

Распределение капель в процессе распыливания дизельного топлива и его смеси с биокomпонентами

Droplet distribution in an atomized jet of Diesel fuel and biofuel mixture

Oleh Klyus¹, Gvidonas Labeckas², Stasys Slavinskas², Marius Mažeika²

¹ Maritime University of Szczecin, Faculty of Marine Engineering
70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1–2, e-mail: olegklus@o2.pl

² Aleksandras Stulginskis University
LT-53361 Kaunas-Academy, Students street, 11, Lithuania
e-mail: {gvidonas.labeckas;stasys.slavinskas}@lzuu.lt; marius.mazeika@yahoo.com

Ключевые слова: дизель, топливная форсунка, топливная струя, распределение капель, биокomпоненты

Резюме

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению распределения капель в струе впрыскиваемого топлива. Рассмотрен процесс топливоподачи дизельного топлива, а также его смеси с рапсовым маслом и его метилоэстрами.

Key words: Diesel engine, fuel injector, atomized jet, droplet distribution, biofuel

Abstract

The paper presents some results of droplet distribution in an atomized jet with Diesel fuel and mixture Diesel oil and bio components.

Введение

В настоящее время, одной из важнейших задач, стоящих перед двигателестроением, является уменьшение уровня эмиссии токсических компонентов в отработавших газах. Однако не менее важной является и проблема топливной экономичности, которая, кроме снижения эксплуатационных затрат, приводит и к снижению эмиссии двуокси углерода и твердых частиц. Кроме того, экономический, а вернее топливно-энергетический кризис, показал о уменьшающихся запасах природных ресурсов. Поэтому в основных направлениях развития мирового двигателестроения определился аспект использования присадок биокomпонентов к топливам нефтяного происхождения. С этой точки зрения, обращает на себя внимание факт использования в дизелях метилоэстров растительного масла,

в основном рапсового. Следует отметить, что эстры высших жирных кислот характеризуются высокой гигроскопичностью, что может повлиять на процессы распыливания таких смесей в камере сгорания дизелей. Поэтому весьма интересным является определение распределения капель в факеле топлива в виде как чистого дизельного топлива, так и его смеси с рапсовым маслом и его метилоэстрами с учетом примеси воды.

Предмет исследования

Опытно-конструкторские работы, проводящиеся в Щецинской морской академии, связаны с уменьшением расходов топлива вместе со снижением токсичности отработавших газов дизелей рыболовных судов [1, 2]. На первом этапе этих работ была проведена инспекция

топливных баков с целью определения содержания в них воды. Анализ конструкции топливных систем показал, что в зависимости от конструкции расходных емкостей, забор проб топлива возможен как со сливного отверстия, при этом определялось количество осажженной воды, так и при использовании специально изготовленного пробника в виде прозрачной цилиндрической емкости, с установленным в нижней части клапаном. Результаты такой инспекции показали, что действительно, в топливных баках некоторых рыболовных судов имеется вода до 2%.

Кроме того, как показал ряд исследований, одновременное улучшение экологических и экономических показателей дизелей возможно при использовании предварительной обработки топлива в распылителе форсунок. Такая обработка топлива заключается в его контакте с катализатором, нанесенным на элементы распылителя, при этом увеличению воздействия катализатора на протекающее топливо способствует турбулизация потока. В связи с этим, определенный интерес представляют исследования по распределению капель в струе распыливаемого и предварительно подвергнутого турбулизации топлива, в виде чистого дизельного топлива и его смеси с чистым рапсовым маслом, а так же его эстров с учетом присадок воды.

Для исследований было выбрано 20 образцов топлива следующего состава:

- I группа: 1 – 100% дизельного топлива (ДТ);
- II группа: 2 – 90% ДТ + 10% метилоэстров рапсового масла (RME),
3 и 4 – ДТ + 15 и 20% RME;
- III группа: 5–7 – ДТ + 1,5; 2,0 и 2,5% морской воды (МВ);
- IVа группа: 8–10 – ДТ + 10% RME + 1,5; 2,0 и 2,5% МВ;
- IVб группа: 11–13 – ДТ + 15% RME + 1,5; 2,0 и 2,5% МВ;
- IVв группа: 14–16 – ДТ + 20% RME + 1,5; 2,0 и 2,5% МВ;
- V-я группа: 17 – 90% ДТ + 10% рапсового масла (PM);
- VI-я группа: 18–20 – ДТ + PM + 1,5; 2,0 и 2,5% МВ.

