

## Проблемы и перспективы применения газомоторных топлив на транспорте

С. В. Беляев<sup>1</sup>  
Г. А. Давыдков

*Петрозаводский государственный университет*

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена проблеме поиска альтернативных топлив для транспорта, отвечающим экологическим требованиям. Среди таких топлив особое внимание в последнее время уделяется газообразным топливам – пропан-бутановым смесям и природному газу. Дается анализ их применения в современных автомобилях.

**Ключевые слова:** *альтернативные топлива, пропан-бутановые смеси, нефтяной сжиженный газ, автогаз, природный газ.*

### SUMMARY

Liquefied petroleum gas (LPG) and compressed natural gas (CNG) represent a mature, low – cost option for reducing reliance on petroleum transportation fuels and can offer reductions in emissions of regulated air pollutants, air toxics, and greenhouse gases relative gasoline.

**Keywords:** *alternative fuels, liquefied gas, compressed natural gas, avtogas.*

### ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что значительная часть мирового энергопотребления приходится на транспорт, прежде всего автомобильный. Боле 800 миллионов автомобилей насчитывает мировой парк, на долю которого приходится почти половина всех вредных выбросов в атмосферу, а в крупных городах до 85–90 %.

Очевидно, что индивидуальный автомобиль по-прежнему будет оставаться основным видом личного транспорта. Это же справедливо и для России. Можно ожидать некоторого увеличения использования автобусов, рельсового транспорта и, возможно, некоторых других видов общественного транспорта, но создание легковых и грузовых автомобилей с высокими показателями топливной экономичности, в свою очередь, может послужить причиной существенного снижения заинтересованности в развитии указанных видов общественного транспорта. Кроме того, свобода, предоставляемая личным автомобилем, будет, по-видимому, продолжать оставаться важным элементом жизни нашего общества.

Предполагается, что в Российской Федерации к 2020 году только количество личных автомобилей возра-

стет в 2–2,5 раза и составит 20–25 единиц на 100 человек населения.

Рост автопарка выявил ряд проблем в его использовании. Вопросы надежного снабжения энергией, контроля за вредными выбросами и парниковыми газами вышли на передний план.

Потребность в чистом воздухе, чистой воде, экологически чистых источниках энергии, биоразлагающихся и возобновляемых, становится актуальной не только для промышленно развитых регионов и стран, но и для России. В конечном счете, решение данных проблем может привести к более активному использованию возобновляемых источников энергии. Актуальным становится и вопрос диверсификации энергоносителей для транспорта.

Очевидно также, что решение многих проблем возможно только через развитие и внедрение энергосберегающих и экологически чистых транспортных технологий и применение экологически чистых топлив. Сейчас практически в каждой промышленно развитой стране проводятся значительные исследовательские работы производителей и научных организаций в области создания наиболее оптимальных с точки зрения экологичности, высокой эффективности, низких издержек производства и значительных запасов новых видов моторных топлив.

В США, Европе, Японии и других странах развернулись масштабные работы по исследованию применения водорода в качестве моторного топлива. Также исследуются биогаз, синтез-газ, метанол, диметил эфир и другие виды топлива. Но на сегодняшний день ни один из вышеперечисленных видов, по тем или иным соображениям, прежде всего по экономическим, не может составить конкуренцию традиционному топливу.

В наше время с точки зрения улучшения экологической ситуации в городах при минимальных финансовых затратах очевидно, что только газомоторные топлива могут стать реальной альтернативой жидким нефтяным топливам.

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА

В качестве альтернативных топлив сегодня признаются следующие:

- природные газы,
- электроэнергия,
- этанол,
- биодизель,
- водород.

Среди альтернативных топлив биотоплива (этанол, биодизель) имеют высокий потенциал для коммерциализации и широкого применения на транспорте.

В России есть огромный потенциал применения газовых топлив не в полной степени адекватно оцененный и реализованный, хотя еще в 80-е годы прошлого столетия в СССР началась масштабная программа по

<sup>1</sup> Авторы – соответственно доценты кафедры тяговых машин.

газификации автотранспорта. Речь, прежде всего, идет о природном газе. Именно он считается на сегодня наиболее приоритетным доступным экологически чистым альтернативным топливом. Запасы природного газа в России достаточно велики [2, 5, 10], поэтому этот газ и продукты его переработки могут более активно применяться на автомобильном транспорте и в перспективе составить конкуренцию жидкому нефтяному топливу. В настоящее время продолжают интенсивные исследования, основная цель которых – максимально приблизиться по важнейшим эксплуатационным характеристикам к нефтяным топливам. Пока же некоторые газомоторные топлива (сжатый природный газ) по энергетической плотности не выдерживают конкуренцию с традиционными. В частности, энергосодержание сжатого природного газа составляет всего 25 % по сравнению с бензином, а пропан-бутановых смесей и сжиженного природного газа – 66 %.

### ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Интерес к применению газообразных топлив был высок во все времена. Промышленное производство газа было организовано в конце XVIII – начале XIX века, когда независимо друг от друга во Франции (Ф. Лебон) и в Австрии (Г. Мердак) применили газ, получивший затем название «светильный», для освещения улиц, а также жилых и фабричных зданий (светильный или городской газ получали пиролизом различных фракций нефти) [12]. В 1801 году Ф. Лебон предложил использовать светильный газ, а в 1861 году француз Ж. Ленуар стал использовать его в качестве топлива для появившихся в те годы двигателей внутреннего сгорания. Газ хранился при атмосферном давлении.

Первые попытки компримирования (сжатия) светильного газа были предприняты в 1856 году, во Франции, а в 1872 году там же светильный газ попытались использовать на транспорте в ДВС. Однако технические средства были тогда весьма несовершенными. Эти работы возродились в 1915–1916 годах тогда на транспорте стал использоваться не только светильный, но и природный газ. Систематические и достаточно широкие работы по переводу автотранспорта на компримированный газ развернулись после 1925 года, многочисленные опыты дали такие положительные результаты, что вскоре в европейских странах начали крупносерийное производство газобаллонных автомобилей и строительство газонаполнительных станций, где газ сжимали до 20 МПа и подавали в баллоны, установленные на автомобилях.

В этот период компримированный газ стал использоваться в качестве автомобильного топлива во Франции, в Германии, Дании, Румынии, Югославии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Италии. Наибольших успехов добились в Италии, где использовали в основном природный газ (в 1940 году – около 50 млн м<sup>3</sup>) для питания грузовых автомобилей и автобусов.

В послевоенный период в Италии большое число автомобилей было оснащено сменными баллонами,

т. е. на станциях осуществлялась не заправка, а замена баллонов.

Необходимо отметить, что основная масса бензина, выпускавшегося в 30–40-х годах в европейских странах, имела октановое число 60–70 единиц. Поэтому использование светильного и природного газа с октановым числом выше 80 единиц давало возможность существенно форсировать двигатели.

Интерес к использованию природного газа на транспорте резко возрос в период мирового энергетического кризиса семидесятых годов. На сегодняшний день наибольшее распространение автомобили, работающие на газе, получили в таких европейских странах, как Италия, Голландия, Франция, Польша.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОМОТОРНЫХ ТОПЛИВАХ

Для быстрого и качественного сгорания в двигателях с внешним смесеобразованием необходимо топливо, легко образующее с воздухом гомогенные (однородные) смеси, обладающие высокими антидетонационными свойствами. Это обеспечивает полное сгорание топлива, особенно на режимах холостого хода и частичных нагрузок и экологическую чистоту продуктов сгорания, что является чрезвычайно важным для автомобилей, работающих в условиях любого современного российского города. При использовании газомоторного топлива (ГМТ) отработавшие газы практически не содержат твердых веществ (сажи и пыли), а также окислов серы, гораздо меньше содержат оксида углерода (угарного газа) и несгоревших углеводородов (СН). Поэтому ГМТ – один из наиболее совершенных видов топлив, с экологической точки зрения.

Основными компонентами углеводородных газообразных топлив – природного газа, нефтяного газа, сжиженного газа, коксового газа – являются метан, пропан, бутан, этан, а также примеси углеводородов парафинового ряда.

Энергетические свойства моторного топлива определяются следующими основными показателями: октановым числом, массовой удельной теплотой сгорания, стехиометрическим соотношением (количеством воздуха, необходимого для полного сгорания единицы массы топлива), объемной теплотой сгорания стехиометрической топливно-воздушной смеси, отношение содержания водорода к углероду (H/C). Основные энергетические свойства ГМТ представлены в таблицах 1 и 2.

Из данных таблиц 1 и 2 следует, что газовое топливо, превосходя бензин по октановому числу и удельной теплоте сгорания, несколько уступает ему по теплоте сгорания стехиометрической смеси. Это приводит к некоторому снижению эксплуатационных характеристик бензиновых двигателей автомобилей (мощность уменьшается на 6–8 %), переоборудованных на использование газового топлива.

