

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ ОДИНОЧНОЙ КАПЛИ РАПСОВО - МЕТИЛОВОГО ЭФИРА И ЕГО ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ С ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ

А.К.Копейка, В.В.Головко, В.И.Бровченко, Е.Г.Олешко, Д.С.Дараков

Институт горения и нетрадиционных технологий
Одесский национальный университет им.И.И.Мечникова, kopeika@ukr.net

Приводятся результаты исследования процесса воспламенения и горения одиночной капли жидкого топлива – рапсово метилового эфира и его топливных смесей в неподвижной среде атмосферного воздуха. Показано, что для рапсово – метилового эфира, обладающего рядом экологических преимуществ, значения времени задержки воспламенения, и температуры воспламенения одиночной капли, оказались меньшими по сравнению с дизельным топливом – продуктом нефтеперегонки. Малые добавки рапсово – метилового эфира к дизельному топливу также приводят к уменьшению критической температуры воспламенения дизельного топлива.

Ключевые слова

Воспламенение, капля, рапсово – метиловый эфир, топливо.

Условные обозначения

d_0 – начальный диаметр капли, мм; T – температура среды, К; $T^{кр}$ – температура на пределе воспламенения, К; $\tau_{инд}$ – время задержки воспламенения, с; τ – время жизни капли, с; τ_{burn} – время горения капли, с;

Введение

Наблюдаемые в последнее время тенденции к объединению экономических систем различных стран, выдвигают на первый план такие проблемы, как рост потребления энергоресурсов, ограниченность запасов нефти и газа, неравномерность их распределения, и ухудшение условий их добычи. Анализ ситуации в энергетике показывает, что без значительного изменения структуры топливно-энергетического комплекса, без включения в баланс и повышения доли новых возобновляемых источников энергии, решить эти проблемы достаточно сложно. В связи с этим актуальное значение приобретают создание и исследования новых видов топлив на биологической основе. Основное преимущество этих топлив заключается в их экологичности и возобновляемости [1].

Одним из перспективных результатов научного поиска предпринятого в этом направлении, явилось создание биотоплива синтезируемого из растительного масла и

метанола — эфира жирной кислоты. В странах европейского региона, чаще всего используется, полученный из рапсового масла, рапсово-метиловый эфир (РМЭ или “биодизель”). Это биотопливо может с успехом заменить дизельное топливо, и используется в дизельных агрегатах без существенной модернизации последних. Биотопливо используют также в качестве добавок к дизельному топливу – продукту нефтяной перегонки [2,3]. Относительное содержание биотоплива в таком модифицированном топливе варьируется от 3% до 30%. Очевидно, что технические, экологические и экономические показатели подобных топлив отличаются.

Поэтому целью данной работы явилось проведение сравнительного анализа основных характеристик процессов воспламенения и горения одиночных капель модифицированного дизельного топлива в зависимости от содержания РМЭ в топливной смеси. Такой анализ, в конечном счете, позволил бы определить наиболее эффективное соотношение компонент топливной смеси РМЭ и дизельного топлива.

1. Эксперимент

Экспериментальные исследования проводились на установке, основным конструктивным элементом которой была подвижная печь, закрытая с одного торца, с нагревательным элементом из нихрома (диаметр печи $7 \cdot 10^{-2}$ м, длина $12 \cdot 10^{-2}$ м). Схема установки приведена на рис.1.

