

Переработка сырья и ресурсосбережение

УДК 621.593

Онопа Л.Р., Пятничко А.И., канд. техн. наук,
Жук Г.В., докт. техн. наук, **Иванов Ю.В.**

Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: l_benush@mail.ru, aipkiev@ukr.net

Использование внутренней энергии природного газа для извлечения из него гелиевого концентрата

В связи с развитием высокотехнологичных производств, использующих гелий, в мире наблюдается устойчивый рост его потребления. Учитывая ограниченность ресурсов для получения гелия в Украине, рациональным представляется выделять его из природного газа на газораспределительных станциях магистральных газопроводов или газовых месторождениях, содержащих его более 0,05 % (об.). Предлагаемая криогенная технология получения гелиевого концентрата не требует внешних источников холода. Охлаждение происходит за счет дросселирования и рекуперации холода обратного потока сжиженного природного газа. Получаемый гелий-сырец содержит 60–70 % He, при этом потери его составляют 1–3 % при растворении в сжиженном природном газе. Оптимальный диапазон давлений для извлечения гелия в отпарной колонне 2–2,4 МПа. Гелиевый концентрат может быть транспортирован в баллонах либо перерабатываться на месте с целью дальнейшей его очистки и выделения товарного продукта. Расчеты схемы проводились с использованием программной системы технологического моделирования «ГазКондНефть». Достоверность расчетов фазовых равновесий подтверждена сравнением с экспериментальными данными по растворимости гелия в метане. *Библ. 10, рис.7, табл. 3.*

Ключевые слова: гелий, сжиженный природный газ, газораспределительная станция, низкотемпературная конденсация, отпарная колонна.

Гелий — дорогой высокотехнологичный газ, незаменимый компонент современных и будущих высоких технологий. Он обладает уникальными свойствами: химической инертностью и малой способностью вступать в химические реакции, высокой теплопроводностью и низкой электропроводностью. Плотность гелия при нормальных условиях — 0,178 кг/м³, температура кипения самая низкая среди жидкостей и близка к абсолютному нулю — 4,22 К. При ис-

парении 1 л жидкого гелия образуется 700,3 л газообразного. Гелий не образует гидратов (газовых клатратов), плохо растворим в воде, нетоксичен, невоспламеняем. Эти и другие ценные свойства определяют всевозрастающее его применение в различных областях науки и техники: в авиации и космонавтике, судостроении, химической промышленности, ядерной технике, хроматографии, криогенной технике и др. В медицине его используют как хладагент для

охлаждения сверхпроводящих магнитов в сканерах МРТ, в металлургии при выплавке чистых металлов, в сварочном производстве как защитный газ. Сверхпроводимость гелия используется в роторах-магнитах для линий скоростного транспорта, построенных в Китае и Японии. Гелий применяют в системах охлаждения атомных реакторов, в производстве микроэлектроники (сотовых телефонов и пр.), оптического волокна, для газовой смазки подшипников, в счетчиках нейтронов, рентгеновской спектроскопии, в переключателях высокого напряжения. Уровень его потребления является одним из индикаторов технологического развития государства.

Во многих новых прогрессивных технологиях замены гелию нет, устойчивый рост его годового потребления составляет 6–7 % [1]. При этом качественные сырьевые источники для получения гелия в мире ограничены и невосполнимы. Несмотря на его широкое распространение во Вселенной, на Земле свободных скоплений гелия в недрах нет в силу уникальности его свойств: легкости, полной инертности и высокой проницаемости. В промышленнозначимых количествах он концентрируется лишь в природных газах, являясь попутным компонентом-примесью.

Промышленное получение гелия осуществляют из природных, попутных и нефтяных газов при содержании в них гелия не менее 0,05–0,30 % (об.), некоторые очень редкие природные газы содержат его до 3 % (об.).

В настоящее время мировая сырьевая база по гелию из этих источников составляет около 41 млрд м³. Она приходится на 4 основные страны: Катар, Алжир, США и Россию — приблизительно в равных долях (по 20–25 % запасов в каждой стране) [2]. Главным производителем и потребителем гелия в мире являются США, хотя ожидается сокращение производства гелия в США из-за снижения отбора из подземных хранилищ Cliffsides. В России в настоящее время в промышленных масштабах гелий извлекается на Оренбургском гелиевом заводе из природного газа с содержанием его до 0,055 % (об.).

Вместе с ростом добычи природного газа в качестве энергосырья идут и попутные потери гелия. При сжигании газа он переходит в атмосферу и улетучивается из нее, не удерживаясь гравитационным полем Земли. При этом его утрачивается до 600 млн м³/год при сжигании природных и попутных нефтяных газов, из которых гелий не был извлечен. В настоящее время уровень производства и потребления гелия в мире составляет 180–200 млн м³/год. По оценкам экспертов, к 2030 г. потребность в использовании гелия может достичь 330 млн м³, а его производство к это-

му времени будет составлять лишь 230 млн м³ [3]. Для покрытия дефицита потребуется значительное увеличение его производства, в том числе за счет развития гелийсберегающих технологий при переработке природного газа.

