

УДК 621.43.013.3

В. Д. Савицкий
Л. В. Терновая

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, E-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Изложены основные положения разработанной концепции конвертирования поршневых двигателей на питание метанолом. Приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований двигателя MeMЗ–245 при работе на бензине и испарённом метаноле.

Викладено основні засади розробленої концепції конвертування поршневих двигунів на живлення метанолом. Наведено результати порівнювальних експериментальних досліджень двигуна MeMЗ–245 при роботі на бензині та випарованому метанолі.

Введение

Зависимость от импорта моторных топлив нефтяного происхождения вносит значительный дисбаланс во все сферы экономики. В то же время Украина имеет все возможности для постепенного перевода транспорта на альтернативные энергоносители, среди которых следует выделить прежде всего спирты, в частности метанол. Преимуществом спиртовых топлив является их близость по основным моторным и эксплуатационным свойствам к бензину. Спирты могут производиться из большого числа органических веществ, таких, как уголь, древесина, природный газ, городские и сельскохозяйственные отходы, а также из выбросов металлургических и химических производств, сжигаемых в настоящее время в факелах [1–3].

Существенным достоинством применения спиртовых топлив является улучшение экологической обстановки в зонах повышенной концентрации автотранспорта. Так, при работе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на метаноле значительно снижаются выбросы основных токсичных компонентов (оксид углерода, несгоревшие углеводороды и оксиды азота) при некотором увеличении выбросов альдегидов [4–7].

Метанол (метиловый спирт) является высокооктановым синтетическим моторным топливом. Однако по сравнению с основными характеристиками бензина он имеет некоторые особенности (см. таблицу):

- меньшая низшая теплота сгорания метанола, но практически одинаковая с нефтяными топливами объёмная теплота сгорания топливовоздушной смеси;
- более высокая антидетонационная стойкость;
- повышенная теплота парообразования и более высокая температура кипения;
- более широкие концентрационные пределы воспламенения.

Следует также отметить повышенную агрессивность метанола по отношению к некоторым конструкционным материалам [8–11].

Перечисленные особенности метилового спирта ставят ряд проблем на пути его массового применения в качестве автомобильного топлива. Основной проблемой является устойчивый запуск и прогрев двигателя. К тому же, в силу высокой коррозионной активности метанола использование штатной бензиновой системы питания не представляется возможным. Кроме того, переход на метиловый спирт связан с изменением проходных сечений топливоподающей аппаратуры.

Физико-химические и эксплуатационные свойства метанола и бензина

| Показатели | Метанол | Бензин |
|--|---------|---------|
| Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг/кг | 6,45 | 14,95 |
| Теплота сгорания, кДж/кг | 21500 | 44000 |
| Теплота сгорания стехиометрической смеси, кДж/м ³ | 3770 | 3740 |
| Теплота испарения, кДж/кг | 1170 | 300 |
| Температура кипения (область кипения), К | 338 | 310–470 |
| Снижение температуры смеси при испарении, К | 122 | 20 |
| Давление насыщенных паров, кПа | 13 | 65–92 |
| Концентрационные пределы горения (α) | 0,7–2,0 | 0,6–1,6 |

1. Питание поршневых двигателей метиловым спиртом

Известен способ подачи спирта в двигатель автомобиля по аналогии с подачей бензина [5]. Этот способ требует увеличения проходных сечений топливоподающей аппаратуры и дополнительного подогрева впускного коллектора. Запуск такого двигателя при температуре менее 8 °С невозможен. Кроме того, этот способ требует замены всех корродирующих элементов топливной системы.

Метанол может использоваться в виде добавок к автомобильному бензину в количестве 6–15% [12–15]. Этот способ требует стабилизации бензоспиртовой смеси путём добавки высших спиртов [16, 17]. Склонность к расслоению бензоспиртовых эмульсий усиливается с понижением температуры и увеличением концентрации воды. «Холодный» пуск двигателя на бензоспиртовых смесях также затруднён.

В Институте проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины разработана следующая концепция использования метанола в качестве топлива для ДВС с искровым зажиганием:

- запуск и прогрев двигателя осуществляется на бензине, после чего его подача прекращается и осуществляется переход на метиловый спирт;
- метанол подаётся в испаритель, обогреваемый отработавшими газами двигателя;
- пары метилового спирта через управляемый дозатор подаются непосредственно во впускной коллектор двигателя;
- регулирование подачи воздуха осуществляется штатной дроссельной заслонкой, связанной с дозатором газообразного спирта.

