

УДК 621.43

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПРИ РАБОТЕ НА БИОДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ, СОДЕРЖАЩЕМ
МЕТИЛОВЫЕ ЭФИРЫ РЫЖИКОВОГО МАСЛА**

Сагайдачный Д.А. – аспирант

E-mail: attestaciaa@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются возможности использования метиловых эфиров жирных кислот, полученных из рыжикового масла. Проведены исследования физических и химических свойств чистых метиловых эфиров из рыжикового масла, которые показали, что биотопливо не соответствует требованиям стандарта биодизельного топлива (LST EN 14214:2009) [1] по высокому йодному числу и высокому содержанию метилового эфира линолевой кислоты, поэтому его необходимо смешивать с метиловыми эфирами, полученными из свиного сала, содержание которых в смеси должно быть не менее 32%. В статье представлены результаты испытаний выбросов при сгорании, полученных при работе трехцилиндрового дизеля VALMET 320 DMG на смеси, содержащей 30% нового вида топлива с дизельным топливом, в сравнении с выбросами, полученными при работе двигателя на дизельном топливе. Результаты исследований показывают, что при использовании обоих видов топлива существенных различий по CO и NO_x нет. При работе на топливе, содержащем метиловые эфиры из рыжикового масла, содержание углеводородов снизилось на 10-12%, а дымность отработавших газов – на 12-25%.

Ключевые слова: биодизельное топливо, рыжиковое масло, метиловый эфир, жирные кислоты, дизельный двигатель, свиное сало, экологические показатели.

**ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE WHEN
RUNNING ON BIODIESEL CONTAINING METHYL ESTERS OF GERMAN
SESAME OIL**

Sagaidachny D.A. – postgraduate student

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

Annotation. The article discusses the possibilities of using methyl ethers of fatty acids obtained from german sesame oil. Studies of the physical and chemical



properties of pure methyl ethers from german sesame oil have been conducted, which has shown that biofuels do not meet the requirements of the biodiesel standard (LST EN 14214:2009) [1] for a high iodine number and a high content of linoleic acid methyl ether, therefore it must be mixed with methyl ethers obtained from the pork lard. Its content in the mixture should be at least 32%. The article presents the results of combustion emissions tests obtained during operation of the VALMET 320 DMG three-cylinder diesel engine on the mixture containing 30% of a new type of fuel with the diesel fuel, in comparison with the emissions obtained when the engine uses the diesel fuel. The results obtained show that there are no significant differences in CO and NO_x when using both types of fuel. When using the fuel containing methyl ethers from german sesame oil, the hydrocarbon content decreased by 10-12%, and the smoke content of the exhaust gases decreased by 12-25%.

Key words: biodiesel, german sesame oil, methyl ether, fatty acids, diesel engine, pork lard, environmental indicators.

Использование биотоплива в транспортном секторе приветствуется и поощряется во всем мире [2-9]. Например, Директива 2003/30/ЕС (2003 г.) [8] гласит, что государства – члены ЕС должны постепенно увеличивать потребление биотоплива на транспорте и часть транспортного топлива должно быть заменено биотопливом.

Однако, несмотря на изложенные в Директиве стремления, развитие использования биотоплива в государствах – членах ЕС все еще недостаточно. Между тем новые документы ЕС «Стратегия ЕС по биотопливу» (2006 г.) [3, 4] и «Биотопливо в Европейском Союзе. Видение до 2030 года и далее» (2006 г.) [5] предусматривают увеличение потребления биотоплива до 15% к 2020 году и до 25% к 2030 году. Это будет возможно только за счет увеличения объемов производства и потребления биотоплива первого поколения, а также и за счет внедрения производства биотоплива второго поколения, предусматривающего интенсивное развитие промышленности после 2020 года.

В большинстве случаев биодизельное топливо (75% биотоплива на рынке) и биоэтанол (20%) используются в европейских странах в качестве биотоплива первого поколения (EU-27 Bio-Fuels Annual 2008) [9]. Однако



рынок сырья, используемого при производстве биодизельного топлива — рапсового масла, ограничен; поэтому исследователи стараются найти новое подходящее сырье для производства биодизельного топлива. Некоторые новые виды растительного масла, которые должны иметь более низкие цены, чем традиционное рапсовое масло, могут повысить рентабельность производства биодизельного топлива и привлекательность для производителей. Кроме того, необходимо найти масличные растения, не требовательные к почве и возделываемые на бесплодных землях, непригодных для выращивания рапса, поскольку потенциал последнего процесса в настоящее время в странах ЕС приближается к пределу из-за нехватки подходящих земель и из-за требований к севообороту. Содержание рыжикового масла в семени высокое и достигает около 43%. Исследуются свойства масла, полученного из этого растения, и возможность его использования для получения метиловых эфиров жирных кислот. Предварительные результаты зарубежных исследователей показывают, что из-за высокого содержания полиненасыщенных жирных кислот метиловые эфиры из рыжикового масла могли использоваться в качестве биодизельного топлива только в смеси с метиловыми эфирами рапсового масла (PME). Еще лучшие результаты можно было бы получить, добавляя его в смеси с метиловыми эфирами животного жира, содержащих много насыщенных жирных кислот.