Таблица 1  
Энергетические свойства моторных топлив

Показатели	Бензин	ГНС	КПГ
Октановое число по исследовательскому методу	76–98	102–112	110–125
Теплота сгорания, низшая, кДж/кг	44 000	46 000	48 500
Стехиометрическое отношение, кг воздуха/кг топлива	1:15	1:16	1:17
Теплота сгорания стехиометрической смеси (объемная, при нормальных условиях), кДж/м <sup>3</sup>	3600	3570	3500

Таблица 2  
Молекулярные отношения  
водород – углерод моторных топлив

Топливо	Химическая формула	Отношение Н/С
Метан	CH <sub>4</sub>	4,0
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,7
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2,5
Бензин	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	2,0
Керосин	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1,9
Дизельное топливо	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1,8
Мазут	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1,7
Спирт	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> O	2,0

В качестве газообразных топлив наибольшее распространение получили:

- газ нефтяной сжиженный (ГНС) – пропан-бутановая смесь;
- компримированный (сжатый) природный газ (КПГ) – метан.

На сегодняшний день для городского транспорта более предпочтителен сжиженный нефтяной газ (ГНС). Однако возрастает интерес к применению сжиженного природного газа, запасы которого на порядок больше.

Основными компонентами ГНС являются пропан C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и бутан C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>. Получают эти углеводороды из газов, выходящих из буровых скважин вместе с нефтью и из газообразных фракций, получаемых при различных видах переработки нефтепродуктов и каменных углей.

Пропан и бутан имеют высокую критическую температуру (+96,8 °С – пропан, +152,9 °С – бутан). Таким образом, при +20 °С пропан сжижается при 0,716, а бутан – при 0,103 МПа. Поэтому компоненты ГНС – бутан и пропан – могут храниться в сжиженном состоянии при температуре -40...+45 °С при давлении 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>).

В России в соответствии с ГОСТ 27578-87 «Газы углеводородные сжиженные для автомобильного

транспорта» в качестве топлива для мобильных машин используются: ПА – пропан автомобильный (применяются при температуре до -20...-35 °С) и ПБА – пропан-бутан автомобильный (применяют при температуре до -20 °С).

Для более низких температур предусмотрено применение ЭПА – этан-пропана автомобильного по ТУ 38.1011184-89.

Кроме того, используется газ по ГОСТ 20448-90 «Газы углеводородные сжиженные для коммунально-бытового и промышленного потребления». По этому ГОСТу производятся топлива двух марок: смесь пропан-бутановая зимняя (СПБТЗ) и смесь пропан-бутановая летняя (СПБТЛ), с содержанием пропана 75 и 34 % соответственно. Для этих газов предусмотрены более широкие допуски на содержание компонентов, в том числе вредных с точки зрения воздействия на двигатель и топливную аппаратуру (например, серу и ее соединения, непредельные углеводороды и другие).

### БЕЗОПАСНОСТЬ

Наличие в конструкции автомобиля емкости повышенного (среднего для ГНС и высокого для КПГ) давления естественно вызывает опасения у потенциального пользователя. Здесь надо отметить, что автомобильные газовые баллоны имеют многократный запас прочности и должны удовлетворять требованию безосколочного разрушения, проходят целую серию испытаний на устойчивость к разрушению при падении с высоты, простреле из огнестрельного оружия, воздействию экстремальных температур, открытого пламени, агрессивных сред (кислот). Кроме того, как правило, место установки газовых баллонов выбирается из условия статистически реже подверженных деформациям, в случае аварий, участков корпуса автомобиля.

Фирма BMW на основе фактических данных рассчитала, что вероятность повреждения и конструктивного разрушения автомобиля, в зоне расположения баллонов, составляет 1–5 % [4, 5]. Также представляет интерес статистика, накопленная Американской газовой ассоциацией. За период 1999–2000 годы эксплуатируемые 2400 автомобилей, работающие на газовом топливе, имели суммарный пробег 280 млн километров. За это время, с их участием, зафиксировано 1360 столкновений, из них в 180 случаях удар приходился в зону расположения газовых баллонов. При этом не было отмечено ни одного случая повреждения баллонов. В пяти случаях было зарегистрировано воспламенение бензина [13].

Известны случаи воспламенения автомобилей, снабженных газовым оборудованием, но все эти случаи были связаны с грубыми нарушениями правил эксплуатации. Так, например, когда происходило разрушение баллона для сжиженного нефтяного газа, рассчитанного на давление 16 атмосфер, при попытке заправить его природным газом, подаваемым в баллон под давлением свыше 200 атмосфер [4, 5].