Энергетические затраты на производство гелия обратно пропорциональны его концентрации в перерабатываемом газе (рис.1). Себестоимость гелия зависит от комплексности переработки газа (дополнительное извлечение этана, пропан-бутана технического, широкой фракции легких углеводородов, газового бензина и др.), количества исходных загрязняющих примесей в газе, местных условий газопотребления и транспорта. В последнее десятилетие гелий получают также из остаточных газовых смесей (N₂, He, Ne) на предприятиях по производству сжиженных газов (СПГ), что значительно влияет на снижение его себестоимости.

Основным промышленным способом получения гелия является метод фракционирующей конденсации природного газа, то есть метод глубокого охлаждения, при котором наиболее низкая по сравнению с другими компонентами температура кипения гелия позволяет конденсировать все сопутствующие гелию газы, прежде всего метан и азот. Процесс осуществляется обычно в две стадии: выделение так называемого сырого гелия (концентрата, содержащего 60–90 % He) и очистка концентрата от примесей (N₂, O₂, H₂, Ar, Ne) с получением технического чистого гелия [4].

В последние годы для получения гелия используются также мембранные технологии, основанные на селективной проницаемости материала мембраны различными компонентами газа. Проведенные в России испытания опытно-промышленной установки на основе половолоконных мембран показали, что имеется возможность повышения концентрации гелия в ге-

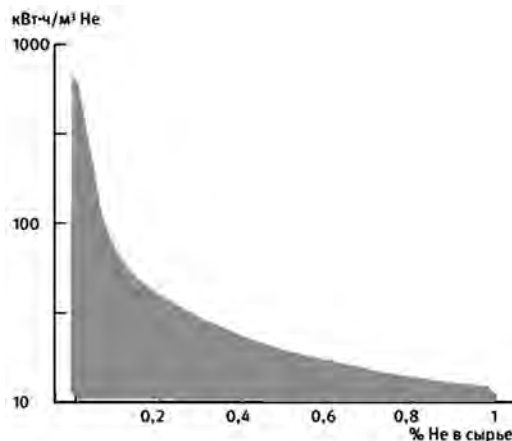


Рис.1. Зависимость энергозатрат на производство гелия от концентрации гелия в сырьевом газе.

лиевом концентрате в 30–40 раз по сравнению с его содержанием в сырьевом газе. Мембранные методы менее энергоемки, особенно при небольшом содержании гелия. Однако пока такие технологии не нашли широкого применения из-за того, что материалы для изготовления мембран, обладающие приемлемой разделяющей способностью, имеют низкую проницаемость для гелия, и наоборот [5].

В Украине не существует производств получения гелия из природного газа в промышленных масштабах. Одесское ООО «Айсблик», крупный мировой производитель редких газов: неона и криптона, производит также газообразный и сжиженный гелий для медицины и других отраслей из атмосферного воздуха, в том числе спектрально чистый гелий с качеством 99,9999 % [6]. Концентрация гелия в атмосфере 0,00052 % (об.), поэтому себестоимость такого производства достаточно высока. «Айсблик» поставляет сжиженный гелий высокой чистоты в транспортных емкостях-дьюарах объемом 250, 400 и 500 л.

Газовые месторождения Украины в целом не обладают высокой гелиеносностью. Повышенное (свыше 0,05 %) содержание гелия встречается в основном в Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ). По данным геологической разведки, в центральной части ДДВ установлена высокая гелиеносность газов глубоких продуктивных горизонтов и повышенное содержание в них ^3He [7].

Концентрации гелия в пробах газа, отобранного в некоторых скважинах Шебелинского месторождения, составляют 0,15–0,18 %, и такие газы могут иметь промышленный интерес.

Принимая во внимание неуклонно возрастающий спрос на гелий, ограниченность ресурсов для получения и невозможность его потерь при сжигании природного газа, имеет смысл выделять его из природного газа, например, на га-

зораспределительных станциях (ГРС) магистральных газопроводов или газовых месторождениях, содержащих более 0,05 % (об.) гелия.

Предлагаемая криогенная технология получения гелиевого концентрата не требует внешних источников холода. Охлаждение происходит за счет дросселирования и рекуперации холода обратного испаряющегося потока сжиженного природного газа. Получаемый гелиевый концентрат, содержащий 60–70 % He, может быть транспортирован в баллонах либо перерабатываться на месте с целью дальнейшей его очистки и выделения товарного продукта.

Схема установки выделения гелиевого концентрата из природного газа на ГРС

На рис.2 приведена упрощенная схема получения гелиевого концентрата из природного газа путем низкотемпературной конденсации сопутствующих гелию компонентов при сжижении природного газа. Расчеты схемы проводились с использованием программной системы технологического моделирования «ГазКондНефть». Для расчетов использован состав природного газа, полученный на одной из действующих скважин Шебелинского месторождения, после предварительной подготовки (осушки и очистки от CO_2), % (об.): метан – 88,94; этан – 3,80; пропан – 1,2; изо-бутан – 0,165; н-бутан – 0,26; азот – 5,45; гелий – 0,18; кислород – 0,005.

