

зовании МЭРМ и его смесей с этанолом при среднем индикаторном давлении 2 МПа выше, чем при применении дизельного топлива. Доля NO в NO_x возрастает до 98–99 %.

Выводы

Выбросы составляющих NO_x при неизменной величине цикловой подачи в случае применения МЭРМ и его смесей с этанолом ниже, чем при использовании дизельного топлива. Увеличение цикловой подачи смесей, до уровня, обеспечивающего поддержание выбранного нагрузочного режима, приводит к росту выбросов окислов азота.

Литература

1. Компьютерная программа моделирования рабочего процесса дизеля (МРПД). Программа внесена в реестр служебных компьютерных программ БНТУ 17.07.2015. Свидетельство о регистрации № 002.

2. Кухаренок, Г.М. Снижение выбросов вредных веществ дизельных двигателей / Г.М. Кухаренок, А.Н. Петрученко, В.И. Березун – Минск, 2014. – 248 с.

УДК 621.436

ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАПСОВОГО МАСЛА

INDICATORS OF THE APPLICATION OF DIESEL IN RAPESEED OIL

Кухаренок Г.М., доктор технических наук, профессор;
Петрученко А.Н., кандидат технических наук, доцент
(Белорусский национальный технический университет)

Kukharenok G.M., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Petruchenko A.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Belarusian National Technical University)

Аннотация. *Приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований экологических и топливно-экономических показателей дизельного двигателя при работе на рапсовом масле.*

Abstract. *The results of theoretical and experimental studies of the environmental and economic performance of the fuel and the diesel engine when operating on rapeseed oil.*

Условия определяющие протекание процессов смесеобразования и испарения рапсового масла (МР) хуже, чем у дизельного топлива, из-за высоких значений коэффициента поверхностного натяжения (σ_m) и динамической вязкости (μ_m). Наиболее простым способом уменьшения этих параметров является нагрев масла. Оценка влияния теплового состояния рапсового масла на индикаторные показатели дизеля выполнена с помощью математического моделирования. Для получения уравнений, позволяющих рассчитывать σ_m и μ_m при различных температурах масла, использовались графические зависимости, приведенные в работе [1]. Они аппроксимированы следующими уравнениями:

$$\mu_m = (3 \cdot 10^{-6} \cdot t_m^4 - 8 \cdot 10^{-3} \cdot t_m^3 + 0,107 \cdot t_m^2 - 6,74 \cdot t_m + 187) \rho_m ; \quad (1)$$

$$\sigma_m = -0,051 t_m + 34,1. \quad (2)$$

С увеличением температуры масла уменьшаются не только σ_m и μ_m но и его плотность. Приведенную в работе [1] зависимость плотности масла от температуры можно аппроксимировать с помощью уравнения:

$$\rho_m = -0,65 t_m + 882. \quad (3)$$

Моделирование проведено для режима С100 13-ти ступенчатого испытательного цикла ESC автомобильного дизеля 4ЧН 11/12.5. Исходные данные соответствовали значениям, приведенным в работе [2].

Значение цетанового числа рапсового масла принято согласно работе [3] равным 40. Температура подогрева масла изменялась в пределах 20–100 °С.

На рисунке 1 показаны индикаторные диаграммы дизеля, работающего на дизельном топливе и рапсовом масле

Характер протекания кривых давления указывает, на то, что воспламенение дизельного топлива и рапсового масла независимо от температуры подогрева начинается после ВМТ. Максимальных давлений газы достигают на 2–3 град ПКВ раньше при применении рапсового масла, однако. По мере увеличения температуры масла, примерно до 60 °С, наблюдается рост максимального давления сгорания. Дальнейший рост температуры масла ведет к обратному процессу – снижению максимального давления сгорания. Различие в значениях максимального давления для рапсового масла, полученных для разных температур подогрева, не превышает 2 %. По сравнению с дизельным топливом при работе на рапсовом масле максимальное давление сгорания снижается на 6–8 %.

Наибольших значений достигает максимальная интенсивность нарастания давления ($dp/d\phi$) при применении дизельного топлива. Этот показа-

тель при использовании дизельного топлива равен 0,5 МПа/град, для рапсового масла в зависимости от температуры подогрева $dp/d\phi$ на 17–28 % ниже. Также как и для максимального давления сгорания при температуре подогрева 40–60 °С значения $dp/d\phi$ наиболее близки величине, полученной при использовании дизельного топлива.

