

УДК 661.9

**Е.П. Мовчан**

ЗАО «Метан Моторс», ул. 13-ая Комсомольская, 1, г. Омск, РФ, 644091

e-mail: Movchan.E@mail.ru

## СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРИБАКОВ ДЛЯ СПГ

*Дается оценка состояния внедрения в России сжиженного природного газа в качестве моторного топлива. Высказана и обоснована идея о необходимости сворачивания в России работ по созданию синтетических топлив и биотоплив для транспортнх средств, для форсирования работ по СПГ за счёт использования высвободившихся ресурсов. Рассмотрены различные конструкции автомобильных криобаков, приведены результаты создания более дешёвых и лёгких баков кассетного типа на базе пенополиуретановой теплоизоляции. Для оценки качества криогенных баков предложен обобщенный комплексный показатель качества, учитывающий относительную массу бака, длительность бездренажного хранения и относительную цену баков.*

**Ключевые слова:** Моторное топливо. Компримированный природный газ. Сжиженный природный газ. Автомобильный криобак. Бездренажное хранение. Удельная масса. Удельная цена. Экранно-вакуумная теплоизоляция. Пенополиуретановая теплоизоляция.

**Е.П. Мовчан**

## CREATION OF EFFECTIVE AUTOMOBILE FUEL TANKS FOR LNG

*The estimation of application in Russia liquefied natural gas as motor fuel condition is given. The idea about necessity curtailment developments of vehicle synthetic and bio-fuels in Russia, for use of the liberated resources on speeding up of works on CNG is stated and proved. Various designs of automobile fuel tanks are considered and the results of cheaper and lighter cassette type of automobile fuel tanks based on polyurethane foam heat-insulation creation are given. The generalized complex quality indicator that considering relative mass of automobile fuel tank, fuel tank hold time and relative price of fuel tank is offered for estimation of cryogenic fuel tanks quality.*

**Keywords:** Motor fuel. Compressed natural gas (CNG). Liquefied natural gas (LNG). Automobile fuel cryotank. Relative weight. Relative price. Screen vacuum insulation. Polyurethane foam heat-insulation.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Производство сжиженного природного газа (СПГ) в мире стремительно растёт. СПГ как моторное топливо давно используется во многих странах [1-3]. В США уже десятки лет карьерные самосвалы ходят на СПГ; большегрузные автомобили на СПГ успешно эксплуатируются в Австралии, Корее и т.д. Транспорт Японии уже готов для заправки российским СПГ, поставки которого будут осуществляться с заводов по ожижению метана проекта «Сахалин-2».

В России же работы по использованию СПГ на автотранспорте идут чрезвычайно медленно. В основном это поддерживается энтузиазмом специалистов нескольких предприятий: ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха Московской области), ОАО «НПО Гелиймаш» (г. Москва), ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ЗАО «Крионорд» (г. Санкт-Петербург),

ЗАО «Газомотор «ЭКИП» (г. Москва).

В известной читателям книге «Почему Россия не Америка» [4] дается анализ состояния экономики России, в том числе — и с учётом её географического положения. При этом много внимания уделяется тому, что наши большие экономические потери вызваны существенно более низкой, чем в Европе и Америке, среднегодовой температурой. Поэтому у нас толще стены жилых и производственных зданий и сооружений, выше тепловые потери в энергетике и в энергетических установках и т.п. А всё вместе — это огромные финансовые потери. Но автор не упомянул, что у нас есть такие сферы деятельности, когда уместно спросить: «Почему Америка не Россия?».

Одна из таких сфер — криогенная техника, для которой низкая температура окружающей среды — это благо. Действительно, чем ниже температура, тем меньше теплопритоки из окружающей среды, а зна-

чит меньше потери криогенных газов (жидкого воздуха, азота, аргона, кислорода, метана) при их производстве, хранении, транспортировании и т.п.

Но, несмотря на это, можно с сожалением отметить: хотя в целом уровень криогеники России достаточно высок, по использованию СПГ как моторного топлива, мы значительно отстаём. Ситуация усугубляется ещё и тем, что в работы по внедрению СПГ в качестве моторного топлива нет значительных инвестиций, им не оказывается государственная поддержка.

Понятно, что на одном энтузиазме проблемы внедрения СПГ как топлива для транспортных средств (ТС) в России не решить. Хотя с технической точки зрения имеются для этого все предпосылки, поскольку в России производится практически все криогенное оборудование для СПГ: ожижители метана, транспортировщики, ёмкости для хранения, газификационные установки, заправочные колонки, криобаки различных конструкций для транспортных средств [1,2,5].

## 2. ЦЕНЫ НА ГАЗ В РОССИИ КАК ТОРМОЗ ВНЕДРЕНИЯ КПП И СПГ

Сегодня все бизнес-структуры, работающие в сфере внедрения как компримированного природного газа (КПП), так и СПГ, серьезно озабочены прогнозируемым ростом цен на газ на внутреннем рынке России. По инициативе ОАО «Газпром» вышло Постановление Правительства РФ № 333 «О совершенствовании государственного регулирования цен на газ», в соответствии с которым к 31 декабря 2010 г. цена газа для российского потребителя достигнет 7 руб./м<sup>3</sup>. Кроме этого, с 2007 г. отменена льготная цена на природный газ для АГНКС, которая была введена в действие Федеральной службой по тарифам.

Цены на природный газ за последние 6 лет (с 01.01.04 по 31.12.09) выросли ровно в 10 раз (!) — с 200 руб. до 2000 руб. за 1000 куб.м. Ожидается, что к 2011 г. внутренняя цена на газ станет больше мировой. Фактически, мы сейчас наблюдаем опережающий рост цен на газ по сравнению с ценами на нефтяные моторные топлива. Следовательно, если немедленно не принять на Государственном уровне каких-то специальных мер, сложившаяся тенденция похоронит в России все работы по использованию КПП и СПГ как моторного топлива для транспортных средств.

Будем надеяться, что до этого не дойдет.

## 3. ОБ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВАХ

Торможению работ по внедрению КПП и СПГ в качестве моторного топлива способствует также отвлечение значительных сил и средств на другие виды альтернативных топлив — водородного и синтетического топлива, различных биотоплив и пр.

Что касается водородного топлива, то нужно ясно представлять — его не будут применять ещё лет 15-20 [6]. Поэтому уповать на то, что это топливо станет реальной альтернативой нефтяному моторному топливу — бесперспективно.

В отношении различных видов биотоплива готов высказать для многих крамольную мысль — им в России на государственном уровне сейчас заниматься не нужно. Во-первых, последние исследования показали, что сама технология производства биотоплив наносит гораздо больший экологический вред (в основном, за счёт усиления парникового эффекта и угрозы глобального потепления), чем использование существующих нефтяных моторных топлив. Во-вторых, его стоимость будет не ниже, а скорее всего, выше даже в сравнении с нефтяными топливами, не говоря уже о газовых [7]. А в-третьих, страны Европы вынуждены заниматься этим и нести огромные траты не от хорошей жизни — у них нет своего природного газа. А тот газ, который сегодня у них есть, почти весь российский!

Очевидно, что сегодня России целесообразно свернуть программы, финансируемые из бюджетов различных уровней, по этим видам топлива. Пусть Запад отработывает эффективные технологии их производства, доводит это топливо до приемлемых цен, решает экологические проблемы и пр. А мы, при необходимости, всем этим воспользуемся в готовом виде. Сегодня все усилия и средства как государственных, так и частных бизнес-структур, нужно направить на форсирование работ по КПП и СПГ в качестве моторного топлива.

## 4. ЕЩЁ РАЗ О ПРЕИМУЩЕСТВАХ СПГ

Говоря об СПГ, который является более перспективным моторным топливом, чем КПП, большинство специалистов отмечают одно его основное преимущество в сравнении с КПП — значительное увеличение пробега транспорта от одной заправки при равных объёмах топливного бака [8,9]. Но СПГ имеет ещё ряд преимуществ перед КПП, хотя и не таких явных, как пробег. Отметим некоторые из них: меньше эксплуатационные затраты у пользователей; повышенная безопасность; более высокое качество газа как энергоносителя.