На газораспределительных станциях происходит редуцирование газа от давления магистрального газопровода 4–6 МПа до давления в распределительной сети 0,6 и 1,2 МПа. Рассмотрим пример, когда из магистрального газопровода отбирается газ в количестве 5000 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ с давлением 4,5 МПа и температурой 15 °С и направляется потребителю с давлением 1,2 МПа.

Поскольку при сжижении природного газа достигается криогенная температура, при кото-

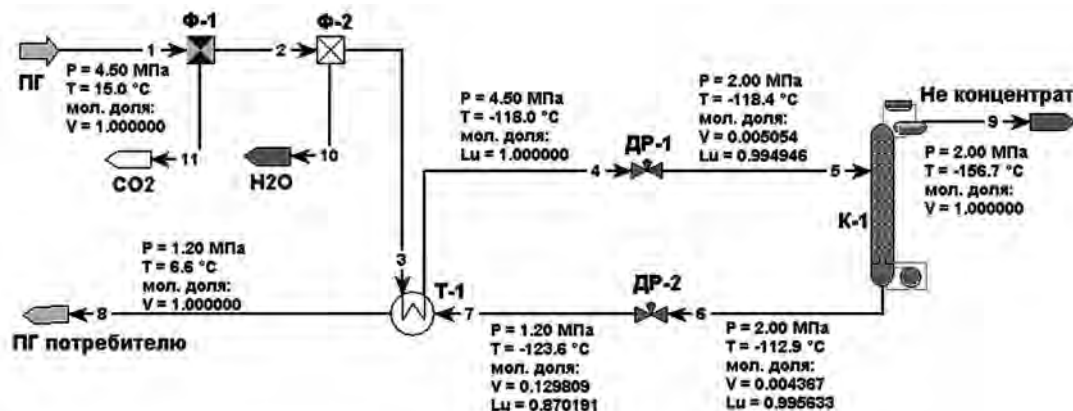


Рис.2. Принципиальная технологическая схема установки выделения гелия-сырца из природного газа на ГРС.

рой может нарушаться технологический процесс из-за закупорки оборудования (дросселей) гидратами или намораживания на поверхности теплообменников высококипящих компонентов, необходима глубокая осушка от влаги потока газа на входе в установку до точки росы $-(65-70)^\circ\text{C}$ и глубокая очистка от CO_2 и H_2S . Степень очистки зависит от содержания этих компонентов в исходном сырье и параметров процесса конденсации газа.

Поступающий в установку природный газ сначала проходит блок очистки от углекислоты и сероводорода Ф-1, затем блок осушки Ф-2. В рекуперативном теплообменнике-конденсаторе Т-1 поток сырьевого газа конденсируется обратным потоком сжиженного природного газа, далее дросселируется до давления 2 МПа и при температуре $-118,5^\circ\text{C}$ практически в состоянии насыщения подается в отпарную колонну К-1. Отпарка легколетучих компонентов, растворившихся в кубовом продукте колонны, производится с целью уменьшения потерь гелия и может идти за счет подвода тепла от части исходного потока газа, направляемого на охлаждение в теплообменник Т-1. Из верхней части дефлегматора колонны выводится гелиевый концентрат.

Кубовая жидкость из отпарной колонны — сжиженный природный газ — дросселируется до давления 1,2 МПа, необходимого для подачи природного газа в распределительную сеть, и направляется в теплообменник Т-1, обеспечивая конденсацию входящего потока, при этом полностью испаряясь и нагреваясь до положительной температуры. На рис.3 приведена Q-T диаграмма теплообменника Т-1.

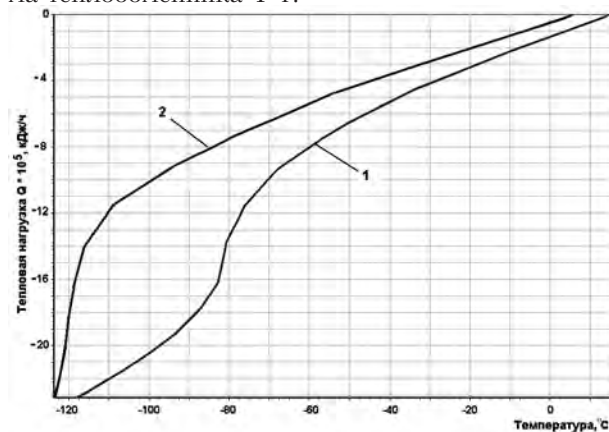


Рис.3. Q-T диаграмма теплообменника-конденсатора Т-1: 1 — входной поток сжижаемого природного газа; 2 — выходной, очищенный от гелия поток ПГ потребителю.