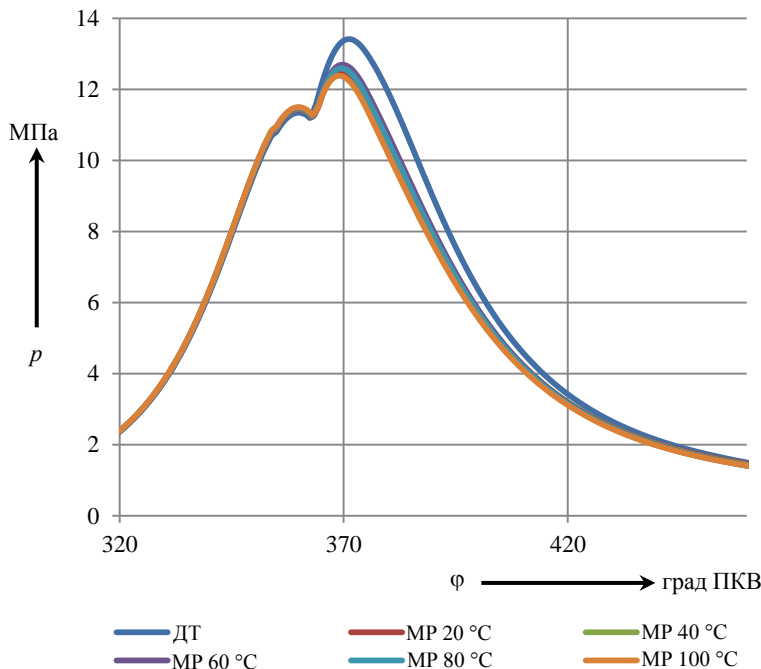


Рисунок 1 – Индикаторные диаграммы при работе двигателя на дизельном топливе и рапсовом масле при различных температурах подогрева

Переход на работу на рапсовом масле ведет к заметному снижению максимальной температуры газов (T_{\max}) (рисунок 2). По сравнению с работой на дизельном топливе T_{\max} снижается в среднем на 10–13 %.

Характер протекания индикаторных диаграмм и температурных кривых во многом определяется снижением теплотворности смеси. Кроме того физические свойства рапсового масла, определяющие условия распыливания и испарения топлива в цилиндре дизеля, хуже. Влияние этих факторов можно оценить, исследовав интегральные и дифференциальные характеристики тепловыделения (рисунки 3, 4).

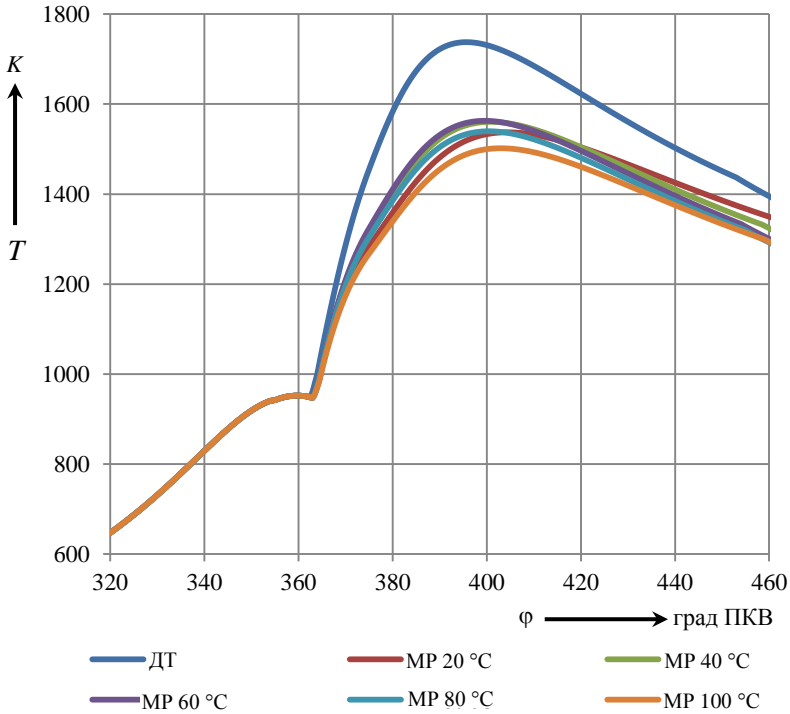


Рисунок 2 – Изменение температуры газов в цилиндре двигателя при работе на дизельном топливе и рапсовом масле

Вследствие невысокого значения цетанового числа у рапсового масла тепловыделение при его применении увеличение периода задержки воспламенения увеличивается на ~2 град ПКВ. Однако это увеличение не привело к заметному росту максимальной скорости тепловыделения ($\frac{dx}{dt}$) (рисунок 3). Для рапсового масла, подогретого до температур 60–80 °С величина $\frac{dx}{dt}$ на 5–6 % выше, чем при применении дизельного топлива. При подогреве масла до 20, 40 и 100 °С максимальные значения $\frac{dx}{dt}$ практически не отличаются от значения, полученного для дизельного топлива. При этом кривые тепловыделения, соответствующие рапсовому маслу подогретому до температур 40 и 100 °С практически совпадают во всей области определения данной функции.