При производстве новых видов биодизельного топлива необходимо оценивать не только его физико-химические характеристики, но и проводить сравнительные эксплуатационные испытания двигателя, оценивая его моторные и экологические показатели по сравнению со свойствами обычного биодизельного топлива. Литературы и данных об исследованиях характеристик двигателей на биодизельном топливе, полученном из рыжикового масла и дизельного топлива нефти, ещё недостаточно, что может быть связано с недавно начатыми



экспериментами по выращиванию и использованию этого растения. Поэтому целью нашей работы было сравнение эксплуатационных испытаний двигателя с оценкой моторных и экологических характеристик топлив, содержащих метиловые эфиры жирных кислот из рыжикового масла.

Объектом исследований стал 3-цилиндровый дизельный двигатель VALMET 320 DMG производства AGCO SISU POWER, входящий в состав судового дизель-генератора STAMFORD UC.M224C2 переменного тока мощностью 28 кВт. Основные параметры дизеля приведены в таблице 1.

Конструкция дизеля предусматривает его работу на метиловых эфирах жирных кислот (FAME), получаемых из рапсового или капустного масла. В ходе испытаний нагрузка двигателя обеспечивалась за счет постепенного увеличения потребления электроэнергии, вырабатываемой дизель-генератором корабля. При работе дизеля на всех видах топлива повышалась его нагрузка от режимов, близких к холостому, до номинальных (P_{enom}): 5-10% P_{enom} ; ~25% P_{enom} ; ~ 55% P_{enom} ; 65-70% P_{enom} и 80-85% P_{enom} при номинальной частоте вращения $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$. С целью обеспечения повторяемости результатов и стабильности контроля технического состояния двигателей в начале и в конце испытаний они проводились на дизельном топливе.

Таблица 1 – Основные параметры дизельного двигателя VALMET 320 DMG

Параметр	Значение
Количество цилиндров	3
Рабочий объем, дм^3	3,3
Диаметр цилиндра, мм	108
Ход, мм	120
Метод впрыска топлива	Непосредственный впрыск
Насос высокого давления	Секционный Бош
Стартовое давление впрыска топлива, МПа	$23,5 \pm 0,5$
Номинальная мощность (P_{enom}), кВт	30
Номинальная частота вращения ($n_{\text{ном}}$), мин^{-1}	1500



Рыжиковое масло получали механическим прессованием на прессе Skeersta Maskin Type 40A (Швеция). Переэтерификацию масла метанолом проводили на лабораторном оборудовании по общепринятому методу переэтерификации рапсового масла. Аналитически чистый метанол (Олдрич Кемикал Компани, Инк.) и аналитически чистый КОН (Олдрич Кемикал Компани, Инк.) использовали для переэтерификации и в качестве катализатора. Трансэтерификацию проводили в два этапа, на первом из которых в масло вводили 11% метанола с содержанием КОН 0,9%, а на втором этапе использовали 6% метанола и 0,4% КОН. При прохождении каждой стадии глицериновую фракцию отделяли, а эфиры, полученные после завершения второй стадии, промывали 10%-м раствором эфира и 5%-м раствором фосфорной кислоты (Олдрич Кемикал Компани, Инк.). После промывки фосфорной кислотой растворы эфиров дважды промывали 10%-м раствором воды. Следы воды из эфиров выпаривали в вакууме.

Метилвые эфиры свиного сала получали из свиного сала. При этом выпаривание влаги, переэтерификацию и процедуру сложноэфирной очистки сала проводили так же, как и процесс получения метиловых эфиров жирных кислот из рыжикового масла.

При подготовке топлива для испытаний двигателя помимо экспериментально полученных метиловых эфиров жирных кислот (FAME) использовалось дизельное топливо (Д), соответствующее требованиям LST EN 590. По стандарту оно содержало 5% (об.) метиловых эфиров рапсового масла (RME). Однако в эксперименте для испытаний содержание RME было 30% (об.) топливных смесей биологического происхождения с дизельным топливом. Эта концентрация выбрана с учетом того, что зарубежные авторы проводили испытания на дизелях [10-17] и установили, что 30% смеси FAME с Д имеет оптимальную концентрацию с точки зрения улучшения экономии дизельного топлива и экологических показателей.



