

УДК 621.593

А.Л. Довбиш, В.А. Передельский*, К.В. Безруков, И.Ю. Васильева, Е.И. Гуров
ОАО «Криогенмаш», проспект Ленина, 67, г. Балашиха Московской области, РФ, 143907
e-mail:viacheslav_peredelski@cryogenmash.ru

ОПЫТ СОЗДАНИЯ БЛОКОВ ОЖИЖЕНИЯ СПГ-УСТАНОВОК МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Растёт спрос на установки малой производительности для ожижения природного газа. СПГ-установки необходимо создавать на базе относительно простых и надёжных циклов, например, дроссельно-эжекторных высокого давления. В таких СПГ-установках блоки ожижения могут иметь блочно-модульные конструкции. Рассматриваются характеристики СПГ-установок УСПГ-1,5 и УСПГ-2,5, производимых компанией «Криогенмаш» (Балашиха Московской области). Четыре установки УСПГ-1,5 уже успешно эксплуатируются в Китае; ещё две УСПГ-2,5 недавно отправлены туда же. Удельные затраты на ожижение составляют 0,66 кВтч/кг СПГ.

Ключевые слова: Природный газ. Сжиженный природный газ (СПГ). Компрессор. Холодильная машина. Дроссель. Эжектор. Удельные затраты на ожижение.

A.L. Dovbish, V.A. Peredelski, K.V. Bezrukov, I.Y. Vasilieva, E.I. Gurov

EXPERIENCE OF CREATION BLOCK-LIQUEFACTION OF LNG-UNITS SMALL PRODUCTIVITY

The demand is growing for the installation of small productivity for the liquefaction of natural gas. LNG-units requires to create based on relatively simple and reliable cycles, for example, throttle-ejector of a high pressure. In such LNG-units blocks of liquefaction can have block-modular design. The characteristics of LNG-units USPG-1,5 and USPG-2,5, produced by company «Cryogenmash» (Balashikha, Moscow region) are considered. Four units USPG-1,5 have been successfully used in China, two more USPG-2,5, recently sent to the same. Specific expenses on liquefaction are 0,66 kWh/kg LNG.

Keywords: Natural gas. Liquefied natural gas (LNG). Compressor. Refrigeration machine. Throttle. Ejector. Specific expenses on liquefaction.

1. ВВЕДЕНИЕ

Начавшийся в конце 80-х годов интенсивный процесс развития технологий, основанных на использовании сжиженного природного газа (СПГ), к сожалению, был прерван годами перестройки и экономического спада. Теперь в России возникла совершенно новая экономическая, технологическая, экологическая и социальная ситуация и созданы все условия для внедрения технологий по производству и использованию СПГ.

Так, концепция участия ОАО «Газпром» в газификации регионов РФ, утвержденная постановлением правления ОАО «Газпром» № 57 от 30.11.2009, продекларировала перспективы внедрения СПГ-установок в России, в том числе малой и средней производительности, и, что важно, на базе блочно-модульных отечественных разработок и оборудования.

Как показывают технико-экономический анализ и мировой опыт, криогенные технологии малотоннажных СПГ-установок, как правило, строятся на базе

относительно простых и надёжных в эксплуатации циклов ожижения, например, дроссельно-эжекторных циклов высокого давления или детандерных азотных циклов.

2. ПОКАЗАТЕЛИ СПГ-УСТАНОВОК МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Учитывая необходимость отработки на первых стадиях внедрения технологии производства и использования СПГ, в малотоннажных УСПГ было принято решение использовать надёжные дроссельно-эжекторные циклы высокого давления.

Выбор в пользу дроссельного цикла высокого давления объясняется также тем, что оптимальное давление в таком цикле — 18-25 МПа, т.е. давление, которое могут обеспечить серийные поршневые компрессоры, широкий выбор которых имеется как на отечественном, так и зарубежном рынках. То же относится и к холодильным агрегатам.

Большую роль на начальной стадии развития тех-

нологий производства СПГ в России сыграло наличие сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), созданной в СССР ещё в 80-х годах прошлого столетия.

