

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ДОБАВКИ В ТОПЛИВО ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА

В.А. Вагнер, А.М. Гвоздев

Одна из острейших экологических проблем больших городов – загрязнение их воздушного бассейна вредными выбросами двигателей внутреннего сгорания. Известные способы снижения токсичности двигателей, такие, как применение каталитической обработки выхлопных газов, использование природного газа не приводят к радикальному решению указанной проблемы. Одним из выходов может стать работа двигателя на новом альтернативном топливе – диметиловом эфире (ДМЭ). Его физико-химические показатели способствуют полному устранению дымности выхлопных газов и снижению их токсичности. Основные свойства ДМЭ в сравнении с дизельным топливом (ДТ) этанолом приведены в таблице.

Таблица
Основные свойства ДМЭ, ДТ и этанола

Свойства	ДТ	ДМЭ	Этанол
Химическая формула	-	CH ₃ -O-CH ₃	CH ₃ -CH ₂ -OH
Молярный вес, г/моль	208	46	46
Нижшая теплота сгорания, МДж/кг	42,5	27,6	25,0
Вязкость, мм ² /с	3-6	0,15	-
Плотность, кг/м ³	840	660	810
Цетановое число	40...55	> 55	8
Температура самовоспламенения, °С	250	235	420
Давление насыщенных паров, 10 ⁶ Па	0,003	5,1	0,17
Стехиометрическое соотношение, кг/кг	14,6	9,0	9,0
Модуль упругости, МПа	1200	470	-
Температура кипения, °С	180...370	-25	78
Теплота парообразования, кДж/кг	250	410	904
Скорость звука, м/с	1210	840	-
Пределы взрываемости, (% паров топл. в возд.)	0,6...6,5	3,4...18	3,5...15
Содерж. углерода, %	86,0	52,2	52,2
Содерж. водорода, %	14,0	13,0	13,0
Содерж. кислорода, %	-	34,8	34,8

Анализ характеристик ДМЭ в сравнении с ДТ и этанолом показывает, что ДМЭ благодаря высокому цетановому числу может быть использован в качестве топлива для дизелей. Процесс сгорания ДМЭ вызывается воспламенением от сжатия, благодаря низкой температуре воспламенения, при этом диффузионное горение продолжается при полном отсутствии образования сажи из-за отсутствия в молекуле ДМЭ связей С-С и высокому содержанию кислорода, наряду с высокой скоростью испарения.

Работы по переводу дизелей на ДМЭ ведутся как за рубежом [1, 2 и др.], так и в нашей стране [3, 4 и др.]. Однако проведенные исследования и анализ свойств ДМЭ выявляют ряд трудностей при использовании ДМЭ в качестве топлива:

- Более низкая теплота сгорания требует для получения равных энергетических показателей двигателя увеличения цикловой подачи почти в два раза по сравнению с ДТ.

- Низкая вязкость ДМЭ обуславливает его плохие смазывающие свойства, что приводит к высокому износу подвижных элементов топливной системы. Так же этот показатель предполагает высокий уровень утечек ДМЭ через зазоры в прецизионных парах.

- Высокое давление насыщенных паров ДМЭ предполагает для исключения образования паровых пробок в ЛНД поддержания высокого давления подкачки наряду с повышенной степенью рециркуляции отсеченного топлива. Так же при использовании ДМЭ возрастает вероятность возникновения кавитационных явлений в топливной системе.

- ДМЭ является химически агрессивным веществом к некоторым уплотняющим материалам и пластмассам.

- Сжимаемость ДМЭ, зависящая от температуры и давления, больше, чем у ДТ. Это вызывает затруднения при впрыскивании ДМЭ при высоких температурах и на полных нагрузках при использовании штатных ТНВД.

Все вышеперечисленное, затрудняет использование ДМЭ в качестве топлива для дизелей без глубокой модернизации топливной системы. Компромиссным вариантом может служить добавка ДМЭ в традиционное дизельное топливо. Это позволяет оставить штатную систему топливоподачи дизеля и в

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ДОБАВКИ В ТОПЛИВО ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА

то же время использовать (хоть и не в полном объеме) положительные качества ДМЭ, ведущие к снижению токсичности дизеля.

