

УДК 621.56:59

Канд. техн. наук **Н.Г. КИРИЛЛОВ**
Военный инженерно-космический
университет

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ГОРОДСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

The advantages of fuelling motor transport with liquefied natural gas are presented. The infrastructure of location of fuel stations with the use of cryogenic machines, working on Stirling cycle, is offered. Economical advantages of use of Stirling technology for fuelling motor cars are presented.

Прогрессирующее загрязнение автотранспортом атмосферного воздуха крупных городов в конце XX столетия поставило вопрос о замене традиционных нефтяных моторных топлив на альтернативные. Сейчас практически в каждой промышленно развитой стране проводятся исследовательские работы по поиску новых видов топлив, наиболее оптимальных с точки зрения экологичности, эффективности, издержек производства и величины природных запасов. Целью этих работ является разработка национальных топливных концепций и создание соответствующих двигателей, отвечающих самым жестким мировым стандартам. Среди альтернативных моторных топлив, к числу которых относятся природный газ, метанол, этанол, водород, пропан-бутан и т.д., для России наибольший интерес представляет природный газ (ПГ).

Уникальные физико-химические свойства ПГ, громадные разведанные и разработанные запасы, развитая сеть его доставки от месторождений во многие регионы страны по магистральным газопроводам и значительные экологические преимущества перед традиционными видами топлив делают ПГ для России универсальным моторным топливом XXI в.

Россия располагает крупнейшими в мире разведанными запасами природного газа (более 47 трлн м³). Ежегодная его добыча составляет 540 млрд м³, на внутренний рынок поставляется не менее 290 млрд м³.

Природный газ – это наиболее дешевое для России моторное топливо, поскольку согласно постановлению Правительства России от 15 января 1993 г. № 31 даже в условиях свободного рынка стоимость 1 м³ природного газа для транспортных средств

не может превысить 50% стоимости 1 л бензина А-76, эквивалентного ему по энергосодержанию.

Приоритетность природного газа как наиболее перспективного моторного топлива определена рядом директивных документов Правительства Российской Федерации (постановлениями Правительства РФ от 15 января 1993 г. № 31 «О неотложных мерах по расширению замещения моторных топлив природным газом» и от 2 ноября 1995 г. № 1087 «О неотложных мерах по энергосбережению»).

В проекте нового Федерального закона РФ «Об альтернативном моторном топливе – природном газе» предусматриваются разработка и реализация программы по переводу транспортных средств РФ на природный газ в качестве моторного топлива, регулирование и контроль выбросов вредных веществ транспортными средствами и немаловажные меры экономического стимулирования в области использования ПГ в качестве моторного топлива. Этим законом будут установлены обязательные для большинства автотранспортных предприятий РФ нормы по переводу на газовое топливо за 10-летний период до 20% грузовых автомобилей, автобусов, муниципальных легковых автомобилей и такси.

Таким образом, перевод автомобильного транспорта на природный газ становится важнейшей государственной задачей.

В настоящее время в ряде областей России на местном уровне уже приняты законодательные акты по исполь-

зованию природного газа на транспорте. Так, в Москве реализуется Программа по переводу автобусов городского пассажирского транспорта, муниципального грузового и ведомственного транспорта на природный газ, согласно которой к 2005 г. не менее 40% эксплуатирующейся муниципальной автотехники будет использовать ПГ и, следовательно, по экологическим характеристикам станет отвечать нормам выбросов Евро-2. Аналогичные программы приняты в Татарстане, Карелии и ряде других регионов России.

До сих пор основной акцент при переводе автотранспорта на ПГ делался на использование сжатого (компримированного) газа (КПГ). Однако необходимость применения баллонов высокого давления, значительное увеличение массы топливной системы двигателя, требование периодического освидетельствования работающего под высоким давлением оборудования, снижение дальности пробега автомобиля на одной заправке, повышенная опасность газобаллонной аппаратуры высокого давления, слабо развитая инфраструктура автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) (менее 200 единиц на огромной территории РФ), невозможность создания широкой сети гаражных мини-АГНКС на территориях автохозяйств (существующая нормативная база по безопасной эксплуатации требует размещения АГНКС на расстоянии не менее 60 м от других сооружений и объектов), а также ряд других проблем в значительной мере продолжают

сдерживать широкое применение КПГ в автомобильном транспорте.

