

ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕЛИЯ ПО НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗ СЫРЬЕВЫХ ГАЗОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ И ЯКУТИИ С ОТПРАВКОЙ ТОВАРНОГО ГАЗА ЭКОНОМИЧНЫМ СПОСОБОМ

А.Н. Дмитриевский¹, В.В. Финько², В.Е. Финько²

1 – ИПНГ РАН; 2 – ООО «НТФ»

e-mail: a.dmitrievsky@ipng.ru

Вводная часть

Проблема утилизации гелия на вновь осваиваемых месторождениях Сибири и Якутии требует сегодня особого внимания [1, 2]. Впервые такую задачу пришлось решать при разработке Оренбургского газоконденсатного месторождения, объемное содержание гелия в котором составляло всего 0,05%. Отсутствие в Советском Союзе в те годы промышленной технологии извлечения гелия из природного газа при таких малых долях его содержания вынуждало нашу страну отправлять гелийсодержащий газ на продажу в Европу и одновременно покупать там чистый гелий. Постановление Правительства в середине 70-х годов, объединившее возможности Оренбургского газоперерабатывающего завода (Р. Вяхирев), НПО ЛенНИИхиммаш (И. Андреев) и Сумского машиностроительного научно-производственного объединения им. М.В. Фрунзе (А. Лукьяненко), позволило за весьма короткий срок спроектировать и создать новый завод на отечественном оборудовании, обеспечивший страну гелием в объемах, существенно превышающих потребности промышленности СССР. Кроме модульных комплексов переработки сырьевого газа с выделением этана и гелия, в Оренбурге было создано подземное хранилище гелиевого концентрата. В результате жидкий гелий стало возможным не только получать в объемах, которые удовлетворяли собственные потребности страны, но и экспортировать.

Проблемные задачи

Вновь открытые Ковыктинское и Чайядинское нефтегазоконденсатные месторождения, предназначенные для газификации Сибири, Якутии и обеспечения поставок природного газа в Китай, содержат по объему в среднем 0,3% гелия. Для всех собственников гелийсодержащего газа тех регионов также потребуется обязательное извлечение гелия, который является уникальным и стратегически важным продуктом, стоимость которого превышает стоимость остальных компонентов природного газа. ПАО «Газпром» принял к реализации вариант освоения Ковыктинского месторождения с

первоначальным извлечением 20% гелия с помощью полимерных пленок по технологии фирмы «Грасис».

Остальные объемы гелия из газа предлагается извлекать только на Амурском газоперерабатывающем заводе, куда нагнетателями компрессорных станций газовая смесь будет перекачиваться по магистральному газопроводу. Такое решение не учитывает возможных больших потерь гелия из-за его высокой проницаемости, как через стенки труб при отсутствии на них специального покрытия, так и через стыковые соединения на всех компрессорных станциях перекачки.

Предлагаемое решение

С целью снижения потерь гелия предлагается новая технология его полного извлечения из сырьевого газа непосредственно на промысле сжижением всех углеводородов, что позволяет обеспечить также подачу чистого газа в магистральный газопровод любым требуемым давлением весьма экономичным способом. Добыча и переработка газа на всех газовых месторождениях с содержанием гелия могут существенно упроститься при условии создания на промысле подземного хранилища для азотно-гелиевого концентрата. Но такой вариант решения задачи утилизации гелия потребует больших дополнительных временных и капитальных затрат, поэтому он неприемлем.

В качестве примера рассмотрим вариант выделения гелия с подготовкой чистого газа для доставки его от промысла до первой компрессорной станции давлением 9,8 МПа и выше при параметрах газа на устье подготовленной к эксплуатации скважины: давление – 12,0 МПа, расход – 12 500 м³/ч, температура газа – 30 °С. Сырьевой газ имеет следующий усредненный компонентный состав в объемных процентах: метан – 90,7%, этан – 4,5%, пропан – до 1%, гелий – 0,3%, азот – 2,25%, а остальные 1,25% объема газа приходятся на тяжелые углеводороды, влагу и углекислоту.

Выделение гелия и азота из сырьевого газа с получением товарного продукта требуемого давления по предлагаемой технологии достигается за счет использования жидкого азота в качестве хладагента, обеспечивающего предварительное охлаждение потока, а также применения специальных генераторов холода без вращающихся механизмов высокой эффективности охлаждения [3]. Жидкий азот получают в специальном модульном комплексе, который включает компрессор, трехблочную установку сжижения полной заводской готовности, криостат для сбора продукта и

крионасосы высокого давления. Объем азота, необходимый для обеспечения первоначального запуска комплекса в работу, доставляется на промысел в газообразном или сжиженном виде. Выделяемый из сырьевого газа компонентный азот объемом 280 м³/ч сжижается и используется как хладагент.

Предполагается, что на промысле существует кустовая система подготовки газа, а каждая подготовленная к эксплуатации скважина обеспечена двумя переключающимися сепараторами с вымораживателями влаги специальной разработки. На рис. 1 приведена схема модуля выделения гелия для куста скважин, при наличии самостоятельной системы сжижения азота, с получением товарного газа требуемого давления для подачи его в магистральный газопровод.

Описание используемого оборудования

Модуль подготовки товарного газа высокого давления и выделения гелия, схематически изображенный на рис. 1, включает следующее оборудование: комплекс производства и раздачи жидкого азота (поз. 11–16); установку подготовки товарного газа (поз. 24); установку производства сжиженного природного газа (СПГ) и выделения из сырьевого газа гелия с азотом (поз. 25); криостаты для сбора и хранения СПГ и жидкого азота; криогенные насосы для прокачки СПГ через установку (поз. 24) давлением 9,8 МПа и выше; криогенные насосы для прокачки жидким азотом высокого (4,0 МПа) и низкого (0,5 МПа) давления установок (поз. 24–25 и поз. 32); вспомогательное криогенное оборудование (арматура, соединительные трубопроводы, расходомеры, хроматографы и т.д.).

Модуль производства жидкого азота включает: трехблочную установку специальной разработки с включенным в нее теплообменником охлаждения азота после сжатия в компрессоре; компрессор с электроприводом; криостаты для сбора, хранения и раздачи жидкого азота; крионасосы высокого и низкого давления с системами возврата азота на повторное сжижение. Основной криостат для сбора жидкого азота (поз. 14) имеет систему перелива азота в криостат (поз. 33).

Установка подготовки товарного газа (поз. 24) выполнена в виде двух соединенных между собой теплообменных блоков, в которых сырьевой газ проходит по межтрубному пространству, а прокачиваемый сжиженный природный газ под высоким давлением – по трубному пространству. Запуск модуля в работу из теплого состояния до выхода

установки сжижения на стационарный режим производится прокачкой установки жидким азотом криогенными насосами высокого давления.

Установка выделения гелия и производства СПГ (поз. 25) состоит также из двух соединенных между собой блоков, через которые прокачивается жидкий азот в течение всего периода выхода на стационарный режим.

Для получения СПГ и выделения гелия с азотом в качестве генераторов холода используются вихревые охладители, не имеющие вращающихся механизмов, но отличающиеся способностью переохлаждать газ ниже температуры его затвердевания [3]. Установка получения чистого гелия и сжижения азота (поз. 32) выполнена в виде трех соединенных между собой блоков и работает с использованием жидкого азота низкого давления в качестве дополнительного хладагента, а в качестве генераторов холода при расширении сжатой азотно-гелиевой смеси также используются эффективные вихревые охладители.

Описание работы модуля

Первоначально запускается комплекс получения жидкого азота, который накапливается в криостатах (поз. 14 и поз. 33). Далее насосом высокого давления (поз. 16) жидкий азот по отводу (поз. 16а) прокачивается через установку (поз. 24), а насосом низкого давления (поз. 15) по отводу (поз. 15а) жидкий азот прокачивается через установку (поз. 25 и поз. 32), эффективно захлаживая блоки. Регазифицированный азот высокого давления возвращается непосредственно на установку сжижения (поз. 13) по отводу (поз. 16б), а азот низкого давления – на повторное сжижение через отводы (поз. 15б, поз. 36 и поз. 11) и после сжатия в компрессоре (поз. 12).