Лабораторные испытания опытных распылителей

Лабораторные испытания распылителей с предварительной обработкой топлива заключались в определении распределения капель топлива и регистрации развития струи, а так же

регистрации акустического сигнала, сопутствующего процессам впрыска. Комплекс лабораторных установок включал стенд проверки и регулировки топливных форсунок типа Bosch EPS 200A (Рис. 1), лазерная установка Malvern Instruments типа Spraytec для определения распределения капель в аэрозолях (Рис. 2), а так же необходимая регистрирующая микропроцессорная аппаратура для определения энергии акустического сигнала распыливаемого топлива.

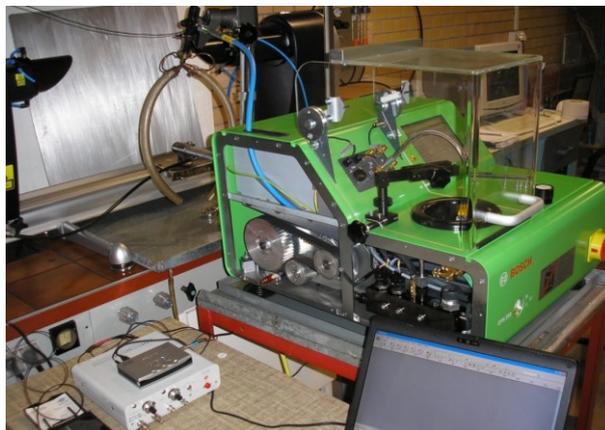


Рис. 1. Лабораторный комплекс проверки и регулировки топливных форсунок типа Bosch EPS 200A



Рис. 2. Процесс регистрации развития топливной струи на лазерной установке Malvern Instruments типа Spraytec

Исследования проводились с использованием трехдырчатого распылителя двигателя типа 359 на стандартном топливе, смеси (до 20%) с эстрами рапсового масла и рапсовом масле. В качестве турбулизационных каналов использовалась право и левосторонняя резьба на неработающей поверхности иглы, а так же более технологичная конструкция, заключающаяся в нанесении крестообразных пересекающихся рисок на той же, неработающей поверхности.

Регистрация акустической эмиссии во время распыливания топлива проводилась с учетом

того, что при турбулизации топлива в опытных форсунках особое влияние на внутреннюю турбулентность потока внутри микрообъема создает третий порядок скоростей (w), когда потоки попадают в объем пересечения и когда практически вся энергия потоков переходит в изменение плотности (ρ) и акустическое сопротивление z , которое можно представить в виде [3]:

$$z = \int \frac{D(w)}{\partial \tau} d\rho$$

Приведенная зависимость показывает, что во время прохождения топлива в зазоре игла-копус, одним из сопутствующих явлений является изменение акустического сопротивления, которое достаточно простым способом можно определить при проведении лабораторных исследований [4, 5]. В данном случае использовался комплект измерительной аппаратуры по эмиссии акустического сигнала распылителей на приборе проверки и регулировки топливных форсунок. На рис. 3 представлены характеристики акустической эмиссии в виде временной зависимости частоты сигнала для двух распылителей – штатного многодырчатого, и его версия с предварительной обработкой топлива (Рис. 3).

Результаты, полученные при использовании предварительной обработки топлива и представленные на рис. 3, показывают различный уровень амплитуды, частоты, а так же энергии акустического сигнала.

На рис. 5 показано распределение капель в струе распыливаемого топлива с использованием штатного (кривая 1) и опытного (кривая 2) распылителей. При распыливании топлив нефтяного происхождения (ДТ), а так же их смеси с метилоэстрами рапсового масла (ЭРМ 5, 10 и 15%) установлено, что использование предварительной турбулизационной и каталитической обработки топлива позволяет снизить средний диаметр Заутера с 21,83 до 9,94, а так же увеличить количество капель диаметром до 20μм с 36% до 50,5%. Смещение кривой распределения в сторону меньших диаметров капель подтверждает гипотезу об улучшении процесса смесеобразования топливовоздушной смеси при использовании опытных распылителей.