### ДОСТОИНСТВА

У автомобилей, переведенных на газовое топливо, проявляется ряд достоинств, которые уже давно известны специалистам [1, 6, 7, 8]. К ним относятся следующие:

1. Сокращение суммарной токсичности выхлопных газов в 1.5–2 раза (для автомобилей, не снабженных системой нейтрализации отработавших газов).
2. Переход автомобиля на газ не требует сложной конструктивной переделки систем управления режимами работы двигателя (кроме случаев установки систем 4- и 5-го поколений ГБО).
3. Относительно невысокая стоимость топлива по сравнению с бензином.
4. Более высокое содержание водорода в газе обеспечивает более полное его сгорание, что способствует уменьшению смолистых отложений и нагарообразования на свечах.
5. Комбинированная система питания «газ плюс бензин» увеличивает автономность автомобиля.
6. Современное газобаллонное оборудование компактно, т. е. практически не уменьшает объем багажного отделения или не вызывает трудностей со своим монтажом в пределах объемов автомобиля (грузового, подкапотного и др.).
7. Газомоторное топливо не содержит примесей вредных как для двигателя, так и для каталитических конверторов нейтрализации отработавших газов.
8. Уменьшается уровень шума работающего двигателя на 2–3 dB.

### НЕДОСТАТКИ

Автомобили, переведенные на газ, имеют ряд недостатков:

1. Установка ГБО 4, 4+ и пятого поколения связана с весьма серьезным вмешательством в электрическую схему управления двигателем, что требует высокой квалификации как от разработчиков систем (умение согласовать режимы работы штатного ЭБУ двигателя с режимами работы ЭБУ ГБО), так и его установщиков.
2. Снижение мощности двигателя на 6–8 %.
3. Затруднения с пуском холодного двигателя (при температурах ниже +10...+15 °С).
4. Увеличение расхода потребляемого газа в литрах по сравнению с бензином на 7–10 %.
5. Увеличение металлоемкости автомобиля на 30–40 кг (не существенно для легких грузовиков, грузовых автомобилей и автобусов).
6. Наличие не выработанного топлива в топливной рампе и топливных форсунках, современных системах питания бензиновых ДВС (Евро 2 и выше) ведет к их засорению продуктами окисления топлива, что негативно влияет на пусковые качества двигателей и их тягово-экономические показатели при работе на бензине.

### ВЫВОДЫ

1. Газомоторные топлива являются проверенными практикой энергоносителями, имеющими высокий потенциал экологической чистоты.
2. Из них, в настоящее время и в краткосрочной перспективе, приоритетными можно считать пропан-

бутановые смеси (автогаз), которые по энергетическим показателям приближаются к традиционным нефтяным топливам (бензину).

3. Проблемы, которые еще встречаются при применении газового топлива, вполне решаемы некоторыми изменениями конструкции ДВС.
4. Спрос на газовые топлива будет определяться разрывом между ценой на газообразные и жидкие виды топлив.
5. В перспективе можно ожидать более активное применение сжиженного природного газа, запасы которого значительно превосходят запасы любого другого газового топлива.
6. Расширение применения газомоторных топлив повышает энергобезопасность и диверсификацию энергоносителей для транспорта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов В. В. Токсичность ДВС: Учебное пособие / В. В. Горбунов, Н. Н. Патрахальцев. М.: РУДИ, 1998. 214 с.
2. Брюханов О. Н. Природные и искусственные газы: Учебник / О. Н. Брюханов, В. А. Жила. М.: Издательский центр Академия, 2004. 208 с.
3. Виноградова О. С. Альтернативные источники энергии. Потребление энергии // За рулем. 2000. № 11. С. 12.
4. Васильев Ю. Н. Газозаправка транспорта / Ю. Н. Васильев, А. И. Гриценко, К. Ю. Чириков. М.: Недра, 1995. 445 с.
5. Боксерман Ю. И. Перевод транспорта на газовое моторное топливо / Ю. И. Боксерман, Я. С. Мкртычан, К. Ю. Чирков. М.: Недра, 1988. 224 с.
6. Кудряш А. П. Природный газ в двигателях. Киев, 1990. 143 с.
7. Беляев С. В. Топлива для современных и перспективных автомобилей: Учебное пособие / С. В. Беляев, В. В. Беляев; ПетрГУ им. О. В. Куусинена. Петрозаводск, 2005. 236 с.
8. Терентьев Г. А. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов: Учебное пособие / Г. А. Терентьев, В. М. Трюков, Ф. В. Смаль. М.: Химия, 1989. 272 с.
9. Шкаликова В. П. Применение нетрадиционных топлив в дизелях: Учебное пособие / В. П. Шкаликова, Н. Н. Патрахальцев. М.: Университет дружбы народов, 1986. 55 с.
10. Гайнуллин Ф. Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте. М.: МИР, 1986. 254 с.
11. Галуша А. Н. Перспективы динамики мирового топливно-энергетического баланса // Энергосбережение. 2005. № 3. С. 64–68.
12. <http://www.n-org/tp/ie/gas.htm>
13. Threse Langer and Daniel Williams. Grenner Fleets: Fuel Economy Progress and Prospects Report. Number T024. December 2002. 26 p.