Для перехода к стационарному режиму потребуется накопить до 5 тонн жидкого азота. После захлаживания установок (поз. 24 и поз. 25) жидким азотом в течение 10–12 минут медленным открытием задвижки (поз. 22) запускается в систему сырьевой газ рабочим давлением 4,2–4,5 МПа. Вследствие охлаждения входного потока газа в установке (поз. 24 и поз. 25) и расширения на вихревых охладителях обеспечивается сжижение всех углеводородных компонентов сырьевого газа, а выделяемый из установки (поз. 25) гелий с азотом направляются на сжатие в компрессор (поз. 31). Выделяемая в блоке 24 пропан-бутановая фракция отводится в отдельный накопитель, который условно на схеме не показан. После накопления СПГ в криостате (поз. 26) объемом более 10 м³ производится перевод комплекса в стационарный режим работы: отключается прокачка

установки (поз. 24) жидким азотом высокого давления и включается подача СПГ насосом высокого давления (9,8 МПа и выше). Прокачиваемый СПГ регазифицируется до требуемой температуры, и товарный газ высокого качества направляется в магистральный газопровод. Такой способ подготовки товарного газа позволяет снизить затраты на транспортировку газа в 14 раз, по сравнению с традиционной системой, использующей газопроводные нагнетатели.

Изменяя расходы СПГ и жидкого азота, протекающих через установки (поз. 24 и поз. 25), можно обеспечить оптимальный режим работы комплекса и максимальную производительность установки. При увеличении расхода СПГ, прокачиваемого через установку (поз. 24), существенно снижается количество жидкого азота, необходимого для охлаждения сырьевого газа. При стационарном режиме работы комплекса из компонентного состава сырьевого газа будет выделяться до 340 кг/ч азота, который после сжижения может быть отправлен потребителям. Установка выделения гелия из азотно-гелиевой смеси (поз. 32) для варианта утилизации газа одной скважины имеет рабочий объем около 300 м³/ч, поэтому ее работа по разделению таких объемов будет малоэффективной. В целях повышения эффективности выделения гелия производительность установки следует увеличивать объединением всего куста скважин. Пары азота из азотных криостатов (поз. 33 и поз. 17) утилизируются компрессором (поз. 12), что исключает выбросы газа в атмосферу.

При наличии типовой системы подготовки сырьевого газа, допускающей присутствие в нем растворенной влаги, вследствие интенсивного охлаждения установок жидким азотом на поверхностях теплообменников начинают образовываться газогидраты, накопление которых существенно снижает производительность, что требует остановки работы установок для растепления. Из опыта эксплуатации модулей сжижения природного газа без систем подготовки сырьевого газа следует [4], что дублирование установок сжижения оказывается экономичнее и требует гораздо меньших капитальных и эксплуатационных затрат, чем применение самых совершенных систем подготовки сырьевого газа для удаления из него всех вредных включений.

В случае использования дебита только одной скважины (что характерно для небольших по объему месторождений с содержанием гелия), для извлечения гелия и получения товарного газа может быть предложена упрощенная схема, в которой установка (поз. 24) дублируется для переключения на растепление от газогидратов, а

установка (поз. 25) выполнена трехблочной. Выделение гелия из получаемой азотно-гелиевой смеси малого объема производится в типовом малом блоке. При этом система производства жидкого азота должна будет иметь гораздо меньшую производительность.

Оценка себестоимости получения 1000 м³ товарного газа высокого давления и выделения чистого гелия

В доступных нам источниках информации не обнаружены аналоги предлагаемой разработки, объединившей в одном комплексе процессы очистки сырьевого газа с выделением гелия и одновременной подготовкой газа для подачи в магистральный газопровод. Вследствие этого сравнение экономической эффективности предлагаемой технологии выполним по наиболее доступной технологии производства СПГ.

