

## Использование параметра поверхностного натяжения для оценки процесса распыливания топлива в дизелях

## Application of surface tension parameter for estimation of fuel atomization process in Diesel engines

Paweł Krause, Oleh Klyus

Maritime University of Szczecin  
70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1–2, e-mail: p.krause@am.szczecin.pl, olegklus@o2.pl

**Ключевые слова:** дизель, топливная струя, поверхностное натяжение, распределение капель, биокomпоненты

### Резюме

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению поверхностного натяжения капли распыливаемого топлива. Рассмотрена взаимосвязь процесса распыливания и сгорания топлива в зависимости от величины поверхностного натяжения капли. В качестве топлива использовалось дизельное топливо нефтяного происхождения, а так же его смесь с рапсовым маслом.

**Key words:** Diesel engine, fuel spray, surface tension, droplets distribution, bio components

### Abstract

At Maritime University of Szczecin there are carried out research works concerning utilization of biofuels on fishing vessels. There are a lot of information about relations between atomization and fuel combustion. Initial works also indicates correlation of surface tension with atomization. This article presents results of experimental investigation of droplets distribution after determination of fuel oil surface tension. Relation between atomization quality and surface tension are analyzed. Distillate fuel oil, rapeseed oil and 10% rapeseed mixture with distillate fuel oil were used as a fuel.

### Введение

Проблемы повышения топливной экономичности, при одновременном уменьшении уровня эмиссии токсических веществ в отработавших газах дизелей, решаются в настоящее время путем оптимизации рабочего процесса – конструкции камеры сгорания, системы подачи воздуха и топлива. Если тип камеры сгорания за последние годы практически не изменился, то топливная аппаратура, хотя и повторяет известные системы аккумуляторного типа, но в корне изменяет регулирование подачи. В первую очередь это касается так называемых систем Common Rail, в которых электронное управление гидравлическими характеристиками впрыска, позволяет видоизменять закон топливопода-

чи [1]. Кроме того, значительно увеличились величины давления впрыска, которые для аккумуляторных систем приближаются к величине 200 МПа. Следует так же отметить и стремление к использованию биокomпонентов в качестве добавок к топливам нефтяного происхождения. Анализ литературы предмета исследований показывает [2, 3, 4], что основные характеристики используемых в дизелестроении топлив в основном касаются цетанового числа, фракционного состава, температуры вспышки, вязкости, плотности и других, однако весьма незначительным является использование параметра поверхностного натяжения капли распыливаемого топлива нефтяного происхождения, тем более топливных смесей с биокomпонентами. Поэтому весьма интересным является

определение взаимосвязи процесса распыливания топлива и величины поверхностного натяжения как чистого дизельного топлива нефтяного происхождения, так и смеси с рапсовым маслом.

### Связь между процессом распыливания и поверхностным натяжением топлива

Как известно, поверхностное натяжение определяется силой, действующей касательно к поверхности и стремящаяся сократить свободную поверхность жидкости до наименьших возможных пределов при заданном объеме. Поскольку поверхностное натяжение является работой образования единицы новой поверхности (свободная энергия единицы поверхности), она измеряется в  $\text{Н/м}^2$ . Жидкость в отсутствие внешних сил под действием своего поверхностного натяжения принимает форму капли [5].

Поверхностное натяжение жидкости зависит от температуры, природы граничащей среды и растворенных в жидкости примесей. С ростом температуры поверхностное натяжение жидкости уменьшается и при критической для нее температуре обращается в нуль. В присутствии в окружающей жидкое топливо среде поверхностно-активных веществ, способных адсорбироваться на его поверхности, поверхностное натяжение топлива будет резко снижаться. Растворенные в топливе вещества (сернистые, азотистые, кислородные соединения, смолы, вода, кислород и другие газы) могут сильно изменять в ту или иную сторону его поверхностное натяжение по сравнению с поверхностным натяжением топлива, не содержащего этих примесей.

Повышение давления газов над жидкими углеводородами и топливом вызывает уменьшение их поверхностного натяжения. В условиях пониженного давления поверхностное натяжение жидкости несколько возрастает. Поверхностное натяжение топлива на границе жидкость–воздух необходимо учитывать при оценке степени его распыливания в зоне сгорания двигателя. Чем выше поверхностное натяжение топлива, в сравнимых условиях тем грубее его распыливание.