Таблица 1. Параметры отпарной колонны К-1

Давление в колонне, МПа	Температура на входе в колонну, $^\circ\text{C}$	Нагрузка кипятильника, кВт	Флегмовое число	Нагрузка дефлегматора, кВт	Концентрация He , %
1,2	-126,1	5,0	11,0	26,5	32,0
1,6	-121,5	14,0	6,5	10,4	51,0
2,0	-118,4	27,0	4,0	5,3	62,0
2,4	-114,3	35,0	4,3	5,2	69,0
2,8	-109,4	39,0	6,0	7,0	73,0
3,2	-103,6	48,0	18,0	20,0	75,0
3,6	-98,6	54,0	30,0	29,5	80,0
4,0	-93,5	74,0	52,0	49,0	82,0

При расчетах схемы температура потока 4 после теплообменника Т-1 определялась из теплового баланса установки и обеспечения минимально необходимой разности температур прямого и обратного потоков. Нагрузки кипятильника и дефлегматора колонны К-1 рассчитывались из условия, что потери гелия с выводимым из куба колонны сжиженным газом составляют не более 1 %, а температура флегмы -157°C .

Растворимость гелия в сжиженном природном газе зависит от давления и температуры процесса. В табл.1 приведены параметры отпарной колонны при давлениях в ней от 1,2 до 4,0 МПа. (Давление в колонне К-1 регулируется дросселем ДР-1.)

Растворимость гелия в жидком метане тем ниже, чем ниже давление. При этом возрастает количество верхнего продукта колонны и снижается степень обогащения его гелием.

С повышением давления в колонне растворимость гелия в жидком метане растет, поэтому требуется большая его отпарка, растет нагрузка кипятильника, при этом увеличивается и концентрация гелия в отпаренном газе.

На рис.4 представлены зависимости степени обогащения гелием верхнего продукта от давления в колонне, рассчитанные для установки получения гелиевого концентрата на ГРС при снижении давления от 5,5 и 4,5 МПа в магистральном трубопроводе до давления в распределительном трубопроводе 0,6 и 1,2 МПа. Видно, что для всех рассмотренных перепадов давления с повышением давления в колонне увеличивается степень обогащения гелием концентрата, а это означает уменьшение затрат на дальнейшую очистку гелия от примесей и производство товарного продукта.

Использование кубовой жидкости колонны для охлаждения дефлегматора

Подвод тепла в кубовый подогреватель колонны К-1 может осуществляться за счет подачи части сырьевого потока 3. Для охлаждения

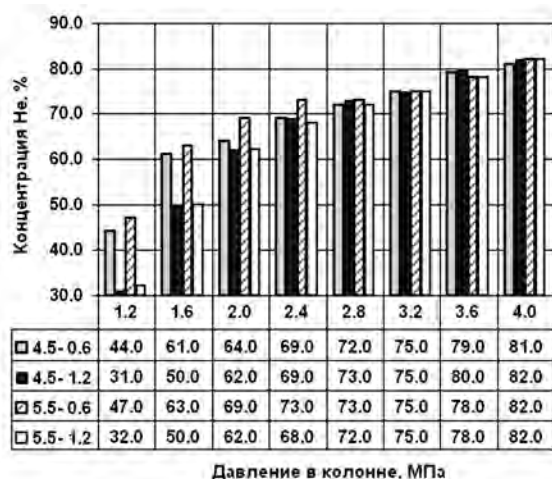


Рис.4. Зависимость концентрации гелия от давления в колонне для установки выделения гелия-сырца на ГРС при перепаде давления от 5,5 и 4,5 МПа в магистральном трубопроводе до давления в распределительном трубопроводе 0,6 и 1,2 МПа соответственно.

дефлегматора колонны можно использовать часть сжиженного газа из куба отпарной колонны. При дросселировании его до атмосферного давления получается необходимый криогенный поток с температурой около $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. На рис.5 представлена схема потоков колонны с выносным дефлегматором Т-2.

Сжиженный природный газ, выходящий из куба колонны, делится ДЕ-1 на 2 части: основная направляется на дроссель ДР-2 (см. рис.2) и затем на рекуперативный теплообменник Т-1, а другая (в количестве до 7 %) дросселируется до 0,1 МПа и вводится в дефлегматор Т-2, где охлаждает газ, поступающий с верхней ступени колонны (поток 9), до температуры $-157\text{ }^{\circ}\text{C}$. Далее частично сконденсированный в дефлегматоре поток 6 разделяется в сепараторе С-1 на жидкую фазу, возвращаемую на орошение колонны, и обогащенный гелием верхний продукт 7. Часть СПГ, использованная как хладагент, в дефлегматоре испаряется и может быть направлена на нужды установки, например, на выработку электроэнергии для собственных нужд или тепловой энергии для системы регенерации в блоки подготовки газа.

Доля нижнего продукта колонны, расходуемая на охлаждение дефлегматора, определяется из его теплового ба-

ланса при условии, что температура потока 5 ниже, чем потока 9, не менее чем на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для обеспечения требуемой разности температур между прямым и обратным потоками).