Продолжительность тепловыделения при применении рапсового масла на 8–10 град ПКВ больше, чем при использовании дизельного топлива.

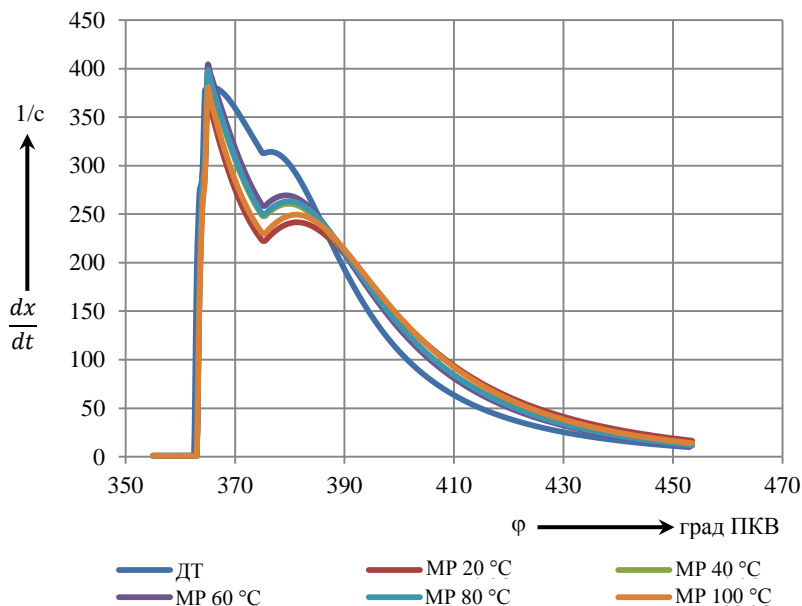


Рисунок 3 – Дифференциальные характеристики тепловыделения в процессе сгорания при работе на дизельном топливе и рапсовом масле

Характеристики тепловыделения также как и теплотворность обуславливают динамические показатели процесса сгорания топлива в цилиндре дизеля, его мощность и топливную экономичность.

Высокие скорости тепловыделения и теплотворность дизельного топлива обеспечивают большие, по сравнению с рапсовым маслом, значения максимальных значений скорости нарастания давления, давления и температуры газов в цилиндре. В этом случае двигатель достигает лучших показателей топливной экономичности и мощности.

Несмотря на подогрев, динамическая вязкость и коэффициент поверхностного натяжения у рапсового масла остаются выше, чем у дизельного топлива, что увеличивает средний диаметр капель, а, следовательно, ухудшает условия испарения и смесеобразования. В результате растет продолжительности выгорания топлива. Рост среднего диаметра капель оказывается более значимым фактором, влияющим на продолжительность выгорания топлива, чем коэффициент избытка воздуха, увеличивающийся при переходе на работу на рапсовом масле и при повышении температуры подогрева.

Повышение продолжительности тепловыделений ведет к росту потерь теплоты, что совместно со снижением теплотворности топлива уменьшает

динамические показатели процесса сгорания и ухудшает мощностные и топливно-экономические показатели дизеля. Удельный индикаторный расход топлива (g_i) при переходе с дизельного топлива на рапсовое масло возрастает на 30–40 г/(кВт·ч) (~13–17 %), среднее индикаторное давление (p_i) уменьшается на 0,27–0,36 МПа (15–22 %) (таблица 1).

