

УДК 621.593

**А.И. Савицкий, Г.Н. Левдик**

ПК НПФ «ЭКИП», ул. Солдатская, 3, г. Москва, РФ, 111020

*e-mail: ekip-moscow@mtu-net.ru***Б.М. Машункин\*, В.Н. Уткин**

ООО «НИИ КМ», пл. Ак. Курчатова, 1, Москва, РФ, 123182

*\*e-mail: boris.mashunkin@gmail.com*

## ПЕРВЫЙ ОПЫТ ЗАПРАВКИ АВТОМОБИЛЕЙ ГАЗИФИЦИРОВАННЫМ СПГ В МОСКВЕ

*Природный газ — одно из самых эффективных топлив, в том числе и для двигателей внутреннего сгорания. В ряде случаев экономически выгодным способом обеспечения потребителей является газификация сжиженного природного газа (СПГ) с использованием криогенных технологий для получения газа высокого давления. Однако до последнего времени указанный надёжный и дешёвый способ не находит широкого применения в России. Главная причина создавшейся ситуации — отсутствие необходимой инфраструктуры и её элементов. Хотя создание инфраструктуры — процесс затратный и долгий, однако её нужно создавать и развивать. Информация о первом опыте заправки автомобилей газифицированным СПГ подтверждает возможность создания эффективно действующей инфраструктуры.*

**Ключевые слова:** СПГ. Криогенный поршневого насос. Газификация. Заправка. Цистерна. Автобус. Инфраструктура.

**A.I. Savitsky, G.N. Levdik, B.M. Mashunkin, V.N. Utkin**

## THE FIRST REFUELING EXPERIENCE OF GASIFIED LNG IN MOSCOW

*Natural gas is one of the most effective fuels, including for internal combustion engines. In variety of cases by the economically effective way of consumers maintenance is liquid natural gas (LNG) gasification with use of cryogenic technologies for high pressure gas reception. However, until recently the specified reliable and cheap way doesn't find wide application in Russia. The main reason of the created situation is absence of a necessary infrastructure and its elements. Although, infrastructure creation is a cost-based and long process, however it is necessary to create and develop. The information about the first refueling experience of gasified LNG confirms the possibility of creating an effective infrastructure.*

**Keywords:** LNG. Cryogenic piston pump. Gasification. Refueling. Storage tank. Bus. Infrastructure.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Применение газифицированного сжиженного природного газа (ГССПГ) в качестве топлива для автомобилей — идея широко известная [1-5]. Вряд ли стоит останавливаться на достоинствах её практического использования, так как она уже давно с успехом реализуется в ряде стран и регионов.

Основные проблемы, сдерживающие широкое внедрение ГССПГ, связаны с отсутствием должной инфраструктуры [6,7], которая включает ожижительные системы, средства транспортирования и временного хранения СПГ, средства газификации и получения ГССПГ высокого давления и, наконец, средства заправки. В то же время в России существуют все предпосылки для успешного создания такой инфраструктуры, а именно:

- Разветвлённая сеть газоснабжения значительной

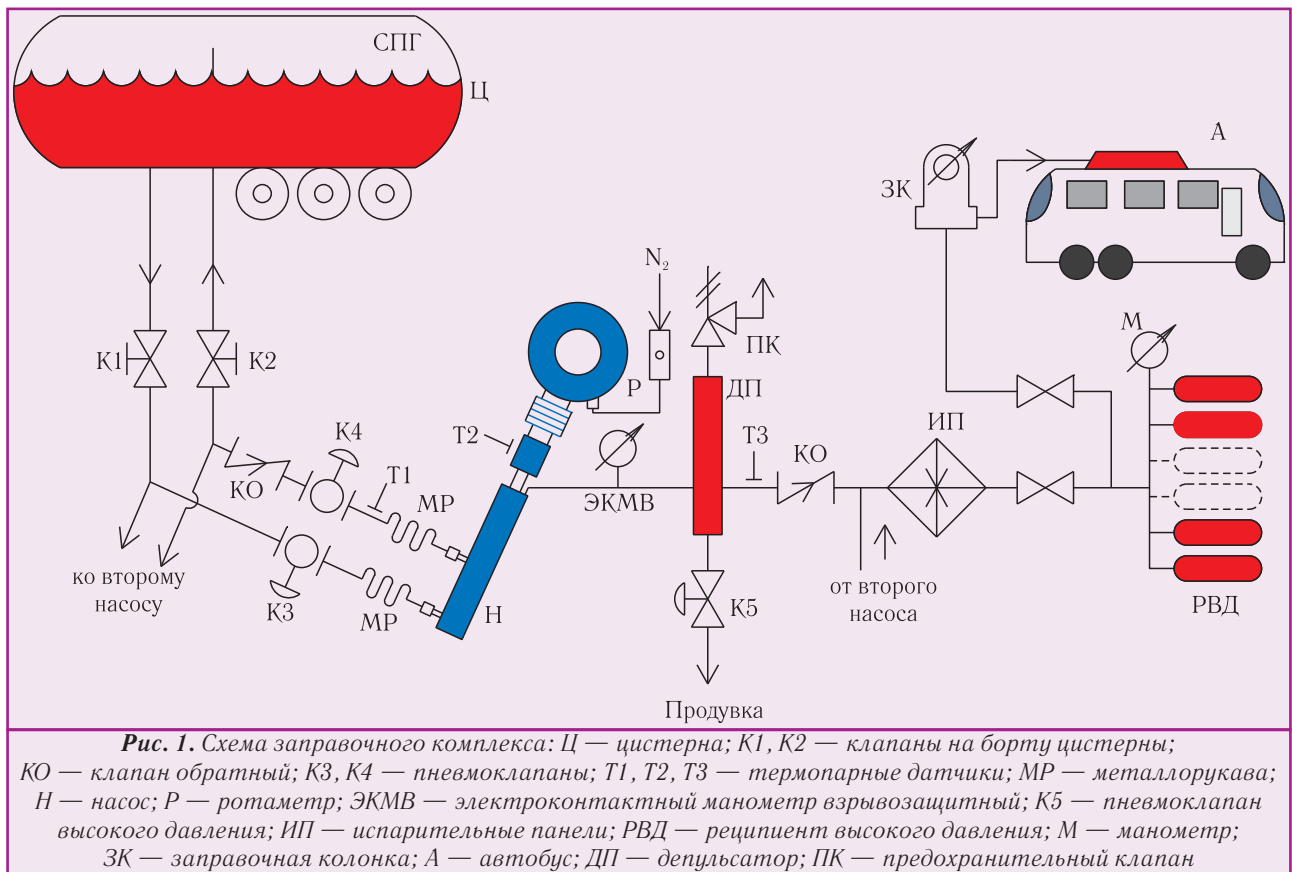
части территории. При этом часто газ поступает к потребителю под высоким давлением (до 40-60 бар), что может снижать энергозатраты на его ожижение [8,9].

- Функциональная, техническая и технологическая готовности отечественных предприятий к производству необходимого оборудования (резервуары и ожижители — ОАО «Криогенмаш» и ОАО «Гелий-маш» [10-13]; транспортные резервуары — НТК «Криотехника», ОАО «Уралкриомаш» [14-16]).

- Широкая возможность выбора импортного оборудования и комплектующих.

- Большой практический опыт отечественных вузов по подготовке инженерных кадров, а также наличие коллективов действующих профильных учёных и специалистов.

- Серьёзная положительная роль регулярных форумов профессионалов, проводимых в Одессе ассоциацией «УА-СИГМА».



Выполненная нами работа, вместе с решением практической задачи, может служить моделью ячейки инфраструктуры системы использования СПГ на автозаправках и наполнительных станциях.

## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

### 2.1. Пневмогидравлическая схема

Принципиальная схема автозаправочной станции, смонтированной, испытанной и проходящей опытную эксплуатацию в хозяйстве Московского автобусного парка № 11, приведена на рис. 1.

Из-за нормативных ограничений на станции отсутствует стационарное расходное хранилище СПГ. Вместо него используется передвижное средство — автоцистерна-полуприцеп Ц ёмкостью 30 м<sup>3</sup> (около 12 т). Она наполняется на заводе-производителе СПГ, имеющем единственную ожижительную установку в Москве и области, созданную компанией «ЭКИП».

В дальнейшем криопродукт расходуется на месте заправки. СПГ из транспортной цистерны по съёмным гибким трубопроводам МР поступает в насосы-газификаторы Н. На рис. 1 условно показана одна ветвь сжатия. Затем продукт, сжатый до 250 бар, направляется в атмосферный испаритель ИП и при температуре на 5-10 °С ниже температуры окружающей среды в буфер — реципиент высокого давления РВД. Последний непосредственно и постоянно связан с автоматической заправочной газовой колонкой ЗК, которая дозирует и измеряет заправляемый продукт.

