

УДК 631.372 (662.6/8)

А. Н. Карташевич, д-р техн. наук, проф., В. С. Товстыка, Г. Н. Гурков

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ Д-243 ПРИ РАБОТЕ НА РАПСОВОМ МАСЛЕ И ДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

В статье приведён сравнительный анализ изменения дымности отработавших газов, содержания в них NO_x , CO , CO_2 и CH при замене традиционного дизельного топлива на альтернативное рапсовое масло. По результатам исследований сделаны выводы, что при условии сохранения мощностных показателей работы двигателя на уровне, установленном заводом-изготовителем, и увеличении часового расхода топлива на 15 %, происходит снижение выбросов сажи – до 29 %, оксидов азота – до 31 % и несгоревших углеводов – до 29 %. Выбросы оксида и диоксида углерода увеличиваются на 26 и 10 % соответственно.

В настоящее время в Республике Беларусь актуальным является вопрос применения возобновляемых источников энергии с целью обеспечения энергетической безопасности страны. Это подкреплено рядом нормативных актов: Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 ноября 2005 г. № 1339 «Об утверждении перечня государственных программ фундаментальных и прикладных научных исследований в области естественных, технических, гуманитарных и социальных наук на 2006–2010 годы», Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512 «Об утверждении перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы», Указом Президента Республики Беларусь от 6 июля 2005 г. № 315 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь», Директивой Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

Одним из возобновляемых источников энергии, использование которого позволит улучшить энергетическую безопасность Беларуси, является масло, получаемое из семян рапса. Данный вид альтернативного топлива по своим свойствам близок к свойствам дизельного топлива и может быть применен в дизельном двигателе. Однако рапсовое масло (РМ) и ди-

зельное топливо (ДТ) имеют ряд отличий. ДТ получают путем перегонки нефти, и оно состоит из парафиновых, нафтеновых, олефиновых, диеновых и ароматических углеводородов. Рапсовое масло по своему химическому составу представляет собой смесь триглицеридов с повышенной молекулярной массой и увеличенной длиной углеводородной цепи по сравнению с дизельным топливом. Отсюда и повышенная кинематическая вязкость рапсового масла (4,5 сСт – для ДТ против 34 сСт – для РМ при 40 °С), пониженное цетановое число (45 – для ДТ против 36 – для РМ), пониженное содержание серы (0,2 % – для ДТ против 0,0012 % – для РМ). Вследствие низкого содержания серы в рапсовом масле в атмосферу выбрасывается незначительное количество её оксидов с отработавшими газами двигателя [1, 2].

Отработавшие газы (ОГ) дизелей представляют собой сложную многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твёрдых частиц. Отработавшие газы при использовании углеводородных топлив на 99...99,9 % состоят из продуктов полного сгорания (CO_2 и H_2O) и воздуха с низким содержанием кислорода. Остальные 0,1...1 % и определяют токсичность выхлопа двигателя. Дизельный двигатель по общей токсичности имеет существенные преимущества перед бензиновым (табл. 1). Дизель имеет более

низкое содержание в отработавших газах продуктов неполного сгорания топлива (CO и CH_x), что обусловлено работой дизеля с более высоким коэффициентом избытка воздуха, чем бензиновый двигатель. У дизельного двигателя ниже вы-

бросы альдегидов и бенз(а)пирена. Выбросы оксидов азота у обоих типов двигателей соизмеримы. Однако содержание сажи в ОГ дизеля значительно превышает этот показатель у бензинового двигателя [3].