В табл.2 приведены некоторые параметры установки с использованием части кубовой жидкости колонны для охлаждения дефлегматора при разных давлениях в колонне, полученные при сбалансированном тепловом расчете схемы.

При невысоких (до 2 МПа) давлениях в колонне отбор некоторой части кубовой жидкости на дефлегматор не приводит к тепловому дисбалансу схемы, поскольку имеется некоторый запас холода обратного потока СПГ (потока 7), который нельзя использовать для снижения температуры входящего потока 4 из-за необходимости сохранять минимальную разность температур ($5\text{ }^{\circ}\text{C}$) между ними на концах теплообменника Т-1 (между потоками 7 и 4) (см. рис.2). При увеличении давления в колонне от 2 МПа и выше растет необходимая нагрузка дефлегматора, а значит, и доля кубовой жидкости, отбираемой на дефлегматор, поэтому, чтобы выдержать тепловой баланс рекуперативного теплообменника-конденсатора Т-1, необходимо повышать температуру выходящего из него потока сжиженного газа 4, соответственно повышается температура потока на входе в колонну. При этом нагрузка кипятильника уменьшается, а дефлегматора для достижения полного

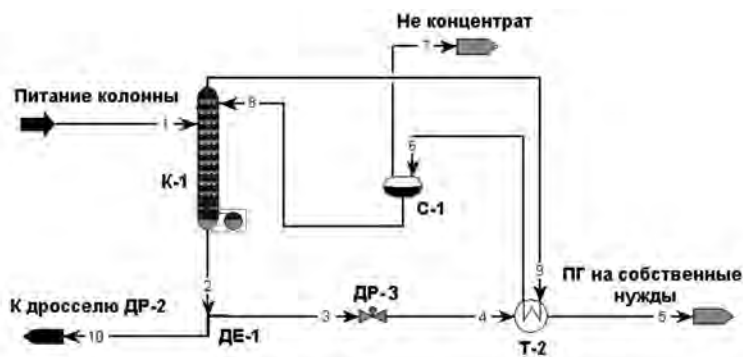


Рис. 5. Схема потоков колонны с выносным дефлегматором.

Таблица 2. Параметры отпарной колонны К-1 при разных давлениях

Давление в колонне, МПа	Температура на входе в колонну, $^{\circ}\text{C}$	Нагрузка кипятильника, кВт	Нагрузка дефлегматора, кВт	Концентрация He, %	Доля СПГ на дефлегматор, %	Степень извлечения гелия, %
1,2	-126,1	6,0	27,0	31,0	7,0	100,0
1,6	-121,5	14,0	10,4	51,0	2,8	100,0
2,0	-117,7	25,0	6,5	61,6	1,8	100,0
2,4	-111,9	25,0	7,3	69,0	2,1	96,6
2,8	-105,6	21,0	10,7	75,0	3,0	89,9
3,2	-100,2	17,0	13,0	80,0	3,6	75,8
3,6	-95,9	18,0	13,5	84,0	4,0	67,8

извлечения гелия из жидкости, напротив, увеличивается. Очевидно, что это приводит к еще большему дисбалансу холода в установке. Выходом является регулирование (уменьшение) величины нагрузки дефлегматора для достижения теплового баланса, результатом чего является уменьшение степени извлечения гелия и некоторое увеличение его концентрации в верхнем продукте.

На рис.6 приведена зависимость степени извлечения, концентрации гелия и нагрузки дефлегматора от давления в колонне. Видно, что при низком давлении (1,2 МПа) степень обогащения гелия невысока — около 30 %, при высоких давлениях (3,2–3,6 МПа) резко возрастают потери гелия из-за растворения его в нижнем продукте колонны — до 25–33 %, что неприемлемо. Наиболее оптимальным диапазоном давления, при котором фиксируется наименьшая нагрузка дефлегматора и достигается 100–97 %-я степень извлечения гелия при концентрации его в верхнем продукте колонны 62–69 %, является 2–2,4 МПа. Доля сжиженного природного газа, выходящего из куба колонны и направляемого на

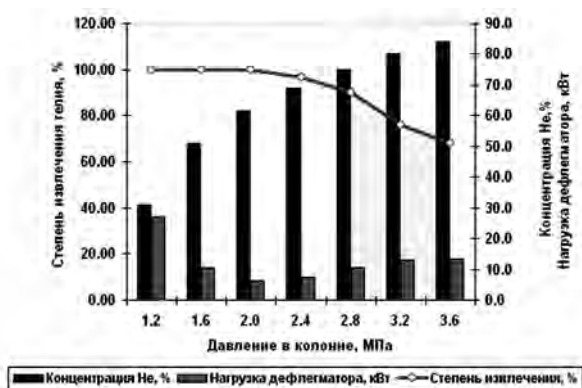


Рис.6. Зависимость степени извлечения, концентрации гелия и нагрузки дефлегматора от давления в колонне.