Показатели качества метиловых эфиров жирных кислот и их смесей оценивали с использованием методик, предусмотренных стандартом LST EN 14214:2009 [1]. Физико-химические параметры испытуемых топлив (смесей метиловых эфиров с дизельным топливом) определяли стандартными методами [18-24]:

- плотность определена в соответствии со стандартом ISO 12185:1996;
- вязкость – ISO 3104:1994;
- цетановое число – ISO 5165:1998;
- содержание серы – ISO 20846:2004;
- коррозия медных полос – ISO 2160:1998;
- содержание золы – ISO 6245:2000.

Температурный режим дизеля во время испытаний контролировался с помощью стационарных приборов дизель-генератора на пульте управления.

Мощность, потребляемая генератором, регулировалась по показаниям электрического тока и напряжения и измерялась портативным прибором MINI AC/DC CLAMP METER: ток в диапазоне до 40А имел разрешение 0,01А с точностью $\pm 2,5\%$; при измерении диапазона напряжений до 400В разрешение составляло 0,1В, точность составляла $\pm 1\%$. Исходя из этого, точность измерения потребляемой мощности составила $\pm 3,5\%$ и была оценена как удовлетворительная для исследовательской работы.

Параметры приборов измерения вредных компонентов отработавших газов двигателя приведены в таблице 2.

Физико-химические параметры топлива. Анализ качества метиловых эфиров рыжикового масла и Д (KSME) продемонстрировал, что такие метиловые эфиры не отвечают требованиям стандарта LST EN 14214:2009 показателей качества биодизельного топлива. Эти виды топлива имеют слишком высокое йодное число – 143 г I.₂/100 г, тогда как стандарт предусматривает максимум 120 г I.₂/100 г. Из-за большого содержания



полиненасыщенных жирных кислот в рыжиковом масле полученные метиловые эфиры имеют слишком высокое содержание метиловых эфиров линоленовой кислоты – 44,8%, тогда как максимальный предел по стандарту составляет 12%. По этим причинам чистый KSME не мог быть использован в качестве топлива.

Таблица 2 – Параметры измерительных приборов

		Измеряемые компоненты						
		CO	CO ₂	HC	O ₂	NO ₂	NO	NO _x
Газоанализатор ХГА 400	Пределы	0-10% (об.)	0-20% (об.)	0-20 000 ppm	0-22% (об.)			0-5000 ppm
	Точность	±5%	±5%	±5%	±5%			±5%
Газоанализатор ТЕСТО 330 XL	Пределы	0-20 000 ppm	0-25% (об.)		0-25% (об.)	0-500 ppm	0-3000 ppm	
	Точность	±5%	±0,3% (об.)		±0,2% (об.)	±5%	±5%	
Дымомер МДО-2	Пределы		Дымность, % 0÷100			Коэффициент поглощения, 0-9,99 м ⁻¹		
	Точность		±2%			±2%	±2%	

Свиное сало, напротив, имело низкое содержание ненасыщенных жирных кислот, в связи с чем йодное число метиловых эфиров свиного сала (КМЕ) низкое и составляет 64,9 г I.2/100 г. Они вообще не содержат метиловых эфиров линолевой кислоты. Было сделано предположение, что при смешивании KSME и КМЕ с учетом соответствующего соотношения можно получить биотопливо, соответствующее требованиям стандарта LST EN 14214:2009. По итогам испытаний было обнаружено, что такие смеси должны содержать 68% (об.) рыжикового масла и 32% (об.) метиловых эфиров свиного сала. Показатели качества такой смеси и их соответствие требованиям стандарта приведены в таблице 3.

Данные показывают, что смесь KSME и КМЕ соответствует требованиям качества, предъявляемым к биодизельному топливу, поэтому в этом составе ее использовали для топлива при испытаниях двигателя.