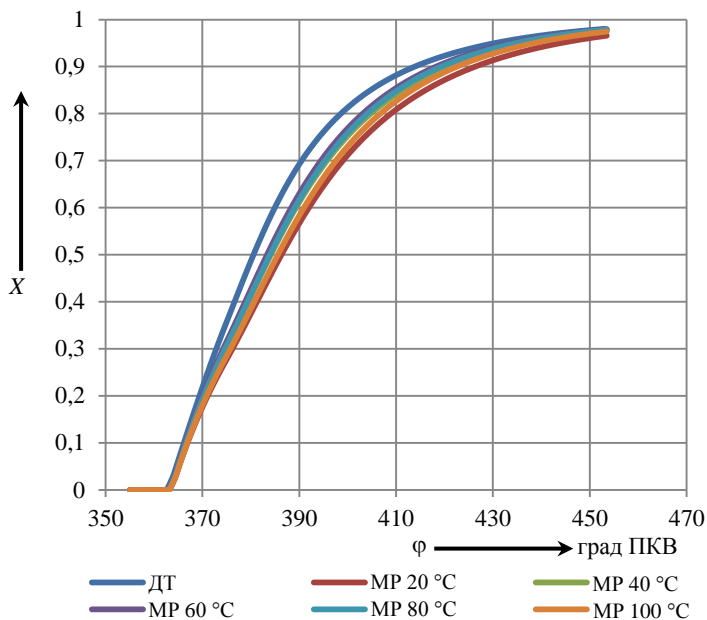


Рисунок 4 – Интегральные характеристики тепловыделения в цилиндре двигателя при работе на дизельном топливе и рапсовом масле

С увеличением температуры подогрева масла примерно до 60–80 °С среднее индикаторное давление растет, а удельный индикаторный расход топлива снижается. В данном, случае рост скорости тепловыделения компенсирует снижение цикловой подачи топлива, вызванное уменьшением плотности рапсового масла (объемная подача топлива при проведении исследований оставалась неизменной). Дальнейший рост температуры масла ведет к ухудшению топливной экономичности двигателя и снижению мощностных показателей. В данном случае сказывается уменьшение интенсивности тепловыделения и массовой подачи топлива.

При подогреве масла увеличивается индикаторный КПД (η_i), наибольшего значения он достигает при температуре подогрева 60–80 °С. Индикаторный КПД дизеля выше для масел с высокой температурой подогрева. Так

например, при температуре подогрева 20 °С η_i на 2 % ниже, чем при температуре подогрева 100 °С, однако при этом среднее индикаторное давление при температуре подогрева 20 °С оказывается на 4,2 % выше, чем при температуре подогрева 100 °С. Относительно высокое значение среднего индикаторного давления при невысоких температурах подогрева при низком η_i обусловлено высокой массовой подачей топлива. В тоже время невысокая скорость тепловыделения приводит к снижению экономичности двигателя.

Таблица 1 – Индикаторные показатели дизеля при применении дизельного топлива и рапсового масла при различных температурах подогрева (цикловая подача топлива 151 мм³)

Применяемое топливо	P_i , МПа	g_i , г/(кВт·ч)	P_z , МПа	T_{max} , К	$dp/d\varphi$, МПа/град	α	η_i
ДТ	1,996	192,5	13,54	1731	0,5	1,71	0,44
Масло 20	1,709	232,762	12,438	1537	0,381	1,88	0,415
Масло 40	1,743	225,945	12,646	1560	0,409	1,92	0,4272
Масло 60	1,728	223,2	12,695	1563	0,412	1,95	0,432
Масло 80	1,692	224,42	12,594	1539	0,393	1,98	0,43
Масло 100	1,636	228,438	12,385	1501	0,358	2,02	0,422

Были проведены экспериментальные исследования и получены внешние скоростные характеристики дизеля (рисунок 5), работающего на подогретом рапсовом масле и дизельном топливе без подогрева. Подогрев масла осуществлялся с помощью теплообменника включенного в систему охлаждения дизеля.

При работе двигателя на рапсовом масле произошло падение мощности (N_e) двигателя по всей внешней скоростной характеристике на 1,7–6,8 кВт, причем на режиме номинальной мощности при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ оно составило 5,6 кВт, а на режиме максимального крутящего момента при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ – 6,3 кВт.

Удельный эффективный расход топлива вырос на 25,6–33,9 г/(кВт·ч) по всей ВСХ, на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента на 33,9 и 31,9 г/(кВт·ч) соответственно. Отмеченное снижение мощности и увеличение расхода топлива связано с тем, что теплотворность рапсового масла на 13 % ниже теплотворности дизельного топлива.

Эффективный КПД двигателя при работе на рапсовом масле остается на том же уровне, что и при работе на дизельном топливе. Это свидетельствует о том, что при применении рапсового масла процесс сгорания протекает на том же уровне, что при работе на дизельном топливе.

Дымность отработавших газов при работе двигателя на рапсовом масле снизилась по всей ВСХ практически в два раза, количество выбросов окислов азота увеличилось на 1,27 г/(кВт·ч) (или на 20,5 %) – с 6,17 г/(кВт·ч)

(при работе на ДТ) до 7,44 г/(кВт·ч) (при работе на рапсовом масле). Снижение дымности и увеличение выбросов оксида азота связано с тем, что в рапсовом масле содержится 12 % кислорода. В результате коэффициент избытка воздуха при принятых условиях испытаний для рапсового масла по всей внешней скоростной характеристике выше, чем для дизельного топлива. Для номинального режима на 1,8 %, режима максимальной мощности 1,3 %.

