

УДК 621.593:546.217

К.В. Безруков, А.Л. Довбиш*, В.А. Передельский

ОАО «Криогенмаш», пр. Ленина, 67, г. Балашиха Московской области, РФ, 143907

*e-mail: dovbish@cryogenmash.ru

БЛОЧНАЯ УСТАНОВКА ОЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 1,5 Т/Ч

Наблюдается постоянный рост спроса на сжиженный природный газ (СПГ). Для снижения стоимости оборудования необходима разработка относительно простых СПГ-установок. Рассматривается схема СПГ-установки, конструктивно скомпонованной в блоки, обеспечивающие транспортировку основного технологического оборудования в собранном виде после заводских испытаний. В установке используется дроссельный цикл высокого давления с предварительным охлаждением. Её работа может быть организована на базе оборудования автомобильных газонаполнительных компрессорных станций. Установка характеризуется высокой эффективностью ожижения.

Ключевые слова: Природный газ. Сжиженный природный газ. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция. Компрессор. Холодильная машина. Эжектор.

K.V. Bezrukov, A.L. Dobbish, V.A. Peredelsky

BLOCK UNIT BY PRODUCTIVITY OF 1,5 T/H FOR LIQUEFACTION OF NATURAL GAS

A steady increase for liquefied natural gas (LNG) is observed. For decline in value of equipment is necessary to development a comparative simple LNG-units. The circuit of LNG-unit structurally grouped in blocks, providing the transportation of basic process equipment at bodily after factory testing is considered. In unit the throttle cycle of high pressure with preliminary cooling is used. Its work can be organized on the basis of the equipment automobile gas filling compressor stations. Unit is characterized by high efficiency of liquefaction.

Keywords: Natural gas. Liquefied natural gas. Automobile gas filling compressor station. Compressor. Refrigerating machine. Ejector.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России созданы условия для производства и использования сжиженного природного газа (СПГ). В Московской и Ленинградской областях уже эксплуатируется ряд комплексов по производству и сбыту СПГ [1,2].

К сожалению, более широкое внедрение СПГ-технологий сдерживается высокими капитальными вложениями в приобретение необходимого оборудования. Немногие из заинтересованных компаний могут позволить себе приобретение оборудования для создания крупных СПГ-установок. Поэтому создание простых и доступных по стоимости установок небольшой производительности особенно актуально на первых порах внедрения СПГ-технологий. Особую роль, при этом, может сыграть наличие в России сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), созданной в 80-х годах прошлого столетия в соответствии с постановлением Совета Министров СССР.

Учитывая, что согласно данным [3,4] загрузка большинства АГНКС в России составляет порядка 10 %, рационально использовать оборудование таких простаивающих или малоиспользуемых АГНКС, в частности компрессоров и блоков осушки, для создания на их базе СПГ-установок небольшой производительности. Это позволит как повысить их рентабельность, так и снизить первоначальные капитальные вложения в сооружение установок для сжижения природного газа.

Наиболее целесообразно разрабатывать такие установки на основе дроссельного цикла высокого давления с предварительным охлаждением. Выбор в пользу этого цикла объясняется тем, что оптимальное давление в таком цикле — 18-25 МПа, а это как раз давление, которые обеспечивают компрессоры АГНКС.

Как известно, ожижитель на базе дроссельного цикла работает следующим образом: ожижаемый газ сжимают в компрессоре до высокого давления, газ

