

## МОТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РМЭ НА ВЫСОКОБОРОТНОМ ДИЗЕЛЕ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*В. Смайлис, В. Сенчила, К. Берейшене,  
Клайпедский университет*

На высокооборотном дизеле воздушного охлаждения F2L511 (2410/10,5), серийно выпускаемом на заводе «Орува-Моторс» (г. Мажейкяй, Литва), проведены испытания биодизельного топлива — рапсового метилового эфира (РМЭ), промышленное производство которого освоено на литовском заводе «Рапсойл». Испытания проводились с условием обеспечения на биотопливе номинальных параметров дизеля ( $P_e=26,37$  кВт при  $n = 3000$  об/мин), установленных для стандартного дизельного топлива. В ходе испытаний определялись эффективные параметры дизеля и характеристики его выбросов в атмосферу. По результатам испытаний сделано заключение о практической возможности конвертации данного дизеля для работы на РМЭ и его смесях со стандартным дизельным топливом. Установлено, что при этом энергетическая эффективность двигателя остается практически неизменной, а выброс вредных продуктов неполного сгорания топлива уменьшается.

Мировые запасы жидкого нефтяного сырья конечны и в конце 2004 г. (по оценкам компании «Бритиш Петролеум») по категории разведанных резервов оценивались величиной 161,9 млрд т. При современных темпах их расходования, достигающих 3,87 млрд т в год, этих запасов должно хватить всего на 41 год.

Одним из мероприятий, способствующих предотвращению или хотя бы смягчению таких кризисов для стран, не располагающих достаточными собственными запасами нефти, является замена жидких нефтяных топлив альтернативными, производимыми из растительных масел.

Растительные масла могут использоваться в дизелях в чистом виде, однако лучшими моторными свойствами обладают их производные: метиловые и этиловые эфиры. Дизельное топливо, получаемое из рапсового масла, обычно обозначают аббревиатурами РМЭ (рапсовый метиловый эфир) и РЭЭ (рапсовый этиловый эфир). Страны Европейского Союза по производству и

потреблению биодизельного топлива занимают ведущее место в мире. Практически все биодизельное топливо в ЕС использует транспортный сектор, которому директивой Европарламента предписано заменить биотопливом в 2005 г. 2 % и в 2010 г. — 5,75 % расходуемого этим сектором нефтяного топлива [1]. Согласно предписанию, в ЕС-25 потребление биодизельного топлива в транспортном секторе должно составлять:

2005 год — 3,2 млн т/год,  
2010 год — 10,2 млн т/год.

Соответствующие цифры в Литве составляют 13,8 и 39,68 тыс. т/год.

Для выполнения этих планов в Литве в 2004 г. введен в действие завод по производству РМЭ «Рапсойл» (район г. Мажейкяй) с годовой производительностью 10 000 т. В 2006 г. в Клайпедской СЭЗ планируется ввести в действие новый завод биотоплива мощностью свыше 100 000 т в год, продукция которого полностью обеспечит намеченное программой ЕС увеличение доли биотоплива в транспортном секторе Литвы, а ее избыток будет поставляться на экспорт в другие страны ЕС, в первую очередь в Германию.

Несмотря на большой опыт конвертации дизелей для перехода на биотопливо общепризнано, что каждый новый тип двигателя, подвергаемый такой конвертации, должен быть испытан с целью проверки эффективных, экономических и экологических показателей и выявления возможных проблем.

Многочисленные исследования химмотологических свойств РМЭ, приведенные многими учеными и обобщенные в работах [2, 3] и др., показали, что в сравнении с дизельным топливом нефтяного происхождения наибольшее значение для практики имеют следующие особенности РМЭ:

- содержание в составе 10–12 % связанного кислорода и соответственное уменьшение массовой теплотворной способности и теоретически необходимого количества воздуха для сгорания; благодаря этому сгорание РМЭ в цилиндре дизеля происходит быстрее и полнее;

- большая на 3–5 % плотность, что частично компенсирует влияние балластного кислорода,

в связи с чем объемная теплотворная способность снижается всего на 3–5 %; настолько должна быть увеличена цикловая подача топлива;

- высокое (не менее 45) цетановое число, обеспечивающее хорошую динамику воспламенения топлива в цилиндре;
- практически полное отсутствие серы в составе РМЭ;
- большая на 2–4 сСт вязкость РМЭ, влияющая на давление впрыска и характеристики распыливания в цилиндре.