В АлтГТУ и на ОАО «АЛТАЙ-ЛАДА» проводятся исследовательские работы по использованию ДМЭ в качестве добавки к ДТ. В частности, были проведены эксперименты по переводу на смесевое топливо дизеля ВАЗ-341. Подобные работы ведутся в МГТУ им. Н.Э.Баумана. Смешивание ДМЭ и ДТ в исследованиях МГТУ происходит в линии низкого давления. Однако этот способ требует создания электронной системы управления. Более простым способом использования ДМЭ в качестве добавки к ДТ может быть подача заранее готовой смеси ДМЭ и ДТ. Известно, что ДМЭ растворяется в ДТ, хотя растворение ДМЭ представляет определенную проблему, так как его растворимость строго зависит от окружающей температуры и поэтому сложно сохранить устойчивую концентрацию смеси. Но этот способ подачи вызывает интерес, так как системы подачи ДМЭ требуют значительной модернизации штатной топливной системы или создания принципиально новой. При растворении 10...50 % (по массе) ДМЭ в ДТ можно использовать штатную топливную систему за исключением некоторых элементов. Данное направление в применении ДМЭ в качестве топлива для дизелей было исследовано авторами.

Возможность растворения ДМЭ в ДТ была подтверждена в докладе академиком МАХ С.Д. Глухова, А.А. Жердева, а так же А.Н. Левко, А.А. Лелюха и А.В. Шарабурин (МГТУ им. Н.Э. Баумана, в докладе «Исследование фазового равновесия бинарной смеси диметиловый эфир – дизельное топливо»). Результаты исследований в диапазоне температур от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ и массовых концентрациях ДМЭ от 5 до 50% показали, что для данных концентраций в интервале температур окружающей среды от -20 до $+30^{\circ}\text{C}$ равновесное давление может быть рассчитано из условия идеальности смеси (по закону Рауля). Отклонения величины давления от расчетного при этом не превышают 15%.

При рассмотрении растворимости сжиженного ДМЭ в ДТ, которые должны находиться в жидком состоянии, можно отметить, что фазовое состояние смеси не является основным для этих исследований. Основным для нормальной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания при работе на смеси ДМЭ с ДТ является выяснение устойчивости

этой смеси во времени, т.е. характер ее расслоения.

Методика исследования стабильности смесей была аналогична описанной в [5]. В данной работе исследовались смеси ДТ и пропан-бутана, учитывая, что данные газы по своим физическим свойствам подобны ДМЭ, можно сделать вывод, что данная методика позволяет правильно оценить стабильность смесей ДМЭ и ДТ.

Баллон заполнялся смесью в нужной концентрации: сначала заливали дизельное топливо, а затем сжиженный ДМЭ при помощи трубки, пропущенной до дна баллона, что обеспечивало частичное смешивание смеси. Окончательное смешивание обеспечивалось механическим взбалтыванием на специальном стенде. Для определения времени установления полного смешивания через каждые 10 минут после перемешивания брались пробы. При получении одинаковых последовательных проб при стандартных условиях, можно считать, что установлено равновесие. Затем определялось расслоение смеси. Проба отстаивалась при постоянных давлении и температуре. Два раза в сутки пробы отбирались из баллона и исследовались. В качестве контролируемых параметров были приняты удельная и молекулярная массы. Анализы проб показывали, что их состав не изменялся (в пределах погрешности измерений) в течении 120 часов. Результаты представлены на рис.1 (в качестве примера приведены смеси с содержанием ДМЭ в 35 % и 20 %). Таким образом, можно считать, что стойкость смесей вполне достаточна для использования их на автотранспорте, учитывая и то, что смеси предполагается хранить в герметичных сосудах, а при эксплуатации баллоны будут постоянно встряхиваться.