В свою очередь, рассматривая основные этапы процесса сгорания, первый его период – задержки воспламенения, непосредственно влияет на степень повышения давления, что в свою очередь влияет на максимальную температуру цикла, определяющую концентрацию оксидов азота в отработавших газах. С этой

точки зрения, период задержки воспламенения необходимо сокращать, что связано с влиянием на протекающие физические и химические процессы в камере сгорания [6].

При этом физические процессы представляются в виде:

- распада топливной струи;
- образования мельчайших капель;
- их нагрев и испарение;
- смешивание их паров с кислородом воздуха.

В то время как химической составляющей этого процесса является:

- завершение предпламенных реакций;
- формирование очагов самовоспламенения.

Рассматривая в основном физические процессы, ясным становится роль величины поверхностного натяжения топлива, являющейся одной из основных его характеристик, которые непосредственно влияют на период задержки воспламенения.

### Лабораторные исследования

Для определения величины поверхностного натяжения жидкости использовался тензиометр DVA-1 фирмы Sinterface (Рис. 1).

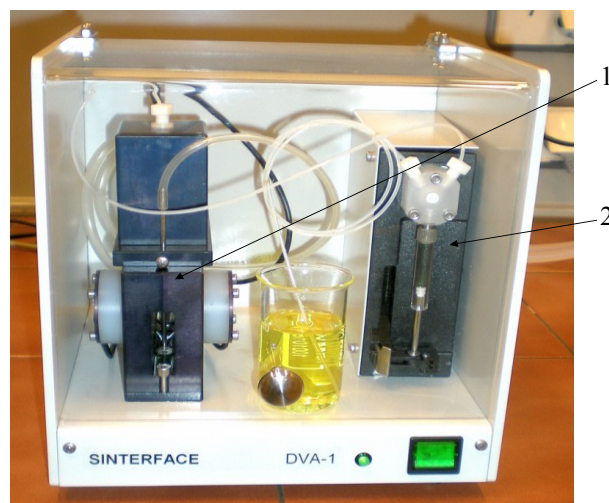


Рис. 1. Аппарат для определения поверхностного натяжения жидкости типа DVA-1 Sinterface; 1 – измерительный модуль, 2 – дозирующий модуль

Принцип действия аппарата основан на постоянной геометрической составляющей – при истечении из капилляра, жидкость образует каплю, которая отрывается под действием силы тяжести, преодалевая при этом силы поверхностного натяжения. Различие с классическим методом измерения в данном приборе заключается в замене гравитационной составляющей силой, производимой специальным плунжером, который управляет процессом истечения,

градуируемым в  $\mu\text{л/с}$ . В аппарате DVA-1 измерительный модуль считает количество капель, а введенная известная величина объема жидкости, благодаря дозирующему модулю, позволяет назначить объем капли. Кроме того, во время испытаний, в программу вводится величина плотности жидкости, позволяющей в автоматическом режиме выводить на экран величину поверхностного натяжения [7].

Поддерживание постоянной температуры измерительного капилляра производится при использовании ультратермостата типа Medingen E1. С этой целью, в камере измерительного модуля, в котором находится капилляр и капля, устанавливается термостат.

В качестве жидкости принимались чистое дизельное топливо нефтяного происхождения (ДТ), чистое рапсовое масло (РМ), а также 10% раствор рапсового масла в дизельном топливе. Выбор таких топлив определялся тем, что рапсовое масло в виде метглозтров, является одним из компонентов, добавляемых в дизельное топливо в странах Евросоюза, однако интересным является и использование чистого рапсового масла. На рис. 2 приведены результаты измерения величины поверхностного натяжения исследуемых топлив.