Таблица 3 – Качественные показатели смеси, содержащей 68% рыжикового масла и 32% метиловых эфиров из свиного сала и их соответствие требованиям LST EN 14214:2009 [1]

Параметр	Единица	Требования LST EN 14214		Смесь KSME и KME
		мин	макс	
Содержание эфира	% (масса)	96,5		97,1
Плотность при 15°C	кг/м ³	860	900	865
Вязкость при 40°C	мм ² /с	3,50	5,00	4,8
Точка возгорания	°C	120		185
Содержание серы	мг/кг		10	18
Углеродный остаток Конрадсона	% (масса)		0,30	0,2
Цетановое число		51,0		51,5
Сульфатированная зольность	% (масса)		0,02	0,02
Содержание воды	мг/кг		500	350
Всего примесей	мг/кг		24	12
Устойчивость к окислению при 110°C	час	6,0		7,6
Кислотное число	mg KOH/g		0,50	0,38
Йодное число	g I ₂ /100 g		120	118
Содержание метилового эфира линолевой кислоты	%		12	12
Содержание метиловых эфиров полиненасыщенных жирных кислот (≥ 4 двойных связей)	% (масса)		1	
Содержание метанола	% (масса)		0,20	0,15
Моноглицериды	% (масса)		0,80	0,48
Диглицериды	% (масса)		0,20	0,1
Триглицериды	% (масса)		0,20	0,1
Свободный глицерин	% (масса)		0,02	0,05
Общий глицерин	% (масса)		0,25	0,30
Содержание калия (К)	мг/кг		5,0	4,5
Содержание фосфора	мг/кг		10,0	8,0

Как уже говорилось выше, в состав этого топлива входило 30% (об.) топлива биологического происхождения, на долю которого приходилось 5% метиловых эфиров рапсового масла (RME), обязательно включаемых в состав минерального дизельного топлива (Д) в сбытовой сети. Состав топлива,



использованного для сравнительных испытаний на двигателе, был следующий: топливо № 1 – 70% Д, 30% RME; топливо № 2 – 70% Д, 17% KSME, 8% KME, 5% RME. Показатели качества таких смесей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели качества топлива

Параметр	Единица	Топливо № 1	Топливо № 2	Д	RME	KSME	KME
Содержание эфира	% (об.)	30	30		96,5	97,1	97,0
Плотность при 15°C	кг/м ³	848	849	840	890	864	866
Вязкость при 40°C	мм ² /с	2,97	3,2	2,5	4,7	3,7	5,4
Цетановое число		49	48	46,0	51,6	51,3	51,6
Содержание золы	% (масса)	0,007	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Коррозия медной полосы (3 часа при 5°C)	°С	1	1	1	1	1	1
Точка возгорания	°С	101	103	68	185	180	190

Представленные данные свидетельствуют о том, что смеси, содержащие KSME, имеют характеристики, незначительно отличающиеся от смесей, содержащих RME, и по основным регламентируемым характеристикам топлива для дизельных двигателей полностью соответствуют стандарту биотоплива. Они имеют несколько более высокую вязкость и плотность и более низкое цетановое число. По сравнению с чистым Д можно отметить, что смеси биотоплив также имеют более высокие плотность, вязкость, цетановое число и температуру зольности.

Сравнительный анализ экологических показателей дизельного двигателя.

Монооксид углерода. Характер изменения выбросов СО при изменении нагрузки двигателя одинаков для всех испытанных видов топлива: минимальные значения выбросов составляют ~150 ppm, достигаются при



60-70% P_{enom} ; при меньшей и большей нагрузке от 60-70% P_{enom} увеличивается выброс CO (рисунок 1). Авторы получили аналогичную зависимость выбросов CO от P_e при испытаниях дизелей 1А41 и 2ФЛ511 на RME [20].

В отличие от отмеченных в предыдущих исследованиях замечен менее интенсивный рост CO, который близок к номинальному в пределах режимов нагрузки. Это можно объяснить улучшением режима работы двигателя 320 по сравнению с ранее испытанными двигателями, особенно с устаревшей моделью 1А41.

Уровень выбросов CO в режимах низкой и средней нагрузки одинаков при использовании Д и его смесей, содержащих только RME (Д70/RME30), и смесей, содержащих KSME (Д70/RME5/KSME17/КМЕ8). При нагрузке более 60-70% P_{enom} потребление биотоплива с типами метиловых эфиров (B30) позволяет снизить выбросы CO на ~20-25% по сравнению с дизельным топливом (Д). Максимальный выброс, зафиксированный в условиях низкой нагрузки CO, составил ~250 ppm.

Оксиды азота. При увеличении нагрузки дизеля NO_x выбросы монотонно растут со 170 ppm до ~1800 ppm в условиях номинальной нагрузки. Физический механизм NO_x и образование CO в цилиндре двигателя различно. Поэтому в большинстве случаев перевод дизеля на работу на разных видах топлива связан с противоположными изменениями выбросов CO и NO_x [2, 6, 7, 10-17, 25-31]. Аналогичные результаты получены и в текущих тестах. В отличие от выбросов CO, NO_x выбросы дизеля, работающего как на топливе, содержащем 30% RME, так и на топливе, содержащем KSME, увеличиваются на 7-8% на режимах номинальной мощности по сравнению с чистым дизельным топливом (рисунок 2). У дизеля, работающего на топливе Д70/RME30 и Д70/RME5/KSME17/КМЕ8, практически одинаковые значения NO_x , эмиссия получена во всем диапазоне нагрузок.