ДМЭ значительно отличается по физическим свойствам от дизельного топлива, в связи с этим необходимо провести расчетно-экспериментальные исследования основных моторных и физических свойств смесевое топлива и провести экспериментальные исследования работы дизеля на этом топливе.

Наиболее важным параметром топлив для дизельных двигателей является цетановое число. Отдельным вопросом является определение ЦЧ смесевых топлив, в частности с кислородосодержащими соединениями. Анализ литературных данных показывает, что принцип аддитивности при определении ЦЧ может дать неверный результат. Хотя по смыслу ЦЧ – величина, определяемая для эталонных смесей цетана с α - метилнафта-

лином на основе уравнения аддитивности. Однако эталонные компоненты при экспериментальном определении ЦЧ отличаются по воспламеняемости, но имеют схожие физические свойства, в частности температуры кипения и значения теплоты парообразования. Поэтому различие значений периода задержки воспламенения при изменении содержания цетана в смеси с α -метилнафталином определяется различием химической составляющей периода задержки при примерно равной физической составляющей. ДМЭ отличается от ДТ значительно меньшей температурой начала кипения ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ против $170\text{ }^{\circ}\text{C}$) и одновременно значительно большей теплотой парообразования (400 кДж/кг против 250 кДж/кг) и эти отличия вносят противоположный вклад в физическую составляющую периода задержки воспламенения. Для однозначной оценки цетанового числа полученных смесей были проведены исследования на установке ИТД-69. Результаты представлены на рис. 2.

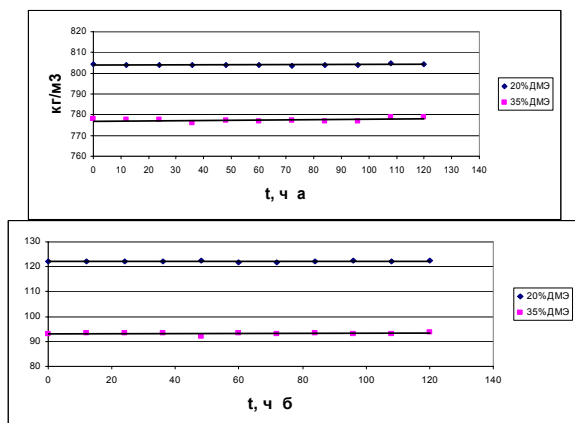


Рис. 1. Изменение параметров смеси в зависимости от времени выдержки: а – удельная масса жидкости; б – молекулярная масса жидкости

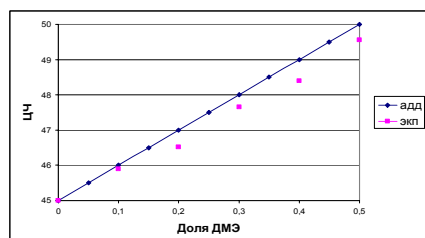


Рис. 2. Изменение цетанового числа смеси

Как видно из рис. 2 ЦЧ смесей, полученные экспериментальным путем, несколько ниже, чем рассчитанные по методу аддитивности.

Теплота сгорания смеси ДМЭ и ДТ сни-

жается. Это обусловлено тем, что ДМЭ имеет сам по себе более низкую низшую теплоту сгорания, чем у ДТ ($27,6\text{ МДж/кг}$ против $42,5\text{ МДж/кг}$). Зависимость низшей теплоты сгорания в зависимости от содержания ДМЭ в смеси отражена на рис. 3. Как видно из графика низшая теплота сгорания смеси снижается с увеличением доли ДМЭ, однако следует заметить, что низшая теплота сгорания стехиометрической смеси незначительно повышается, поскольку для сгорания ДМЭ требуется меньшее количество воздуха.

