

УДК 621.642:661.9

**Анализ конструкций криогенных
топливных баков для транспортных средств
и пути решения проблем внедрения СПГ
в качестве моторного топлива**

The article deals with main reasons for restrained use of liquefied natural gas (LNG) as a motor fuel. The advantages of LNG over the commonly used types of fuel in terms of safety are shown. Main principles of construction of cryogenic motor tanks are discussed; technical solutions offering elimination of the reasons for restrained use of LNG are proposed. In particular, it is proposed to replace an expensive thermal shielding vacuum insulation with the foam plastic one; completely abandon an external cryogenic motor tank casing and raise the pressure inside the tank. The LNG vessel is proposed to be made of several standard modules each having the diameter less than in the commonly used ones, which offers to make it flat. The tank becomes less expensive in manufacture, lighter in weight and more safe in operation.

В последние годы публикуется много материалов о преимуществах, проблемах и перспективах использования сжиженного природного газа (СПГ) в народном хозяйстве и на автотранспорте в частности [3, 4, 8, 13].

Тем не менее практическая реализация СПГ-проектов идет в России очень низкими темпами и в основном в рамках локальных проектов в регионах [3, 4, 12], а до использования СПГ на автотранспорте дело практически не дошло. И главными причинами этого являются не столько отсутствие соответствующей инфраструктуры по обеспечению заправок автомобилей СПГ, сколько недоверие к криогенному топливу с точки зрения его безопасности при эксплуатации, высокая стоимость криогенного автобака и невозможность поездки на СПГ после длительной стоянки автомобиля из-за полного испарения.

Что касается инфраструктуры, то практически многие технические проблемы по ее созданию решены, а нерешенные – решаемы: разработаны и успешно эксплуатируются установки по сжижению метана, автотранспортировщики СПГ и криогенные хранилища, заправочные колонки и пр. [9, 14].

При решении вышеуказанных проблем, и будучи уверенными в реальной перспективности СПГ как моторного топлива, менеджеры топливного бизнеса создадут необходимую инфраструктуру в относительно короткие сроки (3 – 5 лет).

Использование во многих регионах России [11] в качестве моторного топлива компримированного природного газа (КПГ) можно рассматривать как позитивный, но лишь промежуточный шаг. Отрабатываются топливные системы автомобилей, накапливается опыт

эксплуатации метанового оборудования для автотранспорта, формируется инфраструктура для природного газа и т. д.

Однако такие недостатки КПГ [5], как низкая относительная масса топлива (отношение массы топлива к массе бака составляет 10 – 20 %), низкая дальность пробега от одной заправки и др., обусловливают необходимость следующего шага – перевода автотранспорта на СПГ.

В данной статье мы не будем касаться вопросов экологии. По этому показателю преимущества метана как моторного топлива настолько очевидны, что будь у нас другая экономическая ситуация, можно было бы переводить (и немедленно) весь автотранспорт на СПГ, не обращая внимания на остальные проблемы, чтобы спасти здоровье жителей городов.

Основные виды моторного топлива сегодня – это бензин, дизельное топливо, сжиженный углеводородный газ – СУГ (пропан-бутановые смеси) и, в меньшей мере, КПГ.

Основные конструктивные признаки существующих сегодня автомобильных баков представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, чрезвычайно малой безопасностью обладают топливные баки для бензина и дизельного топлива. Тонкая, легкоразрушающаяся при аварии стальная оболочка – вот и вся защита. Положение усу-

губляется наличием в баке воздуха – кислородсодержащей смеси с парами бензина, которая обладает низкой температурой самовоспламенения 190...230 °С и практически полным совпадением по времени (при аварии) момента разрушения автобака и образования искры при ударе.

Более безопасен при авариях автобак для СУГ, так как его стенка значительно толще и прочнее, чем у бензиновых баков. Но при этом СУГ обладает существенным недостатком – его пары более чем вдвое тяжелее воздуха. В связи с этим при появлении утечек в топливной системе автомобиля пары пропана и бутана накапливаются в смотровых ямах гаражей, подвалах, подвалах и т. п., а при появлении искры неминуем взрыв, неизбежны и человеческие жертвы. Конечно, можно говорить об очень малой вероятности таких случаев, однако для пострадавшей стороны она составляет 100 %.

Баки для КПГ по безопасности близки к бакам для СУГ, хотя толщина стенок баков для КПГ существенно выше, но это преимущество «компенсируется» таким недостатком, как очень высокое давление в баллоне, что само по себе потенциально опасно, так как баллон с газом высокого давления при аварии может превратиться в бомбу.

По безопасности баки для СПГ на порядок выше всех

Таблица 1.

