

стороны, вместе с увеличением периода задержки воспламенения, отрицательная работа цикла до ВМТ увеличивается, максимальное давление газов не достигает своего оптимального значения. В результате этого происходит снижение индикаторного КПД. Наибольшая часть тепловыделения происходит на такте расширения, поэтому эффективность использования выделяющейся теплоты и полнота сгорания снижаются, растут потери тепла с отработавшими газами, уменьшаются индикаторный, механический и эффективный КПД - снижаются мощность и экономичность дизеля, растет удельный эффективный расход топлива.

#### Выводы

Получение альтернативных моторных топлив из отходов термопластичных полимеров является перспективным направлением диверсификации топливно-энергетических ресурсов и снижения зависимости от импорта этих ресурсов.

Выполненные исследования показали принципиальную возможность работы дизельного двигателя на альтернативном топливе, полученном путем переработки отходов термопластичных полимеров. При этом не требуется внесения изменения в конструкцию двигателя, его агрегатов и систем.

Для обеспечения эффективной работы двигателя достаточным является соответствующая настройка топливной аппаратуры.

Исследования показали также, что параметры рабочего процесса и динамика тепловыделения зависят от цетанового числа топлива и от количества содержащихся в нем ароматических углеводородов.

Для уменьшения отрицательного влияния указанных факторов на рабочие показатели двигателя

необходимо регулировать угол опережения подачи топлива в пределах 1,5...7,5 град. п.к.в. в зависимости от техникохимических свойств альтернативного дизельного топлива. Это позволит обеспечить длительную работу двигателя на альтернативном топливе с пониженным цетановым числом при удовлетворительном расходе топлива.

#### Список литературы:

1. *International Energy Outlook 2009, Report #: DOE/EIA-0484(2009), May 27, 2009.*
2. *Hegberg, Bruce A. Mixed plastics recycling technology / by Bruce A. Hegberg, Gary R. Brenniman, William H. Hallenbeck // University of Illinois Center for Solid Waste Management and Research, Chicago, Illinois Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A., 1992.*
3. *Thermal decomposition of polyolefin/carbon black composites. E. Jakab, M. Omastova. J. Anal. Appl. Pyrolysis 74, 2005, 204–214.*
4. *Liquefaction of Mixed Plastics Containing PVC and Dechlorination by Calcium-Based Sorbent Thallada Bhaskar, Md. Azhar Uddin, Jun Kaneko, Toshiki Kusaba, Toshiki Matsui, Akinori Muto, Yusaku Sakata and Katsuhide Murata. Energy & Fuels, 2003, 17, 75–80.*
5. *Anon (1995), BASF Shuttlers Plastic Feedstock Recycling Plant. Chemical Market Reporter, 7.*
6. *Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials. Final report. Commissioned by the European Commission, July 2004.*
7. *G.Dodbiba, T.Fujita. Progress in separating plastic materials for recycling. Physical Separation in Science and Engineering, 2004, Vol. 13, No. 3–4, p. 165–182.*
8. *Advanced industrial technologies for energy conservation & CO<sub>2</sub> reduction in Japan. Japan external trade organization (JETRO) Japan consulting institute (JCI), Mitsubishi Heavy Ind. Final report, January, 2008.*
9. *Пат. 73900 Україна. Спосіб та пристрій для переробки відходів полімерів у альтернативне паливо/ Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Харитонов Ю.М.*
10. *Ткач М.Р. Экспериментальные исследования показателей судового ДВС, использующего альтернативное топливо/ М.Р. Ткач, Б.Г.Тимошевский, Б.А.Тхы. // Двигатели внутреннего сгорания. – №2. – 2006.*

УДК 621.436.03

*Н.А. Иващенко, д-р техн. наук, Л.В. Грехов, д-р техн. наук, А.А. Жердев, д-р техн. наук*

## ТЕХНОЛОГИЯ ПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ СМЕСЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА

#### Актуальность проблемы

Диметилловый эфир (ДМЭ) с химической формулой  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$  (кратко  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) благодаря соединению двух метиловых радикалов  $\text{CH}_3$  атомом кислорода и его большой доли (около 35%), при сгорании в дизеле практически не образует сажи. Он полностью отвечает требованиям Монреальского протокола, запрещающего производство озоноразрушаю-

щих соединений (потенциал озоноразрушения в атмосфере – ODP - равен нулю). Он также лучше соответствует требованиям Киотского протокола, направленного на ограничение парникового эффекта нашей планеты путем уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$ . При нормальных условиях это газ, но ожижается уже при давлении 0,53 МПа. ДМЭ нетоксичен и не загрязняет окружающую среду.

Решающая доля токсических выбросов в крупных городах приходится на автотранспорт, поэтому ДМЭ рассматривается, прежде всего, как топливо для городских автобусов и грузовиков.

Использование природного газа, а в дальнейшем – угля обеспечивает возможность синтеза ДМЭ в массовом производстве с конкурентоспособной ценой.

С точки зрения хранения на борту, определяющая величина давления насыщенных паров (при н.у. 0,53 МПа) обуславливает применение газобаллонной арматуры. С точки зрения топливоподачи важно, что меньшая теплотворная способность (28,84 МДж/кг), плотность (668 кг/м<sup>3</sup>) и вязкость (0,2 мм<sup>2</sup>/с), а также повышенная сжимаемость (210·10<sup>-11</sup> МПа<sup>-1</sup>) обуславливают снижение мощности дизеля при отсутствии перенастроек систем управления в 1,9...2,7 раза [1].

Уменьшенное поверхностное натяжение (0,0012 Н/м) наряду с упомянутым облегчает распыливание, а цетановое число 55 – воспламенение. Снижение размеров капель может обеспечить более быстрое горение.

#### Концепция применения ДМЭ

Целью работы было создание конкурентоспособного варианта питания дизелей грузовиков в условиях города с улучшенными экологическими показателями.

В промышленно развитых странах мира проводился ряд исследований и ОКР по использованию ДМЭ в дизелях. Показана возможность радикального снижения дымности (частиц сажи). Это позволяет снижать и выбросы NO<sub>x</sub>, решая классическое противоречие между ними. Сложнее ситуация с СО и СН (их эмиссия может расти).

Вместе с тем, попытка решить все экологические трудности на устаревшем дизеле только за счет применения ДМЭ несостоятельна. Например, нормы по частицам недостижимы из-за угара масла, а по СН – за счет некачественного процесса, пленочного смеобразование и др. Анализ принципиальных и чисто практических обстоятельств применения ДМЭ привел нас к выводу о целесообразности его использования в составе смесей с ДТ. Отметим, что такой вывод не является общепринятым. В пользу этой технологии имеются следующие аргументы:

- снижение расходов на эксплуатацию и топливо (в нашей работе – вдвое) за счет уменьшения доли более дорого ДМЭ;

- наибольшая относительная эффективность использования ДМЭ при его малом содержании в смеси, оптимум комплекса экономических и экологических показателей двигателя автомобиля;

- возможность оптимизации содержания ДМЭ в смеси в плане достижения минимально необходимого результата;

- современные экологические показатели при наименьших затратах;

- использование существующих технологий и серийной топливной аппаратуры;

- возможность переоборудования находящихся в эксплуатации автомобилей;

- сохранение ресурса топливной аппаратуры;

- ненужность вентиляции картера ТНВД;

- ненужность дорогих импортных антиизносных и антизадирных присадок.

Также за счет возможности регулирования доли ДМЭ вплоть до исключения его подачи:

- возможность обслуживания и ремонта автомобиля в обычных помещениях;

- увеличенный запас хода, живучесть автотранспортного средства;

- нет проблемы останковки и запуска двигателя.

#### Подготовка топливной системы

При работе дизеля Д24512С с использованием ДМЭ отмечено снижение цикловой подачи топлива и ее дестабилизация (вплоть до прекращения подачи), уменьшение давления и увеличение продолжительности впрыскивания топлива. В связи с этим в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана система подачи ДМЭ в смеси с ДТ.