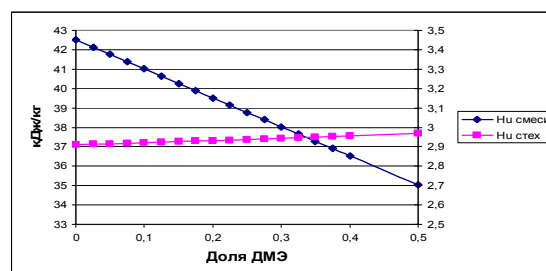


Рис. 3. Низшая теплота сгорания смеси (ДМЭ+ДТ) и стехиометрической смеси

Вязкость моторного топлива, так же имеет большое значение. От нее зависит не только прокачиваемость топлива, но и работа топливной аппаратуры и его распыливание в камере сгорания, а значит протекание рабочего процесса в целом. Вязкость топливо-эфирной смеси зависит от вязкости исходных веществ, однако ее расчет по принципу аддитивности будет неадекватен. В исследованиях, проведенных Кендаллом и Монроэ [6], где изучалась вязкость «идеальных» смесей органических жидкостей, было показано, что зависимости вязкости от состава криволинейны, а не прямолинейны. У многих смесей, не соответствующих определению «идеальной смеси», наблюдаются гораздо большие отклонения от прямолинейной зависимости, которые могут быть и положительными и отрицательными. Однако эти же авторы утверждают, что принцип аддитивности применять можно, но только к корням третьей степени из значений вязкости компонентов. Ими предложено эмпирическое уравнение:

$$\mu_{\text{м}}^{1/3} = x_1 \mu_1^{1/3} + x_2 \mu_2^{1/3},$$

где x_1 и x_2 – мольные доли компонентов смеси.

Для определения вязкости смеси можно применять другое эмпирическое уравнение, предложенное Аррениусом [7], который считал аддитивными логарифмы вязкости:

$$\lg \mu_{\text{м}} = x_1 \lg \mu_1 + x_2 \lg \mu_2.$$

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ДОБАВКИ В ТОПЛИВО ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА

Так как не существует однозначной методики определения вязкости смесевых топлив, то в данной работе теоретический расчет вязкости смеси ДМЭ и ДТ был проведен по всем вышеизложенным методикам. Далее были проведены экспериментальные исследования вязкости смеси и определена зависимость, удовлетворяющая эксперименту. Более близкие результаты дает зависимость, предложенная Кендаллом, дающая максимальную погрешность при сравнении расчетных и экспериментальных данных в 5 %. Данные расчета и эксперимента представлены на рис. 4.

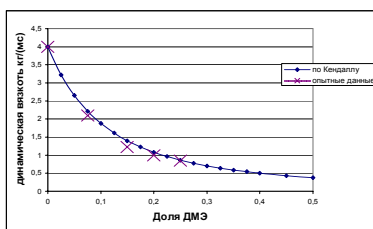


Рис. 4. Изменение вязкости в зависимости от состава смеси

На основании закона Рауля можно установить минимальное давление, необходимое для приведения в жидкое состояние смеси ДМЭ с ДТ. Расчетные данные по давлению насыщенных паров смесей представлены на рис. 5.

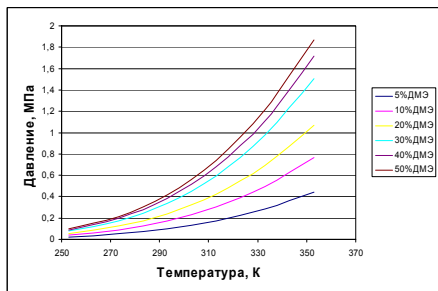


Рис. 5. Давление упругости насыщенных паров смесей

Для смесевых топлив так же были определены плотность, стехиометрический коэффициент, средние температуры разгонки, элементарный состав и ряд других свойств.