Табл. 1. Усреднённый состав ОГ двигателей внутреннего сгорания [3]

Компоненты ОГ	Концентрация веществ в ОГ		Токсичные компоненты ОГ дизелей на режиме полной нагрузки, г/(кВт·ч)
	Бензиновый двигатель	Дизель	
Азот (N_2)	74...77 %	74...78 %	—
Кислород (O_2)	0,3...8,0 %	2,0...18 %	—
Водяной пар (H_2O)	3,0...5,5 %	0,5...9,0 %	—
Диоксид углерода (CO_2)	5,0...12,0 %	1,0...12,0 %	—
Оксиды азота (NO_x)	0,01...0,8 %	0,004...0,5 %	10...30
Оксид углерода (CO)	0,5...12,0 %	0,005...0,4 %	1,5...12,0
Углеводороды (CH_x)	0,2...3,0 %	0,009...0,3 %	1,5...8,0
Бенз(а)пирен	0...20,0 мкг/м ³	0...1,0 мкг/м ³	$1 \cdot 10^{-6}$... $2 \cdot 10^{-6}$
Сажа (C)	0...0,04 г/м ³	0,01...1,1 г/м ³	0,05...2,0
Альдегиды (RCHO)	0...0,2 %	0,001...0,009 %	—

В связи с различием свойств топлив на основе рапсового масла со свойствами ДТ будет разница и в процессах впрыскивания, распыливания и смесеобразования. При переводе работы дизеля с ДТ на рапсовое масло впрыск начинается позже на 3...3,5 град п. к. в. и продолжительность впрыскивания выше на 1,5...2,5 град п. к. в., структура факела в поперечном сечении становится более неравномерной, угол его раскрытия уменьшается, факел становится более дальнобойным. Остаточное давление в топливопроводе выше для рапсового масла. Для растительных масел время полного подъёма иглы более стабильно. Игла садится в седло в течение более длительного промежутка времени. При подаче растительного масла давление впрыска является более высоким. Это можно связать с меньшей сжимаемостью масла. В результате увеличивается дальнобойность струи. При использовании растительного топлива наблюдается более высокая скорость увеличения давле-

ния в топливопроводе высокого давления [2, 4].

На изменение экологических показателей работы дизеля при использовании в качестве топлива рапсового масла влияет:

- ухудшение процесса смесеобразования в связи с повышенной вязкостью рапсового масла;
- изменение показателей процесса сгорания топлива в связи с более низким цетановым числом и изменённым фракционным составом возобновляемого топлива;
- сгорание рапсового масла в дизеле является более длительным по сравнению с дизельным топливом;
- наличие в составе рапсового масла 10 % кислорода.

Интенсивные исследования по использованию рапсового масла в дизелях начались в 80-х гг. прошлого столетия в Швеции, США, Австрии и других странах. В настоящее время также прово-

дятся исследования по применению рапсового масла в дизелях такими учёными, как Н. А. Иващенко, В. А. Марков, А. А. Зенин, Д. А. Коршунов, А. А. Ефанов и С. Н. Девянин, С. В. Гусаков и др. Результаты исследований имеют различную направленность значений экологических показателей [5–7].

Нами был проведен сравнительный анализ работы дизеля на рапсовом масле и дизельном топливе. При сравнении работы дизеля на двух топливах мы руководствовались условием сохранения мощностных показателей работы двигателя на уровне, установленном заводом-изготовителем. В связи с тем, что РМ имеет низшую теплоту сгорания на 12 % ниже, чем дизельное топливо (42,5 МДж/кг – для ДТ против 37,3 МДж/кг – для РМ), часовой расход топлива был увеличен на 15 %.

Исследования проводились на двигателе Д-243 без изменения конструкции топливоподающей аппаратуры на дизельном топливе и чистом рапсовом масле. Контролировались следующие параметры: частота вращения коленчатого вала двигателя n , мин^{-1} , дымность отработавших газов S и содержание в них NO_x , CO , CO_2 и CH . Результаты испытаний обработаны и представлены в виде графических зависимостей дымности отработавших газов и

количества токсичных веществ NO_x , CO , CO_2 , CH от частоты вращения коленчатого вала двигателя (рис. 1 и 2).