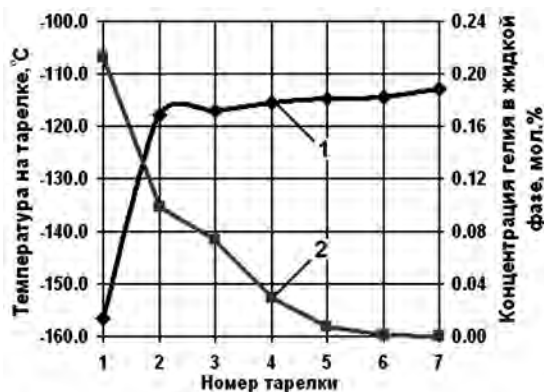


Рис.7. Изменение температуры (1) и концентрации гелия в жидкой фазе (2) по теоретическим тарелкам отпарной колонны.

охлаждение дефлегматора, составляет при этом около 2 % от всего потока СПГ.

На рис.7, как пример, представлены профили температуры и концентрации гелия в жидкой фазе по высоте отпарной колонны К-1 при условии использования 7 теоретических тарелок и подачи питания на 2-ю тарелку, рассчитанные при параметрах схемы рис.2 (давление в колонне 2 МПа, температура на входе в колонну $-118,4$ °C, концентрация гелия в питании 0,18 % (мол.)).

Приведенные результаты расчетов относятся к установке получения гелиевого концентрата на ГРС при перепаде давления от 4,5 МПа в магистральном газопроводе до 1,2 МПа в распределительной сети. При редуцировании природного газа на ГРС от 5,5 до 0,6 МПа увеличивается степень обогащения гелием верхнего продукта колонны до 75 % при той же степени извлечения.

При расчетах схемы использовался состав природного газа с 0,18 %-м содержанием гелия и 5,45 %-м содержанием азота. Проведенные исследования показали, что при тех же давлениях при изменении концентрации гелия в исходном газе пропорционально изменяется только нагрузка дефлегматора и общее количество гелиевого концентрата, при этом степень обогащения и извлечения остаются неизменными. Содержание азота в природном газе влияет практически только на объем получаемого гелиевого концентрата: при уменьшении концентрации азота в исходном газе снижается его количество в верхнем продукте колонны, соответственно увеличивается процентное содержание гелия в концентрате при той же степени извлечения.

Достоверность определения фазовых равновесий систем гелий — метан в программной системе ГазКондНефть

Правильность расчетов технологического процесса в значительной степени определяется достоверностью расчетов фазовых равновесий газожидкостных смесей, в частности, в отпарной колонне. На первой стадии разделения природного газа, когда происходит получение гелиевого концентрата, определяющей парой разделения является гелий — метан. В программной системе ГазКондНефть для расчета фазовых равновесий используется модифицированное уравнение состояния Пенга-Робинсона [8]. Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных [9–10] по растворимости гелия в метане представлены в табл.3. Видно, что в широком диапазоне параметров состояния системы гелий — метан рассчитанные по ПС Газ-

Таблица 3. Рассчитанные по ПС ГазКондНефть концентрации гелия в системах гелий — метан и экспериментальные данные

Температура, °С	Давление, МПа	Газовая фаза, мольные доли		Жидкая фаза, мольные доли		Относительное отклонение, %		Литера- турный источник
		Y _{эксп}	Y _{расч}	X _{эксп}	X _{расч}	Y _{расч} от Y _{эксп}	X _{расч} от X _{эксп}	
-149,15	1,43	0,7996	0,8134	0,0015	0,0013	1,7	-13,3	[9]
-149,15	2,12	0,8643	0,8742	0,0024	0,0020	1,1	-16,7	[9]
-149,15	2,82	0,8963	0,9056	0,0031	0,0027	1,0	-12,9	[9]
-149,15	3,51	0,9155	0,9244	0,0035	0,0033	1,0	-5,7	[9]
-133,32	2,31	0,7020	0,6936	0,0045	0,0035	-1,2	-22,2	[10]
-133,32	3,97	0,8120	0,8201	0,0079	0,0066	1,0	-16,5	[10]
-119,15	2,13	0,3321	0,3508	0,0028	0,0033	5,6	17,9	[9]
-119,15	2,84	0,4742	0,4937	0,0050	0,0058	4,1	16,0	[9]
-119,15	3,53	0,5640	0,5845	0,0072	0,0081	3,6	12,5	[9]
-103,34	3,29	0,2170	0,2019	0,0064	0,0068	-7,0	6,3	[10]

КондНефть значения концентрации гелия в жидкой и газовой фазах достаточно близки к экспериментальным данным, отклонения являются приемлемыми для инженерных расчетов.

Выводы

В условиях возрастающего спроса и ограниченности ресурсной базы для получения гелия в Украине рациональным представляется использование для этого природного газа «сухих» и газоконденсатных месторождений, а также ГРС магистральных газопроводов, содержащих более 0,05 % (об.) гелия.