На фото 2-4 показаны заправочная площадка и вид самого комплекса, а также заправляемый автобус.



**Фото 2.** Заправочная площадка автобусного парка № 11



**Фото 3.** Общий вид заправочного комплекса

### 2.2. Автоцистерна-полуприцеп

Фото 5 даёт представление о внешнем виде автоцистерны-полуприцепа. В табл. 1 приведены её основные характеристики.



Фото 4. Автобус на заправке



Фото 5. Автоцистерна с СПГ

Таблица 1. Характеристики автоцистерны-полуприцепа «Ros Roca Indox»

| Характеристики              | Значения       |
|-----------------------------|----------------|
| Рабочее давление, бар       | 7              |
| Пробное давление, бар       | 9,1            |
| Рабочая температура, °С     | –160           |
| Расчётная температура, °С   | –196           |
| Криопродукт                 | СПГ            |
| Общий объём, м <sup>3</sup> | 56,5           |
| Материал изоляции           | Пенополиуретан |
| Толщина изоляции, мм        | 130            |
| Страна происхождения        | Испания        |

### 2.3. Насосы-газификаторы

Насосы поршневые высокого давления марки «PD 3000» произведены компанией «Cryostar». Страна происхождения — США. В табл. 2 приведены характеристики насосов, состоящих из собственно насоса и электродвигателя, соединённых клиноремённой передачей, а также электрошкафа управления.

Насос имеет систему полуавтоматического управления на уровне блокировок и поддержания рабочих параметров с помощью контроллера. Электрический шкаф управления и сами насосы установлены под открытым небом. Отсутствие необходимости в капитальных сооружениях заметно снижает эксплуатационные и капитальные затраты системы.

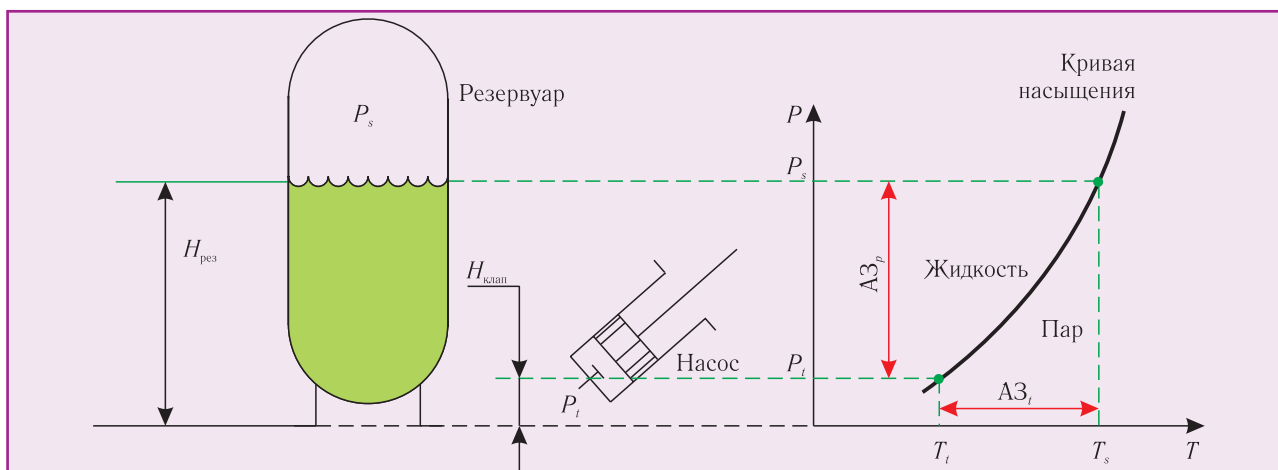
Отметим оригинальную компоновку насоса (см. фото 6). Его криогенный цилиндр наклонён так, чтобы всасывающий клапан был расположен максимально низко. Это позволяет обеспечить высоту всасывания такой, чтобы избежать кавитации в цилиндре насоса. Зачастую для этого поднимают питающий резервуар.