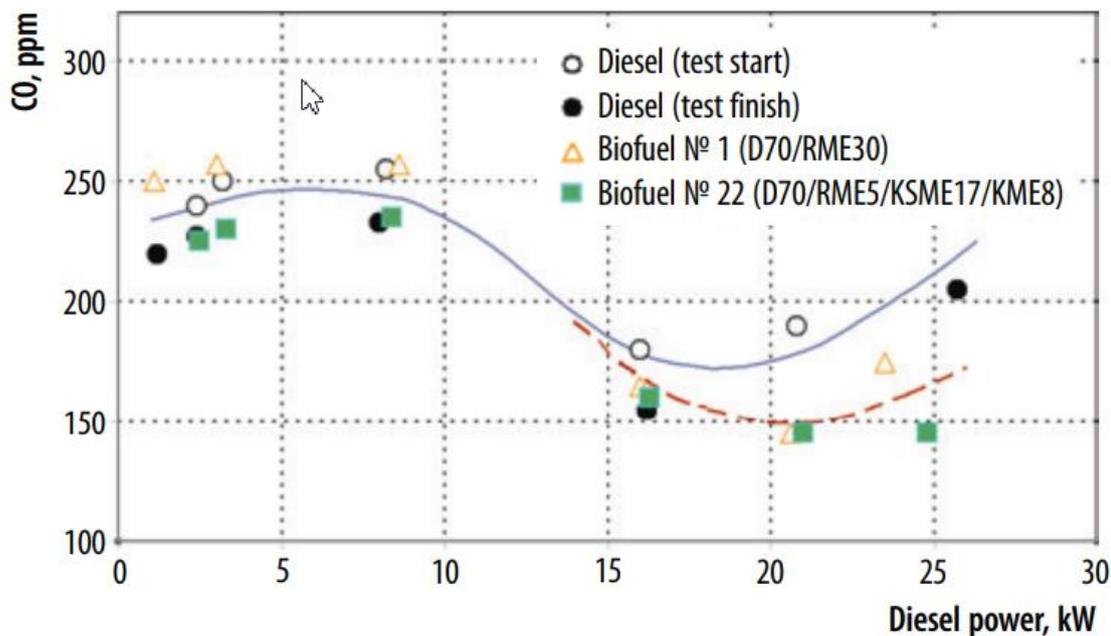


Рисунок 1 – Выбросы оксида углерода от дизельного двигателя VALMET 320 DMG, работающего на разных видах топлива