Снижение эксплуатационных затрат связано с тем, что газовые баллоны для КПП необходимо периодически, каждые три года (легированные баллоны — каждые пять лет) переосвидетельствовать. А поскольку в России нет методик переосвидетельствования без снятия баллонов с транспортного средства, то эта процедура для эксплуатирующей организации весьма хлопотная и затратная: демонтаж баллонов, транспортировка их до специализированного пункта по переосвидетельствованию, которых чрезвычайно мало, переосвидетельствование и оформление документации, монтаж баллонов и пр. И всё это нужно делать 4 раза в течение жизненного цикла металлопластикового баллона, который составляет 15 лет, или 6 раз для баллонов из углеродистой стали, срок службы которых 20 лет. Ничего этого не нужно делать при использовании СПГ и эксплуатации криогенных баков.

Повышенная безопасность обусловлена тем, что при использовании СПГ бак имеет большее количе-

ство защитных элементов: стенка внутреннего сосуда, слой теплоизоляции, наружная оболочка. К этому нужно ещё добавить чрезвычайно низкую температуру жидкого метана ( $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Для того, чтобы газ стал взрывоопасным при наличии открытого пламени, СПГ необходимо нагреть до испарения, затем перегреть газ и смешать его с воздухом до концентрации воспламенения. Ни одно другое топливо не имеет столько степеней защиты!

Очевидно, что высокое качество природного газа, поступающего в топливную систему из криогенного бака транспортного средства после испарения СПГ, благотворно влияет на работу двигателя. Это качество гарантированно обеспечивается криогенной технологией производства СПГ, при которой происходит удаление и вымораживание при низких температурах в цикле всех нежелательных примесей (влаги, тяжёлых углеводородов, углекислого газа и пр.).

### 5. СОЗДАНИЕ КРИБАКОВ НОВОГО ТИПА

В настоящее время существуют четыре основных типа транспортных криогенных баков для СПГ: с экранно-вакуумной (ЭВТИ) и вакуумно-порошковой (ВПИ) теплоизоляцией [5,10], с комбинированной теплоизоляцией [11] и кассетного типа с теплоизоляцией на базе вспененного пенополиуретана (ППУ) [12]. Наилучшими характеристиками по длительности бездренажного хранения газа обладают криогенные автобаки производства ОАО «НПО Гелиймаш» (г. Москва) [9]. Однако такие баки имеют высокую стоимость, которая сдерживает использование СПГ как моторного топлива. Высокая стоимость баков обусловлена желанием их производителей достичь как можно большего срока бездренажного хранения газа, что обеспечивается использованием только дорогой экранно-вакуумной суперизоляции. Однако для транспортных средств (ТС) с хорошо отлаженным регламентом работы (карьерные самосвалы, пассажирский транспорт и т.п.) срок бездренажного хранения 1-3 сут. вполне достаточен. Для указанных ТС высокая испаряемость СПГ будет даже преимуществом, поскольку потребует гораздо меньшего испарителя-газификатора. Очевидно, что для этих ТС вполне пригодны криобаки с пенополиуретановой изоляцией.

Криобаки с ЭВТИ и ВПИ обладают также значительной массой, так как они фактически имеют два металлических бака — внутренний для заливки СПГ и наружный (кожух), между которыми размещается изоляция. Понятно, что поскольку бакам с теплоизоляцией на базе ППУ не требуется наружный кожух, они имеют существенно меньшую массу, что немало важно для автотранспорта. В результате решение задач по снижению стоимости и массы (пусть даже в ущерб длительности бездренажного хранения), а также обеспечению удобства компоновки и размещения бака на ТС, был создан криогенный бак кассетного типа на базе пенополиуретановой теплоизоляции [12]. Макетный образец криобака кассетного типа с пенополиуретановой теплоизоляцией был изготовлен

нашим предприятием. В качестве внутренних ёмкостей использованы три лейнера производства НПФ «Реал Шторм» (г. Ижевск) (фото 1).



