

## Специальность «Энергомашиностроение»

Д.А. Канчерова, Д.Д. Шагизданова /  
*D. Kancherova, D. Shagizdanova*

### Преобразование дизельного топлива и природного газа для двигателей большой мощности

### THE CONVERSION DIESEL TO NATURAL GAS FOR HEAVY-DUTY ENGINES

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, природный газ, давление, отработавшие газы, токсичность, газовый баллон, конвертация.

**Key words:** dual-fuel, natural gas, diesel engine, heavy-duty, transient, particle matter, CO<sub>2</sub>.

The use of natural gas (NG) can be favorable to decreasing or miti-gating CO<sub>2</sub> emissions and has potential for reducing toxic exhaust specific emissions such as smoke and particulate materials. Diesel to NG engine conversion can be total or partially performed. In the case of total conversion, the combustion system is changed in order to work from diesel to otto-cycle. This conversion can include several modifications such as changing the combustion chamber in order to obtain a new compression ratio and introducing spark plugs. In the case of partial engine conversion heavy-duty dual fuel (HDDF) engine is used. A HDDF engine is conceived to simultaneously operate with diesel fuel and a gaseous fuel, both fuels being metered separately, where the consumed amount of one of the fuels relative to the other one may vary depending on the operation.

Two types of technology are considered according to the way of gas injection: High Pressure Direct Injection (HPDI) and the Homogeneous Gas Charge Injection (HGCI). In the first one diesel and NG are injected directly into the combustion chamber at higher injection pressure using a special injector with a

dualconcentric needle design or by using two separate injectors. The major advantages of this type of HDDF engines are that there is no limitation by knocking at high loads, their Unburned Hydrocarbons emissions are low and they can replace more than 90 % of the diesel fuel (by energy). The main disadvantages for this kind of technology are the introduction of the new injection system which can lead to some important engine cylinder head modifications for retrofitted engines.

In the case of HGCI, gaseous fuel is injected into the intake line of the engine and premixed with air or exhaust gas recirculation during the intake and compression stroke. Ignition of the charge is managed by injection and auto ignition of diesel fuel using the original injection system of the baseline engine. The most important advantages of this technology are the simplified engine control with no direct communication with original equipment manufacturer, the non-intrusive technical modifications in the engine structure, the fact that it can be used with compressed natural gas and liquefied natural gas indistinctively. The main disadvantages of HGCI technology are that the upper load range is typically limited by knocking, higher CO and Unburned Hydrocarbons emissions which lead to using methane catalyst in the exhaust pipeline and that the transient response of the engine could deteriorate as substitution rates increase especially during transient operation.

Nowadays there is significant interest in converting diesel to NG for heavy-duty engines used in commercial vehicle applications due to the growing availability of NG in Europe which opens the way to using it in long-distance transport.

\*\*\*

Существует два основных аспекта целесообразности перевода дизельного двигателя на газовое топливо (на примере грузового автотранспорта).

Первый аспект – это экономический. Из-за разности стоимости дизельного и газового топлив переводить дизельный двигатель на газ выгодно. Например, на середину апреля 2014 г. стоимость 1 литра дизтоплива в Московском регионе составляла примерно 33,66 руб., стоимость 1 литра пропан-бутана составляла 13,5–15,8 руб., стоимость 1 м<sup>3</sup> метана составляла 11,5 руб.

Вторым аспектом является уменьшение токсичности выхлопных газов при переводе дизеля на газовое топливо. Особенно уменьшается дымность выхлопа и содержание твердых частиц (сажи).

На практике используются два принципиально различающихся способа перевода дизельных двигателей на питание газовым топливом:

1. Конвертация дизельного двигателя в двигатель внутреннего сгорания с воспламенением газозвдушной смеси от искры (полное замещение топлива).

Данный способ достаточно радикальный и связан со значительным изменением конструкции базового двигателя. При этом с двигателя демонтируют дизельную топливную аппаратуру, уменьшают степень сжатия до 11–14 единиц, устанавливают систему зажигания, топливоподающую газовую систему и газовые баллоны. В результате двигатель работает на газовом топливе, которое имеет стоимость ниже, чем дизельное топливо. Экологические параметры отработавших газов конвертированного дизеля, как правило, выше исходного двигателя, мощностные параметры находятся на одном уровне с базовым двигателем.