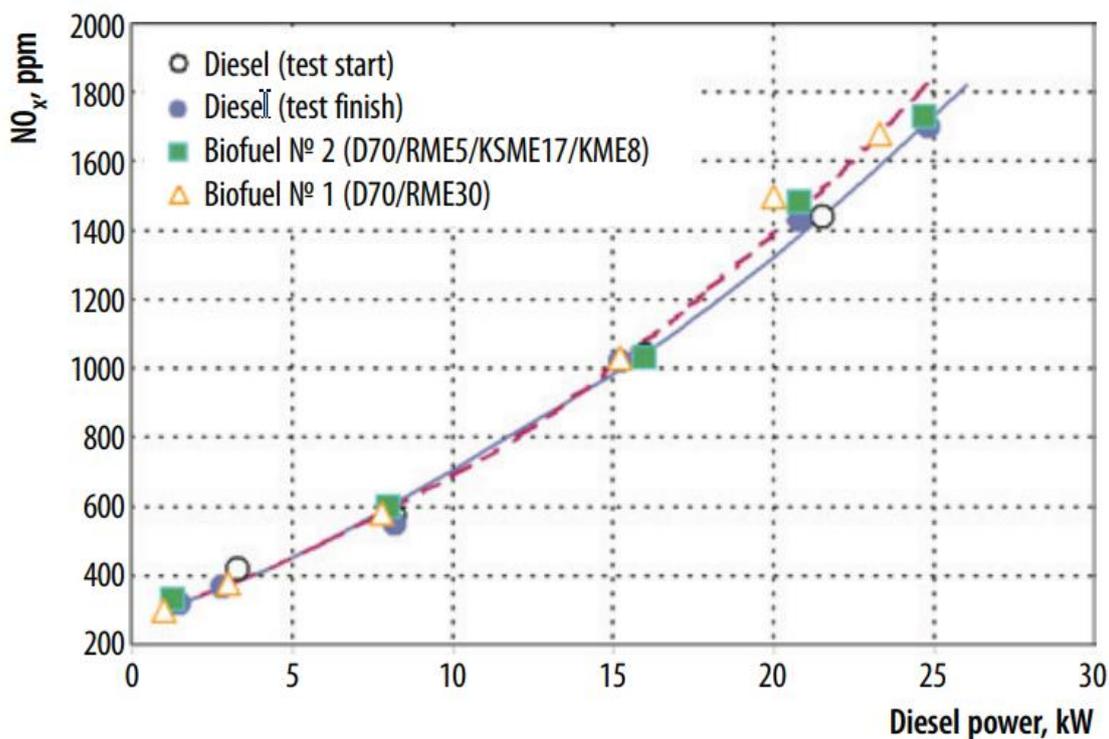


Рисунок 2 – Выбросы оксидов азота от дизельного двигателя VALMET 320 DMG, работающего на разных видах топлива



Углеводороды HC. Общая положительная характеристика выбросов HC всех испытанных топлив заключается в резком увеличении на холостом ходу до 30% $P_{енom}$ режимах и дальнейшей стабилизации их значений в условиях средней и номинальной нагрузки (рисунок 3).

Выбросы HC не различаются при работе дизеля на дизельном топливе и 30% смесях RME с Д. Использование нового вида топлива Д70/RME5/KSME17/KME8 на основе рыжикового масла снижает выбросы углеводородов на ~25-30 ppm, или на 10-12% в основном диапазоне нагрузок. Это одно из зафиксированных преимуществ моторных характеристик новых видов топлива.

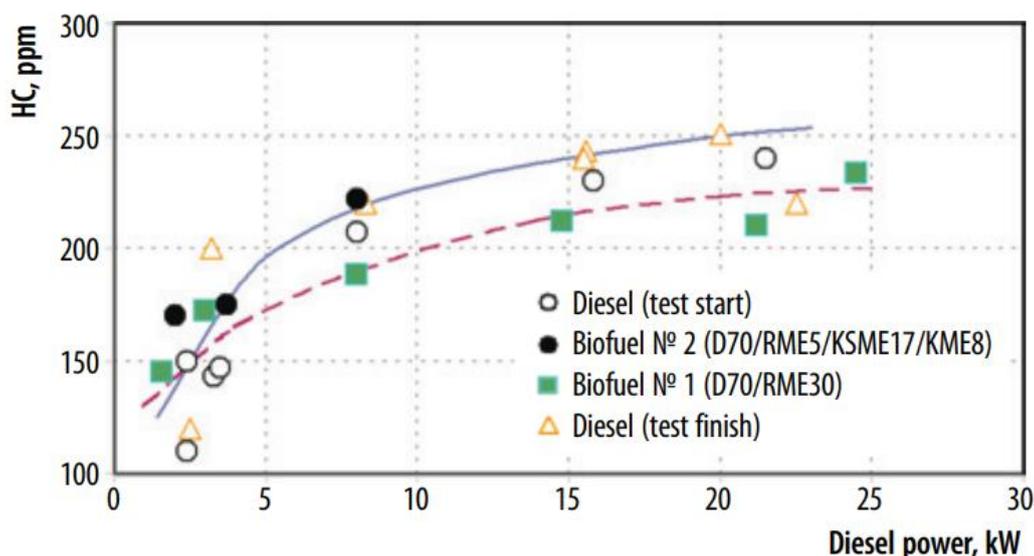


Рисунок 3 – Выбросы углеводородов от дизельного двигателя VALMET 320 DMG, работающего на разных видах топлива

Дымность. Второе преимущество топлива, содержащего рыжиковое масло, заключается в том, что метиловые эфиры масла снижают дымность отработавших газов (S_m) при работе дизелей на Д70/RME5/KSME17/KME8. Снижение содержания S_m зафиксировано во всем диапазоне P_e и составляло 12-25% (К значения параметра снижаются до 0,025-0,05 ед. при максимальном уровне ~0,35 ед.) по сравнению с Д и Д70/RME30 (рисунок 4).