Все перечисленные недостатки могут быть устранены при использовании на автотранспорте сжиженного природного газа (СПГ) вместо КПГ. При этом масса системы хранения газа на автомобиле уменьшается в 3–4 раза, а объем – в 1,5–3 раза. Так, для грузового автомобиля ЗИЛ-138А, конвертированного на природный газ и оборудованного криогенной емкостью объемом 300 л СПГ, пробег на одной заправке увеличивается в 1,8 раз, а суммарная масса оборудования и топлива уменьшается на 570 кг по сравнению с работой на КПГ. При эксплуатации автотранспортного средства хранение СПГ может осуществляться практически при атмосферном давлении.

В соответствии с действующими в России ТУ 51-03-03–85 физико-химические характеристики СПГ как моторного топлива должны отвечать следующим требованиям:

Объемная доля, %	
метана	92 ± 6
этана	4 ± 3
пропана и более	
тяжелых углеводородов	$2,5 \pm 2,5$
азота	$1,5 \pm 1,5$
Массовая доля	
сероводорода	
и меркаптановой	
серы, %, не более	0,005
Минимальная объемная	
теплота сгорания	
(при 0 °С и 101,325кПа),	
МДж/м ³	35,2

До настоящего времени в России проблему производства сжиженного природного газа для автомобильного транспорта предполагалось решать путем дооснащения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и газораспределительных станций (ГРС) криогенными ожижительными установками. Наибольший отклик эта концепция получила в Северо-Западном регионе России, где в июле 2001 г. ООО «Лентрансгаз» и ЗАО «Сигма-газ» ввели в эксплуатацию первый в России мини-завод по сжижению природного газа на базе АГНКС в г.Петродворце. Производительность мини-завода составляет около 25 т СПГ в сутки при стоимос-

ти завода 20 млн руб. и сроке окупаемости 4 года. В перспективе ООО «Лентрансгаз» предполагает создать подобные мини-заводы СПГ более чем на 15 АГНКС Северо-Западного региона и довести общую производительность по СПГ до 100 тыс. т в год. Получаемый СПГ будет доставляться в автохозяйства метановозами.

Однако предложенный способ получения СПГ имеет ряд существенных недостатков. Прежде всего это высокая стоимость продукта. Так, по оценкам специалистов «Ленавтогаз», стоимость СПГ, получаемого на существующих АГНКС, близка к стоимости бензина (но не дороже бензина марки А-92 [7]). Более того, при определении отпускной цены СПГ для автопредприятий необходимо учитывать стоимость его перевозки до непосредственного потребителя. Как показывает опыт работы ЗАО «Сигма-Газ», при расстоянии более 80 км стоимость перевозки существенно увеличивает отпускную цену СПГ (до 30%).

В целом концепция производства СПГ для автомобильного транспорта только на основе АГНКС и ГРС является повторением ошибки, сделанной в 80-е годы прошлого века при переводе транспорта на КПГ. Создание одиночных крупных установок, оторванных от основных потребителей – автохозяйств, привело к тому, что сейчас на территории России находится более 200 АГНКС-250-500, имеющих загрузку всего 5–10%, и ежегодно только одна АГНКС наносит экономический ущерб до 2 млн руб.

Для быстрого и широкомасштабного перевода автомобильного транспорта РФ на СПГ необходимо создать такую инфраструктуру получения, хранения и заправки СПГ, которая учитывала бы специфику общественного и промышленного транспорта крупных российских городов (удаленность от АГНКС и ГРС), обеспечивала низкую себестоимость СПГ, была независима от внешних поставщиков, исключала промежуточные звенья доставки СПГ (криогенные метановозы) и позволяла создать плотную сеть заправочных станций

СПГ на огромной территории Российской Федерации.

