

УДК 621.43.039

Эффективность использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания

А. И. СОРОКИН, Г. К. МИРЗОЕВ

ОАО АВТОВАЗ,
Южное шоссе, 36, Тольятти 445633 (Россия)

E-mail: mabl@dd.vaz.tlt.ru, dtn@dd.vaz.tlt.ru

Аннотация

Выполнены экспериментальные работы, позволившие провести анализ путей решения задач одновременного снижения расхода традиционного топлива, эмиссии токсичных и парникового газов в короткий срок. Показано, что путем модернизации двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работающих на традиционном топливе, возможно выполнение нормы 140 г/км CO₂; использование альтернативных топлив существенно расширяет возможности снижения эмиссии CO₂ и повышения КПД; организация работы ДВС на бедной гомогенной смеси позволяет существенно повысить его КПД. Результаты исследований рабочего процесса ДВС показали возможность его работы на бедных гомогенных смесях с повышением КПД ДВС на расчетном режиме в среднем с 23 до 32–34%. Установлено, что энергоустановки, работающие на водороде, способны обеспечить нулевую эмиссию CO₂. Сформулирована концепция перехода к использованию водорода в качестве топлива наиболее эффективным путем.

Необходимость снижения загрязнения атмосферы и расхода невозобновляемых видов топлива вынуждает вводить ограничения на эмиссию токсичных газов и диоксида углерода и стимулировать работы по повышению КПД энергоустановок. Поскольку автомобили являются основными потребителями нефтепродуктов и источником эмиссии токсичных (CO, CH, NO_x) и парникового (CO₂) газов, в странах Евросоюза вводятся ограничения на выбросы CO₂ для автотранспорта [1–3], что эквивалентно снижению расхода углеводородного топлива (табл. 1).

Вводимые ограничения требуют поиска оптимальных путей решения задач одновре-

менного снижения расхода традиционного топлива, эмиссии токсичных и парникового газов в короткие сроки. ОАО АВТОВАЗ организовал и выполнил экспериментальные работы, позволившие провести анализ путей решения упомянутых задач. Результаты анализа показали следующее.

Существующий средний уровень эмиссии CO₂ при испытаниях по смешанному Европейскому циклу для всех автомобилей, продаваемых в странах Евросоюза, составляет около 180 г/км и близок к уровню эмиссии автомобилями компакт-класса (масса при испытаниях 1350 кг), соответствует уровню эмиссии автомобиля ВАЗ-2110 и расходу бензина 7.5 л на 100 км.

ТАБЛИЦА 1

Ограничения на выбросы CO₂ для автотранспорта согласно Директивам Евросоюза

| Директивы Евросоюза и дата их введения в действие | Эмиссия CO ₂ , г/км | Эквивалентный расход бензина, л/100 км | Снижение расхода, % (эквивалентный КПД ДВС, %) |
|--|-----------------------------------|---|---|
| Директивы Еврокомиссии: | | | |
| с 2008 г. | 140 | 5.87 | 22 (29) |
| с 2012 г. | 120 | 5 | 33 (34) |
| Директивы Европарламента: | | | |
| с 2008 г. | 140 | 5.87 | 22 (29) |
| с 2015 г. | 90 | 3.87 | 50 (46) |

ТАБЛИЦА 2

Требования по токсичности отработанных газов, г/км [4, 5]

| Европейские стандарты на токсичные компоненты | CO | CH | NO _x |
|---|-----|------|-----------------|
| Евро-3 (с 2000 г.) | 2.3 | 0.2 | 0.15 |
| Евро-4 (с 2005 г.) | 1 | 0.1 | 0.08 |
| Евро-5 (с 2010 г.) | 0.5 | 0.04 | 0.04 |

Величина КПД двигателя при испытании автомобиля по Европейскому ездовому циклу при расходе бензина 7.5 л/100 км и эмиссии CO₂ 180 г/км составляет 23 %. Для снижения эмиссии CO₂ до 140, 120 и 90 г/км потребуется увеличить средний КПД до 29, 34 и 46 % соответственно. Достижение значения КПД = 34 % при рассматриваемом режиме работы проблематично, а КПД = 46 % при современном уровне техники невозможно. Проблема усложняется жесткими требованиями по токсичности отработанных газов (табл. 2) [4, 5], выполнение которых в настоящее время обеспечивается при работе бензиновых ДВС на стехиометрической смеси с использованием трехкомпонентных (CO, CH, NO_x) нейтрализаторов, что ограничивает возможности повышения их КПД.

По нашей оценке, модернизация бензиновых ДВС с использованием наиболее эффективных разработок позволит повысить их КПД на 12–17 % от исходного уровня, т. е. довести до 27 %. КПД современных дизелей с наддувом на рассматриваемом режиме составляет около 32 %. Необходимость снижения эмиссии оксидов азота и сажи, образующихся в цилиндрах дизельного двигателя при его рабо-

те на бедной негомогенной смеси, до уровня норм Евро-4 и ниже потребует применения нейтрализаторов, снижающих КПД до 30 %.

Снижение массы автомобиля до 800 кг с использованием модернизированных ДВС позволяет снизить расход топлива до 3.5 л/100 км, а эмиссию CO₂ – до 84 г/км. Организация частичного производства таких автомобилей и применение модернизированных ДВС на остальных автомобилях позволит снизить суммарную эмиссию CO₂ до 140, 120 и 90 г/км при условии, что доля малых автомобилей составит 18, 47 и 90 % от общего объема соответственно. Однако необходимо учитывать тот факт, что спрос на автомобили особо малого класса ограничен. Отключение двигателя при остановках автомобиля с автоматическим пуском при нажатии педали дросселя позволяет повысить КПД бензинового ДВС с 27 до 29 %, а КПД дизеля с нейтрализатором до 30%. Таким образом, путем модернизации ДВС, работающих на традиционном топливе, возможно выполнение нормы по CO₂ (140 г/км). Использование гибридной силовой установки с современным дизелем с турбонаддувом и максимальным КПД = 42 % позволит снизить выбросы CO₂ до 120 г/км, но не сможет обеспечить выброс 90 г/км. Необходимо отметить, что дополнительные затраты на один автомобиль с гибридной силовой установкой могут составить от 3500 до 15 000 евро, на дизельный автомобиль с нейтрализатором – от 3000 до 8000 евро, на автомобиль с модернизированным бензиновым двигателем, выполняющий норму 140 г CO₂/км – от 600 до 1000 евро,

ТАБЛИЦА 3

Эмиссия CO₂ в зависимости от углеводородного состава топлива

| Топливо, химическая формула | Теплотворная способность, МДж/кг | Эмиссия CO ₂ | | | Снижение эмиссии CO ₂ , % |
|--|----------------------------------|-------------------------|-------|------|--------------------------------------|
| | | кг/кг топлива | г/МДж | г/км | |
| Бензин, C ₈ H ₁₈ | 44.5 | 3.1757 | 71.36 | 180 | 0 |
| Природный газ, CH ₄ | 50 | 2.75 | 55 | 138 | 23 |
| Пропан, C ₃ H ₈ | 46.6 | 3 | 64.37 | 162 | 10 |
| Бутан, C ₄ H ₁₀ | 46.1 | 3.0345 | 65.8 | 165 | 8 |
| Диметилэфир, C ₂ H ₆ O | 31.57 | 1.913 | 60.59 | 125* | 15 |
| Водород, H ₂ | 120 | 0 | 0 | 0 | 100 |

* При КПД дизеля в расчетном режиме, равном 28 %.

что в конечном счете может отрицательно сказаться на сбыте автомобилей.

Использование альтернативных топлив существенно расширяет возможности снижения эмиссии CO_2 и повышения КПД. В табл. 3 приведены расчетные данные по изменению выделения CO_2 за счет варьирования углеродородного состава топлива (без учета возможности улучшения КПД ДВС).

Как следует из табл. 3, наиболее приемлемые для практического использования в ближайшей перспективе – это природный и сжиженный нефтяной газы (для ДВС с принудительным воспламенением топлива) и диметилэфир (для дизелей). В то же время газообразные топлива обладают низкой теплотворной способностью на единицу объема, что приводит к необходимости увеличения размеров топливных баков и снижению пробега автомобиля на одной заправке.

Известно, что организация работы ДВС на бедной гомогенной смеси позволяет существенно повысить его КПД. При этом широко используемые в настоящее время трехкомпонентные нейтрализаторы не в состоянии обеспечить снижение эмиссии NO_x . Проблема снижения эмиссии оксидов азота с одновременным повышением КПД ДВС может быть решена с помощью процесса сгорания при низкой температуре, что возможно при наличии в рабочей смеси топлива с низкой границей воспламеняемости, например свободного водорода. Вместо водорода можно использовать водородосодержащий синтезгаз, получаемый на борту автомобиля. Например, проведенные в 1973–1975 гг. в США исследования на легковом автомобиле “Шевроле” с двигателем (рабочий объем 5.75 л), оснащенным генератором синтез-газа (ГСГ), показали снижение расхода бензина на 26 % при движении по Федеральному ездовому циклу CVS-3 [6]. Гене-