Предлагаемая концепция не имеет аналогов в Украине и в мире и обладает следующими преимуществами по сравнению с описанными выше:

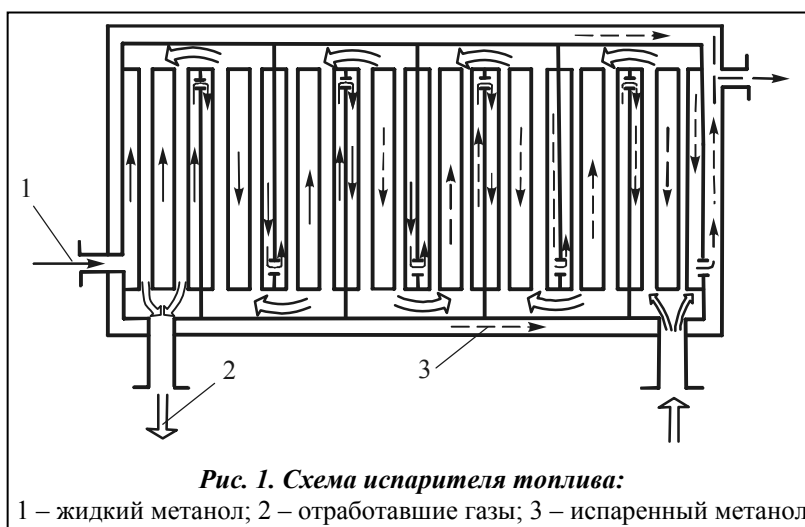
- устойчивый запуск двигателя при пониженных температурах;
- отсутствие контакта спирта с элементами бензиновой топливоподающей аппаратуры;
- раздельное (в случае необходимости) использование как бензина, так и спирта в качестве топлива;
- возможность применения вместо испарителя каталитического реактора конверсии метанола, позволяющего повысить качество топливовоздушной смеси.

2. Создание экспериментального образца топливной системы для работы ДВС на испарённом метаноле

Для проведения исследований рабочего цикла поршневых двигателей, питаемых метиловым спиртом, с учётом предварительных расчётов был разработан и изготовлен экспериментальный образец топливной системы, включающей испаритель топлива, дозатор и систему подвода отработавших газов и метанола к испарителю.

Испаритель топлива, принципиальная схема которого приведена на рис. 1, предназначен для подготовки (испарения) метанола перед подачей его в двигатель внутреннего сгорания, отработавшие газы которого являются теплоносителем для испарителя.

Разработанный испаритель топлива представляет собой восьмичленивый теплообменный аппарат неразборной кожухотрубной конструкции, полностью изготовленный, учитывая корродирующее действие метанола на большинство металлов и сплавов, из нержавеющей стали. Входная труба испарителя соединяется с выпускной системой двигателя, а выходная – с системой отвода отработавших газов от двигателя.



Испаритель топлива содержит восемь соединённых последовательно теплообменных элементов, каждый из которых состоит из четырёх трубок для пропускания теплоносителя. Эти трубки за счёт наружного оребрения имеют развитую поверхность теплообмена.

Метанол подводится к испарителю трубкой из нержавеющей стали через штуцер диаметром 8 мм, а для пара этого спирта предусмотрен выходной штуцер диаметром 12 мм. Верхние и нижние полости теплообменных элементов заключены в кожухи, соединённые между собой, и служат накопительной ёмкостью для пара. При остывании, когда двигатель не работает, пар конденсируется и метанол в жидком виде стекает в нижнюю полость теплообменника.

Для регулирования расхода испарённого спирта разработан и изготовлен экспериментальный образец дозатора топлива, представляющий собой механическое золотниковое устройство. Основные детали дозатора – седло иглы, игла и корпус – изготовлены из нержавеющей стали.

Расход пара регулируется осевым перемещением иглы, рабочая часть которой имеет профиль, обеспечивающий линейную зависимость площади проходного сечения дозатора от хода иглы. Для обеспечения полного запирания дозатора в положении, когда игла своей отсечной кромкой сидит на седле, служит поджимная пружина. Герметичность в месте выхода иглы из корпуса обеспечивается уплотнительным устройством. Кроме того, на трущейся поверхности иглы имеется лабиринтное уплотнение. В корпус дозатора вварена перепускная трубка для отвода метанола, просочившегося между поверхностью иглы и внутренней поверхностью корпуса.