В перспективе эта инфраструктура должна включать в себя как крупные городские комплексы производства и заправки СПГ, так и гаражные заправочные станции, расположенные непосредственно в автохозяйствах. При этом основная нагрузка по обеспечению автотранспорта сжиженным природным газом должна ложиться именно на гаражные заправочные станции, а городские заправочные комплексы будут предназначаться только для дозаправки городского промышленного и общественного транспорта и при междугородных перевозках.

Описанную инфраструктуру можно создать, используя разработанные автором стирлинг-технологии, причем уже созданные научно-технический и патентный заделы [1, 2, 3] обеспечат решение этой задачи в кратчайшие сроки.

В основе стирлинг-технологий лежит идея сжижения природного газа для заправки автомобилей с применением криогенных газовых машин (КГМ), работающих по циклу Стирлинга.

Основными элементами новой инфраструктуры на базе этих технологий станут:

- индивидуальные заправочные пункты с установками получения СПГ производительностью до 40 л/ч СПГ;
- гаражные заправочные станции с установками получения СПГ производительностью до 900 л/ч СПГ;
- городские (муниципальные) заправочные комплексы с оборудованием для сжижения природного газа производительностью более 1 т/ч, в том числе на базе существующих АГНКС и ГРС.

На заправочных пунктах с установками производительностью до 900 л/ч получать СПГ предполагается только с применением КГМ Стирлинга.

Для установок производительностью свыше 1 т/ч СПГ будут использоваться как традиционные способы сжижения на основе дроссельно-детандерного цикла и вихревого эффек-

та, так и новый цикл сжижения СПГ [4,5,6].

Индивидуальные заправочные пункты (от 20 до 40 л/ч) в зависимости от требуемой производительности по СПГ оснащаются серийно выпускаемыми отечественной промышленностью одно- и двухцилиндровыми КГМ Стирлинга (ЗИФ-1000 или ЗИФ-2002).

Индивидуальные заправочные пункты (ИЗП СПГ) могут быть расположены:

- на удаленных или отдельно стоящих государственных объектах с небольшим количеством автотранспортных средств (таможенные пункты, лесные кордоны и т.д.);
- в фермерских хозяйствах (для заправки до 5 единиц автотракторной техники);
- в личных хозяйствах – на территории коттеджных участков (для заправки от 1 до 10 автомобилей типа «Волга» в сутки).

Для фермерских хозяйств и других объектов, где нет электричества, в качестве привода может быть предусмотрен газовый двигатель.

Основными источниками природного газа для ИЗП СПГ являются производственные газопроводы с давлением от 0,1 до 0,6 МПа. Для потребителей, расположенных вне зоны действия существующих газопроводов, предполагается использовать емкости с привозным компримированным природным газом. Для этого на месте расположения ИЗП создается баллонный модуль, который по требованию заказчика может комплектоваться цельнокомпозитными 400-литровыми баллонами высокого давления (до 40 МПа) ОКБ «Союз», 100-литровыми баллонами ЗАО «Оргэнергогаз» или 130-литровыми баллонами НПФ «Шторм».

Сжатый газ доставляется на заправочный пункт различными транспортными средствами, например передвижными автомобильными газозаправщиками (ПАГЗ) Каргалинского авторемзавода на полуприцепе ОДАЗ (емкостью 1400 м³) и на тракторном прицепе (2000 м³).

ПАГЗ для фермеров на прицепе вместимостью 530 м³ оборудован редуционными блоками, обеспечивающими их непосредственное подключение к установкам по сжижению СПГ. При необходимости заправки автотранспортного средства моторным топливом часть сжатого газа сжижается, остальная часть газа продолжает храниться в компримированном виде. При опорожнении баллонов производится их замена.

Гаражные заправочные станции с установками по производству СПГ должны проектироваться с учетом количества и типа автомобильного транспорта в автохозяйстве. Основными источниками природного газа для гаражных заправочных станций являются производственные и магистральные газопроводы с давлением от 0,1 до 7 МПа.