© К.В. Безруков, А.Л. Довбиш, В.А. Передельский

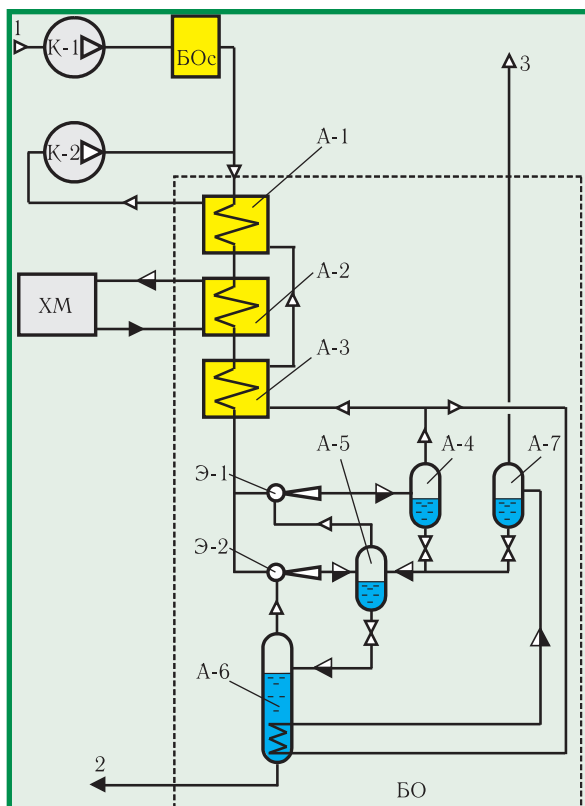


Рис. 1. Принципиальная схема УСПГ-1,5: 1 — вход ПГ в установку; 2 — выдача СПГ в систему хранения; 3 — отбросный газ из установки; К-1 — компрессор ожижаемого потока ПГ; ХМ — холодильная машина; К-2 — компрессор циркуляционного потока ПГ; А-1, А-2, А-3 — рекуперативные теплообменники; А-4, А-5, А-6,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

высокого давления охлаждают в рекуперативном теплообменнике, затем дросселируют; 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 в качестве обратного потока направляют в теплообменник для рекуперации холода. После теплообменника обратный поток смешивают с новой порцией газа и направляют на вход в компрессор. В простом дроссельном цикле давление жидкого продукта практически равно давлению газа на входе в компрессор.

Эффективность простого дроссельного цикла невысока, однако её можно существенно повысить, используя предварительное охлаждение. Так, производительность установки ожижения природного газа ЗАО «Криогаз» на базе АГНКС-500 после введения предварительного охлаждения на температурном уровне ~ -40 °С возросла в три раза и превысила 1000 кг/ч СПГ [5].

ЗАО «Криогаз» (Ленинградская область) производит СПГ при давлении 0,3-0,4 МПа, что обусловлено давлением в трубопроводе-отводе АГНКС, а также связано с отсутствием необходимости очистки газа от примесей диоксида углерода. В этом случае для систем хранения СПГ подходят резервуары, рассчитанные на

Технические характеристики установки УСПГ-1,5

Параметр	Значение
ПГ на входе в установку	
Давление, МПа (абс.)	3
Температура, К (°С)	308 (35)
Расход, $\text{нм}^3/\text{ч}$ (кг/ч)	1941,2 (1540,8)
Состав, % об.:	
– метан (С1)	92,189
– этан (С2)	4,530
– пропан (С3)	1,430
– изобутан (i-С4)	0,251
– бутан (n-С4)	0,435
– изопентан (i-С5)	0,142
– пентан (n-С5)	0,144
– гексан (С6)	0,283
– азот (N ₂)	0,572
– гелий (He)	0,015
– водород (H ₂)	0,014
– кислород+аргон (O ₂ +Ar)	0,004
СПГ на выходе из установки	
Давление, МПа (абс.)	0,3-0,4
Температура, К (°С)	126,5-131,6 (-146,5- -141,4)
Расход, $\text{нм}^3/\text{ч}$ (кг/ч)	1935,8 (1535,7)
Отбросный газ	
Давление, не более, МПа (абс.)	1,2
Температура, не менее, К (°С)	126,5 (-145,5)
Расход, $\text{нм}^3/\text{ч}$ (кг/ч)	5,52 (4,99)
Состав, % об.:	
– метан (С1)	33,739
– азот (N ₂)	55,465
– гелий (He)	5,560
– водород (H ₂)	5,200
– кислород+аргон (O ₂ +Ar)	0,038
Потребляемая мощность, кВт:	
– компрессор ожижаемого потока ПГ	190
– компрессор циркуляционного потока ПГ	575
– холодильная машина	210
Суммарная потребляемая мощность, кВт	975
Удельные затраты энергии, кВт·ч/кг (кВт·ч/нм ³)	0,635 (0,504)

Примечание: Потребляемая компрессорами мощность рассчитана при изотермическом КПД 0,65 и механическом КПД привода 0,97. Потребляемая холодильной машиной мощность определена при холодильном коэффициенте, равном 1.

