

Таким образом при оптимизации выше перечисленных конструктивных параметров достигаются желаемые значения эксплуатационных показателей.

Конструктивно достичь данной оптимизации возможно изменением формы камеры сгорания и элементов системы питания. Изменения элементов системы питания подразумевает установку выше указанного дозирующего устройства запальной дозы жидкого топлива и системы подачи газа во впускной трубопровод с помощью установки смесителя газа и воздуха.

Практическое применение данной системы организации газодизельного процесса позволит активнее внедрять использование газовых видов топлива на автомобильном транспорте.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ДИЗЕЛЯ ПРИ ЕГО РАБОТЕ НА РАПСОВОМ МАСЛЕ

Марков В.А., Коршунов Д.А. (МГТУ им. Н.Э. Баумана),
Девянин С.Н. (МГАУ им. В.П. Горячкина),
Дробышев О.В. (АЗПИ)

Одной из проблем, возникающих при использовании растительных масел в качестве топлива для дизелей, является ухудшение качества процесса смесеобразования. Это обусловлено тем, что плотность, вязкость и поверхностное натяжение этих масел выше, чем у дизельного топлива (ДТ) [1,2,3]. Для улучшения качества смесеобразования при работе на таких биотопливах предлагается использовать распылитель, отличительной особенностью которого является наличие нескольких распыливающих отверстий 6 и 7, выполненных попарно и расположенных равномерно по поверхности носка 4 распылителя (рис.1). При этом оси 6, 7 расположены в плоскости, проходящей через ось цилиндрической полости 2 корпуса распылителя и выполнены под углом ψ друг относительно друга. При этом входные кромки 8 и 9 распыливающих отверстий 6 и 7 расположены на конической запорной поверхности 3 корпуса 1 распылителя.

При впрыскивании каждое распыливающее отверстие формирует струю распыливаемого топлива. Струи спаренных отверстий 6 и 7 сталкиваются друг с другом на некотором расстоянии от носка 4 распылителя. При этом струи топлива дополнительно турбулизуются и образуется одна общая струя большего объема. Причем, длина этой струи несколько меньше струи топлива, формируемой одним распыливающим отверстием, имеющим эффективное проходное сечение, равное сумме эффективных проходных сечений распыливающих отверстий 6 и 7.

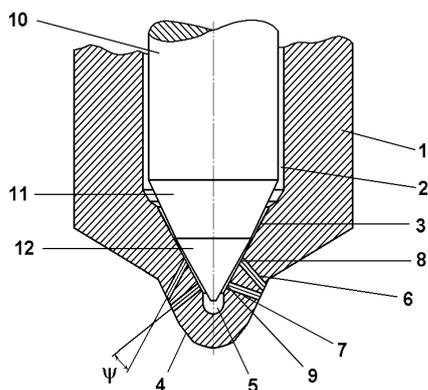


Рис. 1. Конструктивная схема распылителя форсунки: 1 - корпус; 2 - цилиндрическая полость; 3 - коническая запорная поверхность корпуса; 4 - носок распылителя; 5 - подыгольная полость; 6 и 7 - распыливающие отверстия; 8 и 9 - входные кромки распыливающих отверстий; 10 - игла; 11 - коническая поверхность иглы; 12 - коническая запорная часть иглы.

В соответствии с разработанной конструктивной схемой на Алтайском заводе прецизионных изделий (АЗПИ, г. Барнаул) были изготовлены распылители, предназначенные для дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода. Эти распылители имели параметры и геометрические размеры, представленные в табл. 1 и 2. В этих же таблицах приведены аналогичные данные по штатным распылителям DOP 119S534 фирмы Motorpal, выполненным с пятью распыливающими отверстиями.

Таблица 1. Параметры исследуемых распылителей.

№ распылителя	Модель	Число распыливающих отверстий i_p	Диаметр распыливающих отверстий d_p , мм	Максимальный подъем иглы форсунки h_n , мм	Суммарная эффективная площадь распылителя в сборе $\mu_p f_p$, мм
1	Motorpal DOP 119S534	5	0,34	0,30	0,250
2	АЗПИ	10	0,25	0,31	0,270

Таблица 2. Расположение распыливающих отверстий распылителей.