Оксиды азота являются основным нормируемым вредным веществом отработавших газов дизелей (см. табл. 1). В общей сложности в ОГ содержится более 10 различных оксидов азота и 95...98 % из них приходится на NO , 2...5 % – на NO_2 , содержание же остальных незначительно. Образование оксидов азота в цилиндре дизеля происходит путём окисления азота воздуха и имеет термическую природу. Концентрация NO_x в отработавших газах повышается при увеличении нагрузки и, соответственно, росте максимальной температуры цикла. Некоторые исследователи связывают и образование сажи с уровнем температуры локальных зон пламени вокруг капель топлива. При этом образование частиц углерода максимально при температуре горения 1880 °С. При уменьшении или увеличении температуры количество сажи снижается [3, 8].

На рис. 1 представлены зависимости дымности и концентрации NO_x в отработавших газах от частоты вращения коленчатого вала двигателя при работе дизеля на РМ и ДТ.

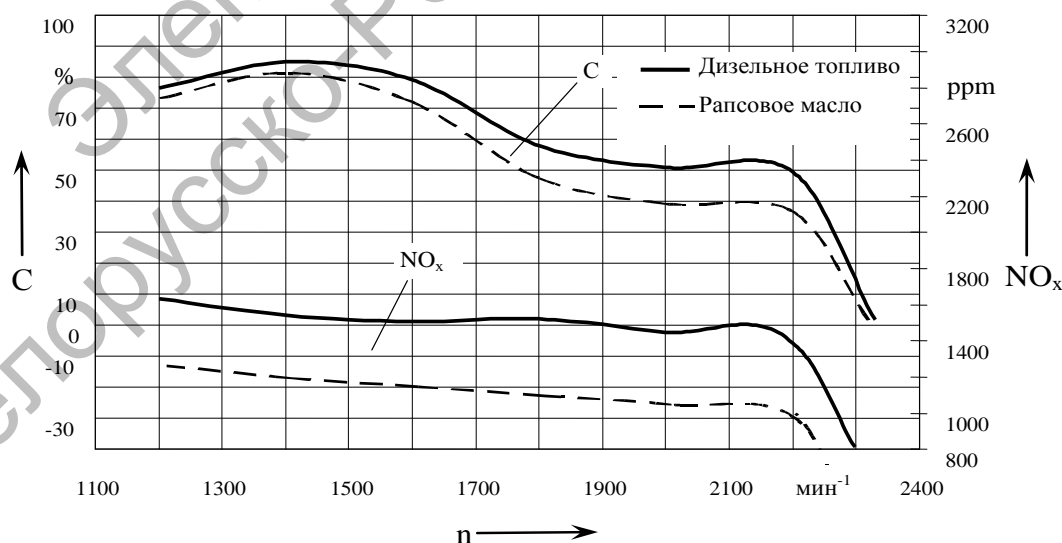


Рис. 1. Зависимость дымности и концентрации NO_x в отработавших газах от частоты вращения коленчатого вала двигателя при работе дизеля на РМ и ДТ

По результатам экспериментов (см. рис. 1) можно говорить, что использование рапсового масла приводит к уменьшению дымности отработавших газов на всех режимах работы дизеля. При номинальной частоте вращения (2200 мин^{-1}) коленчатого вала дымность уменьшается на 29 %, на режиме, соответствующем максимальному моменту (1400 мин^{-1}), уменьшение составляет 4 %. Снижение количества частиц сажи можно связать с наличием 10 % кислорода в рапсовом масле. В дизельном топливе он отсутствует. Частицы углерода образуются в процессе пиролиза при высокой температуре в центральной зоне топливной струи,

где содержание кислорода относительно мало. Атомы кислорода рапсового масла уменьшают количество топлива, участвующего в этой реакции.

По всей внешней скоростной характеристике при замене дизельного топлива на РМ мы наблюдаем уменьшение выбросов NO_x на 21...31 % (см. рис. 1). Это, видимо, связано с понижением максимальной температуры цикла.