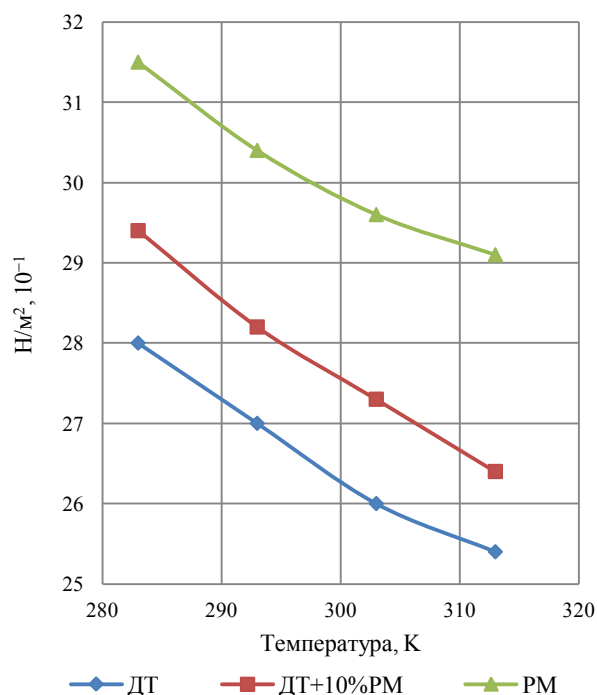


Рис. 2. Величина поверхностного натяжения различных топлив в зависимости от температуры

Следующим этапом исследований являлось определение распределения капель в струе распыливаемых топлив – чистого дизельного нефтяного происхождения, и его смеси с 10%

рапсового масла. Испытания проводились на стенде проверки топливной аппаратуры типа Bosch EPS200A, оснащенным лазерной установкой по определению распределения капель в аэрозолях типа Spraytec фирмы Malvern. Метод измерения величины распределения капель в струе распыливаемого топлива основан на лазерной дифракции – величина исследуемой частицы посредством измерения угла преломления лазерного пучка на частице (Рис. 3), поскольку этот угол обратнопропорционален величине частицы. Пучок He-Ne лазера преломляется при прохождении через исследуемую струю. Анализируя интенсивность света, падающего на определенные поля детектора, возможно определить доли определенных величин частиц в струе.

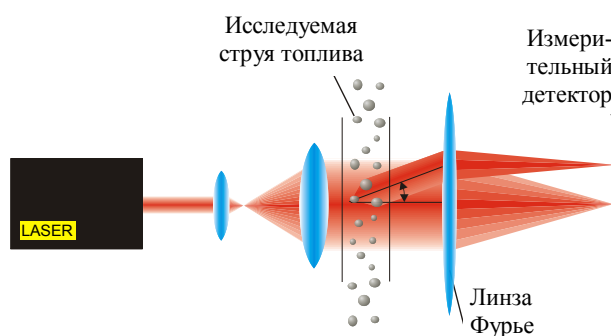


Рис. 3. Схема измерительного модуля распределения капель в топливной струе

Для дальнейших исследований был выбран распылитель дизеля типа 359. Его выбор был неслучаен – распределение капель необходимо определять в одной, отдельно взятой топливной струе, а именно такой распылитель – трехдырчатый, позволяет на достаточно простое экранирование двух соседних струй, в то время как третья подлежит исследованию (Рис. 4).

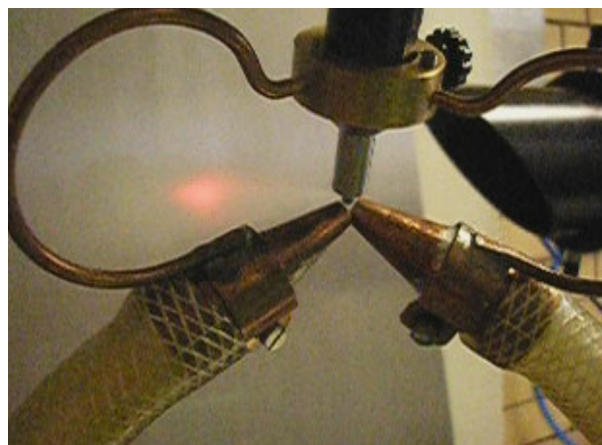


Рис. 4. Распылитель дизеля типа 359 – две топливные струи экранированы, третья подвержена лазерному пучку

На рис. 5. представлен лабораторный стенд по определению распределения капель в топливной струе, а на рис. 6 – результаты исследований в виде протокола испытаний двух топлив – чистого дизельного нефтяного происхождения и его смеси с 10% рапсового масла.