№ отверстий	Угловое расположение отверстия относительно штифта, град		Угол наклона отверстия относительно оси распылителя, град	
	Распылитель №1	Распылитель №2	Распылитель №1	Распылитель №2
1	8	8	63,5	67/36
2	90	90	72,0	75/45
3	172	172	63,0	67/36
4	237	237	52,5	55/30
5	303	303	53,5	55/30

Для оценки показателей дизеля Д-245.12С с распылителями на рис. 1, работающего на биотопливе, проведены испытания на моторном стенде АМО «ЗиЛ». Дизель был оснащен турбокомпрессором ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов и ТНВД фирмы Motorpal (Чехия) модели PP4M10U1f с диаметром плунжеров $d_{пл}=10$ мм и их ходом $h_{пл}=10$ мм. Форсунки ФДМ-22 производства АО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс) поочередно оснащались штатными распылителями DOP 119S534 фирмы Motorpal и распылителями на рис. 1 (распылителями АЗПИ). Давление начала впрыскивания составляло $p_{ф0}=21,5$ МПа.

Следует отметить, что предложенная конструкция распылителя обеспечивает работу дизеля на чистом растительном масле (использовалось рапсовое масло - РМ). Однако физико-химические свойства РМ заметно отличаются от свойств ДТ. Основной проблемой является повышенная вязкость РМ. При температуре $t=20^\circ$ С вязкость РМ на порядок выше, чем ДТ (соответственно 75 и 3,8 мм²/с, см. табл. 3). Существенно меньшей вязкостью обладают смеси РМ и ДТ. Вязкость смеси, содержащей 80 % ДТ и 20 % РМ составляет $\nu_T=9$ мм²/с, а при температуре $t=40^\circ$ С, характерной для условий систем топливоподачи дизелей, снижается до $\nu_T=5$ мм²/с, что соизмеримо с вязкостью чистого ДТ (в соответствии с ГОСТ 305-82 вязкость летнего дизельного топлива составляет $\nu_T=3...6$ мм²/с).

Поэтому целесообразно применять смесевое биотопливо, представляющее собой смесь ДТ и РМ. Эти компоненты хорошо смешиваются, а смеси имеют приемлемые свойства, позволяющие сжигать их в дизеле без внесения изменений в его

конструкцию. Причем, наибольшее приближение к свойствам ДТ обеспечивает смесь, содержащая 80 % ДТ и 20 % РМ (см. табл. 3).

Табл. 3. Физико-химические свойства дизельного топлива и смесевых биотоплив

Физико-химические Свойства	Топлива				
	ДТ	РМ	80% ДТ + 20% РМ	60% ДТ + 40% РМ	40% ДТ + 60% РМ
Плотность при 20° С, кг/м ³	830	916	848	865	882
Вязкость кинематическая при 20° С, мм ² /с	3,8	75	9,0	19	30
Коэффициент поверхностного натяжения при 20° С, мН/м	27,1	33,2	-	-	-
Теплота сгорания низшая, Дж/кг	42500	37300	41500	40400	39400
Цетановое число	45	36	-	-	-
Температура самовоспламенения, °С	250	318	-	-	-
Температура помутнения, °С	-25	-9	-	-	-
Температура застывания, °С	-35	-20	-	-	-
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,6	13,9	13,5	13,1
Содержание, % по массе					
С	87,0	78,0	-	-	-
Н	12,6	10,0	-	-	-
О	0,4	12,0	-	-	-
Общее содержание серы, % по массе	0,20	0,002	-	-	-
Коксуемость 10%-ного остатка, % по массе	0,2	0,4	-	-	-

Примечание: «-» - свойства не определялись; для смесей ДТ и РМ указано объемное процентное содержание компонентов.

При испытаниях дизель Д-245.12С исследовался на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН (EURO-2) с установочным углом опережения впрыскивания $\theta=13^\circ$ поворота коленчатого вала до ВМТ и неизменным положением упора дозирующей рейки ТНВД (упора максимальной подачи топлива). Концентрации NO_x, СО, СН_x в отработавших газах (ОГ) определялись газоанализатором SAE-7532 японской фирмы YANACO.

Результаты экспериментальных исследований Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла приведены на рис. 2. Характеристики часового расхода топлива G_T (рис. 2,а) свидетельствуют о том, что тип распылителя незначительно влияет на часовой расход топлива во всем диапазоне нагрузочных режимов. Так на режиме холостого хода при минимальной частоте вращения $n=850$ мин⁻¹ замена распылителей Motorpal на распылители АЗПИ приводит к уменьшению G_T с 0,89 до 0,86 кг/ч, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – к изменению G_T с 13,24 кг/ч (при $M_e=365,0$ Н·м) до 13,00 кг/ч (при $M_e=359,2$ Н·м), на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ – к изменению G_T с 20,10 кг/ч (при $M_e=312,1$ Н·м) до 21,56 кг/ч (при $M_e=336,0$ Н·м).