При разработке схемы получения гелиевого концентрата стояла задача, не применяя внешних холодильных источников (дополнительного холода), сбалансировать процесс имеющимся холодным потоком СПГ, получив при этом приемлемую степень обогащения и извлечения гелия.

Полученные результаты расчетов подтвердили, что предложенная технологическая схема дает возможность получения гелия-сырца с концентрацией 60–70 % при минимальных потерях его в сжиженном природном газе 1–3 % практически с затратами дополнительной внешней энергии только на подготовку газа.

Оптимальным диапазоном давлений для извлечения гелия в отпарной колонне является 2–2,4 МПа.

При размещении таких установок на байпасе ГРС не нарушается устойчивость их работы, магистральный газ с давлением 4,5–5,5 МПа редуцируется до давления в потребительской распределительной сети 0,6–1,2 МПа. Гелиевый концентрат может перерабатываться в товарный продукт на месте или транспортироваться на дальнейшую переработку.

Список литературы

1. Якуцени В.П. Традиционные и перспективные области применения гелия // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2009. — № 4. — С. 1–13.
2. Мировой и российский рынки гелия. — [Электронный ресурс]: <http://www.gazprom.ru/f/posts/50/836760/gazprom-journal-2012-03.pdf>
3. Корпоративный журнал «Газпром». — 2012. — № 3. — [Электронный ресурс]: — <http://ukrchem.dp.ua/2012/03/26/mirovoj-i-rossijskij-rynki-geliya-2009-2010-gody.html>
4. Николаев В.В., Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа. — М.: Недра, 1998. — 184 с.
5. Кравченко М.В. Некриогенный способ извлечения гелия из природного газа // Техн. газы. — 2015. — № 1. — С. 18–25.
6. Симоненко Ю.М. Криогенные методы получения гелия из атмосферы // Холодильна техніка та технологія. — 2014. — № 2. — С. 64–70.
7. Лукин А.Е., Довжок Е.И., Книшман А.Ш. и др. Гелиевая аномалия в нефтегазовых визейских карбонатных коллекторах Днепровско-Донецкой впадины // Доп. НАН України. — 2012. — № 7. — С. 97–104.
8. Программная система для компьютерного моделирования технологий промышленного сбора и подготовки природного газа и нефти, газоразделения и фракционирования нефти и конденсата ГазКондНефть. — [Электронный ресурс]: <http://gas-condoil.com>.
9. Devaney W.E., Rhodes H.L., Tully P.C. Phase equilibria data for helium-methane system // J. Chem. Eng. Data. — 1971. — Vol. 16, № 2. — P. 158–161.
10. Heck C.K., Hiza M.J. Liquid-vapor equilibrium in the system helium-methane // A.I.Ch.E. Journal. — 1967. — Vol. 13, № 3. — P. 593.

Поступила в редакцию 18.08.16

**Онопа Л.Р., П'ятничко А.І., канд. техн. наук,
Жук Г.В., докт. техн. наук, Іванов Ю.В.**

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: l_benush@mail.ru, aipkiev@ukr.net

Використання внутрішньої енергії природного газу для вилучення з нього гелієвого концентрату

У зв'язку з розвитком високотехнологічних виробництв, що використовують гелій, у світі спостерігається стійке зростання його споживання. Враховуючи обмеженість ресурсів для отримання гелію в Україні, раціональним вважається виділяти його з природного газу на газорозподільних станціях магістральних газопроводів або газових родовищах, що містять його більше 0,05 % (об.). Пропонована криогенна технологія отримання гелієвого концентрату не потребує зовнішніх джерел холоду. Охолодження відбувається за рахунок дроселювання та рекуперації холоду зворотного потоку зрідженого природного газу. Отримуваний гелій-сирець містить 60–70 % He, при цьому втрати його складають 1–3 % при розчиненні у зрідженому природному газі. Оптимальним діапазоном тиску для добування гелію у відпарній колоні є 2–2,4 МПа. Гелієвий концентрат може бути транспортований у балонах або перероблятися на місці з метою подальшого його очищення та виділення товарного продукту. Розрахунки схеми проводилися з використанням програмної системи технологічного моделювання «ГазКондНафта». Достовірність розрахунків фазових рівноваг підтверджена порівнянням з експериментальними даними щодо розчинності гелію в метані. *Бібл. 10, рис. 7, табл. 3.*

Ключові слова: гелій, зріджений природний газ, газорозподільна станція, низькотемпературна конденсація, відпарна колона.