Элементарный состав смесевых топлив меняется с увеличением доли ДМЭ. Причем количество водорода остается практически неизменным при одновременном снижении доли углерода и увеличении доли кислорода. Это предполагает значительное снижение выбросов сажи при работе двигателя на

смесевых топливах. Увеличение в топливе доли кислорода снижает теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, одновременно это ведет к снижению низшей теплоты сгорания. Плотность смесевых топлив несколько ниже традиционного дизельного. Это обстоятельство вызывает увеличение коэффициента избытка воздуха, так как топливо дозируется по объемным показателям и весовой расход топлива окажется меньше, чем для ДТ. Увеличение цикловой подачи смесевых топлив с учетом энергетических показателей и плотности топлива можно рассчитать по формуле:

$$V_{\text{цикл}} = V_{\text{диз}} \frac{H_{\text{диз}} \rho_{\text{диз}}}{H_{\text{смесь}} \rho_{\text{смесь}}} = V_{\text{диз}} K_{\text{цикл}}$$

где $K_{\text{цикл}}$ – коэффициент увеличения цикловой подачи смесевых топлив по сравнению с дизельным.

Согласно этим данным штатный ТНВД при использовании смесевых топлив должен иметь запас производительности минимум в 34% при содержании 50% ДМЭ в смеси.

Некоторое повышение ЦЧ смесей по сравнению с традиционным дизельным топливом предполагает уменьшение периода задержки воспламенения.

Значительное снижение вязкости смесевых топлив (при содержании в смеси 50 % ДМЭ примерно в 10 раз) резко ухудшает смазочные свойства топлива, что снижает надежность топливной аппаратуры. В состав топлива при этом уже требуется введение антизадирных присадок. Изменение коэффициента сжимаемости и скорости звука в смесевых топливах определяют изменение в работе топливной аппаратуры по сравнению с традиционным дизельным топливом.

Одним из свойств смесевых топлив, как и чистого ДМЭ, которое затрудняет их применение, является высокое давление насыщенных паров. Следовательно, в топливной системе дизеля, для удержания ДМЭ в жидкой фазе должно поддерживаться давление как минимум выше давления насыщенных паров смеси. Трудности вызывает и то, что давление насыщенных паров смесевых топлив имеет сильную зависимость от температуры. Так при увеличении температуры с 20 °С до 80 °С, давление насыщенных паров смеси с содержанием 50 % ДМЭ увеличивается примерно в 3 раза (с 0,417 МПа до 1,869 МПа). С учетом того, что в топливной системе возникают волны разрежения, смесевое топливо может переходить в двухфазное состояние, и это будет отражаться на работе всей топлив-

ной аппаратуры и для минимизации негативных последствий, давление подкачки смесевых топлив должно быть значительно выше давления насыщенных паров, а для уменьшения возможности образования паровых пробок должна быть организована высокая степень рециркуляции топлива в топливной системе. Все это накладывает ограничения на состав смесевого топлива при использовании элементов штатной топливной системы.

Для исследования работы двигателя на смесевых топливах была использована экспериментальная установка, созданная и размещенная на базе ОАО «АЛТАЙ-ЛАДА». непосредственно объект исследований — дизельный двигатель ВАЗ-341.

На данной установке были испытаны топлива с содержанием ДМЭ до 50% по массе, так же был проведен эксперимент с топливом с содержанием ДМЭ 70 %.

Предварительный цикл испытаний показал возможность работы двигателя со штатной топливной системой на смесевых топливах. При этом только необходимо обеспечить достаточное давление подкачки с помощью насоса, установленного в ЛНД. Минимальное давление подкачки должно быть больше давления насыщенных паров смесевого топлива. Однако при этих давлениях производительность ТНВД была неудовлетворительной. Экспериментально было определено давление подкачки 1 МПа. Однако при этом давлении, двигатель на топливах с содержанием ДМЭ 50 и 70 % работал нестабильно. Увеличение давления не дало положительных результатов. В процессе работы на этих смесях происходило резкое снижение производительности ТНВД. Это, вероятно, связано с увеличением температуры на входе в ТНВД и возможным увеличением газовой фазы в ЛНД. При проведении испытаний выявилась необходимость подбора регулировок топливоподающей аппаратуры, вызванная падением мощности. Изменению подлежали угол опережения впрыска и давление начала впрыска форсунок. Подбор оптимальных регулировок происходил для каждого смесевого топлива.