Сочетание этих свойств обеспечивает РМЭ вполне эквивалентные с нефтяным дизельным топливом моторные свойства и энергетическую эффективность с поправкой на меньшую удельную теплотворную способность.

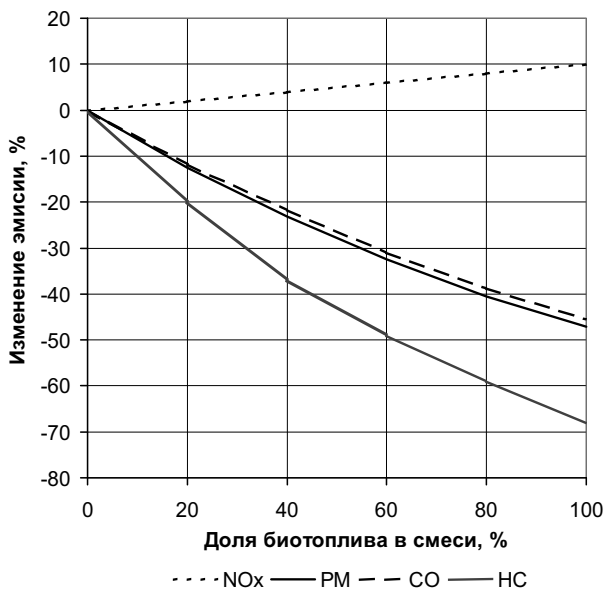
В части экологических показателей следует отметить два главных отличия РМЭ:

- лучшую полноту сгорания и меньший выход практически всех вредных продуктов неполного сгорания (СО, СН, дымность);
- на 5–12 % больший выход NO<sub>x</sub>.

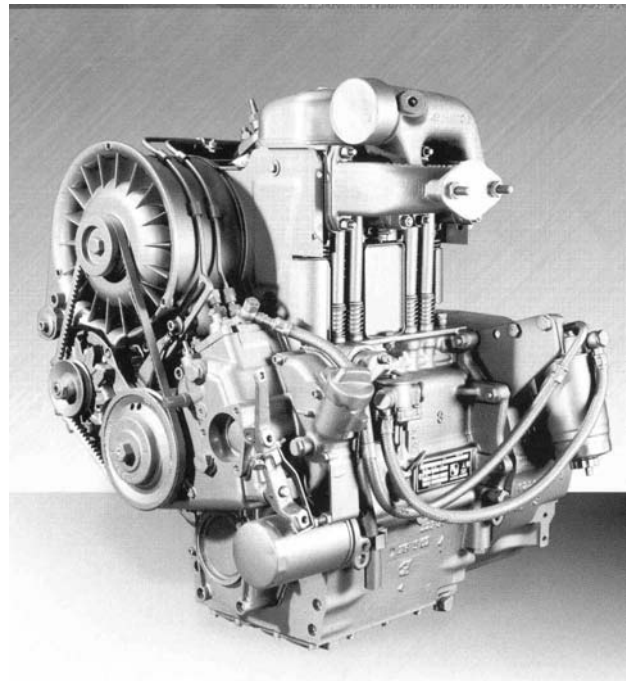
Эти отличия в обобщенном виде наглядно показаны на рис. 1 [4].

В данной статье нами приводятся результаты стендовых испытаний работы дизеля 2Ч10/10,5 с воздушным охлаждением при работе на РМЭ, стандартном дизельном топливе и различных их смесях.

Объект испытаний — дизель F2L511 (2Ч10/10,5), серийно выпускаемый заводом «Орува-Моторс» в г. Мажейкяй по лицензии фирмы Deutz (Германия). Внешний вид и техническая характеристика двигателя представлены на рис. 2 и табл. 1.