Исследования проводились с использованием трехдырчатого распылителя двигателя типа 359. В качестве турбулизационных каналов использовалась право и левосторонняя резьба на неработающей поверхности иглы, а так же более технологичная конструкция, заключающаяся в нанесении крестообразных пересекающихся рисок на той же, неработающей поверхности. На эти же поверхности наносился слой катализатора методом электроискрового легирования.

Результаты исследований

Результаты, полученные при использовании предварительной обработки топлива различного состава представлены на рис. 4 и 5.

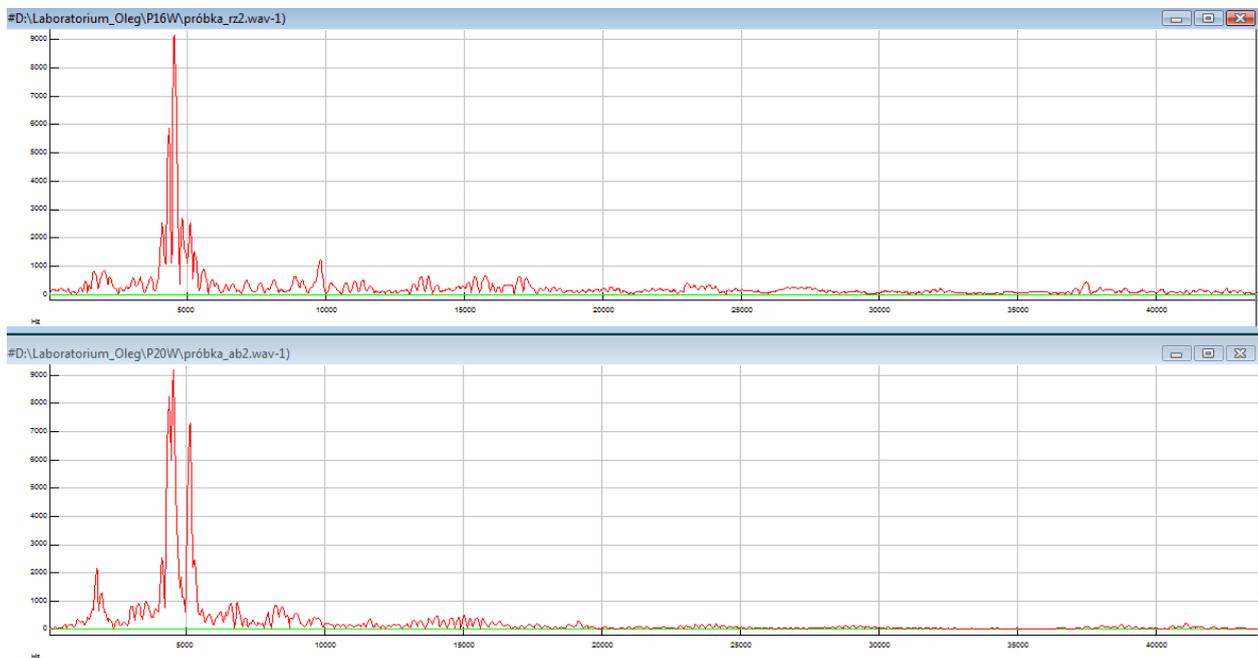
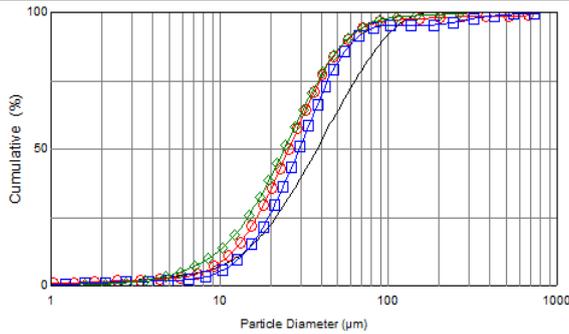


Рис. 3. Акустический сигнал стандартного (верх) и опытного распылителя (низ)

Группа II:

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays 1 6 1.pso

12 Jun 2012 - 18:03:26



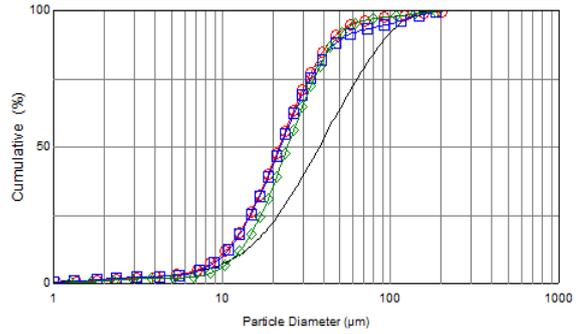
Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	93.76
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 2	90% ON 10% RME	10.78	25.45	57.46
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 3	85% ON 15% RME	12.99	29.33	63.79
[V] 12 Oct 2011...	Test nr 4	80% ON 20% RME	8.59	23.97	56.97