3. Сравнительные экспериментальные исследования двигателя МеМЗ–245 при работе на бензине и испарённом метаноле

Программой исследований предусматривалось снятие поля сравнительных нагрузочных характеристик при работе двигателя МеМЗ–245 на бензине и на метаноле в условиях моторного стенда. Работа на бензине осуществлялась путём использования штатной аппаратуры без подачи отработавших газов в испаритель. Для перехода на питание метанолом двигатель запускался на бензине с целью прогрева испарителя до температуры, превышающей температуру кипения метилового спирта. Затем подача бензина в карбюратор прекращалась, и после выработки топлива из поплавковой камеры осуществлялся переход на питание двигателя испарённым метанолом.

При снятии нагрузочных характеристик предусматривалась регистрация мощностных, экономических и экологических показателей двигателя, а также коэффициента избытка воздуха. При этом контролировалась температура отработавших газов на входе в испаритель

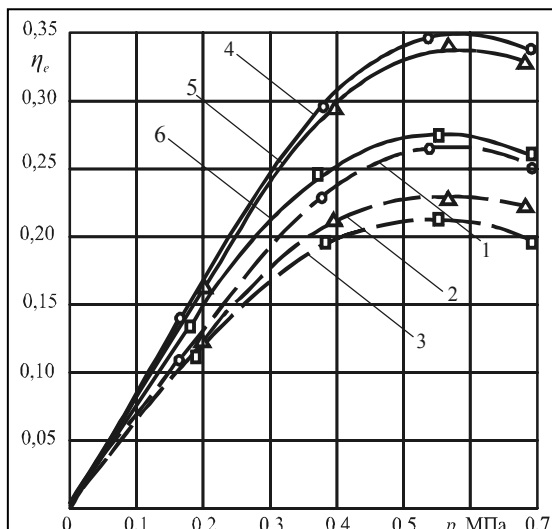


Рис. 2. Нагрузочные характеристики двигателя MeM3-245:

1 – бензин, $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$; 2 – бензин, $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$; 3 – бензин, $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$; 4 – метанол, $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$; 5 – метанол, $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$; 6 – метанол, $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

и на выходе из него, а также температура метанола непосредственно перед подачей его в двигатель.

В процессе проведения экспериментальных исследований удалось добиться устойчивой работы двигателя на испарённом метаноле во всём диапазоне изменения нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. Коэффициент избытка воздуха при этом изменялся от 1,0 до 2,0. На рис. 2 приведены сравнительные нагрузочные характеристики двигателя MeM3-245, из которых видно, что рабочий цикл двигателя, использующего в качестве топлива испарённый метанол, характеризуется большей эффективностью в сравнении с бензиновым двигателем. Так, прирост максимального эффективного КПД составляет 23 %, а повышение эффективности рабочего цикла на частичных нагрузках ещё больше – до 40 %. Это объясняется, в первую очередь, работой метанольного двигателя на обеднённых смесях, а также улучшенным качеством

смесеобразования и большей полнотой сгорания ввиду особой подготовки топлива – его полного испарения.

Закон регулирования мощности (рис. 3), полученный в результате оптимизации по эффективному КПД путём выбора соотношения между положением иглы дозатора топлива и дроссельной заслонки карбюратора, характеризуется как смешанное регулирование, когда от холостого хода до нагрузки около 40% коэффициент избытка остаётся постоянным на уровне $\alpha = 2,0$ (количественное регулирование), а дальнейшее увеличение мощности обеспечивается качественным регулированием до $\alpha = 1,0$ на внешней характеристике.

При проведении экспериментальных исследований проводился отбор проб отработавших газов для анализа на присутствие в них основных токсичных компонентов: оксидов азота (NO_x), оксида углерода (CO), несгоревших углеводородов (C_nH_m), формальдегида (CH_2O) и остаточного метанола.

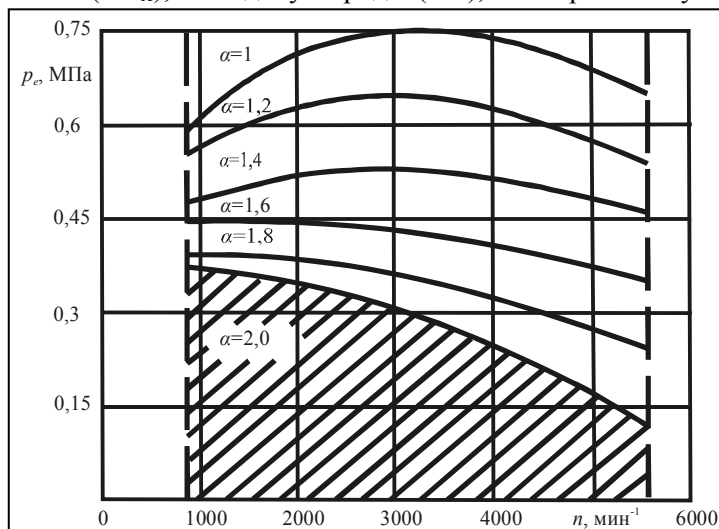


Рис. 3. Универсальная характеристика двигателя MeM3-245, работающего на метаноле, по коэффициенту избытка воздуха (закон регулирования мощности)

Сравнительные исследования двигателя MeM3-245 при работе на бензине и метаноле показали, что при использовании в качестве топлива испарённого метанола наблюдается существенное снижение токсичности отработавших газов (рис. 4).