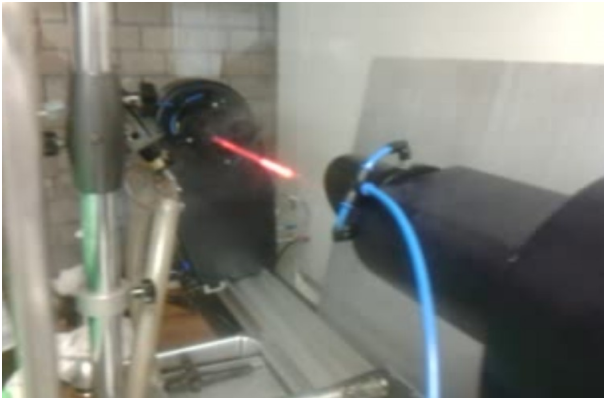


Рис. 5. Прохождение лазерного пучка через струю распыливаемого топлива

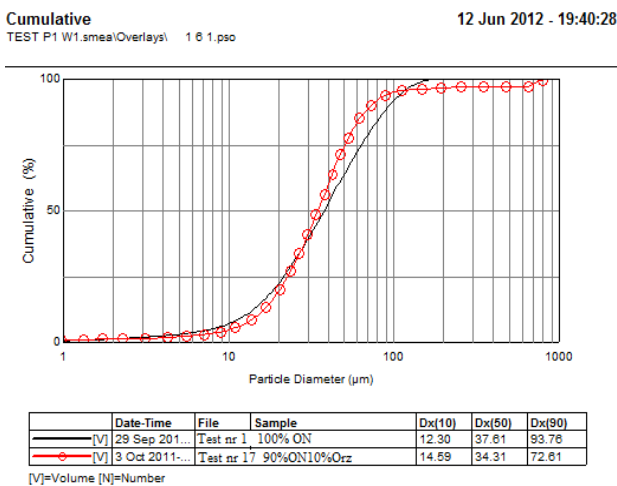


Рис. 6. Протокол испытаний распределения капель в струе распыливаемого топлива

## Выводы

Величина поверхностного натяжения, являющаяся одним из физических характеристик жидкого топлива, влияет на процесс его распыливания, при этом уменьшение поверхностного натяжения непосредственно влияет на сокращение периода задержки воспламенения, что может привести к снижению уровня эмиссии

токсических компонентов, и в первую очередь оксидов азота, в отработавших газах дизелей.

Как показали результаты исследований, величина поверхностного натяжения дизельного топлива в границах температур 283–313 К изменяется от 28,0 до 25,4 Н/м<sup>2</sup>, при этом этот показатель для рапсового масла составляет 31,5–29,1 Н/м<sup>2</sup>, а для смеси дизельного топлива с 10%-ми рапсового масла – 29,4 до 26,4 Н/м<sup>2</sup>. Влияние поверхностного натяжения на распределение капель в струе впрыскиваемого топлива нашло свое отражение и во время проведения испытаний с использованием метода лазерной дифракции. Так, с увеличением величины поверхностного натяжения, увеличилось количество капель с диаметром, превышающим диаметр 90 мкм, то есть в процессе топливоподачи увеличивается количество капель, способных подвергаться крекингу, увеличивая тем самым дымность отработавших газов и ухудшая при этом топливную экономичность.

Дальнейшие исследования в представляемом направлении должны подтвердить влияние характеристики поверхностного натяжения топлива на показатели работы дизеля.

## Литература

1. 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, 72–78.
2. KLYUS O.: Catalytic and turbulizing treatment of biofuel in diesel engines. Journal Problems of Mechanics, Tbilisi 2011, 34–40.
3. KLYUS O.: The use of turbulization in preliminary fuel treatment in self-ignition engines. Combustion Engines, 3, 2009 (138), 53–57.
4. KLYUS O.: Simultaneous reduction of fuel consumption and toxic emission of exhaust gases of fishing fleet engines. CIMAC-2013, No. 13, Shanghai 2013.
5. ХАЙДАРОВ Г.Г.: О связи поверхностного натяжения жидкости с теплотой парообразования. Журнал физической химии, № 10, 1983, 2528–2530.
6. KLYUS O., KLYUS I.: The reduction of nitrogen oxide in exhaust gases of fishing fleet diesel engines. Scientific Journals Maritime University of Szczecin 35(107), 2013, 86–90.
7. KRAUSE P.: Oznaczenie napięcia powierzchniowego wybranych paliw. Raport końcowy „Zmniejszenie zużycia paliwa i obniżenie toksyczności gazów wylotowych silników rybackich jednostek pływających”. Umowa 00003-61724-OR1600002/10/11. Cz. III. AM Szczecin 2012.