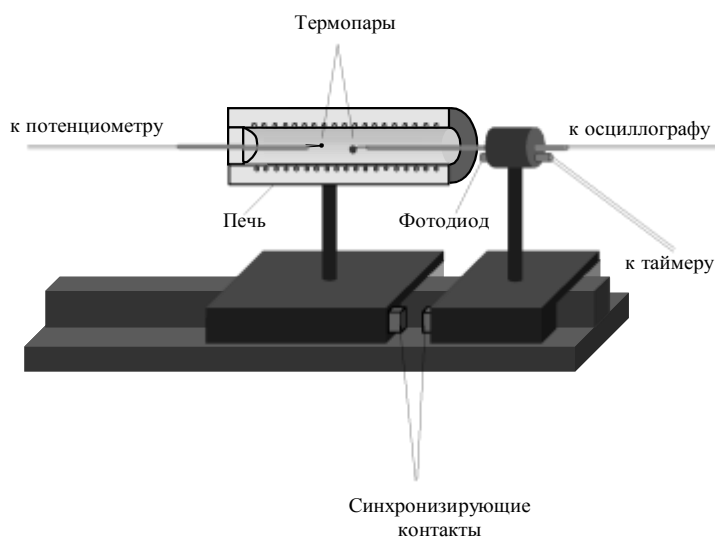


Рис.1 Схема установки

Печь перемещалась относительно капли исследуемого топлива, которая находилась на неподвижном подвесе. В качестве подвеса использовалась хромель-алюмелевая термопара с диаметром спая 130 мкм, выполненном в виде петли. Момент времени, когда капля находилась в центре нагревательного элемента печи, синхронизировался с включением осциллографа и таймера. Осциллограф, на вход которого подавался сигнал с термопары-подвеса, фиксировал температуру капли. Время задержки воспламенения

(индукционный период - τ_{ind}) определялось по показаниям таймера, на вход которого подавался управляющий сигнал от фотоэлемента, расположенного на одной оптической оси с подвесом. Таймер, позволял регистрировать также и полное время жизни капли. Интервал времени для ввода капли в объем печи не превышал 0,5с. Температура воспламенения капли исследуемого топлива определялась с помощью второй термопары, жестко закрепленной с закрытого торца печи, и регистрировавшей температуру среды T в момент воспламенения капли. Точность измерения температуры составила 5 градусов. Начальный диаметр капель d_0 определялся с помощью зрительной трубы и варьировался от $1 \cdot 10^{-3}$ м до $2 \cdot 10^{-3}$ м.

Исследования зависимости температуры воспламенения одиночных капель смесей РМЭ с ДТ от диаметра и состава смеси проводились по следующей методике. С помощью дозирующего устройства капля исследуемого топлива помещалась на подвес - термопару. Измерение диаметра капли производилось в отраженном свете на фоне белого экрана. После определения температуры окружающей среды в печи по показаниям потенциометра, капля помещалась в печь. Момент времени, когда капля исследуемого топлива оказывалась в центре печи, на небольшом расстоянии (2-3 мм) от жестко закрепленной термопары, синхронизировался с помощью механического контакта с моментом включения таймера. Время задержки воспламенения определялось как время от момента помещения капли в центр печи до появления пламени вокруг капли. Таймер фиксировал также и полное время жизни капли. Время горения капли находилось как разность между временем жизни капли и периодом задержки воспламенения. Данные по времени задержки воспламенения, и критическому значению температуры получались из серии по 5 – 10 опытов с каплями заданного диаметра. Погрешность эксперимента составила 2 – 3%. При этом в расчет брались только те опыты, время горения капель в которых было одинаковым. Такой подход позволил исключить влияние таких факторов, как искажение сферической формы капель, включение пузырьков пара в каплях и п.р.

2. Обсуждение результатов

2.1 *Критические условия воспламенения капли рапсово – метилового эфира и смесей рапсово-метилового эфира с дизельным топливом.* При проведении сравнительного анализа процесса воспламенения одиночных капель дизельного топлива (ДТ), рапсового метилового эфира (РМЭ), а также их смесей, одной из важных задач было определение температуры на пределе воспламенения $T^{кр}$ в зависимости от диаметра капли (критические условия воспламенения капель) при различном содержании РМЭ в топливной смеси с ДТ. Кроме чистых ДТ и РМЭ, были исследованы две топливные смеси с различным содержанием РМЭ. Топливная смесь РМЭ – 20, и РМЭ – 5, содержащие, соответственно, 20% и 5% по объему добавки РМЭ к ДТ.