Первая проблема – прекращение питания ДМЭ – в конечном итоге была решена радикально: наддувом баллона сжатым азотом. Насосные решения, используемые другими разработчиками, так и не обеспечили надежности эксплуатации. Кроме этого, безнасосная схема соответствует требованиям противопожарной безопасности, не допуская разрежения в баллоне при температуре ниже -26°С.

Переход с чистого ДТ на смесь с ДМЭ осуществлялся переключателем двух электроклапанов (рис. 1). Все специфические проблемы нагнетания ДМЭ были решены ТНВД: он по-прежнему работает в чистом ДТ. Подача ДМЭ производится в линию высокого давления через автоматический клапан импульсной подпитки в период кратковременного разрежения в рамках затухающего волнового про-

цесса после окончания впрыскивания. Этот процесс предложен и хорошо разработан РУДН под руководством проф. Н.Н. Патрахальцева.

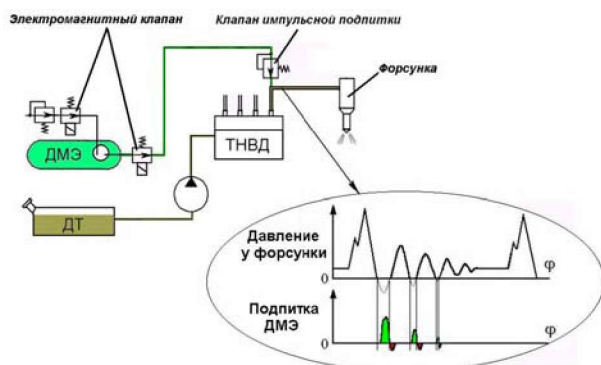


Рис. 1. Схема топливной системы для подачи смеси топлива

В данной реализации при давлении в баллоне до 1 МПа с помощью этой аппаратуры удавалось подавать смесь с долей ДМЭ от 0 до 66%. Форсунка не изменялась. В ТНВД изменялись только параметры нагнетательного клапана.

Отметим, что предложенная схема подачи газосжиженного топлива требует отработки, к примеру, при неоптимизированных ее параметрах она неработоспособна или может обеспечивать не всасывание присадки через клапан импульсной подачи, а выбрас наружу основного топлива и т.п. Для этой цели применялся ПК Впрыск, разработанный в МГТУ [2]. В частности, с его помощью моделировалось многофазное поведение топлив, смесей нескольких жидких топлив, работа клапана импульсной подачи.

Концепция образования смеси топлива в линии высокого давления потребовала проведения анализа свойств смесей. Выявлен и описан ряд новых закономерностей для физических свойств смесей. Коротко можно сказать, что пропорциональное изменение от состава смеси имеет место только для плотности. Выражение для важнейшего для топливоподдачи свойства – сжимаемости – мы описываем через уравнение связи плотности и давления [3], в том числе для многокомпонентных смесей.

После расчетной оптимизации конструкции по критериям величины присадки ДМЭ и качества впрыскивания топливная аппаратура отрабатывалась на топливном стенде. Расход ДМЭ определялся весовым способом, расход ДТ – выпариванием собранной смеси.

Позднее по результатам эксплуатации оптимальным содержанием ДМЭ в смеси было признано примерно 30% по объёму (25% по массе).

#### Реализация проекта

Новая технология апробировалась на автомобилях-рефрижераторах ЗИЛ-47303А "Бычок". Один экспериментальный автомобиль принадлежал МГТУ и еще 10 автомобилей-рефрижераторов были предоставлены ГУП «Мосавтохолд». Работа проводилась при поддержке МКНТ и департамента Транспорта и связи Правительства г. Москвы.

Баллон с ДМЭ устанавливался на раме, остальная арматура находилась в моторном отсеке (рис. 2).