[V]=Volume [N]=Number

Группа III:

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays 1 6 1.pso

12 Jun 2012 - 18:39:48



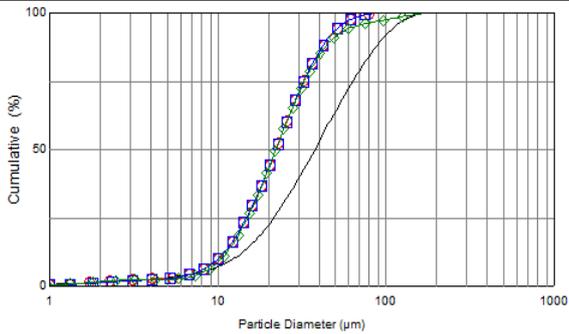
Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	93.76
[V] 17 Oct 2011...	Test nr 5	98.5% ON 1.5% H2O	9.67	21.69	45.93
[V] 17 Oct 2011...	Test nr 6	98% ON 2% H2O	9.96	21.97	52.99
[V] 30 Sep 2011...	Test nr 7	97.5% ON 2.5% H2O	11.92	24.32	48.41

[V]=Volume [N]=Number

Группа IV_A:

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays 1 6 1.pso

12 Jun 2012 - 19:03:46



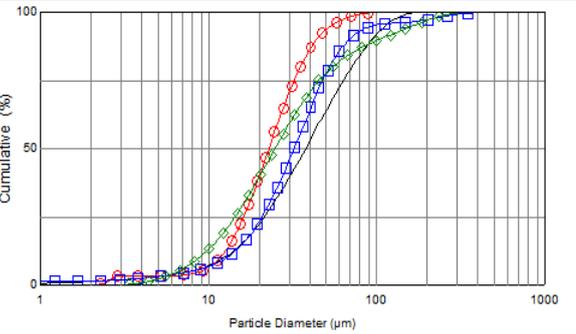
Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	93.76
[V] 17 Oct 2011...	T. 8	88.5% ON 10% RME 1.5% H2O	9.98	21.94	44.41
[V] 17 Oct 2011...	T. 9	83% ON 15% RME 2% H2O	9.92	21.98	44.66
[V] 18 Oct 2011...	T. 10	87.5% ON 10% RME 2.5% H2O	10.43	22.00	47.59

[V]=Volume [N]=Number

Группа IV_B:

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays 1 6 1.pso

12 Jun 2012 - 19:26:22



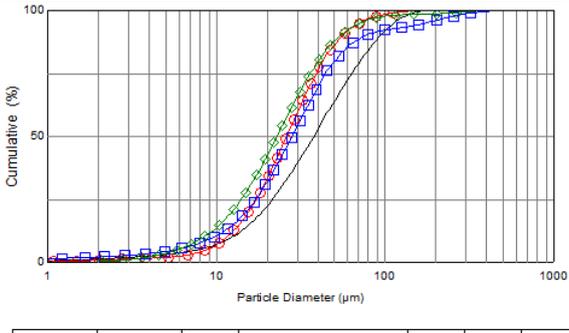
Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	93.76
[V] 18 Oct 2011...	T. 11	83.5% ON 15% RME 1.5% H2O	11.55	22.67	44.03
[V] 18 Oct 2011...	T. 12	83% ON 15% RME 2% H2O	12.66	32.00	68.03
[V] 3 Oct 2011...	T. 13	82.5% ON 15% RME 2.5% H2O	8.72	24.66	104.82