Основные конструктивные признаки автомобильных баков

Вид топлива	Количество стенок	Толщина стенок, мм	Материал стенки	Давление, МПа	Температура в баке, °С
Бензин	1	0,8 – 1,5	Сталь	Атмосферное	Окружающей среды
Дизельное топливо	1	0,8 – 1,5	>>	>>	>>
СУГ	1	3 – 5	>>	1,6	>>
КПГ	1	8 – 15	Металлопластик	25,0	>>
СПГ	2	3 – 5	Сталь, алюминиевый сплав	0,5 – 0,6	-160

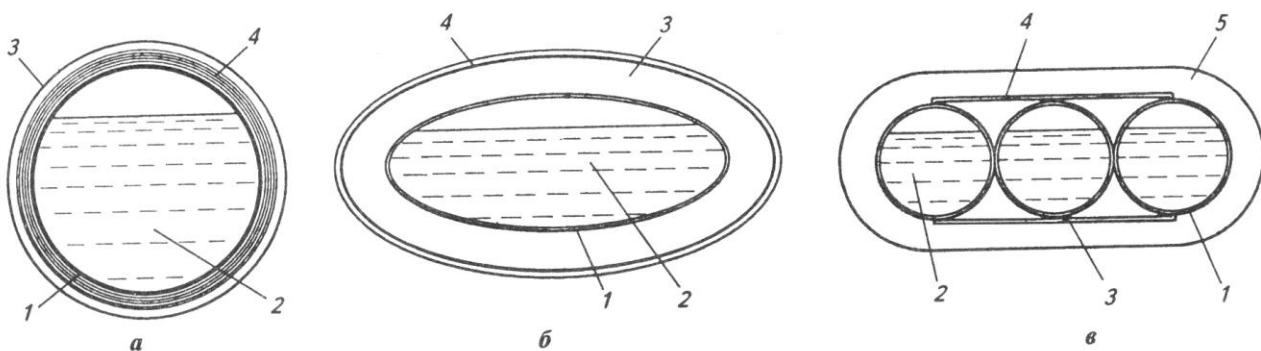


Рис. 1. Конструкция автомобильных баков для СПГ:

a – с экранно-вакуумной теплоизоляцией: 1 – внутренний сосуд; 2 – СПГ; 3 – наружный металлический кожух; 4 – экранно-вакуумная теплоизоляция; б – с комбинированной теплоизоляцией: 1 – внутренний контейнер; 2 – СПГ; 3 – основная теплоизоляция из пенополиуретана; 4 – дополнительная теплоизоляция из стеклопластика; в – «кассетного» типа с пенополиуретановой теплоизоляцией: 1 – внутренний сосуд - «кассета»; 2 – СПГ; 3 – жидкостный коллектор; 4 – газовый коллектор; 5 – пенополиуретановая теплоизоляция

рассматриваемых баков, так как они имеют целый ряд степеней защиты. В случае аварийной ситуации необходимо:

- разрушить наружную оболочку, теплоизоляцию и стенку внутренней емкости под СПГ;
- испарившийся метан довести в смеси с воздухом до концентрации воспламенения, которая для метана самая высокая 5...15 % (для дизельного топлива – 1,1...8 %, для бензина – 1,4...7 %), и только после этого при наличии искры возможно воспламенение.

Кроме того, криогенное топливо – жидкость с очень низкой температурой (-160°C), ее необходимо испарять теплом окружающей среды, при этом, вытекая и испаряясь, она охлаждает все предметы ближайшего окружения, чем затрудняет всякое воспламенение (может даже затушить небольшое возгорание).

Метан имеет самую высокую температуру самовоспламенения, равную 542°C , и более чем в два раза легче воздуха, поэтому при небольших утечках в топливной системе он улетучивается через неплотности в гаражах и других помещениях, не накапливаясь до опасных концентраций, что также повышает безопасность его в эксплуатации.

Из вышеперечисленного становится понятно, почему за 20 лет эксплуатации в США карьерных самосвалов, работающих на СПГ, не отмечено ни одной (!) аварии, связанной с СПГ и криогенным баком.

Высокая стоимость криогенных автобаков предопределена их существующей конструкцией – наличием двух, достаточно толстых металлических емкостей с экранно-вакуумной теплоизоляцией (ЭВТИ), размещенной в межстенном пространстве. ЭВТИ относится к

суперизоляциям и обеспечивает значительное время бездренажного хранения топлива (без потерь СПГ в результате испарения).

Но всегда ли нужна такая суперизоляция для автобаков. Для тех же упомянутых карьерных самосвалов, автобусов, такси и других транспортных средств с хорошо отлаженным регламентом работы, когда можно раз в сутки-двойе регулярно заправляться, показатель испаряемости и соответственно время бездренажного хранения становятся второстепенными.