На рис. 2 представлены зависимости концентрации CH , CO и CO_2 в отработавших газах от частоты вращения коленчатого вала двигателя при работе дизеля на РМ и ДТ.

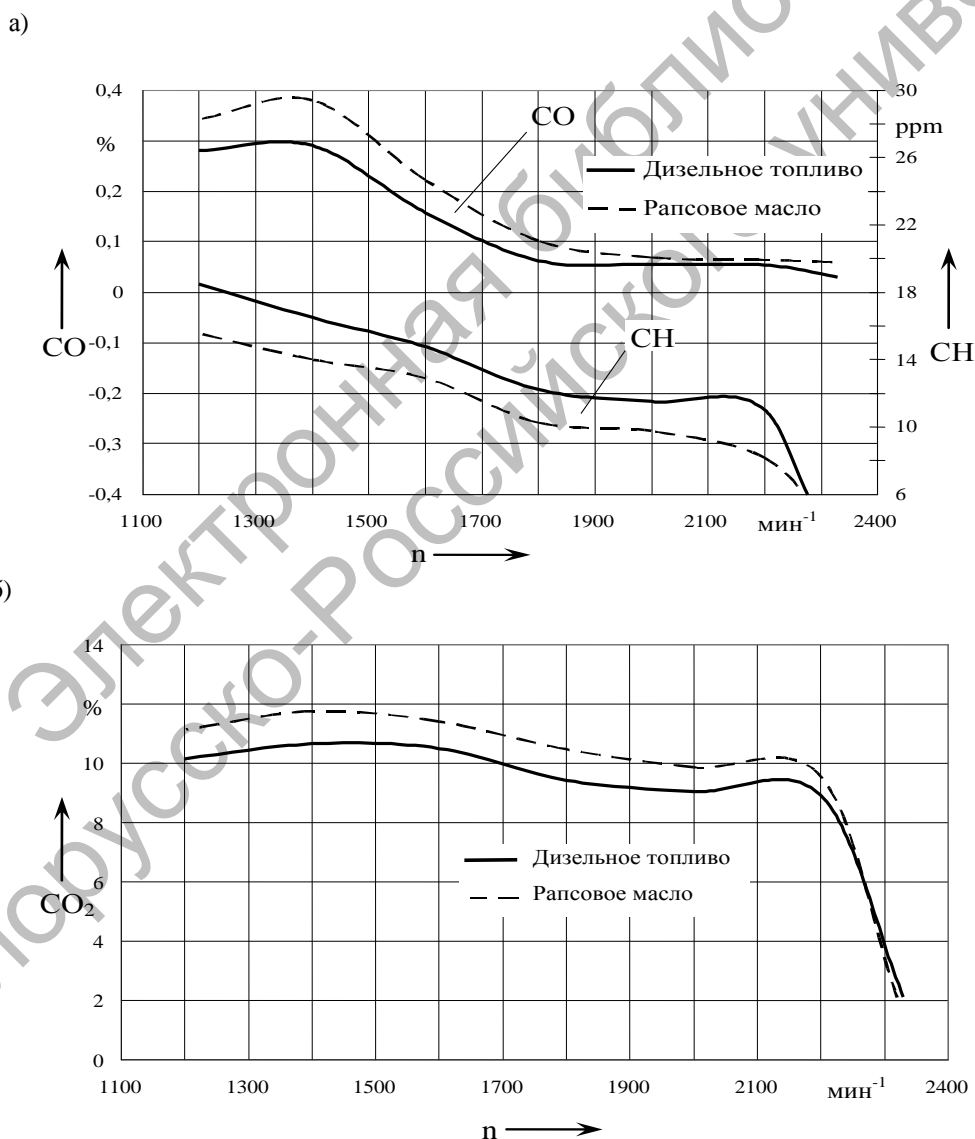


Рис. 2. Зависимость концентрации CH , CO (а) и CO_2 (б) в отработавших газах от частоты вращения коленчатого вала двигателя при работе дизеля на РМ и ДТ