**Онопа Л.Р., Pyatnichko A.I., Candidate of Technical Sciences,
Zhuk G.V., Doctor of Technical Sciences, Ivanov Yu.V.**

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: l_benush@mail.ru, aipkiev@ukr.net

Natural Gas Internal Energy Using for Helium Concentrate Recovery from it

In connection with development of hi-tech productions that use helium, there is strong growth of its consumption in the world. Taking into account limited resources for the helium production in Ukraine there is a reason to extract it from natural gas at the gas-distribution stations of main gas pipelines or gas fields containing it more than 0,05 % (vol.). The offered cryogenic technology of helium concentrate recovery does not require external cold source, cooling takes place due to a throttling and cold recovery of liquefied natural gas backflow. The obtained raw helium contains 60–70 % He, its losses are 1–3 % because of dissolution in the liquefied natural gas. The optimal pressure range for helium extraction in stripping column is 2–2,4 MPa. A helium concentrate can be transported in balloons or processed in place to refine it further and obtain end product. The calculations of process flowsheet were carried out using software system GasCondOil. The reliability of calculations has been confirmed by comparison with experimental data on solubility of helium in methane. *Bibl. 10, Fig. 7, Tab. 3.*

Key words: helium, liquefied natural gas (LNG), gas-distributing station, low-temperature condensation, stripping column.

References

1. Jakuceni V.P. [Conventional and perspective application of helium], *Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika [Oil and gas geology. Theory and practice]*, 2009, (4), pp. 1–13. (Rus.)
2. [World and Russian markets of helium]. – [Electronic resource]: <http://www.gazprom.ru/f/posts/50/836760/gazprom-journal-2012-03.pdf>
3. Corporate magazine «Gazprom», 2012, (3). – [Electronic resource]: <http://ukrchem.dp.ua/2012/03/26/mirovoj-i-rossijskij-rynki-geliya-2009-2010-gody.html> (Rus.)
4. Nikolaev V.V., Busygina N.V., Busygin I.G. [Basic processes of the physical and physicochemical gas processing], Moscow : Nedra, 1998, 184 p. (Rus.)
5. Kravchenko M.V., [The non-cryogenic method of an extraction of helium from natural gas], *Tekhnicheskie gazy [Industrial Gases]*, 2015, (1), pp. 18–25. (Rus.)
6. Simonenko Ju.M. [Cryogenic methods of helium recovery from atmosphere], *Holodil'na tehnika ta tehnologija [Refrigeration Engineering and Technology]*, 2014, (2), pp. 64–70. (Rus.)
7. Lukin A.E., Dovzhok E.I., Knishman A.Sh., Goncharenko V.I., Dzijubenko A.I. [Helium anomaly in petroliferous Visean carbonate reservoirs of the Dnieper-Donets Depression], *Dopovidi NAN Ukraïni [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 2012, (7), pp. 97–104. (Rus.)
8. Process Simulation Software for Natural Gas and Oil Engineering «GasCondOil». – [Electronic resource]: <http://gascondoil.com> (Rus.)
9. Devaney W.E., Rhodes H.L., Tully P.C. [Phase equilibria data for helium-methane system], *J. Chem. Eng. Data*, 1971, 16 (2), pp. 158–161.
10. Heck C.K., Hiza M.J. [Liquid-vapor equilibrium in the system helium-methane], *A.I.Ch.E. Journal*, 1967, 13 (3), pp. 593.

Received August 18, 2016



**VI Международная научно-техническая конференция
«ПРОБЛЕМЫ ХИММОТОЛОГИИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

19–23 июня 2017 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ: Национальный авиационный университет (Киев),
Украинский научно-исследовательский и учебный центр химмотологии
и сертификации ГСМ И ТЖ, Союз химмотологов

ОСНОВНЫЕ ТЕМАТИКИ КОНФЕРЕНЦИИ:

- теоретические аспекты химмотологии;
- авиационная химмотология и проблемы авиатопливообеспечения;
- химическая технология горюче-смазочных материалов и технических жидкостей;
- влияние свойств горюче-смазочных материалов, технических жидкостей на химмотологическую надежность, эксплуатационную технологичность и экономичность техники;
- топливно-заправочные системы и комплексы;
- проблемы чистоты авиационных горюче-смазочных материалов и безопасности полетов;
- противогололедная обработка в аэропортах;
- нанотриботехнологии;
- присадки и добавки к горюче-смазочным материалам;
- альтернативные источники энергии для двигателей транспортных средств;
- трибоматериаловедение и триботехнологии;
- проблемы допуска к производству и применению горюче-смазочных материалов и технических жидкостей;
- экологистика и экологическая безопасность.

Для регистрации и по вопросам
участия и партнерства
обращаться:

■ +38(044) 408-54-00
+38(044) 406-70-87

e-mail:

chemmotology_association@ukr.net

web-site:

www.chemmotology.nau.edu.ua

Секретариат:

Шкильнюк Ирина

Трофимов Игорь

Яковлева Анна

Черняк Лариса

Материалы конференции

будут изданы

в виде монографии

с присвоением индексов

ISBN, УДК и ББК.

Место проведения: санаторий «Подольянка» (Украина, Львовская обл., Сколевский р-н, с. Волосняк)

Контрольные даты: 20.01.2017 – регистрация;

20.01.2017 – предоставление пакета материалов;

01.02.2017 – оплата организационного взноса.