Результаты экспериментальных исследований зависимости температуры окружающей среды на пределе воспламенения $T^{кр}$ от диаметра капли для РМЭ, ДТ и их смеси представлены на рис.2. Качественная картина воспламенения ДТ и РМЭ, а также их смеси была подобна, – с увеличением начального диаметра капель критическая температура уменьшалась. Температура на пределе воспламенения РМЭ оказалась ниже температуры воспламенения ДТ на 50 градусов для капли диаметром 2мм. Введение 5 и 20 % добавок РМЭ к ДТ привело к понижению его критической температуры воспламенения на 15 градусов.

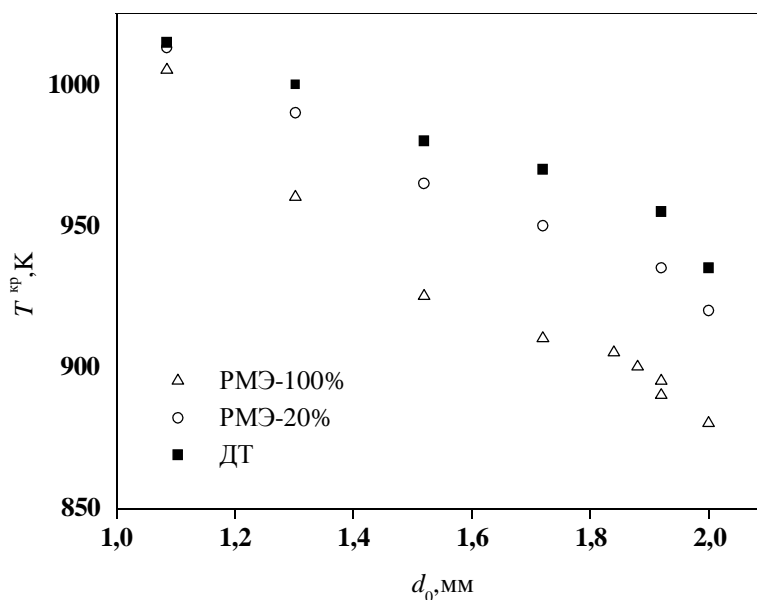


Рис.2 Зависимость температуры на пределе воспламенения $T_{кр}$ от диаметра капли (критические условия воспламенения капель) при различном содержании РМЭ в топливной смеси с ДТ.

Отличие температуры на пределе воспламенения для топливных смесей РМЭ – 20 и РМЭ – 5 находилось в пределах погрешности измерения температуры. Причем, с уменьшением начального диаметра капель, разница между значениями температуры на пределе воспламенения для ДТ, РМЭ и их смеси нивелировалась.

2.2 Времена задержки воспламенения и горения одиночных капель топливных смесей рапсово-метилового эфира с дизельным топливом. Одной из основных характеристик любого моторного топлива, которая характеризует длительность всех процессов предшествующих воспламенению, а затем и сопровождающих горение, является время жизни капли τ . Это время, в свою очередь состоит из времени задержки воспламенения капли - τ_{ind} , и времени ее горения - τ_{burn} .

Экспериментальные данные по определению характерных времен процесса воспламенения и горения капель исследуемых веществ с начальным диаметром 2мм представлены в таблице и на рис.3. Анализ этих данных показывает, что время жизни капель РМЭ и ДТ примерно одинаково и уменьшается с ростом температуры окружающей среды. В то же время наличие небольших добавок РМЭ в ДТ приводит к уменьшению времени жизни капель топливных смесей по сравнению с чистыми РМЭ и ДТ, которое тем заметнее, чем больше концентрация РМЭ (см.таблицу).