В целом моторные испытания показали возможность применения в дизеле топлив с долей ДМЭ до 40 % без существенной модернизации существующей топливной аппаратуры. Эффективные показатели работы двигателя при этом практически не изменились. Величины приведенных в энергетическом отношении к ДТ удельных расходов смесевых топлив были примерно такими же

или несколько лучше, как при работе двигателя на ДТ ($g_e = idem$). Отличия физико-химических свойств смесевых топлив от ДТ могут быть скомпенсированы настройкой параметров топливной системы.

При использовании топлив с содержанием ДМЭ 50 и 70 % не удалось достигнуть эффективных показателей ДТ. Так же большую опасность представляли пары просочившегося ДМЭ, которые снижали пожаробезопасность. В то же время можно сказать, что дизель имеет возможность работы на этих смесях при условии модернизации топливной системы.

В процессе моторных испытаний были проведены замеры токсичности отработавших газов. По результатам испытаний можно сказать, что при работе на смесевых топливах уровни выбросов СО возрастают с увеличением доли ДМЭ в топливе.

Топливо с содержанием 30% ДМЭ вызвало повышение выбросов СО на всех режимах. На холостом ходу и малых нагрузках уровень СО превышал эталонные выбросы на ДТ на 20 %. Далее, с увеличением нагрузки, разница в содержании СО в отработавших газах у смесевого топлива и ДТ сокращается (при нагрузке 40 % до 14-16 %), а при высоких нагрузках наблюдается резкий рост содержания СО. На средних и больших нагрузках причиной образования СО в основном является неполнота сгорания в переобогащенных топливом зонах топливовоздушной смеси. То есть, причины образования СО на этих нагрузках те же, что и у сажи. Соответственно, из-за уменьшения образования сажи при использовании топлива с добавкой ДМЭ (см. ниже) при недостатке внешнего окислителя в переобогащенных зонах начинает усиливаться процесс образования окиси углерода, который не может быть окислен внутренним связанным кислородом молекул ДМЭ. Рост СО при малых нагрузках в основном можно объяснить относительно низкой температурой в камере сгорания.

Выбросы оксидов азота снизились на всех режимах, при которых проводились испытания. Причем, степень снижения однозначно зависит как от состава смеси, чем выше содержание ДМЭ в топливе, тем меньше наблюдается содержание NO в отработавших газах, так и от величины нагрузки. При росте нагрузки процент снижения эмиссии NO возрастает. Максимальное снижение выбросов для топлива с содержанием 30 % ДМЭ по нагрузочной характеристике $n=4000$ об/мин было 29% и для режима $n=2500$

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ДОБАВКИ В ТОПЛИВО ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА

об/мин – 26%. Объяснить снижение содержания NO в отработавших газах можно тем, что при переходе на смесевое топливо снижается максимальная температура цикла, а образование NO имеет термическую природу, то есть определяется температурой пламени, которая в свою очередь связана с максимальной температурой цикла.

При переходе на смесевое топливо содержание СН в отработавших газах заметно увеличивается. Степень увеличения выбросов углеводородов напрямую связана с содержанием в топливе ДМЭ. Чем выше содержание ДМЭ, тем больше концентрация СН. Сравнивая данные по выбросам углеводородов, необходимо иметь в виду многообразие механизмов образования и окисления СН в дизеле. Источниками образования СН могут быть холоднопламенные процессы, неполнота выгорания в зонах с переобогащением или переобеднением топливовоздушной смеси, пленка масла на зеркале цилиндра, гашение пламени у стенок цилиндра, подтекание топлива из колодца перед распыливающими отверстиями после посадки иглы на седло. Значительное влияние на выбросы СН оказывают процессы окисления в процессе расширения и выпуска. Так при повышении температуры в конце такта расширения и соответственно температуры отработавших газов происходит снижение выбросов углеводородов. При этом на малых нагрузках при довольно низких температурах отработавших газов данный процесс дожигания углеводородов уже не оказывает заметного влияния на выбросы СН. При работе на топливе с содержанием 10% ДМЭ, рост выбросов углеводородов был незначительным. На нагрузочном режиме $n=2500$ об/мин измеренное содержание СН в отработавших газах было относительно низким. Следует отметить, что при работе на этой характеристике на ДТ выбросы СН практически не регистрировались. Увеличение доли ДМЭ в топливе вызвало появление в составе отработавших газов углеводородов. Причем наибольшие концентрации были на малых нагрузках. Далее с увеличением нагрузки происходило некоторое снижение концентрации, а затем при нагрузках свыше 40% происходил заметный рост содержания СН в отработавших газах. Такая картина наблюдалась у всех исследованных смесевых топлив. По нагрузочной характеристике при $n=4000$ об/мин концентрация СН в отработавших газах сильно возросла. При содержании в смеси 30% ДМЭ кон-