давление 0,6 МПа, в т.ч. производства ОАО «Криогенмаш», объёмом от 5 до 250 м³.

Однако значительная часть АГНКС обеспечивается газом от газопроводов-отводов после газораспределительных станций (ГРС), имеющих давление 0,6 или 1,2 МПа. Для понижения давления СПГ можно использовать, во-первых, дросселирование газа на входе в компрессор до давления 0,3-0,4 МПа, во-вторых, дожатие потока газа до давления в газопроводе в допол-

нительном компрессоре, в-третьих, сжатие потока до требуемого давления с помощью эжектора, использующего энергию расширяющегося в сопле газа.

Из трёх перечисленных вариантов наиболее приемлемым является вариант с эжектором; первые два варианта (в отличие от третьего) требуют замены или доукомплектования компрессорного оборудования АГНКС. Кроме того, третий вариант по сравнению с двумя первыми выигрывает по эффективности, так как эжектор фактически заменяет компрессорную ступень, соответственно снижая энергозатраты на дожатие газа. По данным [6] замена дроссельной ступени на эжекторную повышает эффективность установки почти на 20 %.

Как правило, в природном газе (ПГ) содержится небольшое количество так называемых 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, желательно её производить с минимальными потерями основного компонента ПГ — метана.

2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

По заказу Китайской Народной Республики (КНР) в 2007 г. наше предприятие разработало, изготовило и поставило СПГ-установку, базирующуюся на использовании дроссельного цикла высокого давления с предварительным охлаждением и циркуляционного контура с эжекторными ступенями и отдувкой низкокипящих компонентов (азот, водород, гелий).

Установка ожижает 50 тыс. м³ в сутки ПГ (расход приведён к условиям +20 °С и 0,101325 МПа), что соответствует производительности 1,5 т/ч СПГ. Поэтому установка получила индекс УСПГ-1,5. Давление ПГ на входе в установку — 3 МПа. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

В СПГ-установке реализуются следующие процессы. Поступающий в установку газ направляют на вход в компрессор сжимаемого потока ПГ (К-1), в котором газ сжимают до давления ~20 МПа. После компрессора К-1 сжатый ПГ направляют в блок осушки (БОс), в котором содержание воды в газе снижают до значения не более 3 ppm, что соответствует точке росы не выше -70 °С при атмосферном давлении. После блока осушки ПГ смешивают с газом циркуляционного потока при давлении 20 МПа и направляют в блок ожижения (БО). В нём ПГ высокого давления (прямой поток) последовательно охлаждают в теплообменниках А-1, А-2 и А-3, после чего прямой поток разделяют на две части и направляют их в эжекторы Э-1 и Э-2. После расширения в эжекторах потоки в парожидкостном состоянии направляют в сепараторы А-4 и А-5 соответственно. Давление в сепараторе А-4 около 1,2 МПа, в сепараторе А-5 — 0,8 МПа. Паровую фазу из сепаратора А-5 откачивают эжекто-

ром Э-1. Жидкую фазу из сепаратора А-5 дросселируют до давления 0,3-0,4 МПа. Образовавшуюся парожидкостную смесь разделяют в сепараторе А-6 на жидкую фазу (СПГ), которую отводят в систему хранения, и паровую фазу, которую откачивают эжектором Э-2. Жидкую фазу из сепаратора А-4 дросселируют в сепаратор А-5, а паровую фазу разделяют на две части. Большую из них в качестве обратного потока направляют в теплообменники А-3 и А-1 для рекуперации холода, а меньшую часть — на охлаждение в конденсаторе, расположенном в сепараторе А-6. Образовавшаяся после конденсатора парожидкостная смесь при давлении 1,2 МПа и температуре ~130...132 К поступает на разделение в сепаратор А-7. Пар из сепаратора А-7, представляющий собой отбросный газ, выводят из установки, а жидкость дросселируют в сепаратор А-5.



Фото 2. Вид монтажной площадки в районе г. Чунцин (КНР), на которой размещены блок ожижения и холодильная машина СПГ-установки



Фото 3. Внешний вид смонтированного под навесом блока ожижения

После рекуперации холода обратный поток газа из теплообменника А-1 направляют в компрессор циркуляционного потока, в котором сжимают его до давления 20 МПа. Затем он смешивается с осушенным газом сжимаемого потока и опять подаётся в блок ожижения.