Сегодня в России и странах СНГ созданием криогенных автобаков занимается не так много предприятий. Практически все предлагают отработанные баки с весьма низкой испаряемостью, выполненные по традиционному принципу с ЭВТИ [1, 2, 6].

Наиболее подробно идея создания дешевого автобака с использованием пенопластовой теплоизоляции изложена в [6]. Замена ЭВТИ на простую и надежную в эксплуатации изоляцию на основе пенопластов решает вторую обозначенную проблему стоимости криогенного автобака, которая для баков с ЭВТИ доходит до четырех раз.

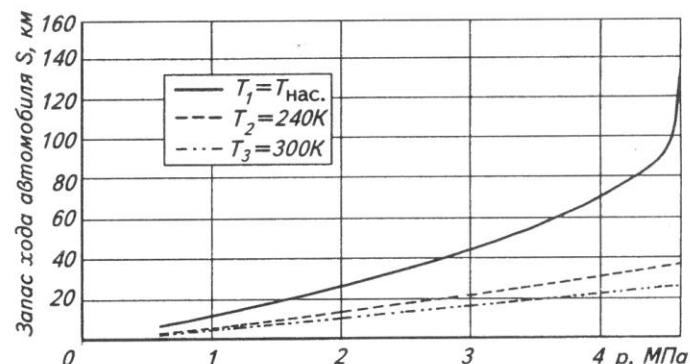


Рис. 2. Запас хода автомобиля «Газель» на остаточном газе для различной температуры в криобаке
(T_3 – температура окружающей среды)

верти цены самого автомобиля. Там же описано принципиальное построение криогенного автобака с внутренней емкостью для СПГ из алюминиевого сплава с комбинированной теплоизоляцией на основе пенопластов и стеклопластиковой наружной оболочки. Стоимость такого автобака в 3 – 6 раз дешевле, чем с ЭВТИ [11]. По нашему мнению, такой прогноз слишком оптимистичен, так как уложиться в среднюю цену предложенного в [6] криобака (для автомобиля «Газель») в 10 тыс. руб. весьма проблематично.

Криогенный автобак «кассетного» типа с пенопластовой изоляцией без наружного кожуха и наружной оболочки представлен в [10]. На рис. 1 схематично изображены различные конструкции автобаков для СПГ. Дробление внутренней емкости на стандартные кассе-

ты (модули) меньшего диаметра (рис. 1,в) [1] позволяет решить также и третью проблему – проблему поездки автомобиля на СПГ после длительной стоянки. Изготовление внутреннего сосуда из набора емкостей «кассет» малого диаметра позволяет легко достигнуть для сосудов с достаточно тонкой стенкой (а значит, более технологичной для изготовления) более высоких рабочих давлений в криогенном автобаке при испарении СПГ и довести его до давления, равного критическому давлению метана – 4,64 МПа.

На рис. 2 представлены расчетные графические зависимости запаса хода $S = f(p)$ для автомобиля «Газель» на остаточном газе в баке (при полном испарении СПГ) для различных температур метана внутри криогенного бака.

Таблица 2.

Технические характеристики криогенных автомобильных баков для СПГ

Характеристика	Разработчик и изготовитель					
	ОАО "Криогенмаш", г. Балашиха [6]	ОАО НПО "Телиймаш", г. Москва [1]	СКТБ ФТИНГ, г. Харьков [2]	"Криогенные технологии", г. Москва [6]	ООО НТК "Криогенная техника" [10]	ООО НТК "Криогенная техника" [10]
Схема автобака	Рис. 1,а	Рис. 1,а	Рис. 1,а	Рис. 1,а	Рис. 1,в	Рис. 1,в
Тип автомобиля	"Газель"	"Газель"	ГАЗ-53	"Газель"	"Газель"	"Газель"
Объем бака, л	90	100	160	100	95	95
Масса топлива, кг	34	38	61	38	38	38
Тип изоляции	ЭВТИ	ЭВТИ	ЭВТИ	ЭВТИ	Пенополиуретан	
Материал бака	Сталь		Алюминиевый сплав			
Время бездренажного хранения топлива, сут	8	5	4	5	1	
Давление в баке, МПа	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	4,5
Пробег автомобиля на оставшемся в баке газе (после длительной стоянки), км	8	4	3	4	4	25
Масса бака, кг: пустого полного	90 124	92 134	83 144	65 103	40 78	65 103
Габариты, мм: длина ширина высота	1200 600 450	1210 500 480	1300 650 650	1100 450 450	1200 760 320	1200 760 320
Удельная стоимость бака, долл./л	18	15	15	14	6	7

В расчете принятая средняя скорость передвижения автомобиля 60 км/ч.