В зависимости от требуемого для однодневной заправки всех автомобилей количества СПГ в состав гаражной станции может входить от 2 до 10 двухцилиндровых КГМ Стирлинга, серийно выпускаемых на ОАО «МЗ «АРСЕНАЛ», что обеспечит общую производительность до 400 л/ч.

Технические данные двухцилиндровой КГМ Стирлинга:		
Производительность по СПГ, л/ч	До 40	
Длительность цикла непрерывной работы, ч	200	
Время отогрева и продувки КГМ для последующего пуска, ч	10	
Используемый криогенный агент	Гелий	
Рабочее давление гелия в КГМ, МПа	2,5	
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	2	
Мощность, потребляемая электродвигателем, кВт	34	
Масса КГМ (с залитым фундаментным блоком), кг	Не более 1000	
Габаритные размеры, мм:		
длина	1450	
ширина	1000	
высота	2000	

Для привода КГМ Стирлинга можно использовать как штатные электродвигатели, так и газовые двигатели (ДВС или двигатели Стирлинга), что позволит обеспечить полную автономность заправочных станций от внешнего электроснабжения.

Зарубежными аналогами отече-

ственных КГМ Стирлинга являются одно- и четырехцилиндровые криогенераторы SGL-1 и SGL-4 фирмы Stirling Cryogenics & Refrigeration, позволяющие получать соответственно 19 и 80 л/ч СПГ. Фирмами «Филипс» и «Веркспоор» освоено серийное производство и более мощных многоцилиндровых машин производительностью до 900 л/ч СПГ.

Технико-экономическую эффективность и срок окупаемости заправочных станций с получением СПГ на основе стирлинг-технологий определяют с учетом полных затрат (капитальных, эксплуатационных и т.д.).

Технико-экономические показатели и экономическую эффективность производства и применения взаимозаменяемых моторных топлив следует рассчитывать суммируя издержки на:

- добычу и транспорт сырья;
- производство самих моторных топлив;
- топливоснабжение потребителей;
- производство автотракторной техники с учетом специфики применения альтернативных топлив;
- эксплуатацию автотракторной техники с учетом изменения технико-эксплуатационных показателей, связанных с качеством и особенностями применения альтернативных топлив;
- природоохранные мероприятия, связанные с загрязнением окружающей среды автотранспортом и т.д.

Исследования, выполненные специалистами РАО «ГАЗПРОМ» и ВНИИгаз, показывают, что с точки зрения технико-экономической эффективности использование СПГ в качестве моторного топлива значительно выгоднее, чем КПГ [8,9]. Согласно результатам технико-экономических расчетов (ТЭР) при масштабном производстве СПГ удельные капиталовложения на производство ниже на 25–30%, себестоимость производства – на 40%, а суммарные приведенные затраты на производство-доставку-распределение – на 10–30%, чем аналогичные показатели для КПГ.

Принимая во внимание вышеприведенные данные, технико-экономический расчет эффективности и срока окупаемости заправочных станций с производством СПГ на основе стирлинг-технологий строился с учетом затрат на производство СПГ на станции, а также затрат на переоборудование и эксплуатацию автотранспортной техники на СПГ. Особенности для станций с применением стирлинг-технологий являются отсутствие транспортных затрат на доставку СПГ, поскольку его производство обеспечивается непосредственно в автохозяйствах, и возможность использования более дешевого газового оборудования (в частности, автомобильных металлопластиковых криогенных баков с пенополиуретановой изоляцией, которые в 3–4 раза дешевле баков с экранно-вакуумной изоляцией).

Технико-экономический расчет был проведен для различных типов КГМ, производимых у нас в стране и за рубежом, и для вариантов единичного и серийного производства заправочных пунктов с КГМ Стирлинга. Результаты расчета представлены в таблице.