Для корректности сравнения с аналогичными разработками по производству СПГ оценим в условных единицах (у.е.) необходимые затраты на основное оборудование для одной скважины. Установка производительного сжижения азота (поз. 13) потребует 1,8 млн у.е.; установка подготовки товарного газа (поз. 24) – 1,2 млн у.е.; установка получения СПГ и выделения азотно-гелиевой смеси (поз. 25) – 1,8 млн у.е.; компрессор для сжатия азотно-гелиевой смеси на давление нагнетания до 4.0 МПа производительностью 12,0–15,0 тыс. м³/ч – 1,5 млн у.е.; компрессор для сжатия азотно-гелиевой смеси – 500,0 тыс. у.е.; криогенные насосы высокого и низкого давлений – 500,0 тыс. у.е.; система непрерывной хроматографии – 200,0 тыс. у.е.; арматура, трубы, переходники, гибкие шланги – 100,0 тыс. у.е.; криостат для СПГ объемом 50 м³ – 100,0 тыс. у.е.; азотный криостат объемом 100 м³ – 100,0 тыс. у.е.; система измерения, автоматизации и управления процессами – 500,0 тыс. у.е., доставка и монтаж оборудования – 200,0 тыс. у.е. В итоге затраты на закупку основного оборудования при условии наличия системы подготовки газа составят оценочно 8,5 млн у.е.

Следует принять к сведению, что предлагаемое основное оборудование, за исключением компрессоров и насосов, не имеет вращающихся механизмов, поэтому ресурс его работы соизмерим со сроком службы месторождения. При оснащении комплекса дополнительными переключающимися сепараторами, необходимыми для обеспечения непрерывности процесса, при условии образования газогидратов, сумма затрат составит 9,5 млн у.е. Следовательно, получение каждой тонны сжиженного газа скважины за год работы оборудования потребует 87 у.е. При гарантийной работе оборудования в течение 15 лет и годовой загрузке 8700 часов себестоимость получения 1000 м³ товарного газа требуемого давления с выделением 37 м³/ч чистого гелия за период

эксплуатации оборудования на месторождении определится как частное от деления капитальных затрат на часовую производительность и составит: $9500000/8700*15*8,7=5,8$ у.е. Для сравнения: комплекс фирмы Linde, предназначенный только для производства СПГ (200,0 тыс. т/г или 23 т/ч) с использованием турбодетандера в качестве генератора холода требует 100,0 млн у.е. [4]. Следовательно, каждая тонна СПГ, производимая за год работы комплексом фирмы Linde, будет стоить 500 у.е. Без учета капитальных затрат на замену турбодетандеров через каждые три года их работы себестоимость тонны СПГ за 15 лет работы составит 33,3 у.е.

Для сведения: стоимость извлечения углеводорода с получением 1 л чистого газообразного гелия у потребителя составляет более 3 у.е., а 1 л сжиженного гелия – более 10 у.е. При выделении предлагаемым комплексом 37 м³/ч чистого гелия выручка от часовой работы такого модуля только по гелию составит более 110 000 у.е.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якуцени В.П. Проблемы освоения ресурсов Восточно-Сибирского гелия // Газовая пром-сть. 2016. №3. С. 20–25.
2. Татаринов А.О., Сауленко С.П., Люгай Д.В. и др. Создание Иркутского центра газодобычи на базе Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Газовая пром-сть. 2013. № 1. С. 30–33.
3. Финько В.Е. Особенности охлаждения и сжижения газа в вихревом потоке // Журн. техн. физики. 1983. Т. 53, вып. 9. С. 1770–1776.
4. Мерпеисов Х.С., Финько В.Е., Финько В.В. Преимущества технологии получения сжиженного природного газа методом глубокого охлаждения // Нефть и газ. 2016. № 6. С. 75–81.