Кассетное исполнение криогенного автобака обладает еще одним существенным преимуществом – позволяет выполнять криогенный бак любых размеров, удобный для компоновки на транспортном средстве, т.е. изготавливать его плоским, вытянутым и т. п. Кроме этого еще более повышается его взрывопожаробезопасность за счет значительного (в несколько раз) уменьшения единичного объема емкости с топливом.

Анализ возможных для использования в криогенных баках типов теплоизоляции и подробная блок-схема методики определения типа изоляции, которая в общем виде приводит все типы изоляции к двум, представлены в [7]: ЭВТИ, вспененные теплоизоляционные пластмассы.

Однако, на наш взгляд, ввиду большой дороговизны, значительной массы, сложности в изготовлении и недостаточной надежности в эксплуатации ЭВТИ вряд ли найдет широкое практическое применение в криогенных автобаках. Таким образом, у всех типов автобаков будет пеноизоляция, причем необязательно пенопластовая, может быть применена изоляция на основе пеностекла, «Фомгласа» и т. п. А типы криогенных баков в этом случае будут отличаться только по давлению:

низкого давления (0,3 – 0,5 МПа), более дешевые, с легкой тонкой стенкой емкости для автомобилей с регулярной заправкой СПГ (автобусные и таксомоторные парки и т. п.);

высокого давления (более 4 МПа) для автомобилей с нерегламентированным режимом работы (с длительными стоянками).

Технические характеристики различных криогенных автобаков приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, удельная стоимость криогенных автобаков с пеноизоляцией существенно ниже, чем с ЭВТИ, а баки низкого давления имеют также значительно меньшую массу. В настоящее время на описанные криогенные автобаки «кассетного» типа разрабатывается рабочая документация для изготовления опытного образца.

Таким образом, созданы предпосылки для устранения причин, препятствующих внедрению СПГ в качестве моторного топлива: обеспечение эксплуатационной надежности и высокой безопасности, создание номенклатуры дешевых баков, близких по удельной стоимости к металлопластиковым бакам для КПГ, возможность относительно длительного пробега автомобиля после сколь угодно длительной его стоянки (что-

бы доехать до ближайшей заправочной станции).

В статье не рассматривались узлы топливной системы автомобиля. Элементы криогенного автобака, о которых здесь не упоминается, – горловина заправки, детали крепления бака к автомобилю и др., хотя и могут существенно отличаться друг от друга по конструктивному исполнению, однако принципиального влияния на основные технические характеристики и его стоимость не оказывают.

Список литературы

1. Амамчян Р. и др. Топливная система грузового автомобиля «Газель», работающего на природном газе, // АГЗК. 2002. № 6.
2. Гаврилов Р.В., Архипов В.Г., Желваков А.Ю. Перспективы применения сжиженного природного газа на Украине // Сб. трудов Международной научно-технической конференции «Проблемы холодильной техники и технологии». – Одесса. 2001.
3. Грэзин А.К. и др. Использование сжиженного природного газа в качестве энергоносителя – задача государственной важности // Холодильная техника. 1999. № 9.
4. Калнинь И. и др. Перспективы производства СПГ в обеспечении АТ и населения Московской области моторным и бытовым топливом // АГЗК. 2002. № 1, 2.
5. Кирилов Н.Г. Концепция создания инфраструктуры производства сжиженного природного газа для городского автомобильного транспорта // Холодильная техника. 2002. № 2.
6. Кирилов Н.Г. Новые технологии в производстве криогенных баков для автотранспорта // АГЗК. 2002. № 5.
7. Кирилов Н.Г. Новые криогенные баки для автомобилей, работающих на сжиженном природном газе // Вестник MAX. 2002. № 3.
8. Мовчан Е.П. и др. Технико-экономический анализ и перспективы использования природного газа на автотранспорте // Сб. докл. технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения». – Омск, 2001.
9. Мовчан Е.П., Попов Л.В. Технологическое оборудование для сжиженного природного газа // Сб. материалов НТС ОАО Газпром «Перспективы и опыт применения СПГ на объектах ОАО Газпром». – М., 2002.
10. Мовчан Е.П. Криогенный бак для транспортного средства, заявка на изобретение № 2002114948/28, приоритет от 05.06.02.
11. Рачевский Б. Что предпочтительней в качестве моторного топлива для автомобилей – сжатый природный газ или сжиженный пропан-бутан // АГЗК. 2002. № 1.
12. Сердюков С., Ходорков И. Инвестиционные проекты газификации объектов теплоэнергетики и транспорта с применением технологии СПГ в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // АГЗК. 2002. № 6.
13. Чириков К. Газомоторное топливо – перспективный резерв топливообеспечения транспорта // АГЗК. 2002. № 1.
14. Эверетт Х. Хилтон Детандерные охижители природного газа // Холодильный бизнес. 2003. № 7.