Покажем, как обеспечивается минимальная высота всасывания. Чтобы избежать кавитационных процессов в цилиндре насоса, которые могут возникнуть при сжатии криопродукта, было бы идеальным сжимать «светлую», не содержащую пузырьков, жидкость. Следовательно, жидкость должна поступать в цилиндр ненасыщенной с «антикавитационным запасом» АЗ. Его на практике часто называют «минимальной высотой всасывания», измеряемой в барах или метрах водяного столба. На практике АЗ определяется величиной гидростатического столба (рис. 7) от уровня жидкости в питающем резервуаре  $H_{рез}$  до уровня всасывающего клапана насоса  $H_{кв}$ . В этих условиях температура насыщения в точке всасывания выше температуры насыщения в питающем резервуаре, что и приводит к отсутствию кипения при всасывании. Другой способ обеспечения этого условия — подъём давления над кипящим криопродуктом в питающем резервуаре. Тогда из-за инерционности нагрева жидкости она становится «недогретой», т.е. ненасыщенной по отношению к установленному давлению. При этом важным является то, что в течение процесса с участием насоса «недогрев» криопродукта должен оставаться эффективным. В то же время, АЗ является свойством, характеристикой качества конкретного насоса и часто указывается в сопроводительной технической документации в метрах водяного столба или в барах применительно к конкретному криопродукту. В частности, в нашей реальной практике подъёма давления до 7-8 бар после заправки цистерны вполне хватало для безкавитационной работы при переработке всех 17 т СПГ.



Фото 6. Внешний вид работающего насоса

Нормальная и устойчивая работа системы прерывалась досадными сбоями. Так, произошли разрушения обратных клапанов на обеих ветвях. По нашему предположению причиной могли быть слабые пружины, колебания в потоке высокого давления или резонанс от сложения обоих факторов. Клапаны пришлось заменить. Кроме того сгорели электроподогреватели в обоих шкафах и в электродвигателе. Не выдержали московских морозов пневмоприводы клапанов КЗ, К4 (см. рис. 1), которые были переведены на ручное управление. Причина — ошибка при комплектации. Её устранили. Наблюдалась большая поте-



**Рис. 7.** К вопросу об антикавитационном запасе:  $P_s$  — давление в резервуаре;  $H_{рез}$  — высота уровня продукта в резервуаре;  $H_{кв}$  — высота уровня всасывающего клапана;  $P_t$  — давление в цилиндре насоса при всасывании;  $AЗ_p$  — антикавитационный запас по давлению;  $AЗ_t$  — антикавитационный запас по температуре;  $T_t$  — температура насыщения при давлении  $P_t$ ;  $T_s$  — температура насыщения при давлении  $P_s$

**Таблица 2.** Характеристики насоса марки «PD 3000»

| Характеристики  | Значения   |
|---|--|
| Диаметр поршня, мм  | 44,45  |
| Ход поршня, мм  | 38,1   |
| Число оборотов, мин <sup>-1</sup>                           | 328  |
| Криопродукт   | СПГ  |
| Производительность насоса, л/мин                            | 15,7   |
| Максимальное давление всасывания, бар                       | 15,5   |
| Максимальное давление на выходе, бар                        | 252  |
| Минимальный антикавитационный запас, бар                    | 0,14   |
| Потребляемая мощность, кВт                                  | 12   |
| Рекомендуемый диапазон скорости вращения, мин <sup>-1</sup> | 100-340  |
| Тип электродвигателя  | Закрытого типа, асинхронный, взрывозащищённый, с принудительным охлаждением и встроенным электроподогревателем |

ря управляющего газа (азота) из-за негерметичности электропневмоклапанов, распределяющих потоки этого газа. Они были заменены.

Несмотря на указанные неполадки нам удалось обеспечить практически непрерывную работу насосов «PD 3000». С 28 января по 10 июля 2011 г. насосы наработали по 1300 ч, переработав свыше 660 т СПГ.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация проекта позволила получить следующие результаты:

1. Разработана система и определены параметры заправочного комплекса автобусного парка.
2. Произведён подбор основного оборудования; выполнены монтаж, испытания и пусконаладочные работы.
3. Обеспечена устойчивая работа системы в жёстких условиях повседневной эксплуатации городского автотранспорта.
4. Отмечена большая заинтересованность транс-