ПРИЛОЖЕНИЕ

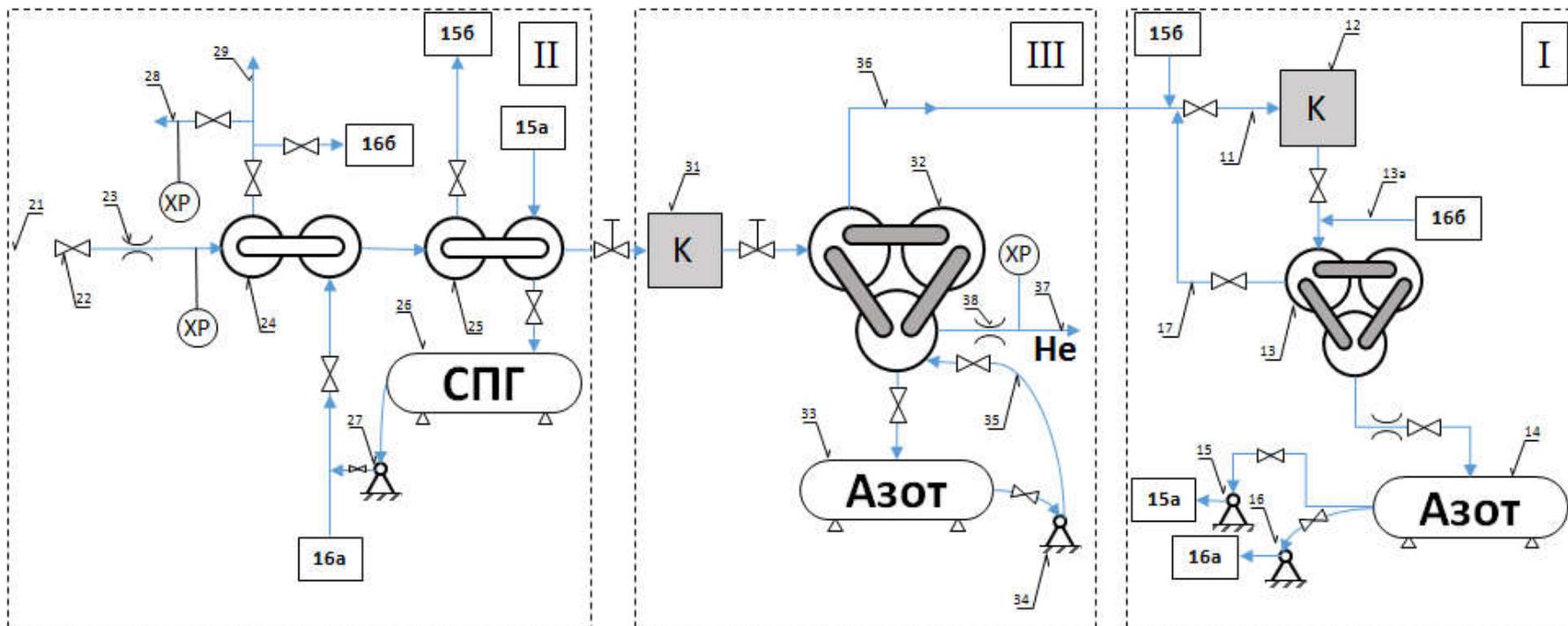


Рис. 1. Схема модуля выделения гелия с получением товарного газа требуемого давления

I – Комплекс производства жидкого азота:

11 – подвод азота низкого давления, 12 – компрессор, 13 – установка сжижения азота, 13а – подвод азота высокого давления, 14 – азотный криостат, 15 – криогенный насос низкого давления, 15а – отвод жидкого азота низкого давления, 15б – отвод азота низкого давления в компрессор (поз.12), 16 - криогенный насос высокого давления, 16а – отвод жидкого азота высокого давления, 16б – отвод регазифицированного азота высокого давления, 17 – отвод азота низкого давления из установки, 18 – расходомер.

II – Комплекс выделения гелия с азотом, получения СПГ и товарного газа требуемого давления:

21 – подвод сырьевого газа от сепаратора, 22 – задвижка, 23 – расходомер, 24 – установка подготовки товарного газа, 16а – подвод (отвод) жидкого азота высокого давления, 16б – отвод регазифицированного азота высокого давления, 25 – установка производства СПГ и выделения гелия с азотом, 26 – криостат для СПГ, 27 – криогенный насос высокого давления, 28 – отбор товарного газа на производство электроэнергии, 29 – отвод товарного газа требуемого давления.

III – Комплекс выделения чистого гелия:

31 – компрессор, 32 – установка сжижения азота и выделения гелия, 33 – азотный криостат, 34 – криогенный насос низкого давления, 35 – подвод жидкого азота к установке, 36 – отвод регазифицированного азота в компрессор (поз. 12), 37 – отвод чистого гелия, 38 – расходомер, (XP) – места отбора газа на хроматографию