ТАБЛИЦА 4

Оценка эффективности и перспектив использования разных топлив на автотранспорте

| Характеристика ДВС, топливо | КПД ДВС, средний по Европейскому циклу, % | Расход энергии, МДж/100 км | Эмиссия CO_2 , г/км | Пробег по Евроциклу на одной заправке, км | Увеличение затрат на один автомобиль, евро |
|---|---|----------------------------|------------------------------|---|--|
| Бензиновый ДВС, $\epsilon = 9.5$, бак 40 л, трехкомпонентный нейтрализатор | 23 | 250 | 180 | 530 | 0 |
| То же, с модернизацией ДВС и автомобиля | 29 | 194 | 140 | 680 | 1000 |
| ДВС, $\epsilon = 9.5$, бензин 23 л, водород 90 л, 40 МПа | 32 | 180 | 85 | 540 | 300 |
| ДВС на водороде, баллоны 90 л, 40 МПа | 34 | 170 | 0 | 165 | 300 |
| ДВС на природном газе, $\epsilon = 12$, баллоны 90 л, 35 МПа | 23 | 250 | 137 | 450 | 300 |
| То же, с ГСГ | 30 | 192 | 105 | 590 | 500 |
| ДВС, $\epsilon = 12.5$, пропан + бутан (50 %), баллон 40 л, 0.16 МПа | 25 | 230 | 150 | 540 | 250 |
| То же, с ГСГ | 28 | 205 | 134 | 605 | 450 |
| Дизель $\epsilon = 18$, наддув, дизтопливо, бак 40 л, нейтрализатор | 30 | 192 | 138 | 650 | 4000–8000 |
| То же, на диметилэфире | 30 | 192 | 116 | 490 | 4000–8000 |

Примечание. ϵ – степень сжатия рабочей смеси в ДВС.

ратор синтез-газа работал на бензине. Состав синтез-газа (мольные доли), %: H_2 0.216, CO 0.236, CH_4 0.01, CO_2 0.0123, H_2O 0.012, N_2 0.5125.

Результаты исследований рабочего процесса ДВС на бензине с добавками водорода и на водороде показали возможность работы двигателя на бедных гомогенных смесях с повышением КПД на расчетном режиме в среднем с 23 до 32–34 %. Испытания автомобиля ВАЗ-2110 с двигателем на бедной смеси показали возможность снижения токсичных выбросов до уровня норм Евро-5 без использования трехкомпонентного нейтрализатора. Аналогичные результаты получены при исследовании ДВС на бензине с добавками водородосодержащего синтез-газа. С учетом КПД ГСГ, составляющего в среднем 80 % (по теплотворной способности исходного продукта и продуктов конверсии), а также расхода топлива через ГСГ КПД ДВС на расчетном режиме составил около 30 %. Выполненные работы позволили провести комплексную оценку эффективности и перспектив использования указанных топлив на автотранспорте.

В табл. 4 приведены экспериментально-расчетные данные по изменению эмиссии CO_2 с учетом изменения КПД ДВС, а также по оценке увеличения затрат на один автомобиль при различных способах снижения эмиссии CO_2 . Приведенный анализ показывает возможность снижения эмиссии CO_2 до 140 г/км путем повышения КПД бензиновых ДВС при работе на стехиометрической смеси, использования дизелей и замены бензина на природный газ.

Выполнение нормы 120 г/км по эмиссии CO_2 при небольшом удорожании автомобиля обес-

печивает процесс сгорания бедной гомогенной смеси с использованием синтез-газа или водорода, нормы 90 г/км – при работе ДВС на смеси углеводородных топлив с водородом. Нулевую эмиссию CO_2 при повышении КПД энергоустановки (в среднем до 45–50 %) могли бы обеспечить энергоустановки, работающие на водороде. Однако для создания инфраструктуры по их производству, получению и доставке водорода потребителям необходимы значительные финансовые ресурсы и время. В этой ситуации поэтапная модернизация традиционных ДВС для работы на смесях жидкого или газообразного топлива с водородосодержащим синтез-газом, водородом и затем на водороде позволит с наименьшими затратами времени и финансовых средств решить актуальные проблемы энергосбережения, снизить негативное влияние на окружающую среду и зависимость от невозобновляемых видов топлива, осуществить переход на водородную энергетику. Выполненные работы позволили сформулировать концепцию поэтапного перехода к использованию на транспорте альтернативных топлив (в конечном счете водорода) наиболее эффективным, по мнению авторов, путем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Директива Еврокомиссии 93/116 ЕС.
- 2 Директива Еврокомиссии 1999/125 ЕС.
- 3 Директива Европарламента 98/70 ЕС.
- 4 Директива Еврокомиссии 98/69 ЕС, 2003/76 ЕС.
- 5 Директива Еврокомиссии 2003/76 ЕС.
- 6 *SAE Pap.*, 750027 (1975) 1.