Интересно отметить тот факт, что хотя время жизни капель ДТ и РМЭ примерно одинаково, время задержки и время горения для этих веществ соотносятся по разному. Если у капель РМЭ время задержки меньше чем у капель ДТ, то время горения капли РМЭ больше аналогичной величины для ДТ. Другими словами капля РМЭ воспламеняется раньше, чем капля ДТ, но горит дольше.

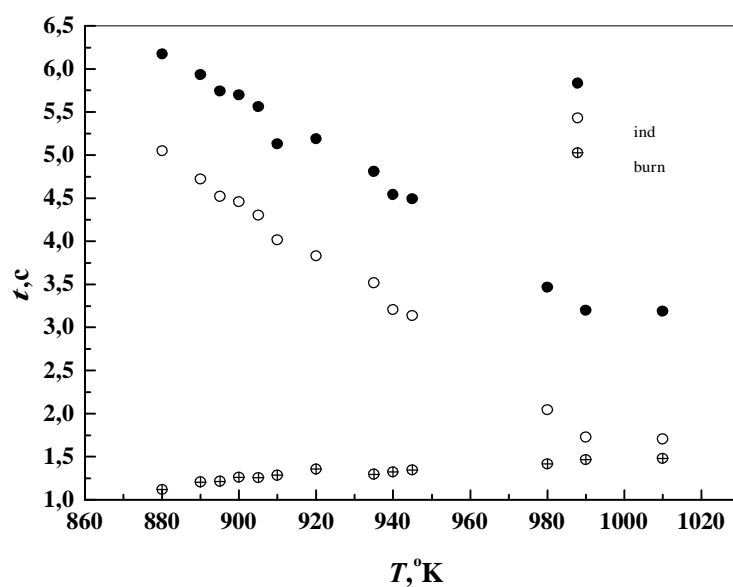


Рис.3 Зависимость характерных времен процессов воспламенения и горения капли РМЭ от температуры окружающей среды (диаметр капли $d=2\text{мм}$).

Таблица характерных времен воспламенения и горения капель РМЭ, ДТ и их смесей

Т,К	РМЭ – 100%			ДТ			РМЭ – 5%			РМЭ – 20%		
	$\tau_{\text{ind,с}}$	$\tau_{\text{burn,с}}$	$\tau,с$	$\tau_{\text{ind,с}}$	$\tau_{\text{burn,с}}$	$\tau,с$	$\tau_{\text{ind,с}}$	$\tau_{\text{burn,с}}$	$\tau,с$	$\tau_{\text{ind,с}}$	$\tau_{\text{burn,с}}$	$\tau,с$
880	5,05	1,12	6,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
890	4,72	1,21	5,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
895	4,52	1,22	5,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900	4,46	1,26	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
905	4,30	1,26	5,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
910	4,02	1,29	5,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
920	3,83	1,36	5,19	-	-	-	4,03	0,5	4,53	3,94	0,57	4,51
935	3,52	1,30	4,81	4,21	0,38	4,59	3,77	0,53	4,30	3,58	0,60	4,18
940	3,21	1,33	4,54	3,78	0,38	4,16	3,49	0,61	4,10	3,25	0,61	3,86
945	3,14	1,35	4,49	3,70	0,40	4,10	3,49	0,64	4,13	3,27	0,63	3,9
980	2,05	1,42	3,47	3,64	0,50	4,14	2,45	0,70	3,15	2,37	0,7	3,07
990	1,73	1,47	3,20	2,71	0,64	3,35	2,37	0,70	3,07	2,21	0,72	2,93
1010	1,71	1,48	3,19	2,68	0,73	3,41	2,05	0,77	2,82	1,96	0,71	2,75

По-видимому, в случае РМЭ степень влияния кинетического фактора на процесс воспламенения паров вокруг капли больше, чем для ДТ. Процесс же горения капли протекает в относительно медленном диффузионном режиме.