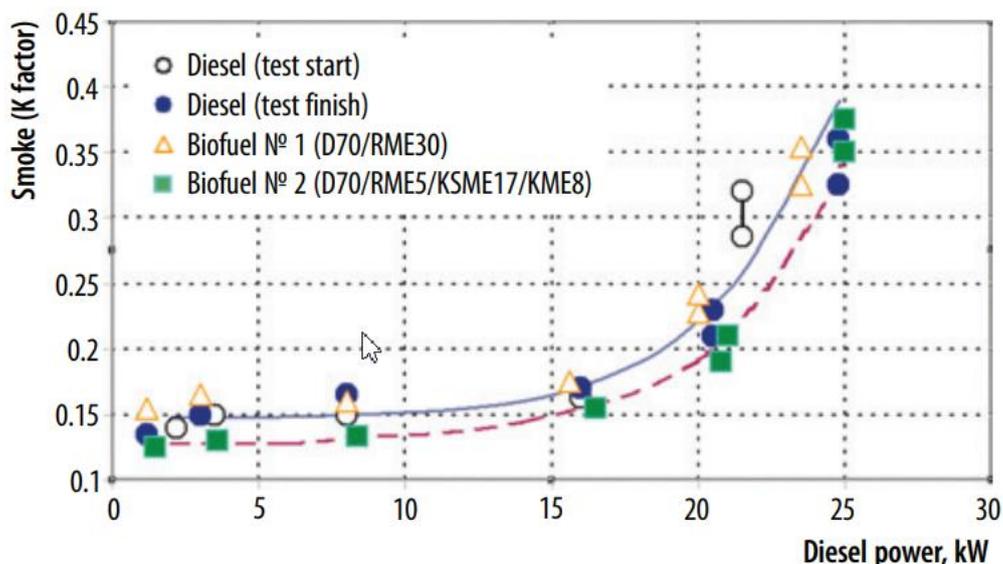


Рисунок 4 – Дымность отработавших газов дизельного двигателя VALMET 320 DMG, работающего на разных видах топлива

Выводы. Метилловые эфиры, полученные из чистого рыжикового масла, не соответствует требованиям качества, предъявляемым к биодизельному топливу из-за высокого йодного числа и высокого содержания метиловых эфиров линолевой кислоты, и поэтому не могут быть непосредственно использованы в качестве топлива для дизельных двигателей.

Для использования метиловых эфиров из рыжикового масла в дизельный двигатель их необходимо смешивать с метиловыми эфирами свиного сала. Смесь, содержащая метиловые эфиры рыжикового масла и свиного сала, соответствуют требованиям в соотношении 68:32 по йодному числу и содержанию метиловых эфиров линоленовой кислоты.

Испытания на рабочем дизеле 320 производства компании AGCO SISU POWER, используемом на судне, демонстрируют благоприятные моторные характеристики нового типа биотоплива, содержащего метиловые эфиры из рыжикового масла (KSME) в смеси с метиловыми эфирами свиного сала (KME) в установленном оптимальном соотношении 68:32. По сравнению с топливом,



содержащим 30% RME в смеси с дизельным топливом, использование биотоплива на основе KME (Д70/RME5/KSME17/KME8) имеет одинаковые показатели выбросов CO и NO_x во всем исследуемом диапазоне нагрузок от холостого хода и составляют до 80% P_{ном}, по сравнению с дизельным топливом при нагрузке более 60% от номинальной, где выбросы CO снижаются с 20 до 25% и наблюдается рост NO_x с 7 до 8%.

Использование топлив Д70/RME5/KSME17/KME8 снизило выбросы углеводородов на ~ 10-12% в основном диапазоне нагрузок и дымность отработавших газов на 12-25% по сравнению с Д и Д70/RME30.

Список источников

1. LST EN 14214:2009. Automobiliškai degalai. Riebalų rūgščių metilesteriai (RRME), skirti dyzeliniams varikliams. Reika- lavimai ir tyrimo metodai [Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods].
2. Al-Hasan, M. I.; Al-Momany, M. 2008. The effect of iso-buta- nol-diesel blends on engine performance, Transport 23(4): 306–310. doi:10.3846/1648-4142.2008.23.306-310
3. An EU Strategy for Biofuels {SEC(2006) 142}. 2006. Communication from the Commission. Available from Internet:
4. [www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/EU.Strategy for. Biofuels.pdf](http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/EU.Strategy%20for%20Biofuels.pdf)>. 29 p.
5. Biofuels in the European Union. A Vision for 2030 and Beyond. 2006. Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council. Available from Internet: http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf>. 32 p.
6. Butkus, A.; Pukalskas, S.; Bogdanovičius, Z. 2007. The influence of turpentine additive on the ecological parameters of diesel engines, Transport 22(2): 80–82.