**Фото 1.** Подготовка лейнеров для их заливки пеноизоляцией

Криобак был испытан жидким азотом и впервые представлен на международной выставке «Gas SUF-2008» (см. фото 2). Понятно, что длительность бездренажного хранения такого криобака с ППУ меньше, чем бака с экранно-вакуумной или с вакуумно-порошковой теплоизоляцией.



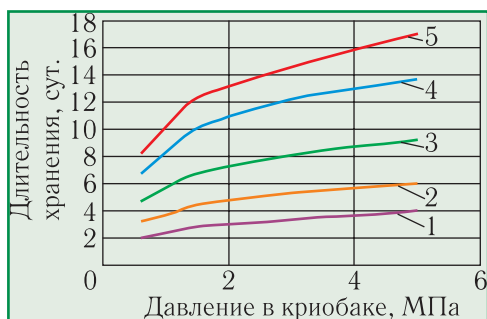
**Фото 2.** Макеты криобака и лейнеров на выставке «Gas SUF-2008» демонстрируют Е.П. Мовчан и директор НПФ «Реал Шторм» С.П. Семенецев (слева направо)

Расчётные зависимости времени бездренажного хранения  $\tau_{6,x}$  от давления для криобаков различной вместимости представлены на рисунках 3 и 4.

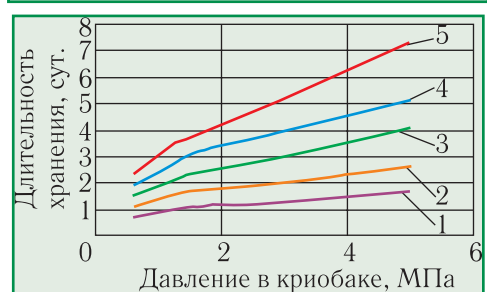
Экспериментальные значения  $\tau_{6,x}$ , полученные для криобака на 25 л, оказались на 15 % хуже расчётных, что объясняется, скорее всего, неудачной компоновкой внутренних трубопроводов и их близким рас-



положением относительно наружной стенки. Как недостаток, следует также отметить большую длительность заправки макета криобака жидким азотом, ввиду малого диаметра коллектора подводящих трубопроводов для криогенной жидкости ( $D_{\text{у}}=8$  мм).



**Рис. 3.** Длительность бездренажного хранения СПГ в криобаках с ЭВТИ различной ёмкости, л: 1 — 25; 2 — 50; 3 — 100; 4 — 200; 5 — 300



**Рис. 4.** Длительность бездренажного хранения СПГ в криобаках с ППУ различной ёмкости, л: 1 — 25; 2 — 50; 3 — 100; 4 — 200; 5 — 300

Эти недостатки вполне устранимы на стадии разработки рабочей документации. На фото 5 показана заправка экспериментального макета криобака жидким азотом от ТРЖК.



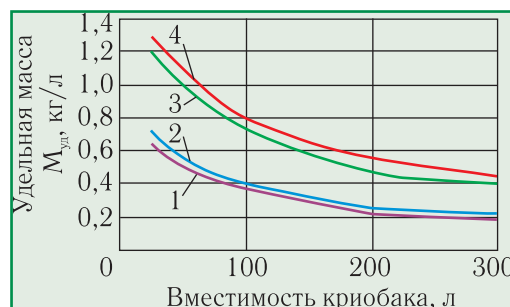
**Фото 5.** Момент заправки криобака жидким азотом от ТРЖК

## 6. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КРИБАКОВ

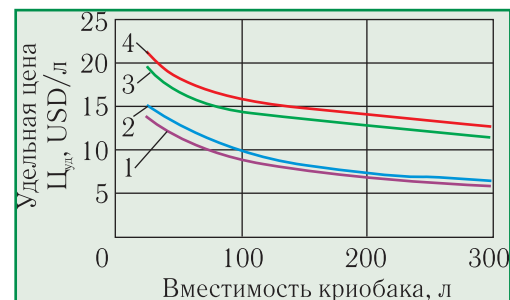
Если не учитывать показатель испаряемости (а мы показали, что он не всегда важен), то качество

криобаков можно сравнивать по таким показателям, как удельная масса и удельная цена.