[V]=Volume [N]=Number

Группа IV_B

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays 1 6 1.pso

12 Jun 2012 - 19:34:19



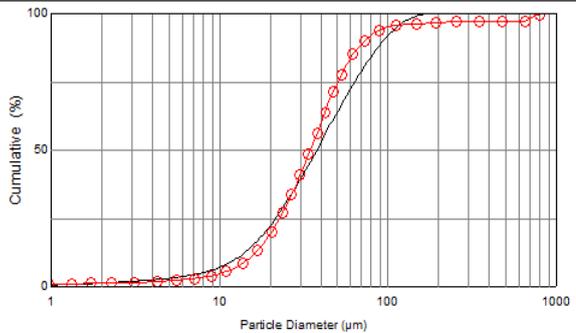
Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	93.76
[V] 17 Oct 2011...	T. 14	78.5% ON 20% RME 1.5% H2O	11.48	25.90	56.11
[V] 7 Oct 2011...	T. 15	78% ON 20% RME 2% H2O	9.66	27.88	76.36
[V] 5 Oct 2011...	T. 16	77.5% ON 20% RME 2.5% H2O	8.35	22.68	54.37

[V]=Volume [N]=Number

Группа V

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays 1 6 1.pso

12 Jun 2012 - 19:40:28



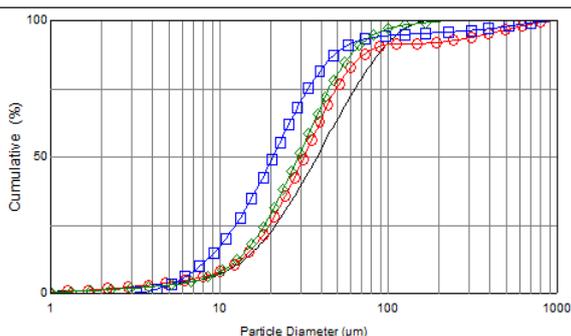
Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V] 29 Sep 2011...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	93.76
[V] 3 Oct 2011...	Test nr 17	90% ON 10% Orz	14.69	34.31	72.61

[V]=Volume [N]=Number

Рис. 4. Интегральные характеристики распределения капель в топливном факеле при распыливании топлива соответствующих групп (сплошная линия относится к распределению капель в штатном распылителе при работе на 100% ДТ)

Группа VI:

Cumulative
TEST P1 W1.smeal/Overlays\ 1 6 1.pso
12 Jun 2012 - 19:44:47



	Date-Time	File	Sample	Dx(10)	Dx(50)	Dx(90)
[V]	29 Sep 201...	Test nr 1	100% ON	12.30	37.61	83.76
[V]	11 Oct 2011...	T.18:	88.5%ON10%Orz1.5%H2O	11.64	31.39	84.37
[V]	17 Oct 2011...	T.19:	88%ON10%Orz2%H2O	7.66	20.66	64.79
[V]	6 Oct 2011-...	T.20:	87.5%ON10%Orz2.5%H2O	11.37	28.97	66.66

[V]=Volume [N]=Number

Рис. 5. Интегральные характеристики распределения капель в топливном факеле при распылировании топлива соответствующих групп (сплошная линия относится к распределению капель в штатном распылителе при работе на 100% ДТ)

Выводы

Полученные результаты, независимо от состава топлива показывают, что предварительная обработка топлива положительно влияет на распределение капель в топливном факеле. Отмечен сдвиг характеристик в область меньших диаметров капель, что дает возможность сделать вывод о том, что первоначальный этап процесса сгорания – задержка воспламенения, может сократиться, что может привести к снижению максимального давления и температуры цикла (снижение эмиссии оксида азота), при этом улучшение условий смесеобразования может привести и к более полному выгоранию топлива (улучшение топливной экономичности). Подтверждение таких выводов необходимо провести на стендовых испытаниях дизеля.

Литература

1. Ключ О.В., Моторный А.В., Минько А.А., Пухов В.В.: Предварительная обработка топлива в форсунках дизелей. Известия КГТУ, № 25, Калининград 2012, 173–179.
2. KLYUS O.: Catalytic and turbulizing treatment of biofuel in diesel engines. Jornal Problems of Mechanics, Tbilisi 2011, 34–40.
3. KLYUS O., KLYUS I.: The theory of the turbulization process in the fuel spray injector of compression ignition engines. Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 27(99) z. 1, 2011, 66–72.
4. KLYUS O.: The use of turbulization in preliminary fuel treatment in self-ignition engines. Combustion Engines 3, 2009 (138).
5. KLYUS O., BEJGER A., BARSUKOV S.I.: Acoustic characteristics of multipoint diesel injectors with preliminary fuel treatment. Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 14(86), 2008.