Учитывая сильный нелинейный характер кинетического фактора можно предположить, что введение небольших добавок РМЭ в ДТ должно привести к ощутимому уменьшению времени задержки воспламенения капель подобных топливных смесей. Как видно из таблицы некоторое уменьшение времени задержки воспламенения капель смесей РМЭ – 20 и РМЭ – 5 действительно имеет место. Причем, как и ожидалось, с увеличением содержания РМЭ в топливной смеси величина τ_{ind} уменьшается.

Уменьшение времени жизни капель этих смесей τ можно объяснить эффектом дополнительного диспергирования, который наблюдался визуально в момент воспламенения капель.

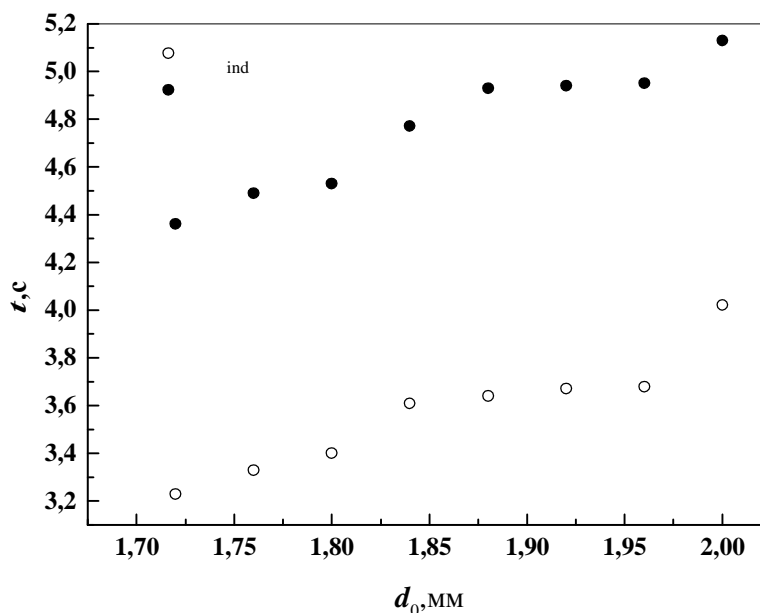


Рис.4 Зависимость времени задержки воспламенения и горения капель РМЭ от начального диаметра (температура окружающей среды 910К).

Характерные времена задержки воспламенения и жизни одиночных капель моторных топлив зависят также от начального диаметра капель. Анализ экспериментальных данных представленных на рис.4 для капель РМЭ подтверждает вывод, полученный в рамках квазистационарной модели воспламенения капли горючего в окислительной среде [4], о том, что время задержки воспламенения капли жидкого топлива должно увеличиваться с ростом начального диаметра:

$$t_{ind} = \frac{\rho c r_0^2}{3\lambda} \ln \frac{T_0}{T_2}$$

где ρ – плотность жидкого топлива, c – удельная теплоемкость жидкого топлива, r_0 – начальный радиус капли, λ – коэффициент теплопроводности паров топлива, T_0 – температура капли в начальный момент времени ($t=0$), T_2 – температура кипения жидкого топлива.

Заключение

Таким образом, с точки зрения интенсификации процесса сгорания капель моторного топлива, наиболее эффективным является использование топливных смесей ДТ и РМЭ, для которых характерны меньшие значения периода задержки воспламенения чем у ДТ, и меньшие времена горения по сравнению с РМЭ.

Л и т е р а т у р а

1. Берковский Б.М., Кузьминов В.А. Возобновляемые источники энергии на службе человека. М.: Наука, 1987. 128с.
2. Семёнов В.Г., Трофименко Е.В. «Биодизель»: «у них и у нас» // ж-л. Автоцентр. 2001. №8. С.28-29.
3. Randal von Wedel, Marine Biodiesel. Point Richmond: CytoCulture International, Inc., 1999. p.27
4. Варшавский Г.А., Федосеев Д.В., Франк-Каменецкий А.Д. Квазистационарная теория воспламенения капли жидкого топлива // Физика аэродисперсных систем. 1969. №1. С.101-107.