Экспериментальные данные (см. рис. 2) свидетельствуют о том, что выбросы монооксида углерода на частотах вращения, близких к номинальной, увеличиваются на 17 %. При повышении нагрузки и снижении частоты вращения увеличение выбросов СО уже составляет 26 %. Увеличение количества оксида углерода в отработавших газах при использовании рапсового масла в качестве топлива связано с ухудшением качества смесеобразования. Повышенная дальность факела высоковязкого топлива ухудшает его смешивание с воздухом, вследствие чего образуется больше участков с богатой смесью и, как следствие, содержание оксида углерода возрастает.

Количество несгоревших углеводородов при применении рапсового масла уменьшается на 13...29 % (см. рис. 2). Это связано с тем, что в рапсовом масле увеличилось количество кислорода, что привело к более полному его сгоранию.

Выбросы диоксида углерода по всей корректорной ветви внешней скоростной характеристики возрастают (см. рис. 2). На номинальном режиме выбросы СО₂ увеличиваются на 7 %, на режиме, соответствующем максимальному моменту, увеличение составляет 10 %.

В заключение необходимо отметить, что различия в свойствах, параметрах процесса впрыскивания и сгорания рапсового масла и дизельного топлива разнонаправленно влияют на экологические показатели работы дизеля. При условии сохранения мощностных показателей работы двигателя на уровне, установленном заводом-изготовителем, и увеличении часового расхода топлива на 15 % происходит снижение выбросов са-

жи – до 29 %, оксидов азота – до 31 % и несгоревших углеводородов – до 29 %. Выбросы оксида и диоксида углерода увеличиваются на 26 и 10 % соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карташевич, А. Н.** Возобновляемые источники энергии : науч.-практ. пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки : БГСХ, 2007. – 264 с.
2. **Льотко, В.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Льотко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М. : МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.
3. **Марков, В. А.** Характеристики топливopодачи транспортных дизелей / В. А. Марков, В. Г. Кислов, В. А. Хватов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1997. – 160 с.
4. **Матиевский, Д. Д.** Решение вопросов оптимизации рабочего процесса дизеля с объёмно-плёночным смесеобразованием на чистом рапсовом масле / Д. Д. Матиевский, С. П. Кулманакoв, А. В. Шашев // Двигатель-2007 : сб. науч. тр. по материалам междунар. конф., посвящённой 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 572 с.
5. Использование растительных масел в качестве альтернативного топлива за рубежом : Система ДОР. – М., 1991. – 10 с.
6. **Шашев, А. В.** Совершенствование рабочего процесса дизеля с объёмно-плёночным смесеобразованием при использовании в качестве топлива рапсового масла : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02. / А. В. Шашев. – Барнаул : ВИМ, 2007. – 30 с.
7. **Гусаков, С.** Особенности применения чистого рапсового масла в качестве топлива в малоразмерных высокооборотных дизелях / С. Гусаков, П. Вальехо // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 4. – С. 58–62.
8. **Лиханов, В. А.** Снижение токсичности автотракторных дизелей / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 208 с.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
Материал поступил 17.03.2009

A. N. Kartashevich, V. S. Tovstyka, G. N. Gyrkov **Comparative analysis of ecological parameters of diesel engine Д-243 at work on rape oil and diesel fuel**

The paper gives a comparative analysis of smokiness change of exhausted gases, the availability of NO, CO, CO₂ and CH in them when the traditional diesel fuel is replaced by the alternative rape oil. According to the results of the study it follows that under conditions of keeping the power parameters at the level established by the manufacturer and increasing the fuel expenditure by 15 % per hour there occurs a reduction of soot emission up to 29 %, nitrogen oxide to 31 %, and nonburnt hydrocarbons to 29 %. Emissions of oxide and dioxide of carbon increase by 26 and 10 % respectively.