центрация СН при максимальной нагрузке выросла в 3,7 раза по сравнению с ДТ.

Измерения дымности отработавших газов при работе на всех смесевых топливах показали значительное снижение этого параметра, это отмечено во всем диапазоне нагрузок и частот вращения. Причем зависимость снижения дымности от содержания в топливе ДМЭ носит явно нелинейный характер, с ростом доли ДМЭ степень уменьшения возрастает более интенсивно. К такому результату приводит высокое содержание кислорода в молекуле ДМЭ, отсутствие связей С-С, лучший процесс смесеобразования, что приводит к снижению дымности даже на неоптимизированных режимах. Общий уровень дымности снизился для топлива с содержанием 30% ДМЭ – в 2-3 раза ($n=2500$ об/мин, Ne до 5кВт – в 2 раза; $Ne>25$ кВт – в 3 раза). Примечательно и то, что при пусках дизеля на топливах с содержанием 50 и 70% ДМЭ уровень дымности так же был зарегистрирован довольно низким (снижение по сравнению с ДТ примерно в 3,5-4,5 раза у топлива с 50% ДМЭ и в 5-6 раз у топлива с 70% ДМЭ), хотя при этом, эффективные параметры двигателя были низкими. Это еще раз указывает на то, что при использовании смесевых топлив с большой долей ДМЭ в своем составе, можно добиться практически бездымного выхлопа.

Для смесевых топлив были произведены замеры токсичности в зависимости от угла УОВ. На рисунке 6 приведены результаты для топлива с содержанием 30% ДМЭ при $n=2500$ об/мин.

Анализируя полученные результаты, можно отметить низкую чувствительность показателя дымности отработавших газов к изменению УОВ. Относительно малое количество сажи в отработавших газах и возможность установки окислительного нейтрализатора определяют целесообразность работы дизеля при использовании смесевых топлив на относительно малых УОВ. Это позволит снизить выбросы оксидов азота и на больших нагрузках уменьшить концентрацию СН и обеспечить повышенную температуру отработавших газов для эффективной работы окислительного нейтрализатора.

Выбросы СО при уменьшении УОВ на больших нагрузках существенно растут. Следует отметить, что выбросы сажи при работе на дизельном топливе при уменьшении УОВ на больших нагрузках имеют схожую тенденцию. Этот факт подтверждает ранее озвученную гипотезу об усилении процесса образо-

вания оксида углерода в переобогащенных зонах при недостатке внешнего окислителя, в связи со снижением образования сажи. Нежелательное возрастание образования СО при работе на смесевых топливах на малых УОВ на средних и больших нагрузках, можно снизить путем мероприятий по улучшению смесеобразования, в целях устранения причин возникновения зон переобогащенных смесевым топливом, и установкой окислительного нейтрализатора.