Основные расчётные технические характеристики установки приведены в таблице.

В исходном ПГ содержится, на первый взгляд, незначительное количество низкокипящих компонентов: суммарное содержание гелия и водорода всего 0,03 % об. Однако если не обеспечить их отдувку, то,

в конечном итоге, они накопятся в циркулирующем газе, и производительность установки по СПГ упадет до нуля. Использование отдувки позволяет при небольшом расходе отбросного газа вывести практически все низкокипящие компоненты и обеспечить производство СПГ с высокой эффективностью.

Конструктивно основное технологическое оборудование установки сконструировано в блок ожижения с габаритами, обеспечивающими его транспортировку в собранном виде. Комплексно изготовленное и смонтированное оборудование испытано в заводских условиях. При создании блока решались вопросы проектирования и изготовления аппаратов минимальных размеров, а также эжекторов и арматуры. В процессе изготовления блока была отработана технология его сборки и испытаний. Внешний вид блока приведён на фото 2 и 3.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разработанной нами СПГ-установке решена проблема удаления низкокипящих компонентов из природного газа без существенного ухудшения её эффективности. Конструктивно установка выполнена в блочном виде. Основное технологическое оборудование сконструировано в блок, габариты которого позволяют транспортировать его в собранном виде после заводских испытаний.

Отработаны конструктивные решения, технология изготовления, сборки и испытаний основного тех-

нологического оборудования, что позволяет создавать в кратчайшие сроки как автономно работающие, так и использующие базу АГНКС установки ожижения природного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Эффективная установка сжижения природного газа на базе АГНКС с использованием «открытого цикла Клименко»/ **И.Ф. Кузьменко, А.Л. Довбиш, Р.В. Дарбинян и др.**// Технические газы. — 2006. — № 4. — С. 25-28.
3. **Аполонский И.Ю.** Увеличение использования КПП глазами потенциального инвестора// Информац. бюллетень. — 2005. — № 1/ http://www.ngvrus.ru/st18_3.shtml.
4. Аналитика МДМ-Банка. Товарные рынки и внешняя торговля на 07.09.2007/ <http://www.mdmbank.ru/folders/2889/.newsId/60775/extnews-material>.
5. **Ходорков И.Л.** Первый в России типовой мини-завод по производству СПГ на АГНКС// Холодильный бизнес. — 2001. — № 4. — С. 12-14.
6. **Соколов Е.Я., Бродянский В.М.** Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. — М.: Энергоиздат, 1981. — 320 с.

ВОСЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ БИЗНЕС-ФОРУМ И ВЫСТАВКА
THE 8th INTERNATIONAL BUSINESS-FORUM AND EXHIBITION

МЭДВИН: МИР СЖИЖЕННЫХ И СЖАТЫХ ГАЗОВ '2008

WORLD of LIQUIFIED and COMPRESSED GASES '2008

LPG, CNG, LNG, technical gases



- * оборудование для производства и использования LPG, CNG, LNG в промышленности и на транспорте;
- * технологическое оборудование, применяемое в промышленности для газа;
- * системы транспортировки и хранения сжиженных и сжатых газов;
- * системы газомоторного оборудования;
- * оборудование для хранения и транспортировки;
- * энергетические и холодильные установки;
- * оборудование и технологии для промышленности, сельского хозяйства и коммунального хозяйства;
- * оборудование для хранения и транспортировки;
- * оборудование для хранения и транспортировки;

КИЕВ

17-19

ИЮНЯ

КИЕВЭКСПОПЛАЗА

ул. САЛЮТНАЯ, 2Б

от м. "НИВКИ"

Организаторы:
 Газовая Ассоциация Украины;
 Киевская городская государственная администрация;
 Министерство топлива и энергетики Украины;
 Министерство транспорта Украины;
 Украинская ассоциация производителей технических газов "УА-СИГМА";
 Предприятие "МЭДВИН".

Героев Сталинграда пр-т, 12-Е, оф. "МЭДВИН", Киев, 04210
 Тел./факс: (044) 501-03-42, 501-03-44, 501-03-66
 E-mail: mail@medvin.kiev.ua; www.medvin.kiev.ua

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР:



ПРАКТИКА. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