**Рис. 1.** Обобщенная характеристика изменения эмиссии вредных веществ при работе дизеля на биотопливе разного состава



**Рис. 2.** Дизель F2L511 (2Ч10/10,5) с воздушным охлаждением

Таблица 1

**Технические данные дизеля F2L511 (2Ч10/10,5)**

Параметр, (характеристика) и его размерность	Значение параметра
Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	100/105
Число цилиндров	2
Рабочий объем, дм <sup>3</sup>	1,65
Степень сжатия	17
Тип смесеобразования	Непосредственный впрыск в открытую камеру сгорания
Охлаждение	Воздушное
Частота вращения, об/мин	3000
Номинальная мощность ISO 3046, кВт	26,37
Ном. среднее эффективное давление, МПа	0,639
Удельный расход топлива, г/(кВт · ч)	245
Вес, кг	190
Назначение	Транспортное, промышленное

Исследования проводились на заводском дизельном стенде промышленного производства, оборудованном гидравлическим нагружающим устройством и автоматизированными системами измерения и регистрации параметров рабочего процесса, включая индицирование цилиндра, измерение расхода топлива и определение дымности по методу Бош (AVL). Параметры  $n$ ,  $P_e$ ,  $p_{me}$ ,  $p_{max}$ ,  $B$ ,  $b$ , FSN и др. распечатывались в протоколе испытаний автоматически. На период исследований стенд был дополнительно оборудован комплексным газоанализатором HORRIBA PG-250 и проводились измерения в составе отработавших газов CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.

Испытываемое биотопливо РМЭ находится в промышленном производстве на заводе «Рапсойл».

Показатели качества этого топлива в соответствии с литовским стандартом и фактические приведены в табл. 2.

Были испытаны 4 состава топлив: чистый РМЭ (В100), стандартное дизельное топливо (D) и их смеси В30 (30 % РМЭ + 70 % D), В5 (5% РМЭ + 95 %D). Характеристики топлив по данным лабораторных анализов даны в табл. 3.

Испытания топлив производились при работе дизеля по нагрузочной, внешней и винтовой характеристикам, главным образом на режимах испытательных циклов E2, E3, D2 и C1 ISO 8178. Некоторые результаты испытаний представлены на рис. 3 и 4.

Прежде чем приступить к анализу результатов испытаний, необходимо пояснить некоторые методические особенности их проведения.

Таблица 2

**Основные показатели качества испытываемого РМЭ по требованиям стандарта (LST EN 14214) и фактические**

Показатели качества	Стандартное значение	Фактические значение РМЭ по данным лаборатории
Содержание эфира, % (по массе)	> 96,5	96,6
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	860–900	884,3
Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,50–5,00	4,701
Температура вспышки, °С	> 120	>150
Содержание серы, мг/кг	< 10,0	<3
Цетановое число	> 51,0	51,6
Общее содержание примесей, мг/кг	< 24	5
Коррозия медной пластины (3 ч при 50 °С), степень коррозии	1 степень	1
Стойкость против окисдации при 110 °С, ч	> 6,0	7,6
Кислотное число, мг КОН/г	< 0,50	0,03
Йодное число г J <sub>2</sub> /100 г	< 120	112
Содержание метанола, % (по массе)	< 0,20	0,05
Общее содержание глицерина, % (по массе)	< 0,25	0,23
Предел фильтрования, °С		-16

Таблица 3

**Элементный состав и теплотворная способность испытанных образцов топлив**

Топливо	Элементарный состав				Низшая теплотворная способность Q <sub>n</sub> , МДж/кг
	С, %	Н, %	Н, %	О, %	
D	86,71	13,23	0,06	–	42,620
DF	86,57	13,40	0,03	–	42,810
B100	77,32	12,13	0,14	10,41	37,206
B100F	76,97	12,16	0,05	10,82	37,012
B30	83,96	12,92	–	3,12	41,077
B30F	83,80	12,98	0,06	3,16	41,146
B5	86,53	13,27	0,07	5,2	42,420
B5F	86,25	13,30	0,05	5,0	42,380