7. Chen, H.; Wang, J.; Shuai, S.; Chen, W. 2008. Study of oxygen-ated biomass fuel blends on a diesel engine, *Fuel* 87(15–16): 3462–3468. doi:10.1016/j.fuel.2008.04.034
8. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the Promotion of the Use of Bio-fuels or Other Renewable Fuels for Transport. Available from Internet: <http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/doc/biofuels/en_final.pdf>.
9. EU-27 Bio-Fuels Annual. 2008. GAIN Report – E48063. USDA Foreign Agricultural Service. Available from Internet: <www.fas.usda.gov/gainfiles/200806/146294845.pdf>. 27 p.
10. He, B.Q.; Shuai, S.J.; Wang, J.X.; He, H. 2003. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine, *Atmospheric Environment* 37(35): 4965–4971. doi:10.1016/j.atmosenv.2003.08.029
11. Kruggel, O. 1989. Progress in the combustion technology of high performance diesel engines toward reduction of exhaust emissions without reduction of operation economy, in *Proceedings of Baden–Wurttemberg Technology Conference*. 14 p.
12. Lebedevas, S.; Lebedeva, G. 2009. The problems of using alcohol biofuel mixtures in the Lithuanian transport system, *Transport* 24(1): 58–65. doi:10.3846/1648-4142.2009.24.58-65
13. Lebedevas, S.; Vaicekauskas, A.; Lebedeva, G.; Janulis, P.; Makarevičienė, V. 2006a. Research into operational parameters of diesel engines running on RME biodiesel, *Transport* 21(4): 260–268.
14. Lebedevas, S.; Vaicekauskas, A.; Lebedeva, G.; Makarevičienė, V.; Janulis, P.; Kazancev, K. 2006b. Use of waste fats of animal and vegetable origin for the production of biodiesel fuel: quality, motor properties, and emissions of harmful components, *Energy & Fuels* 20(5): 2274–2280. doi:10.1021/ef060145c



15. Lebedevas, S.; Vaicekauskas, A.; Suškov, P. 2007. Presumptions of effective operation of diesel engines running on RME biodiesel. Research on kinetics of combustion of RME bi- odiesel, *Transport* 22(2): 126–133.
16. Lingaitis, L. P.; Pukalskas, S. 2008a. Ecological aspects of using biological diesel oil in railway transport, *Transport* 23(2): 138–143. doi:10.3846/1648-4142.2008.23.138-143
17. Lingaitis, L. P.; Pukalskas, S. 2008b. The economic effect of using biological diesel oil on railway transport, *Transport* 23(4): 287–290. doi:10.3846/1648-4142.2008.23.287-290
18. ISO 3104:1994. Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity.
19. ISO 12185:1996. Crude petroleum and petroleum products – Determination of density – Oscillating U-tube method.
20. ISO 2160:1998. Petroleum products – Corrosiveness to copper – Copper strip test.
21. ISO 5165:1998. Petroleum products – Determination of the ignition quality of diesel fuels – Cetane engine method.
22. ISO 6245:2001. Petroleum products – Determination of ash.
23. ISO 3679:2004 Determination of flash point – Rapid equilibrium closed cup method
24. ISO 20846:2004. Petroleum products – Determination of sulfur content of automotive fuels – Ultraviolet fluorescence method.
25. Matijošius, J.; Sokolovskij, E. 2009. Research into the quality of fuels and their biocomponents, *Transport* 24(3): 212–217. doi:10.3846/1648-4142.2009.24.212-217
26. Mittelbach, M.; Remschmidt, C. 2004. *Biodiesel: A Comprehensive Handbook*. Graz, Austria. 330 p



27. Pukalskas, S.; Bogdanovičius, Z.; Sendžikienė, E.; Makarevičienė, V.; Janulis, P. 2009. The mixture of biobutanol and petrol for Otto engines, *Transport* 24(4): 301–307. doi:10.3846/1648-4142.2009.24.301-307
28. Raslavičius, L.; Bazaras, Ž. 2009. The analysis of the motor characteristics of D–RME–E fuel blend during on#eld tests, *Transport* 24(3): 187–191. doi:10.3846/1648-4142.2009.24.187-191
29. Raslavičius, L.; Markšaitis, D. 2007. Research into three-component biodiesel fuels combustion process using a single droplet technique, *Transport* 22(4): 312–315.
30. Zubr, J. 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*, *Industrial Crops and Products*, *Industrial Crops and Products* 6(2): 113–119. doi:10.1016/S0926-6690(96)00203-8.
31. Звонов В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. 2-е изд., перераб. М. : Машиностроение, 1981. 160 с. Библиогр.: с. 155-159 .