Это объясняется применением смешанного регулирования мощности и физико-химическими особенностями метилового спирта. Выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами метанольного и бензинового двигателя оказываются близкими по величине только в области максимальных на-

грузок (NO_x) и минимальной мощности (C_nH_m). Большая же часть области изменения нагрузки на двигатель отличает применение испарённого метанола очень низкой токсичностью отработавших газов, особенно по выбросам оксида углерода. Исключение составляет формальдегид, которого в отработавших газах метанольного двигателя приблизительно в 2 раза больше, чем у бензинового прототипа. Что же касается наличия в отработавших газах несгоревшего метанола, то проведенный анализ позволил обнаружить лишь его следы. Это подтверждает высокое качество смесеобразования и полноту сгорания в случае использования в качестве топлива испарённого метанола.

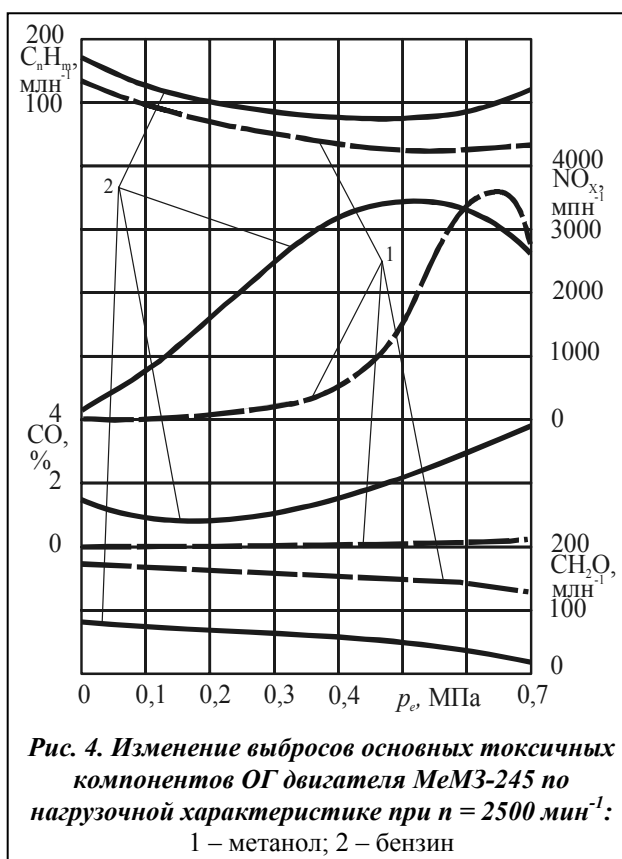
В целом, интегральное снижение токсичности на основных эксплуатационных режимах работы двигателя, питающегося испарённым метиловым спиртом, можно оценить как двух-трёхкратное в сравнении с бензиновым прототипом.

В процессе экспериментальных исследований измерялась температура отработавших газов (ОГ) на входе в испаритель топлива и на выходе из него, а также температура метанола непосредственно перед подачей его в двигатель. Как показало термометрирование, испаритель топлива представляет собой достаточно совершенный теплообменный аппарат. Так, перепад температур ОГ на входе и выходе из него достигает 400 градусов, что является преимуществом предложенной схемы с предварительным испарением топлива, т.к. в этом случае значительно снижается тепловое загрязнение окружающей среды автомобильными двигателями.