Расчеты проводили для автомобиля ЗИЛ-130 с учетом цен на газ и дневного тарифа на электроэнергию в Санкт-Петербурге на 1.02.01г. Однако практически на всей террито-

рии РФ определено соотношение стоимости электроэнергии в дневное и ночное время, которое составляет 2–4 в зависимости от региона России. Учитывая это и сравнительно небольшие необходимые объемы СПГ, сжижение природного газа целесообразнее осуществлять в ночное время. При этом себестоимость СПГ, получаемого в гаражном заправочном пункте автохозяйства, может быть дополнительно снижена практически на 20–30%. Более того, использование СПГ в качестве моторного топлива позволяет увеличить ресурс работы двигателя на 15%, а срок службы моторных масел – на 15–20%. Переход на серийный выпуск установок по сжижению ПГ на основе стирлинг-технологий принесет дополнительное снижение себестоимости СПГ. По предварительным оценкам, стоимость 1 л СПГ, полученного на этих установках, не превысит 1,81 руб., причем окупаемость самих гаражных пунктов на основе КГМ Стирлинга составит не более 2,5 лет.

В современных экономических условиях при использовании стирлинг-технологий, являющихся сравнительно дешевым способом получения СПГ для перевода автотранспорта на природный газ, этот вид топлива становится конкурентоспособным на отечественном рынке автомобильных топлив.

Внедрение высокоэффективных индивидуальных и гаражных заправочных станций на основе КГМ Стирлинга позволит в кратчайшие сроки создать инфраструктуру производства СПГ для автомобильного транспорта, а использование сжиженного природного газа в качестве моторного топлива может стать таким же простым и легким, как и традиционных нефтяных видов топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов Н.Г. Машины Стирлинга для высокоэффективных и экологически чистых систем автономного энергоснабжения//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2000. № 12.
2. Кириллов Н.Г. Производство СПГ для автомобильного транспорта//Газовая промышленность. 2001. № 1.
3. Кириллов Н.Г. О создании инфраструктуры производства СПГ для автотранспортных средств в Российской Федерации//Нефтегазовые технологии. 2001. № 3.
4. Кириллов Н.Г. Криогенная система для ожижения воздуха по циклу Кириллова. Патент № 2154785. Бюл. № 23 от 20.08.2000.
5. Кириллов Н.Г. Криогенная система для ожижения воздуха по модифицированному циклу Кириллова. Патент № 2151980. Бюл. № 183 от 27.06.2000.
6. Кириллов Н.Г. Криогенная система для ожижения воздуха по циклу Клода–Кириллова. Патент № 2151981. Бюл. № 18 от 27.06.2000.
7. Корешонков Н.А. Проблемы заправки газом авто- и речного транспорта. Серия Природный газ в качестве моторного топлива. Подготовка, переработка и использование газа. № 5–7. – М., 1995.
8. Седых А.Д., Роднянский В.М. Политика Газпрома в области использования природного газа в качестве моторного топлива//Газовая промышленность. 1999. № 10.
9. Чириков К.Ю., Пронин Е.Н. Перспективы применения СПГ на транспорте//Газовая промышленность. 1999. № 10.

Показатели	Тип КГМ				
	ЗИФ-1000	ЗИФ-1000 (серийное производство заправочных пунктов – прогноз)	ЗИФ-2002	ЗИФ-2002 (серийное производство заправочных пунктов – прогноз)	SGL-4
Годовые затраты на СПГ для одного автомобиля ЗИЛ-130, руб. бак для топлива:					
с экранно-вакуумной изоляцией	34920	26520	27480	22680	21360
с пенополиуретановой изоляцией	32160	23760	24720	19800	18480
Годовая экономия затрат на топливо для 1 автомобиля, руб.* бак для топлива:					
с экранно-вакуумной изоляцией	37080	45480	44520	49320	50640
с пенополиуретановой изоляцией	39480	48240	47280	52200	53520
Срок окупаемости затрат на переоборудование автомобиля, руб. бак для топлива:					
с экранно-вакуумной изоляцией	1,2	0,99	1,01	0,91	0,89
с пенополиуретановой изоляцией	0,56	0,48	0,49	0,44	0,43
Годовая экономия затрат на топливо на один заправочный комплекс, руб.* бак для топлива:					
с экранно-вакуумной изоляцией	241020	295620	578760	641160	1478688
с пенополиуретановой изоляцией	258960	313560	614640	678600	1562784

*По сравнению с использованием бензина.