Тип применяемого топлива оказывают влияние и на концентрацию в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (рис. 2,б). Если на режиме холостого хода при $n=850$ мин⁻¹ при переходе от распылителей Motorpal к распылителям АЗПИ содержание оксидов азота в ОГ C_{NO_x} не изменяется и составляет для обоих типов распылителей

$C_{NOx}=180 \cdot 10^{-4} \%$, то на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ отмечено увеличение C_{NOx} с $770 \cdot 10^{-4} \%$ до $900 \cdot 10^{-4} \%$, а на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ – рост C_{NOx} с $650 \cdot 10^{-4} \%$ до $870 \cdot 10^{-4} \%$. Максимальные значения C_{NOx} отмечены на режиме с минимальным удельным эффективным расходом топлива g_e . При работе на режиме с $n=1500$ мин⁻¹ и $M_e=275,2$ Н·м с распылителями Motorpal удельный эффективный расход топлива оказался равным $g_e=222,2$ г/(кВт·ч), а концентрация оксидов азота в ОГ – $C_{NOx}=955 \cdot 10^{-4} \%$. При работе на режиме с $n=1500$ мин⁻¹, $M_e=268,2$ Н·м с распылителями АЗПИ эти показатели равны $g_e=219,5$ г/(кВт·ч) и $C_{NOx}=1190 \cdot 10^{-4} \%$. Приведенные данные свидетельствуют о том, что распылители АЗПИ обеспечивают лучшее качество распыливания топлива и смесеобразования, большую эффективность процесса сгорания топлива, меньший удельный эффективный расход топлива g_e , но большее содержание в ОГ оксидов азота C_{NOx} .

Установка распылителей АЗПИ обеспечивает значительное снижение эмиссии продуктов неполного сгорания топлива – монооксида углерода и углеводородов. Практически на всех исследованных режимах при установке распылителей АЗПИ вместо распылителей Motorpal концентрация монооксида углерода в ОГ C_{CO} снижается (рис. 2,б). Так, на режиме холостого хода при $n=850$ мин⁻¹ содержание СО в ОГ снизилось с $600 \cdot 10^{-4} \%$ до $450 \cdot 10^{-4} \%$, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – с $550 \cdot 10^{-4} \%$ до $425 \cdot 10^{-4} \%$, на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ – с $280 \cdot 10^{-4} \%$ до $180 \cdot 10^{-4} \%$. Лишь на режиме с минимальной нагрузкой ($M_e=30-32$ Н·м) при $n=2400$ мин⁻¹ переход от распылителей Motorpal к распылителям АЗПИ сопровождался ростом содержания СО в ОГ с $565 \cdot 10^{-4} \%$ до $750 \cdot 10^{-4} \%$.

На всех исследованных режимах замена распылителей Motorpal на распылители АЗПИ приводила к значительному уменьшению эмиссии C_{CHx} (рис. 2,г). На режиме холостого хода при $n=850$ мин⁻¹ такая замена распылителей сопровождается снижением содержания несгоревших углеводородов в ОГ с $310 \cdot 10^{-4} \%$ до $190 \cdot 10^{-4} \%$, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – со $180 \cdot 10^{-4} \%$ до $140 \cdot 10^{-4} \%$, на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ – со $143 \cdot 10^{-4} \%$ до $72 \cdot 10^{-4} \%$. Поскольку эмиссия несгоревших углеводородов в наибольшей степени зависит от количества распыливаемого топлива, оказавшегося в холодных пристеночных слоях КС, то такое снижение концентрации CH_x в ОГ при использовании распылителей АЗПИ свидетельствует об уменьшении количества топлива, попадающего на стенки камеры сгорания, и улучшении качества процесса смесеобразования при работе с этими распылителями.

По приведенным на рис. 2 характеристикам G_T и содержания в ОГ токсичных компонентов (C_{NOx} , C_{CO} , C_{CHx}) рассчитаны среднеэксплуатационные расход топлива и эффективный КПД дизеля, а также интегральные удельные массовые выбросы токсичных компонентов на режимах 13-ступенчатого цикла.

Оценка эксплуатационного расхода топлива проводилась по среднеэксплуатационному (условному) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости:

$$g_{eysl} = \sum_{i=1}^{13} G_{Ti} \cdot K_i / \sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i,$$

где G_{Ti} - часовой расход топлива на i -том режиме; N_{ei} - мощность дизеля на этом режиме; K_i - коэффициент, отражающий долю времени каждого режима, k - число режимов. Поскольку смесевые биотоплива имеют меньшую теплотворную способность, топливную экономичность дизеля при его работе на этих топливах целе-

сообразно оценивать не удельным эффективным расходом топлива g_e , а эффективным КПД η_e .

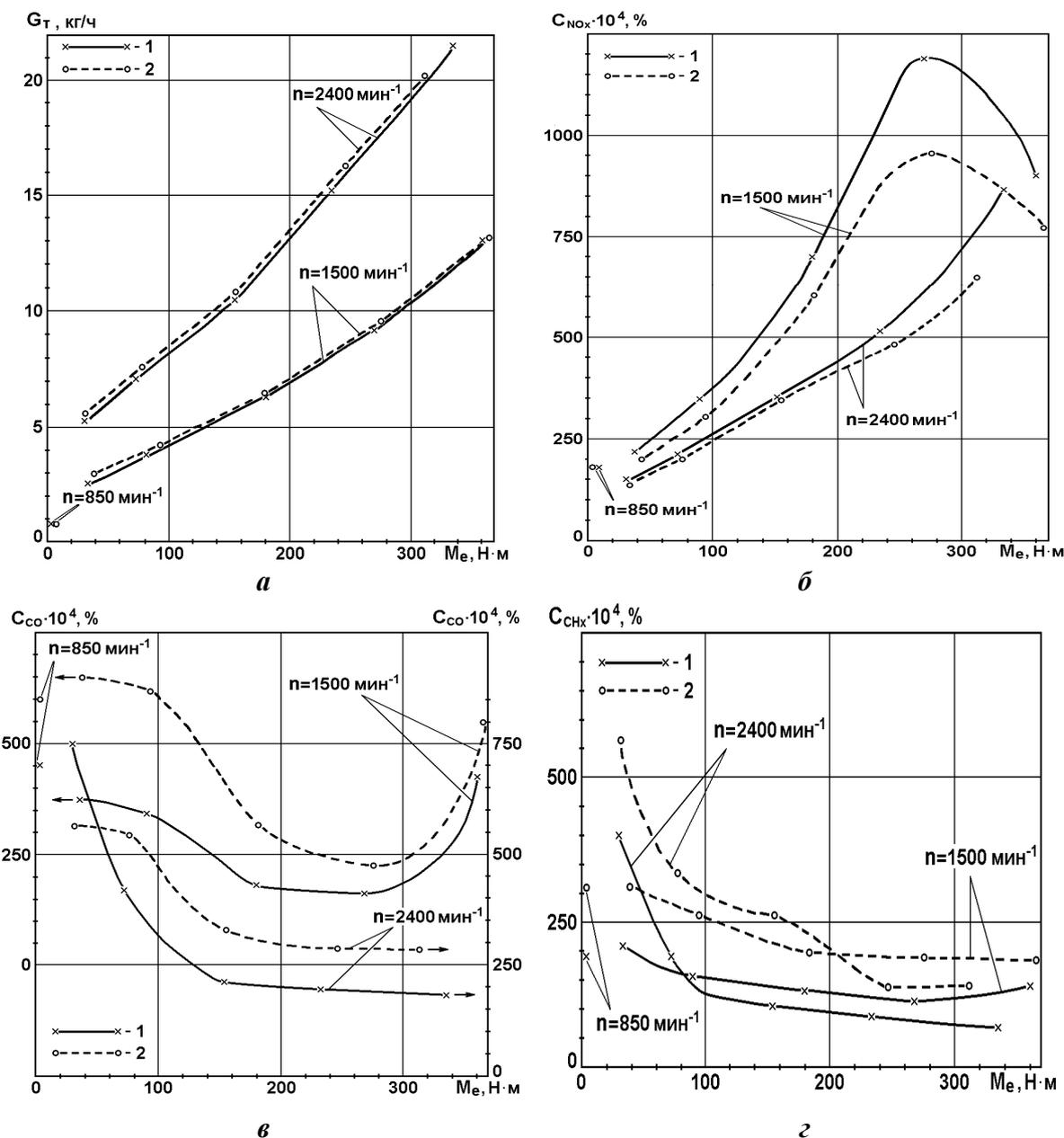


Рис. 2. Зависимость показателей дизеля Д-245.12С от скоростного и нагрузочного режима (частоты вращения n и эффективного крутящего момента M_e) при использовании распылителя АЗПИ (1) и Motorpal (2): а - часовой расход топлива G_T ; б - концентрации в ОГ оксидов азота C_{NOx} ; в - концентраций в ОГ монооксида углерода C_{CO} ; г - концентраций в ОГ несгоревших углеводородов C_{CHx} .

Причем, для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{e\text{ усл}} = 3600 / (H_U \cdot g_{e\text{ усл}}),$$

где H_U – низшая теплота сгорания топлива [МДж/кг]. В соответствии с данными табл. 3 низшая теплота сгорания дизельного топлива принята равной $H_U=42,5$ МДж/кг, а низшая теплота сгорания смесового биотоплива, содержащего 80 % ДТ и 20 % РМ – $H_U=41,5$ МДж/кг. Интегральные удельные массовые выбросы токсичных компонентов ОГ дизеля, работающего на режимах 13-ступенчатого испыта-

тельного цикла, рассчитывались по общепринятой методике [3,4]. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Показатели дизеля Д-245.12С, оснащенного различными распылителями и работающего на различных топливах

Тип распылителя, применяемое топливо, Нормы выбросов токсичных компонентов	Показатели дизеля, г/(кВт·ч)				
	$g_{e\text{ усл}}$	$\eta_{e\text{ усл}}$	e_{NO_x}	e_{CO}	e_{CH_x}
Распылитель Motorpal, ДТ	247,20	0,3427	7,442	3,482	1,519
Распылитель Motorpal, 80 % ДТ + 20 % РМ	254,38	0,3410	7,159	3,814	0,965