портников и городской администрации в развитии использования ГСПГ в качестве автомобильного топлива.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Р.В., Архипов В.Т., Желваков А.Ю. Создание инфраструктуры использования сжиженного природного газа// Технические газы. — 2003. — № 1. — С. 20-27.
2. Мовчан Е.П., Попов Л.В., Рогальский Е.И. Проблемы внедрения сжиженного природного газа на автотранспорте и некоторые пути их решения// Технические газы. — 2003. — № 4. — С. 41-46.
3. Горбачёв С.П., Попов В.П., Самсонов Р.О. Современные технологии производства и использования СПГ в качестве газомоторного топлива// Технические газы. — 2006. — № 3. — С. 44-47.
4. Мовчан Е.П., Рогальский Е.И., Черепанов А.П. Перспективы внедрения газомоторного топлива в автотранспорт России// Технические газы. — 2006. — № 5. — С. 52-57.
5. Комплексное решение проблемы перевода транспорта на СПГ/ А.В. Брагин, Б.Д. Краковский, О.М. Попов, В.Н. Удуд// Технические газы. — 2006. — № 4. — С. 64-68.
6. Лавренченко Г.К. Проблемы эффективного производства и использования КПГ и СПГ// Технические газы. — 2006. — № 5. — С. 2-16.
7. Инфраструктура использования сжиженного природного газа: проблемы и перспективы/ Ю.А. Похил, В.Т. Архипов, Г.Д. Гамуля, А.Я. Левин// Технические газы. — 2006. — № 4. — С. 45-54.
8. Эффективная установка сжижения природного газа

на базе АГНКС с использованием «открытого цикла Кли-менко»// **И.Ф. Кузьменко, А.Л. Довбиш, Р.В. Дарбинян и др.**// Технические газы. — 2006. — № 4. — С. 25-28.

9. **Горбачёв С.П.** Оценка эффективности производства СПГ на газораспределительных станциях// Технические газы. — 2005. — № 5. — С. 35-40.

10. **Безруков К.В., Довбиш А.Л., Передельский В.А.** Блочная установка ожижения природного газа производительностью 1,5 т/ч// Технические газы. — 2008. — № 3. — С. 64-67.

11. **Кузьменко И.Ф.** Тенденции развития СПГ-установок средней производительности для организации газоснабжения// Технические газы. — 2008. — № 3. — С. 36-42.

12. Современные технологии сжижения природного газа в установках малой и средней производительности// **Б.Д. Краковский, В.А. Мартынов, О.М. Попов и др.**//

Технические газы. — 2009. — № 5. — С. 26-30.

13. **Кузьменко И.Ф., Передельский В.А., Довбиш А.Л.** Установки сжижения природного газа на базе детандерных азотных циклов// Технические газы. — 2010. — № 2. — С. 39-43.

14. Цистерны для перевозки криогенных продуктов// **Л.В. Попов, Е.И. Рогальский, И.В. Левин, В.Н. Уткин**// Технические газы. — 2008. — № 5. — С. 68-72.

15. **Чермных О.Я.** Анализ особенностей транспортирования на экспорт сжиженного природного газа в контейнерах-цистернах и технологии его слива в хранилище// Технические газы. — 2007. — № 3. — С. 65-68.

16. **Зашляпин Р.А., Чермных О.Я.** Разработка и организация производства эффективных средств для мультимодальных и железнодорожных перевозок СПГ// Технические газы. — 2006. — № 3. — С. 32-36.

## ЧЕТВЕРТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР

**СН,-2012**



СЕМИНАР ПРОВОДИТСЯ  
УКРАИНСКОЙ АССОЦИАЦИЕЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ  
“УА-СИГМА”



ПОД ЭГИДОЙ:

- МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ И УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ
- МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РФ
- ИНСТИТУТА ГАЗА НАН УКРАИНЫ

- ОДЕССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ ХОЛОДА
- МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ ХОЛОДА

- И ПРИ УЧАСТИИ:
- ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ГОРНОГО НАДЗОРА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УКРАИНЫ
  - ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ РФ



## «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА КОМПРИМИРОВАННОГО И СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА»

21-25 мая 2012 года  
г. Одесса



Место проведения семинара:  
гостиница “Виктория”, расположенная  
в знаменитом курортном районе г. Одессы — Аркадии.

Условия проживания:  
одноместные номера со всеми удобствами.



Секретариат оргкомитета:  
65026, Украина, Одесса-26, а/я 271  
Тел/факс: + 380 48 777 00 87  
E-mail: uasigma@paco.net  
Http://www.uasigma.odessa.ua

Генеральный информационный спонсор



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:

