., Сенчила В., Берейшене К. Моторные испытания РМЭ на высокооборотном дизеле воздушного охлаждения // *Двигателестроение*. - 2005. - №4. С.45-49.
2. Семенов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения // *Вісник Національного технічного університету. "ХПІ": Збірка наукових праць*. Харків: НТУ "ХПІ". – 2002. - №3. - С.177-197.

3. Labeckas G., Slavinskas S. *The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection Diesel engine performance and exhaust emission // Energy Conversion and Management.* - 2005, P.1-14.
4. Семенов В.Г. Зінченко О.А. *Визначення хімічного складу альтернативних палив рослинного походження методом газорідинної хроматографії // Збірник наукових праць. – Хар.:ДАЗТ, 2003. - Вип. 52. - С.66-74.*
5. Семенов В.Г. *Определение физико-химических показателей альтернативных топлив растительного происхождения для дизелей сельскохозяйственных машин // Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - К.: НАУ, 2003. - Том XIV. - С. 331-339.*
6. Семенов В.Г., Семенова Д.У., Слипущенко В.П. *Расчет высшей теплоты сгорания биотоплив // Химия и технология топлив и масел. - 2006. - №2. - С.46-49.*
7. Марков В.А., Козлов С.И. *Топлива и топливоподача многотопливных газодизельных двигателей. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. -296 с.*
8. *Альтернативные топлива и другие нетрадиционные источники энергии: Монография /А. Адаменко, В. Высочанский, В. Летко, М. Михайлов. - Ивано-Франковск: ИМЕ.- 2001.- 432 с.*