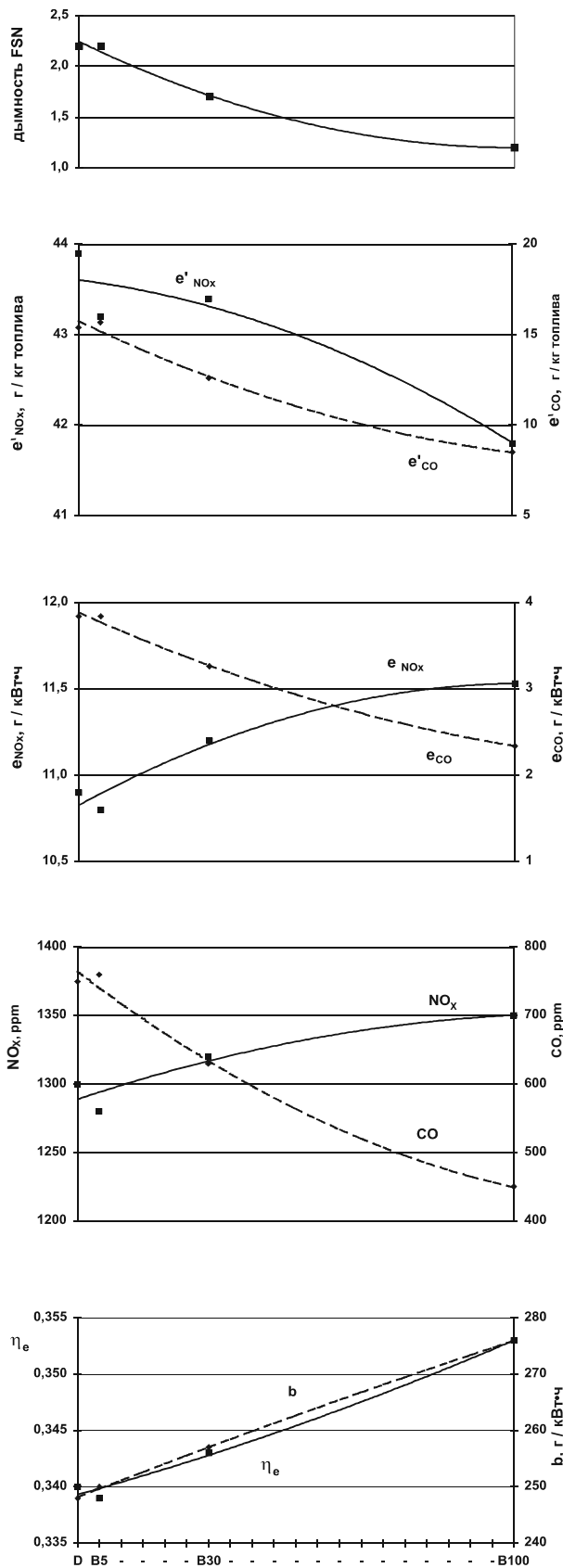


Рис. 3. Изменение эффективных и экологических показателей дизеля F2L511 при работе на топливе с различным содержанием биокомпонента.  
Режим работы дизеля:  
 $n = 3000$  об/мин;  $P_e = 26, 37$  кВт