После выполнения конвертации двигатель уже не может больше работать на дизельном топливе, обратная операция практически невозможна.

2. Использование газодизельного режима. В газодизельном режиме в двигатель подают два топлива – основное дизельное (но в меньшем количестве, чем в базовом), дополнительное – газовое (топливо для замещения). При этом основное дизельное топливо играет роль «запальной» дозы для воспламенения интегральной газозоудшной топливной смеси. Степень замещения дополнительным топливом зависит от нескольких факторов, в основном от типа газового топлива (метан или пропан), совершенства устанавливаемой дополнительной газотопливной аппаратуры и базовой дизельной аппаратуры. Очень важным моментом при использовании газодизельного режима является тот факт, что возможен переход на исходный дизельный режим в любой момент времени, как правило, переключатель режима находится в кабине водителя.

Изменяются ли характеристики двигателя в газодизельном режиме?

Основные характеристики двигателя (мощность, максимальный момент, кривая зависимости момента от оборотов двигателя, шумность, температура выхлопных газов) в газодизельном режиме существенно зависят от процента замещения дизельного топлива газовым и могут быть как выше, так и ниже значений достигаемых при работе только на дизельном топливе.

При рекомендуемых средних значениях замещения дизельного топлива газовым (50 % для дизелей с механической системой управления впрыском и 60 % для дизелей с электронной системой управления впрыском) основные характеристики двигателя НЕ ИЗМЕНЯТСЯ.

Возможно, как увеличить мощность двигателя в газодизельном режиме на 10–20 %, так и уменьшить ее на 10–20%. При этом соответственно ухудшится и улучшится коэффициент замещения дизельного топлива газовым. Из-за возможных проблем с охлаждением двигателя рекомендуется осторожно подходить к вопросу увеличения его мощности в газодизельном режиме.

В газодизельном режиме обычно используют пропан или метан для замещения. У каждого вида из этих газовых топлив есть свои достоинства и недостатки.

Использование пропана, точнее смеси пропана и бутана (СНГ или СУГ), позволяет получить следующие преимущества:

- Распространенность и доступность газовых заправок.
- Большой пробег на одной заправке, так как газовое топливо хранится на борту автомобиля в сжиженном виде.
- Газовый баллон (баллоны) не требуют много места на борту, серийно выпускаются и имеют низкую стоимость (от 1 до 2 USD за 1 литр объема).
- Относительно низкая стоимость комплекта газобаллонного оборудования и невысокие первоначальные затраты на переоборудование автомобиля, быстрая окупаемость первоначальных затрат.
- Универсальность комплекта для дооборудования; в большинстве случаев не требуется переделка ТНВД.

К недостатку от использования СНГ для газодизельного режима можно отнести финансовую эффективность от экономии (после окончания периода окупаемости первоначальных затрат), которая находится на невысоком уровне и составляет от 11 % до 16 % в расчете от предыдущих затрат на дизельное топливо.

Использование метана для замещения может быть реализовано двумя способами, отличающимися видом хранения газа на борту автотранспортного средства.

*В первом случае* метан (КПГ) хранится в сжатом виде в специальных баллонах высокого давления (давление до 200 кг/см<sup>2</sup>), при этом возможно получить следующее преимущество:

самая высокая финансовая эффективность от экономии (после окончания периода окупаемости первоначальных затрат), составляющая от 35 до 55 % в расчете от предыдущих затрат на дизельное топливо.

Изучая успешный опыт таких стран, как Аргентина, Бразилия, Италия по переводу автомобильного транспорта на компримированный природный газ (КПГ), приходят к выводу, что слабые темпы внедрения КПГ на автомобильном транспорте в России связаны с недостаточным количеством автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). Общее количество крупных АГНКС в России не превышает 200 единиц, тогда как, например, в Аргентине существует 1300 заправочных станций, расположенных в 255 городах, а количество транспортных средств, работающих на КПГ, составляет 1 млн. 500 тыс. единиц. Однако в Аргентине не успокаиваются на достигнутом уровне и прогнозируют, что к 2006 году парк автомобилей, работающих на КПГ, достигнет 2 млн. единиц. Для использования природного газа в автомобильном транспорте в Аргентине созданы более 1500 постпродажных мастерских, которые ежемесячно переводят до тысячи автомобилей на КПГ. Учитывая постоянный растущий спрос на газомоторное топливо, в настоящее время ведутся разработки по использованию СПГ и созданию небольших установок по его производству.