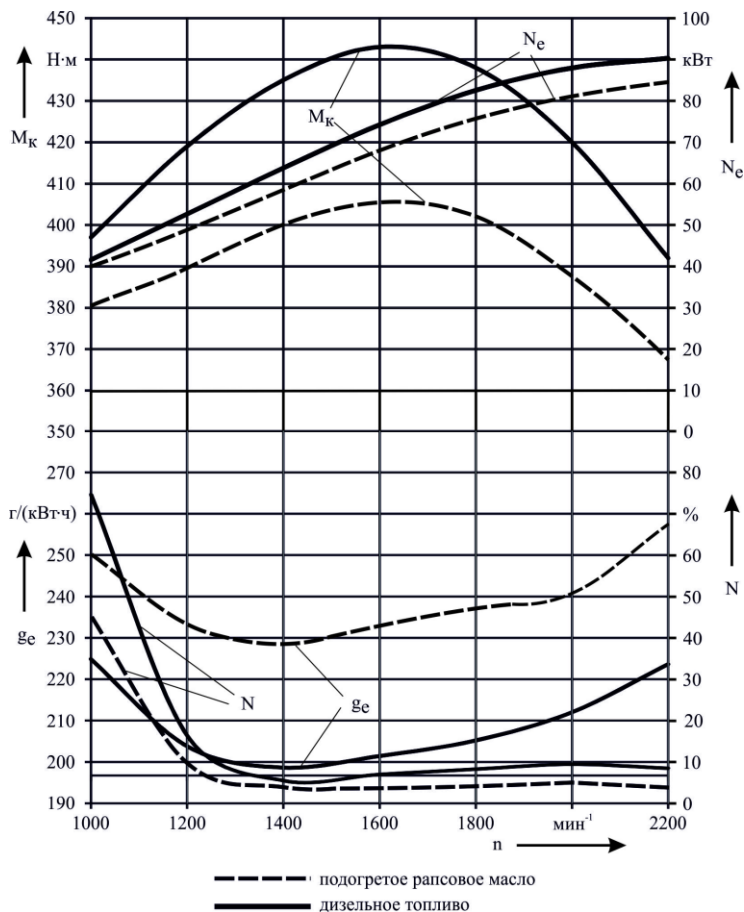


Рисунок 5 – Внешняя скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11/12,5 при работе на подогретом рапсовом масле и дизельном топливе

При подогреве дизельного топлива снижается дымность отработавших газов и выбросы окислов азота по всей внешней скоростной характеристике.

Выводы

1. Установлено, что при работе на подогретом рапсовом масле удельный индикаторный расход топлива выше, а среднее индикаторное давление ниже, чем у дизельного топлива. Это связано со снижением теплотворности масла и скорости тепловыделения. Минимальный удельный расход топлива обеспечивается при подогреве масла до 60–80 °С.

2. Дымность ОГ при работе двигателя на рапсовом масле по всей внешней скоростной характеристике снизилась практически в два раза, количество выбросов окислов азота увеличилось на 20,5 %.

3. Рекомендуется применение в дизелях рапсового масла подогретого до температуры 75 ± 5 °С.

Литература

1. Девянин, С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – М.: Изд. центр ФГОУ ВПО МГАУ. – 2008. – 340 с.

2. Кухаренок, Г.М. Снижение выбросов вредных веществ дизельных двигателей / Г.М. Кухаренок, А.Н. Петрученко, В.И. Березун. – Минск, 2014. – 248 с.

3. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях / Д.Д. Матиевский [и др.] // Ползуновский вестник. – 2006. – № 4. – С. 118–127.

УДК 621.436

ОБРАЗОВАНИЕ САЖИ В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА СПИРТОСОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВАХ

SOOT FORMATION IN DIESEL CYLINDER AT WORK ON FUEL CONTAINING ALCOHOL

Петрученко А.Н., кандидат технических наук, доцент
(Белорусский национальный технический университет)

Petruchenko A.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(Belarusian National Technical University)

Аннотация. *Приведена зависимость, уточняющая феноменологическую модель образования сажи. Представлены результаты исследований и выполнен анализ влияния спиртов на образование сажи.*

Abstract. *Dependence to clarify the phenomenological model of soot formation. The results of the research and the analysis of the impact of alcohol on the formation of soot.*