Выводы

При проведении экспериментальных исследований рабочего цикла поршневого ДВС, использующего в качестве топлива метанол, были получены следующие основные результаты:

- энергоустановка с ДВС и испарителем метилового спирта показала хорошую работоспособность, что подтверждает правильность выбранной концепции конвертирования бензинового двигателя на питание метанолом;
- использование в качестве топлива испарённого метанола вместо бензина даёт возможность увеличить максимальный эффективный КПД на 23 %, а на режимах частичных нагрузок КПД вырастает более чем на 40 %;
- оптимальным законом регулирования мощности метанольного двигателя является смешанное регулирование, когда от холостого хода до нагрузки около 40 % коэффициент избытка воздуха остаётся постоянным ($\alpha=2,0$), а увеличению нагрузки сопутствует качественное регулирование до $\alpha=1$ на внешней характеристике;
- интегральное снижение токсичности отработавших газов на основных эксплуатационных режимах работы двигателя, питающегося метиловым спиртом, составляет 2–3 раза в сравнении с бензиновым прототипом;



- утилизация отработавших газов в энергоустановке с испарителем метанола существенно снижает тепловое загрязнение окружающей среды автомобильными двигателями.

Литература

1. *Звонов В. А.* Метанол как топливо для транспортных средств / В. А. Звонов, В. И. Черных, В. К. Балакин. – Харьков: Основа, 1990. – 150 с.
2. *Печуро Н. С.* Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа / Н. С. Печуро, В. Д. Капкин, О. Ю. Песин. – М.: Химия, 1986. – 352 с.
3. *Караваяев М. М.* Технология синтетического метанола / М. М. Караваяев, В. Е. Леонов, И. Т. Попов и др. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
4. *Influence of operationg conditions on output exhanst emission and combustio variation of low compression ratio methanol injection* / H. Sigenobu, K. Yuzuru, S. Norihiro, K. Shuichi // SAE Techn. Pap. Ser. – 1991. – N 910866. – P. 1–12.
5. *Fleming R. D.* Methanol as a automotive fuel. Part 1. Straight Methanol / R. D. Fleming, T. W. Chamberlain // SAE Prepr. – N 750121. – 11 p.
6. *Эмиссии при сгорании метанола в ДВС.* – Экспресс-информация. Поршневые и газотурбинные двигатели. – М.: ВИНТИ, 1977. – № 6. – С. 17–18.
7. *Harvey C. A.* Toxicologically acceptable levels of methanol and formaldehyde emissions from methanol-fueled vehicles / C. A. Harvey, P. M. Carev, J. H. Somers and others // SAE Tehn. Pap. Ser. – 1984. – N 841357. – 16 p.
8. *Влияние различных факторов на износ двигателей, работающих на метаноле.* – Экспресс-информация. Поршневые и газотурбинные двигатели. – М.: ВИНТИ, 1985. – № 39. – С. 18–23.
9. *Отборочные испытания моторных масел двигателей, работающих на метаноле.* – Экспресс-информация. Поршневые и газотурбинные двигатели. – М.: ВИНТИ, 1984. – № 21. – С. 6–8.
10. *Разработка моторных масел для двигателей, работающих на спиртах.* – Экспресс-информация. Поршневые и газотурбинные двигатели. – М.: ВИНТИ, 1982. – № 29. – С. 7–9.
11. *Naegeli D. W.* Engine wear methanol fuel in a nitrogen-free environment / D. W Naegeli, D. M. Jost, E. S Owens // SAE Techn. Pap. Ser. – 1984. – N 841374. – 10 p.
12. *Лукиш В. А.* Бензометанольные смеси – топливо для карбюраторных двигателей / В. А. Лукш, Е. В. Шатров, В. В. Соколов и др. // Автомоб. пром-сть. – 1980. – № 6. – С. 32–35.
13. *Pannone G. M.* Methanol as a fuel for a lean turbocharger spark ignition engine / G. M. Pannone, R. T. Johnson // SAE Techn. Pap. Ser. – 1989. – N 890435. – P. 1–11.
14. *Звонов В. А.* Теплообмен в ячейке автомобильного газификатора метанола / В. А. Звонов, Л. И. Крупник, В. И. Черных // Метанол и его переработка. Сб. науч. тр. ГосНИИметанолпроект. – М.: НИИГЭХИМ. – 1985. – С. 53–56.
15. *Ingamells I. C.* Methanol as a motor fuel or a gasoline blending component / I. C. Ingamells, R. H. Lindduist // SAE Prepr. – 1975. – № 750123. – 9 p.
16. *Энглин Б. А.* Низкотемпературные свойства бензоэтанольных смесей / Б. А. Энглин, С. К. Кюрегян, Н. И. Левинсон и др. // Тр. ВНИИ по переработке нефти. – 1977. – Вып. 20. – С. 106–109.
17. *Hardenberg H. O.* Thermodynamische betrachtungen zum Mercedes-Benz methanol-gasmotor-konzept // Automob. Ing. – 1983. –N 3. – P. 297–301.

Поступила в редакцию
24.11.10