В достаточно большом объеме КПГ в качестве газомоторного топлива применяется в Италии. При этом для повышения пробега автомобильного транспорта за одну

заправку, там повышают давление газа в баллонах с 20,0 МПа до 32,0 МПа, что позволяет в 1,6 раза увеличить пробег автомобиля за одну заправку.

Французский производитель авиационной техники Россия, располагая даже сравнительно небольшим количеством АГНКС, не полностью использует созданные производственные мощности. Так, например, по данным "Мосавтогаз" в эксплуатации находится 20 АГНКС с общей проектной мощностью 186,8 млн.  $\text{нм}^3$  сжатого газа в год. Потребление же КПГ не только далеко отстает от проектной мощности, но и снизилось с 36,2 млн.  $\text{нм}^3$  в 1991 г. до 1,9 млн.  $\text{нм}^3$  в 1998 г., при этом использование проектной мощности снизилось с 21,2 % до 1,0 % [1]. В настоящее время использование производственных мощностей АГНКС возросло до 10–18,0 %, но не достигло своего предыдущего уровня, хотя и он был явно недостаточным для возросшего парка автомобильного транспорта.

К недостаткам от использования КПГ для газодизельного режима можно отнести:

- Нераспространенность сети заправок, привязанность маршрута движения автомобиля к определенной заправке (АГНКС).
- Высокие временные затраты на заправку баллонов КПГ выше.
- Относительно небольшой пробег на одной заправке, так как газ хранится в баллонах в сжатом виде, поэтому масса заправленного топлива невелика.
- Газовый баллон (баллоны) требуют много места на борту, а их суммарная масса уменьшает грузоподъемность автомобиля.
- Газовый баллон (баллоны) выпускаются ограниченными партиями (под заказ), имеют высокую стоимость (от 7 до 10 USD за 1 литр объема).

- Отсутствует универсальность комплекта для дооборудования, требуется переделка ТНВД.
- Относительно высокая стоимость комплекта оборудования и высокие первоначальные затраты, увеличивающие период окупаемости.

*Во втором случае* метан (СПГ) хранится в сжиженном виде в специальном криогенном баллоне (давление до 1–6 кг/см<sup>2</sup>, температура около минус 155° С), при этом возможно получить следующие преимущества:

- 1) относительно высокую финансовую эффективность от экономии (после окончания периода окупаемости первоначальных затрат), составляющую от 20 до 30 % в расчете от предыдущих затрат на дизельное топливо;
- 2) большой пробег на одной заправке, так как газовое топливо хранится на борту автомобиля в сжиженном виде;
- 3) газовый баллон (баллоны) не требуют много места на борту.
- 4) Стоимость комплекта газобаллонного оборудования ниже стоимости в варианте, что уменьшает первоначальные затраты на переоборудование автомобиля.

К недостаткам от использования СПГ для газодизельного режима можно отнести:

- 1) практически полное отсутствие сети заправок, привязанность маршрута движения автомобиля к определенной заправке (В Московском регионе одна заправка);
- 2) газовые криогенные баллоны выпускаются в виде опытных образцов (под заказ), имеют самую высокую стоимость (от 10 до 20 USD за 1 литр объема);
- 3) отсутствует универсальность комплекта для дооборудования, требуется переделка ТНВД;
- 4) при длительной стоянке автомобиля без расхода топлива возможен запланированный периодический сброс газообразной фазы из криобаллона для предотвращения



резкого повышения давления. Данный фактор накладывает ограничения на парковку автомобиля и требует особых мер по отслеживанию остатков топлива в криобаке.

В связи с тем, что на сегодняшний момент технология получения, заправки и хранения на борту автомобиля сжиженного природного газа в России находится на этапе испытаний опытных образцов, практическое использование данного вида топлива пока затруднено, но является наиболее перспективным.

#### ***Список использованных источников***

1. *Алексеев В.П., Воронин В.Ф.* Учебник для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.: ил.
2. *BARROSO, P., et al.* Study of dual-fuel (diesel + natural gas) particle matter and CO<sub>2</sub> emissions of a heavy-duty diesel engine during transient operation. *Combustion Engines*. 2013, 153(2), 3–11. ISSN 0138-0346.
3. <http://www.dieselfgas.ru/theory/>