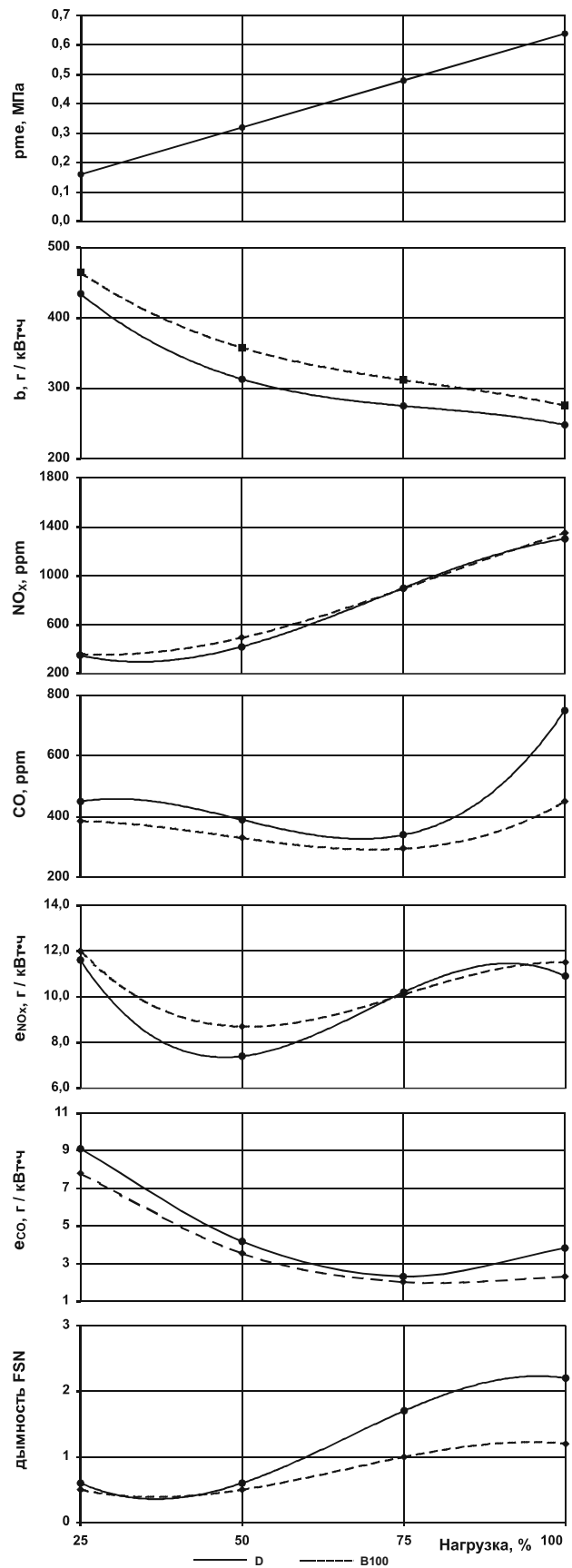


Рис. 4. Изменение эффективных и экологических показателей дизеля F2L511 при работе по нагрузочной характеристике ( $n = 3000$  об/мин) на стандартном дизельном топливе и РМЭ

Изготовитель был заинтересован при возможной конвертации сохранить номинальные параметры двигателя, обеспечиваемые дизельным топливом. В связи с меньшей объемной теплотворностью биотоплива и увеличенной цикловой подачей выполнить это условие без нарушения регулировок топливного насоса не представлялось возможным. Поэтому при работе на каждом новом образце топлива, упор рейки ТНВД устанавливался и фиксировался заново. За исключением указанной операции никаких других перерегулировок двигателя при смене топлива не производилось. В ходе испытаний было отмечено, что температура отработавших газов и максимальное давление сгорания мало зависело от состава топлива и в основном изменялось в пределах точности измерений соответствующих параметров.

По времени испытания проводились компактно и параметры всасываемого воздуха оставались достаточно стабильными. В процессе испытаний не наблюдалось никаких особенностей в поведении двигателя и его систем. Анализируя полученные результаты, в первую очередь можно отметить практически одинаковую энергетическую эффективность ( $\eta_e$ ) чистых и смесовых топлив при работе на режиме номинальной мощности. Видимые различия в удельном расходе топлива ( $b_e$ ) фактически, по закону обратной пропорциональности, отражают изменения его теплотворной способности.

Экологические показатели дизеля при работе на биотопливе изменились качественно также,

как и на рис. 1, однако количественные изменения оказались несколько меньше. По-видимому, это можно объяснить тем, что изменение характеристик впрыска биотоплива не было компенсировано корректированием регулировок фаз топливоподачи.

Изменения показателей двигателя по нагрузочной характеристике (см. рис. 4) также подтверждают возможность беспроблемной конвертации дизеля F2L511 для работы на РМЭ и его смесях со стандартным дизельным топливом. Обращает внимание сравнительно незначительные различия эмиссии оксидов азота, в то время как выход продуктов неполного сгорания более чувствителен к составу топлива.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Замена стандартного топлива чистым РМЭ (рапсовым метиловым эфиром) на высокооборотном дизеле воздушного охлаждения F2L511 (2Ч10/10,5) с открытой камерой сгорания не оказывает заметного влияния на энергетические показатели двигателя, в то время как его экологические характеристики (за исключением эмиссии оксидов азота) несколько улучшаются.

2. В процессе испытаний не отмечено каких-либо различий поведения двигателя при смене вида топлива, что можно объяснить хорошим качеством испытываемого биотоплива, которое обеспечивается жесткими требованиями к его моторным свойствам, заложенным в национальном стандарте.

### Литература

1. Directive 2003/30/EC of the European parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. Official Journal L123, 17/05/2003.— P. 0042. — 0046.

2. *Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян Ф.С.* Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. — М.: МАДИ (ТУ), — 2000.

3. *Graboski M.S., McCormick R.L.* Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. Progress in Energy and Combustion Science. — Vol. 24. — 1998. — P. 125–164.

4. A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. draft technical report EPA 420-P-02-001, Oct. 2002. — 118 p.