Рис. 2. Подкапотное пространство автомобиля ЗИЛ-47303А "Бычок"

Экспериментальный автомобиль МГТУ работал пять лет (рис. 3). Путь расход ДТ при движении по городу составлял примерно 17 л/100 км, а ДМЭ 8 л/100 км, что эквивалентно 4 л/100 км ДТ. Потребление топлива в условиях реальной эксплуатации в тепловом эквиваленте не изменилось. О том же свидетельствовал 2-летний период эксплуатации 10 автомобилей в ГУП Мосавтохолд.

На протяжении всего срока эксплуатации экспериментального автомобиля периодически брались пробы ОГ. Типовые результаты: снижение дымности ОГ с 22% на ДТ до 12% на смеси при свободном ускорении и, соответственно, с 7% до 4% на режиме максимальной частоты холостого хода (рис. 4). За счет снижения опережения впрыскивания на 4 град достигнуто также снижение NO<sub>x</sub>.



Рис. 3. Экспериментальный автомобиль МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проведена серия ходовых испытаний, доказавших пригодность автомобиля для условий реальной эксплуатации в городских условиях.

Были проведены контрольные испытания автомобиля-рефрижератора ЗИЛ-47303А "Бычок", работающего на смесевом топливе, по типовым методикам на автополигоне ГУП "НИЦИАМТ". Контролю подвергались содержание ВВ в кабине автомобиля и в ОГ, расход топлив; скоростные и динамические качества автомобиля. Подтверждено сохранение или улучшение экономических показателей автомобиля на смесевом топливе, сохранение условий работы водителя, улучшение экологических показателей автомобиля. Применение ДМЭ позволило приблизить содержание вредных веществ в ОГ к нормам Евро-III без использования нейтрализаторов на автомобилях, находящихся в эксплуатации. Использование ДМЭ уменьшило шумность работы дизеля ввиду большего цетанового числа и меньшего опережения впрыскивания.

УДК.621.1.018

*А.П. Поливянчук, канд. техн. наук, И.В. Парсаданов, д-р техн. наук, И.В. Рыкова, канд. техн. наук*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

### Введение

С введением в 1993 г. экологических норм EURO в странах Европейского Союза начали дейст-

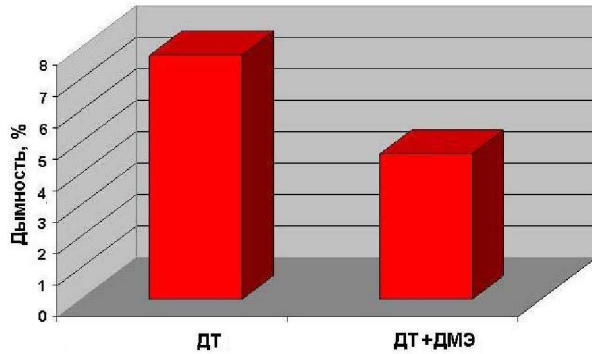


Рис. 4. Дымность ОГ на режиме максимальной частоты холостого хода при работе на дизельном и на бинарном топливе при подаче 22% ДМЭ

ДМЭ использовался как хладагент для первых холодильных установок. С учетом отсутствия у него озоноразрушающих свойств интерес к нему возобновился. На переоборудованных автомобилях использовались холодильные установки на ДМЭ. Это также уменьшило энергопотребление на привод компрессора.

### Заключение

Результаты работы подтвердили эффективность концепции смесового топлива для условий эксплуатации грузового автомобиля в городе. Перспективы работ по применению ДМЭ усматриваются в использовании электронного управления, оптимизирующего протекание рабочего процесса.

### Список литературы:

1. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / [В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов и др.]. – М.: Легисон-Автодата, 2008. – 464 с.
2. Программный комплекс "ВПРЫСК". Возможности и состав. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи в двигателях внутреннего сгорания [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://energy.power.bmstu.ru/e02/inject/i00rus.htm>.

вовать ограничения на массовые выбросы твердых частиц (ТЧ) с отработавшими газами (ОГ) автомобильных дизелей. ТЧ характеризуются высокой кан-