Распылитель АЗПИ, 80 % ДТ + 20 % РМ	253,11	0,3427	8,430	2,636	0,597
Требования норм EURO-2	-	-	7,0	4,0	1,1

Данные табл. 4 подтверждают возможность заметного улучшения показателей дизеля Д-245.12С при его оснащении предложенными распылителями. По сравнению с работой дизеля на ДТ со штатными распылителями Motorpal использование этих распылителей в дизеле, работающем на смесевом биотопливе, позволяет заметно снизить выбросы СО и СН_x при сохранении неизменным эффективного КПД $\eta_{e\text{ усл}}$. Аналогичный эффект использования распылителей АЗПИ отмечен и по сравнению с работой дизеля на смесевом биотопливе с распылителями Motorpal. При этом замена распылителей Motorpal на распылители АЗПИ позволила повысить эффективный КПД двигателя $\eta_{e\text{ усл}}$ с 0,3410 до 0,3427 (на 0,5 %) и снизить выбросы e_{CO} с 3,814 до 2,636 г/(кВт·ч) (на 30,9 %) и выбросы e_{CH_x} с 0,965 до 0,597 г/(кВт·ч) (на 38,1 %). Однако при этом увеличивается эмиссия e_{NO_x} , с 7,159 до 8,430 г/(кВт·ч) (на 17,8 %). При этом оба типа распылителей не обеспечивают требований норм EURO-2 по выбросам этого токсичного компонента. Для достижения требуемых показателей по выбросам NO_x необходимо установку распылителей АЗПИ сочетать с реализацией других мероприятий, направленных на уменьшение эмиссии этого токсичного компонента (управление углом опережения впрыскивания топлива, охлаждение наддувочного воздуха, организация рециркуляции ОГ и др.).

Литература:

1. Марков В.А., Коршунов Д.А., Девянин С.Н. Работа дизелей на растительных маслах // Грузовик &. - 2006. - № 7. - С. 33-46.
2. Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с.
3. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. - М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2005. - 344 с.
4. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 376 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

Иващенко Н.А., Марков В.А., Зенин А.А., Коршунов Д.А., Ефанов А.А.
(МГТУ им. Н.Э. Баумана),
Девянин С.Н. (МГАУ им. В.П. Горячкина)

В связи с ростом мировых цен на нефтепродукты и сокращением запасов нефти все более актуальными становятся работы, направленные на использование