Зависимости удельной массы  $M_{\text{уд}}$ , кг/л, криобаков без арматуры с теплоизоляцией на базе ППУ (нижние кривые) и ЭВТИ (верхние кривые) различной вместимости для наиболее часто используемых давлений в баке  $P=0,6$  и  $1,2$  МПа представлены на рис. 6, а зависимости удельной цены  $C_{\text{уд}}$ , USD/л, криобаков без арматуры различной вместимости для тех же давлений — на рис. 7.



**Рис. 6.** Удельная масса  $M_{\text{уд}}$  криобаков с ЭВТИ и ППУ для различных давлений: 1 — ППУ,  $P=0,6$  МПа; 2 — ППУ,  $P=1,2$  МПа; 3 — ЭВТИ,  $P=0,6$  МПа; 4 — ЭВТИ,  $P=1,2$  МПа



**Рис. 7.** Удельная цена  $C_{\text{уд}}$  криобаков с ЭВТИ и ППУ для различных давлений: 1 — ППУ,  $P=0,6$  МПа; 2 — ППУ,  $P=1,2$  МПа; 3 — ЭВТИ,  $P=0,6$  МПа; 4 — ЭВТИ,  $P=1,2$  МПа

Так как нет никакой информации о характеристиках криобаков с комплексной изоляцией [11], то сравнение проводилось с криобаками, имеющими экранно-вакуумную теплоизоляцию [10].

Из графиков (см. рисунки 6 и 7) хорошо видно, что в случаях эксплуатации транспорта, когда не требуется значительное время бездренажного хранения СПГ, криобаки на основе ППУ имеют значительные преимущества.

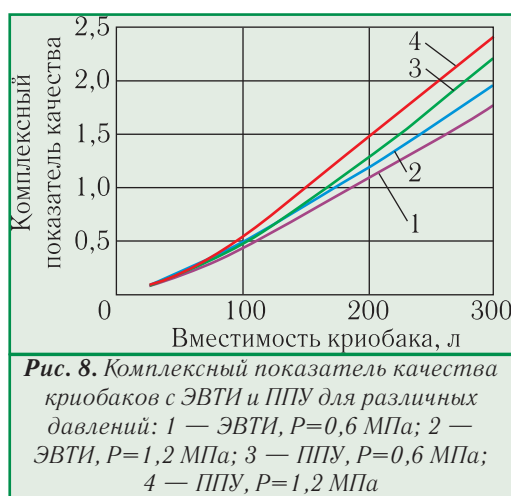
Кроме более низкой стоимости и массы, криогенные баки с комбинированной теплоизоляцией [11], а так же с любой другой теплоизоляцией на базе ППУ, имеют ещё одно важное преимущество — более высокую эксплуатационную надёжность, которая объясняется следующим. При потере герметичности наружного кожуха, криобак с ЭВТИ сразу прекращает своё существование как бак для криогенных жидкостей, так как теряет свои теплоизоляционные свойства. Более того, это может привести к резкому вскипанию криогенной жидкости и возможному разрыву внутренней ёмкости криобака. В то же время, нару-

шение теплоизоляции у бака с ППУ только увеличит испаряемость СПГ (пропорционально величине разрушения), но не приведёт к вышеуказанным последствиям.

Более полную оценку качества криогенных баков может дать его комплексный показатель  $K_{\text{компл}}$ , который учитывает все основные виды качества: удельные показатели цены и массы бака; длительность бездренажного хранения СПГ. Этот показатель можно представить в виде:

$$K_{\text{компл}} = M_{\text{уд}} \Pi_{\text{уд}} / \tau_{\text{б.х.}}$$

Зависимости комплексного показателя  $K_{\text{компл}}$  криобаков без арматуры с теплоизоляцией на базе ППУ (две нижние кривые) и ЭВТИ (верхние кривые) различной вместимости для наиболее часто используемых давлений в баке  $P=0,6$  и  $1,2$  МПа представлены на рис. 8.