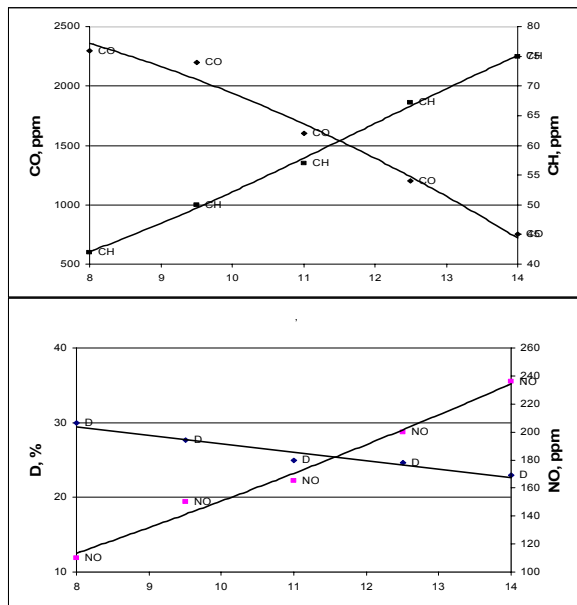


Рис. 6. Вредные выбросы ОГ дизеля по углу опережения впрыска: топливо 30 % ДМЭ; $n = 2500$ об/мин

Выводы

Стабильность смесевых топлив с содержанием ДМЭ до 40% достаточна для их практического применения. Для увеличения доли ДМЭ в смеси необходима разработка новой методики смешивания или получение смесей непосредственно на борту транспортного средства с немедленным их использованием.

Цетановое число смесевых топлив несколько выше чем у ДТ, но при этом не подчиняется закону аддитивности и должно определяться экспериментальным путем.

Основные отличия смесевых топлив от традиционного дизельного — пониженная вязкость и высокое давление насыщенных паров (кроме того, эти параметры сильно зависят от температуры и давления окружающей среды), предопределяют сложности при применении данных топлив без модернизации штатной топливной аппаратуры. Для возможности применения данных топлив со

штатной системой топливоподачи необходимы регулировки топливной аппаратуры.

Из-за высокой пожароопасности и для сохранения свойств хранения смесевых топлив должно быть организовано в герметичных сосудах.

Моторные испытания показали возможность работы двигателя без больших конструктивных изменений на топливах с содержанием ДМЭ до 40%. Эффективные показатели двигателя при этом остаются на уровне ДТ.

Величины удельных расходов для всех смесевых топлив, приведенные в энергетическом отношении к ДТ, были примерно равны или несколько лучшими, чем у ДТ.

Добавка ДМЭ снижает температуру отработавших газов во всем диапазоне нагрузок и скоростей, тем самым уменьшает тепловую напряженность силовой установки.

Использование смесевых топлив значительно снижает дымность отработавших газов (до 3 раз), происходит снижение выбросов оксидов азота (до 30 %). Однако, одновременно с этим, увеличиваются выбросы оксида углерода и углеводородов. Для снижения выбросов СН необходимо организовать работу дизеля на малых УОВ.

Пробные пуски дизеля на топливах с содержанием ДМЭ до 70 % показали принципиальную возможность работы данного двигателя на этих топливах, но при этом выявилась непригодность штатной топливной аппаратуры для достижения приемлемых эффективных показателей дизеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mikkelsen S.-E., Hansen J.B., Sorenson S.C. Progress with Dimethyl Ether // International Alternative Fuels Conference, USA, 1996. – 11-p.
2. Ofner H., Tritthart P. Alternatives to Conventional Diesel Fuel - Strategies for Clean Combustion and Utilization of Resources // AVL list. – 2000. – 14p.
3. Акобия Ш.Е., Смирнова Т.Н. Перспективы снижения вредных выбросов при применении диметилэфира // Грузовик и автобус, троллейбус, трамвай. – 1999. – №2. – С.27-29.
4. Результаты испытаний дизеля, использующего в качестве топлива диметилэфир/ Л.Н. Голубков, Т.Р. Филиппов, А.Г. Иванов и др. // Автомобили и двигатели: сб. научн. тр./ НАМИ, 2003. – Вып.231. – С.41-51.
5. Мамедова М.Д. Работа дизеля на сжиженном газе. – М.: Машиностроение, 1980. – 149 с.
6. Kendall J., Monroe K.P., Am. J. // Chem. Soc. – 39. – 1802 (1917).
7. Arrhenius S.A., Phys. Z. // Chem. – 1. – 285 (1887).