В конце 90-х годов прошлого века после анализа загруженности этих АГНКС [1], рядом «дочерних» предприятий ОАО «Газпром» и, прежде всего ООО «Лентрансгаз» (ныне ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»), было принято решение использовать оборудование АГНКС, в частности, компрессоры высокого давления и блоки осушки газа, для создания на их базе малотоннажных СПГ-установок. Наряду с возможностью применения имеющегося в наличии разработанного ранее в ОАО «Криогенмаш» оборудования СПГ (теплообменники, сепараторы, арматура, резервуары СПГ и т.п.), такое решение значительно снижало первоначальные капитальные вложения.

Большим преимуществом такого решения явилась возможность эксплуатации установок в условиях частых включений — отключений в так называемых «рваных» режимах, что было связано с неравномерной нагрузкой компрессоров АГНКС. Такая возможность обусловлена отсутствием в составе установок высокооборотных расширительных машин (детандеров), частые пуск и остановка которых сопряжены со снижением надежности установки в целом. И, как показал опыт эксплуатации, это решение было правильным.

Таким образом, уже в течение длительного времени ряд опытно-промышленных малотоннажных установок по производству СПГ, скомплектованных на базе АГНКС, эксплуатируется в Московской, Ленинградской, Псковской и Свердловской областях [2,3].

В настоящее время, учитывая требования заказчиков по непрерывной круглогодичной эксплуатации установок и сведению к минимуму монтажных работ, концептуальные решения по созданию малотоннажных СПГ-установок пересмотрены в сторону блочно-модульных конструкций блоков ожижения (БО), компрессорных и холодильных агрегатов на базе серийно выпускаемых отечественных сборок с максимальной заводской готовностью.

Установка на базе дроссельно-эжекторного цикла (рис. 1) работает следующим образом: природный газ (ПГ) очищают от примесей CO_2 , H_2S , осушают, сжимают в компрессоре до высокого давления, охлаждают в теплообменнике, затем расширяют в активном сопле эжектора. Образовавшуюся при этом парожидкостную смесь разделяют в сепараторе, жидкую фазу из сепаратора в качестве продукта отводят в систему хранения и, затем, потребителю, а паровую фазу из сепаратора обратным потоком направляют в теплообменник для рекуперации холода. После теплообменника обратный поток смешивают с новой порцией очищенного газа и направляют на вход в компрессор. Энергию расширения холодного потока газа используют в активном сопле эжектора для дожатия пассивного потока (паров СПГ) до давления обратного потока, что позволяет производить СПГ с давлением 0,3...0,4 МПа при давлении обратного потока 0,6...1,2 МПа, что соответствует давлению газа в газовых се-

тях. Использование эжекторов повышает энергетическую эффективность дроссельной установки на 15-20 % [4].

Для охлаждения газа высокого давления, кроме холода обратного потока, используют также холодильную машину, что позволяет существенно повысить производительность и эффективность СПГ-установки.

Как правило, в ПГ содержится небольшое количество низкокипящих компонентов — азота, водорода и гелия. При работе установки низкокипящие компоненты накапливаются в циркулирующем газе, в результате чего снижается изотермический дроссель-эффект и, соответственно, производительность установки по СПГ. Для недопущения накопления низкокипящих компонентов необходимо предусмотреть их отдувку, причём, желательнее с минимальными потерями основного компонента ПГ — метана. В процессе создания блоков ожижения СПГ-установок ОАО «Криогенмаш» была разработана технология отдувки низкокипящих компонентов, защищенная патентом на изобретение [5]. Более подробно цикл ожижения описан в [6].