По комплексному показателю качества, учитывающему все основные характеристики баков (цена, масса, продолжительность бездренажного хранения), баки с ППУ в среднем почти на 15 % уступают бакам с ЭВТИ. Понятно, что когда длительность бездренажного хранения имеет принципиальное значение, криобаки с ЭВТИ не имеют конкуренции, поэтому каждый конкретный случай нужно рассматривать всесторонне.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение в России сжиженного природного газа — самое перспективное направление работ в сфере обеспечения транспортных средств моторным топливом, альтернативным нефтяному. Для форсирования работ по внедрению СПГ требуется государственная поддержка по всем направлениям — финансовому, законодательному, организационному и пр.

Лёгкие и дешёвые автомобильные криобаки на базе пенополиуретановой теплоизоляции для транспортных средств, с хорошо отлаженным регламентом работы, предпочтительнее дорогих баков с длительным временем бездренажного хранения на базе ЭВТИ и ВПИ.

Предложенный в работе метод определения качества криобаков с помощью комплексного показателя качества, учитывающего удельные показатели цены и массы бака, а также — длительность бездренажного хранения СПГ, позволит потребителям, в зависимости от требований эксплуатации (частота заправки, удаленность заправочной станции и пр.) наиболее полно и объективно оценивать качество баков.

Таким образом, преимущества криобаков с теплоизоляцией на базе ППУ в случаях, когда длительность бездренажного хранения не столь критична, настолько значительны, что не могут не обратить на себя внимание как разработчиков, так и изготовителей этих изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лавренченко Г.К. Анализ проблем производства и использования КПП и СПГ// Технические газы. — 2008. — № 4. — С. 2-16.
2. Сердюков С.Г., Ходорков И.Л. Сжиженный природный газ в Санкт-Петербурге и России// Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. — 2003. — № 2. — С. 59-63.
3. Производство природного сжиженного газа в мире может удвоиться к 2015 г. Прогноз МЭА// Прайм-ТАСС., апрель, 2008: [www/prime-tass.ru/news/show](http://www/prime-tass.ru/news/show).
4. Паршев А.П. Почему Россия не Америка. — М.: Крымский мост-9Д, 1999. — 195 с.
5. Мовчан Е.П., Попов Л.В. Технологическое оборудование для сжиженного природного газа.//Сборник материалов НТС ОАО «Газпром» «Перспективы и применение СПГ на объектах ОАО «Газпром». — М.: ОАО «Газпром», 2002. — С. 65-69.
6. Ноак А. Анализ существующих видов альтернативного топлива в странах западной Европы. Планы использования до 2020 г.// Информационный бюллетень НГА. — 2005. — № 4 (21). — С. 28-29.
7. Аблаев А.Р. Международный конгресс «Биодизель-2007», 17-18.10.2007 г., Москва// Транспорт на альтернативном топливе. — 2008. — № 1(1). — С. 6-7.
8. Бойзен П. Как сделать метан третьим по значимости топливом для транспортных средств// Информационный бюллетень НГА. — 2004. — № 4 (21). — С. 15-18.
9. Передельский В.А. Целесообразность замены нефтяного топлива на сжиженный природный газ// Информационный бюллетень НГА. — 2005. — № 4 (21). — С. 22-23.
10. Использование СПГ на транспорте/ А.В. Брагин, Ю.В. Колгушкин, О.М. Попов, В.Н. Удут// Технические газы. — 2008. — № 4. — С. 51-56.
11. Кириллов Н.Г. Новые криогенные баки для автомобилей, работающих на сжиженном природном газе// Вестник Международной академии холода. — 2002. — № 3. — С. 15-20.
12. Мовчан Е.П. Анализ конструкций криогенных топливных баков для транспортных средств и пути решения проблем внедрения СПГ в качестве моторного топлива// Вестник Международной академии холода. — 2004. — № 1. — С. 12-16.