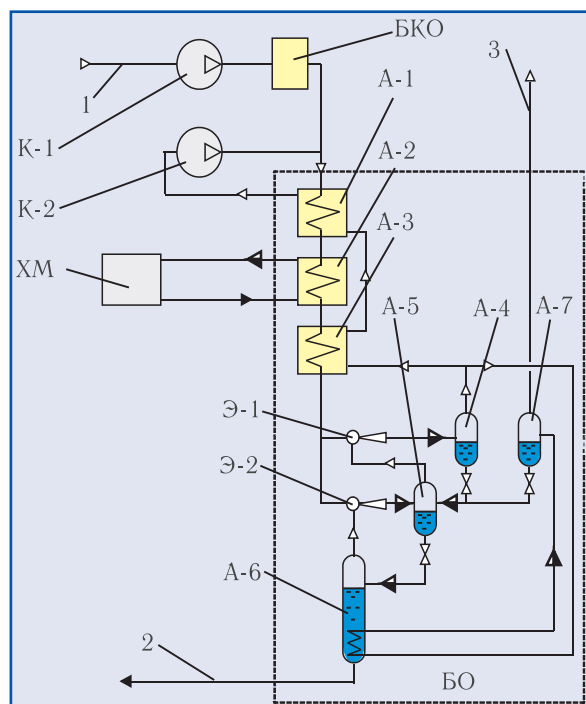


Рис. 1. Принципиальная схема СПГ-установки:
1 — вход ПГ в установку; 2 — выход СПГ из установки в систему хранения; 3 — отбросный газ из установки; К-1 — компрессор ожижаемого потока ПГ; К-2 — компрессор циркуляционного потока ПГ; ХМ — холодильная машина; А-1, А-2 и А-3 — теплообменники; А-4, А-5, А-6 и А-7 — сепараторы; БО — блок ожижения; БКО — блок очистки и осушки; Э-1 и Э-2 — эжекторы

Блоки ожижения представляют собой цельную транспортную конструкцию, прошедшую цикл

испытаний на заводе-изготовителе и позволяющую транспортирование в габаритах как автомобильного, так и железнодорожного транспорта.

При выборе типа низкотемпературной изоляции блоков было отдано предпочтение изоляции на основе вспененных каучуков с наружным защитным покрытием, так как при этом отпадает необходимость наддува изоляционного пространства инертным газом и обеспечивается свободный доступ к оборудованию при его осмотре и ремонте.

Работа блоков ожижения в установившемся технологическом режиме ожижения и выдачи СПГ потребителю происходит посредством включения оператором локальных алгоритмов управления, которые позволяют поддерживать при заданных параметрах работу в автоматизированном режиме. Локальная система автоматизированного управления блока ожижения построена на унифицированных средствах и легко реализуется в составе АСКУ УСПГ.

Как показали результаты пуска четырёх блоков ожижения, время выхода на полноценный рабочий режим с выдачей СПГ потребителю не превышает 20...30 мин.

При создании блоков ожижения отработаны схемные и конструктивные решения, что позволяет создавать блоки ожижения транспортабельных габаритов производительностью до 3...4 т/ч. Отлажена технология изготовления, сборки и испытаний технологического оборудования блоков, что создало предпосылки для снижения сроков разработки и изготовления блоков ожижения мелкими сериями.

Цикл создания блока ожижения с учётом доработки конструкторской документации под требования заказчика (параметры и состав природного газа и т.п.) с момента подписания контракта до отгрузки — не более 9 мес.

Основные технические характеристики установок СПГ на базе блоков производительностью 1,5 и 2,5 т/ч приведены в таблице.



Фото 2. Внешний вид блока ожижения УСПГ-2,5 без изоляции

По заказу Китайской народной республики (КНР) в 2007-2011 гг. ОАО «Криогенмаш» разработало, из-

готовило и поставило блоки ожижения СПГ-установок, базирующиеся на использовании дроссельного цикла высокого давления с предварительным охлаждением, с эжекторными ступенями и отдувкой низкипящих компонентов (азот, водород, гелий). Фото 2 даёт представление о внешнем виде блока ожижения УСПГ-2,5.

Производительность разработанных блоков ожижения — от 0,6 до 2,5 т/ч. На конец сентября 2011 г. в КНР поставлены и успешно эксплуатируются четыре блока ожижения производительностью 1,5 т/ч. В настоящее время отгружены в КНР один блок производительностью 1 т/ч и два блока производительностью 2,5 т/ч. Проводятся заводские испытания двух блоков производительностью 1,5 т/ч для отправки в КНР.

Основные технические характеристики СПГ- установок

Параметр	Установка СПГ-1,5	Установка СПГ-2,5
<i>ПГ на входе в блок БО:</i>		
Давление, МПа (абс.)	20,0	20,0
Температура, К (°С)	303 (+30)	303 (+30)
Расход, м³/ч (кг/ч)	2080 (1540)	3600(2595)
<i>СПГ из УСПГ:</i>		
Давление, МПа (абс.)	0,3-0,4	0,3-0,4
Температура, К	126,5-131,6	126,5-131,6
Расход, кг/ч	1535	2510
<i>Отбросный газ:</i>		
Давление, МПа (абс.)	0,5	0,5
Температура, К	126,5	130±5
Расход, м³/ч (кг/ч)	10(5,0)	110(85)
<i>Потребляемая мощность, кВт:</i>		
-компрессор ожижаемого потока ПГ	190	380
-компрессор циркуляционного потока ПГ	575	940
-холодильная машина	210	350
Суммарная потребляемая мощность, кВт	975	1690
Удельные затраты энергии (расчётные), кВтч/кг	0,635	0,69

Примечание: м³ приведен к условиям: +20 °С, 0,101325 МПа абс. и 0 % относительной влажности газа.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны и успешно эксплуатируются в КНР четыре блока ожижения СПГ-установок производительностью 1,5 т/ч, базирующихся на дроссель-

но-эжекторном цикле с предварительным охлаждением и отдувкой низкокипящих компонентов из природного газа. В настоящее время два блока ожижения производительностью 2,5 т/ч отгружены заказчику. Два блока производительностью 1,5 т/ч находятся в стадии заводских испытаний и готовятся к отгрузке также в КНР. Блоки ожижения в составе установок производят СПГ при давлении 0,3...0,5 МПа. Расчётные удельные энергозатраты на ожижение — 0,63...0,70 кВтч/кг СПГ. По результатам эксплуатации действительные удельные затраты на ожижение в СПГ-установках (провинция Сычуань, КНР) составили 0,66 кВтч/кг СПГ.

2. Технология ожижения природного газа с низкокипящими компонентами, используемая при работе блоков ожижения разработки ОАО «Криогенмаш», защищена патентом РФ [5].

3. Конструктивно блоки ожижения выполнены в едином транспортабельном блочном исполнении заводского изготовления, обеспечивающем минимум монтажно-строительных работ на площадке заказчика.

4. При создании блоков ожижения отработаны конструктивные решения, технология изготовления, сборки и испытаний основного технологического оборудования, что позволяет в кратчайшие сроки создавать блочно-модульные установки ожижения природного газа с дроссельно-эжекторными циклами высокого давления, с предварительным охлаждением и от-

дувкой низкокипящих компонентов производительностью в одной линии до 4 т/ч СПГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аполонский И.Ю.** Увеличение использования КПП глазами потенциального инвестора// Информационный бюллетень. — 2005. — № 1(18) (http://www.ngvrus.ru/st18_3.shtml).
2. Повышение эффективности установок сжижения природного газа малой производительности/ **И.Ф. Кузьменко, А.Л. Довбиш, В.А. Передельский и др.**// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2002. — № 5. — С. 29-31.
3. **Ходорков И.Л.** Первый в России типовой мини-завод по производству СПГ на АГНКС// Холодильный бизнес. — 2001. — № 4. — С. 12-14.
4. **Соколов Е.Я., Бродянский В.М.** Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. — М.: Энергоиздат, 1981. — 320 с.
5. Патент РФ № 2355959. Способ извлечения низкокипящих компонентов природного газа при его сжижении в замкнутом контуре и установка для его осуществления. МКИ F25J1/00.
6. **Безруков К.В., Довбиш А.Л., Передельский В.А.** Блочная установка ожижения природного газа производительностью 1,5 т/ч// Технические газы. — 2008. — № 3. — С. 67-70.

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 188
Тел/факс: + 380 48 777 00 87
E-mail: uasigma@paco.net
[Http://www.uasigma.odessa.ua](http://www.uasigma.odessa.ua)

Генеральный информационный спонсор



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:

