

Адсорбционная осушка и низкотемпературная ректификация в процессах промышленной подготовки природного газа

С.Н. Шевкунов

к.т.н., начальник Управления по переработке газового конденсата и газохимии
Shevkunov@novatek.ru

ПАО «НОВАТЭК», Москва, Россия

В работе рассмотрены особенности использования процессов адсорбционной осушки и низкотемпературной ректификации применительно к промышленной подготовке газа валанжинских залежей. Достоинством предлагаемых технических решений является исключение применения ингибиторов гидратообразования и глубокое извлечение углеводородов C_{3+} из товарного осушенного газа. В результате достигается снижение себестоимости промышленной продукции и увеличивается выход такого дорогостоящего товарного продукта как широкая фракция легких углеводородов.

Материалы и методы

В качестве основы были приняты технические наработки газоперерабатывающих заводов. С привлечением проектных институтов были разработаны основные технические решения, произведены необходимые технологические расчеты на основании которых была принята концепция создания усовершенствованной установки. Реальные технические и экономические параметры установки были получены в результате опытно-промышленной эксплуатации.

Ключевые слова

газовый промысел, адсорбция, низкотемпературная ректификация

Пластовый газ газоконденсатных месторождений в своем составе содержит пары воды и углеводородный конденсат. В присутствии воды, при определенных условиях (понижение температуры, рост давления), возможно образование газовых гидратов, которые способны забивать трубопроводы, теплообменники, запорно-регулирующую арматуру и другое оборудование, что приводит к внештатным ситуациям.

Традиционные схемы извлечения воды и газового конденсата, включающие использование установок низкотемпературной сепарации, позволяют решить поставленные задачи. Однако экономические показатели таких установок далеки от идеала.

Во-первых, значительные расходы, связанные с доставкой реагентов. В этом случае речь идет об обеспечении промышленных объектов ингибитором гидратообразования (метанолом), доставка которого в связи с ограниченной транспортной доступностью промышленных объектов, является не только дорогостоящим, но и затруднительным мероприятием. Имеется целый ряд готовых технологических наработок, в частности, предлагающих сооружение малотоннажных метанольных производств непосредственно на промышленных объектах. Но и такое решение не является универсальным, так как установки производства метанола должны иметь обоснованную единичную производительность, чтобы обеспечивать положительные экономические параметры. Как показывает опыт эксплуатации, минимальная экономически обоснованная производительность малотоннажных установок составляет не менее 12 тыс. т метанола в год. В случае меньшего потребления метанола, объекты промышленной подготовки газа нуждаются в более простых и дешевых решениях.

Во-вторых, на установках низкотемпературной сепарации неэффективно используются имеющиеся ресурсы. Проблема заключается в отсутствии возможности глубокого извлечения пропана из товарного природного газа. При этом значительное количество пропана реализуется как компонент природного газа, хотя могло бы реализовываться в качестве компонента более ценного товарного продукта — широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ). Извлечение пропана обычным охлаждением и сепарацией даже с использованием турбодетандерных технологий, в принципе не обеспечивает желаемого результата, в силу физического уноса с потоком газа.

Сооружение и запуск в эксплуатацию установки подготовки природного газа, позволяющей расходовать метанол только в период пусковых операций и при этом осуществлять глубокое извлечение пропана,

недавно завершилось на Термокарстовом газоконденсатном месторождении [1].

Технологическая схема установки

Подробная схема приведена на рис. 1. Пластовая газожидкостная смесь поступает в блоки пробкоуловителей 1, где происходит разделение газожидкостной смеси на газ углеводородный и конденсат.

От блоков пробкоуловителя 1 газ направляется через аппарат воздушного охлаждения 3 на установку адсорбционной осушки, в состав которой входят фильтры-сепараторы 7 и группа адсорберов 8. По мере заполнения адсорбционного слоя влагой, каждый из адсорберов выводится в режим «регенерации» горячим газом, после чего охлаждается и включается в режим «осушки».

Осушенный газ от установки адсорбционной осушки двумя параллельными потоками подается в блоки теплообменников.

Первый поток: блок теплообменников 9, где охлаждается до температуры минус 5–15°C газом из низкотемпературного сепаратора 13.

Второй поток: блок теплообменников 10, где охлаждается до температуры минус 25–35°C газовым конденсатом из низкотемпературного сепаратора 13.

Смешанный газ от теплообменников 9, 10 с температурой минус 20–30°C подается в промежуточные сепараторы 11, а затем на турбодетандерного агрегата 12, где температура газа понижается до минус 50–60°C. Охлажденный двухфазный поток отводится в низкотемпературные сепараторы 13, откуда газ подается в дефлегматор колонны низкотемпературной ректификации 15, затем — в рекуперативный теплообменник 9, компримируется в компрессоре турбодетандерного агрегата 12 и направляется на прием компрессоров внешнего транспорта товарного газа 17.

Конденсат из блоков пробкоуловителей 1 отводится в разделитель 2, где происходит отделение конденсата от пластовой воды и разгазирование при давлении 2,5–3,5 МПа. Газ выветривания подается на газоперекачивающие агрегаты 6, а затем смешивается с основным потоком газа, направляемого в блок адсорбционной осушки.

Газовый конденсат из разделителя 2 подается в колонну горячей деэтанзации 4. Конденсат подается в колонну двумя потоками: первый — в верхнюю часть колонны, второй — в среднюю часть колонны, предварительно подогреваясь в рекуперативном теплообменнике 5.

Параметры работы колонны горячей деэтанзации 4: температура верха колонны равна 10–35°C, температура низа — 140–200°C. Подвод тепла осуществляется за

счет циркуляции кубового продукта через подогреватели, в качестве которых могут выступать как огневые подогреватели, так и теплообменники с циркулирующим промежуточным теплоносителем. Газ дезанизации колонны 4 смешивается с газом выветривания, поступающим на компрессоры 6.

Дезанизированный газовый конденсат с куба колонны 4 подается в рекуперативный теплообменник 5, а затем в блок насосный внешнего транспорта.

Нестабильный конденсат из низкотемпературных сепараторов 13, смешивается с конденсатом из промежуточных сепараторов 11 и с температурой минус 40–60°C, подогревается в рекуперативных теплообменниках 10 и подается в колонну низкотемпературной ректификации 15.

Параметры работы колонны низкотемпературной ректификации: давление 2–3 МПа, температура верха — минус 20–30°C, температура низа колонны — 80–120°C. Подвод тепла осуществляется за счет циркуляции кубового продукта через подогреватели.

Дистиллят колонны 15 поступает в дефлегматор 14, где охлаждается газом из низкотемпературного сепаратора 13 до температуры минус 40–50°C. Подвод тепла осуществляется за счет циркуляции кубового продукта через подогреватели. Затем

осушенный газ охлаждает пропан-бутановую фракцию в рекуперативных теплообменниках 16, компримируется в агрегатах 16 и смешивается с товарным осушенным газом, который соответствует СТО 089-2010.

Пропан-бутановая фракция с куба колонны 15 подается в рекуперативный теплообменник 16, а затем направляется в блок насосный внешнего транспорта.

Основные отличительные особенности этой установки заключаются в использовании технических решений, которые до сих пор, в основном, применялись на газоперерабатывающих заводах, в частности:

- предотвращение процессов гидратообразования осуществляется путем осушки сырого газа в блоке адсорберов;
- глубокое извлечение пропана осуществляется с применением колонны низкотемпературной сепарации.

Особенности осушки газа

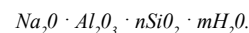
Применение несвойственных для объектов промышленной подготовки газа технических решений имеет ряд ограничений, требующих подробного рассмотрения.

Сущность адсорбционной осушки состоит в избирательном поглощении поверхностью пор твердого адсорбента молекул воды с последующим извлечением их из пор внешними воздействиями (повышением температуры адсорбента или снижением давления среды) [2].

Адсорбционная осушка позволяет достичь депрессию точки росы до 100°C (точка росы до минус 90°C), поэтому этот метод оптимально эффективен, когда требуется глубокая осушка газа.

При адсорбционной осушке наличие в газе углеводородов от бутанов и выше осложняет процесс, потому что эти углеводороды способны поглощаться поверхностью адсорбента на его выходной части и при десорбции воды при высокой температуре склонны к образованию углеродистых коксовых отложений в порах адсорбента. Постепенное закоксовывание адсорбента ведет к снижению его адсорбционной емкости, вследствие чего возникает необходимость периодически регенерировать адсорбент, т.е. выжигать с его поверхности кокс. Чтобы избежать этого, необходимо перед блоком адсорберов, обеспечить условия процесса предварительной сепарации, исключающие просок бутана.

При осушке газа, наиболее надежными в работе считаются цеолиты — химические соединения, которые представляют собой алюмосиликаты ионов щелочных и щелочно-земельных металлов. Химическая формула натриевого цеолита записывается так:



При осушке природного газа используется цеолит типа X, имеющий жесткую упорядоченную трехмерную решетку. Структурообразующим элементом решетки являются кубооктаэдры, в вершинах которых расположены кремний или алюминий. Составленная из кубооктаэдров решетка цеолита ажурна. Полости, расположенные внутри решетки, в отработанном цеолите заполнены водой. После регенерации (нагрева) цеолита и удаления воды полости освобождаются и становятся пригодными для адсорбции (рис. 2).

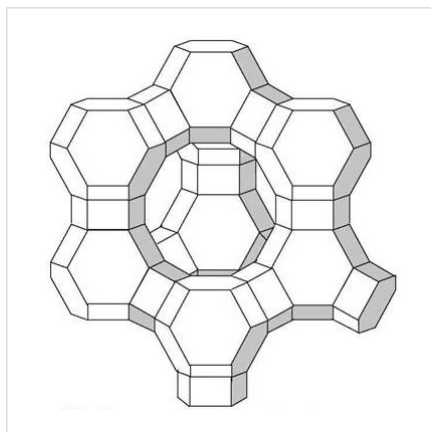


Рис. 2 — Модель структуры цеолита типа X

Диаметры полостей цеолитов и проходов имеют размеры, характерные для каждого типа цеолита. В цеолите типа X полости и проходы имеют диаметр соответственно 1,1 и 0,9 нм. По сути кристаллы цеолитов — это типичные молекулярные сита. Адсорбционными центрами цеолитов являются положительно заряженные ионы натрия.

Во время сброса давления в адсорберах в период их опорожнения перед регенерацией происходит износ цеолитов по причине нарушения структуры их макропор. При

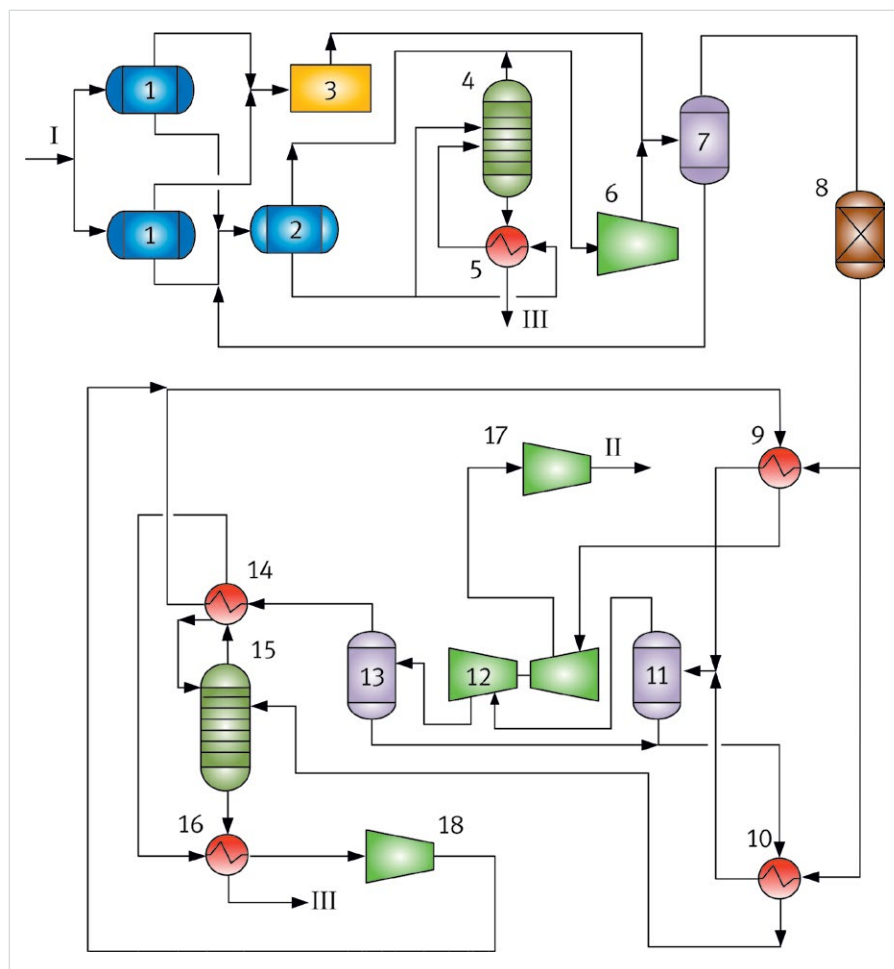


Рис. 1 — Технологическая схема установки комплексной подготовки природного газа с глубоким извлечением углеводородов C_3

I — нестабильный газовый конденсат; II — товарный осушенный газ;
III — дезанизированный газовый конденсат в блок насосной внешнего транспорта

этом происходит резкое расширение газов, которое и приводит к нарушениям целостности пор.

Кроме того, в ходе эксплуатации гранулы адсорбентов трутся друг о друга, разрушаются и пылят. Пыль уносится с рабочей средой, а количество адсорбента при этом снижается. Поэтому в адсорберы с некоторой периодичностью, определенной на основании практических данных, добавляют свежий адсорбент. Годовая норма добавки для цеолита составляет примерно 5%.

Срок службы цеолита в установках с запасом составляет до 5 лет. Длительность стадии десорбции равна 8–12 ч, и как показывает практика, вряд ли она может быть существенно уменьшена.

Остаточное содержание воды в осушенном газе — самый важный показатель процесса осушки.

Расчетным путем можно с достаточно высокой степенью вероятности определить момент появления за слоем адсорбента концентрации воды, при появлении которой стадия адсорбции должна быть прекращена. Однако в процессе эксплуатации выявлено, что задолго до наступления проскока (практически сразу после начала стадии адсорбции), за слоем адсорбента возникает некоторая фоновая концентрация воды в газе, которая не поддается управлению, а является характеристикой для данной установки.

Главной причиной наличия фоновой концентрации является то, что процесс адсорбции всегда сопровождается выделением тепла, а, следовательно, процессом частичной десорбции. В случае установки промышленной подготовки газа, наличие фоновой концентрации значительно в связи низкой теплоемкостью природного газа.

Помимо прочего, к негативному влиянию на остаточное содержание воды можно отнести гидродинамические факторы. Поток углеводородных газов в адсорбере никогда не распределен равномерно по сечению адсорбера. Известны существенные факторы, влияющие на качество распределения, — это отношения D/d и L/D (D , d , L — соответственно, диаметр аппарата, диаметр зерен адсорбента и высота слоя адсорбента в адсорбере). С увеличением этих отношений распределение потока по сечению становится более равномерным, что положительным образом сказывается на процессе осушки сжиженных углеводородных газов.

Значительно хуже изучено влияние конструктивных особенностей аппарата. К ним относятся особенности вводных и выводных устройств углеводородных газов, отношение диаметра входного (выходного) патрубка к диаметру аппарата, наличие или отсутствие в аппарате распределительных решеток, их конструкция и расположение.

Между тем неудачные конструктивные решения способны оказать очень большое влияние на качество осушенного газа и могут обесценить достоинства самой хорошей технологии осушки и самого совершенного адсорбента.

Извлечение ШФЛУ

Процесс низкотемпературной ректификации в рамках рассматриваемой технологической схемы, функционально является деметанизацией ШФЛУ [3, 4].

В ходе этого процесса происходит увеличение выхода газового конденсата за счет увеличения выхода ШФЛУ и осуществляется глубокая осушка природного газа при обязательном условии соответствия получаемой товарной продукции техническим условиям.

Низкотемпературная ректификация отличается от процесса низкотемпературной сепарации тем, что процесс ректификации происходит при низкой температуре на массообменных тарелках. При этом разделение углеводородных смесей происходит с получением более чистых индивидуальных углеводородов или узких фракций.

В целях снижения капитальных затрат во время проектирования установки было принято решение о совмещении колонны и дефлегматора в одном аппарате. Дефлегматор смонтирован на верхнем штуцере колонны и, по сути, является ее укрепляющей частью. При этом не требуется сооружение отдельного блока холодильного оборудования, буферной — флегмовой емкости, насосов подачи орошения в колонну. Поток орошения самостоятельно формируется в дефлегматоре и под действием силы тяжести стекает в колонну.

Однако, у этого решения имеется и целый ряд недостатков.

Во-первых, отсутствует возможность регулирования расхода орошения и, следовательно, тонкой регулировки температуры верха колонны. Флегмы в колонну поступает ровно столько, сколько углеводородов сконденсировалось в дефлегматоре.

Во-вторых, при изменении состава исходной смеси, поступающей в колонну, меняется величина газового потока, проходящего через верхний штуцер колонны в дефлегматор. При достижении определенной критической величины на штуцере образуется перепад давления, который по сути является перепадом давления между колонной и дефлегматором. Таким образом, давление в колонне становится больше чем в дефлегматоре, вследствие чего поток орошения из дефлегматора в колонну забирается.

Важнейшей особенностью проведения процессов ректификации является их высокая энергоемкость. При осуществлении процесса разделения сырья на компоненты в ректификационной колонне затрачивается значительное количество энергии.

Поэтому одной из важных задач разработки технических решений являлось исследование термодинамических параметров процесса ректификации с целью определения оптимальных значений давления и температуры для достижения минимальных удельных затрат энергии при проектной производительности установки и соответствующих качественных параметрах конечных продуктов.

Для этого были проведены термодинамические расчеты с целью выяснения термобарических параметров при получении глубоко осушенного метана методом низкотемпературной ректификации ШФЛУ Термокарстового месторождения.

Производительность колонны по сырью (ШФЛУ) — 30 т/ч. К получаемому дистилляту (осушенному газу) предъявлялись требования по содержанию метана не менее 98,5% об.

Для определения давления в колонне, при котором возможно проведение процесса при минимуме затрат энергии, была проведена серия расчетов при заданной постоянной температуре сырья.

В результате были получены значения энергетических затрат в дефлегматоре и испарителе, необходимых для поддержания работы колонны с получением метана заданного качества.

На основе полученных данных для последующих исследований было выбрано оптимальное давление, которое составило 2,8–2,9 МПа.

Для поддержания минимума затрат энергии в процессе проведения низкотемпературной ректификации газов, кроме известного давления, необходимо определить оптимальную температуру в дефлегматоре колонны. С этой целью были произведены термодинамические расчеты ректификационной колонны при постоянном давлении. Результаты расчета и полученные расходные энергетические характеристики колонны показали, что минимальные энергетические затраты при осуществлении процесса ректификации ШФЛУ могут быть достигнуты при температуре в дефлегматоре колонны минус 50°C.

Итоги

В работе доказана эффективность использования процессов адсорбционной осушки и низкотемпературной ректификации при промышленной подготовке природного газа. Предлагаемые технические решения позволяют отказаться от использования ингибиторов гидратообразования (за исключением пусковых операций) и увеличить выход жидких углеводородов на 11% по сравнению с технологией низкотемпературной сепарации. Установка с использованием предлагаемой технологии успешно эксплуатируется на Термокарстовом газоконденсатном месторождении.

Выводы

Опыт промышленной эксплуатации показал высокую эффективность установки, использующей предлагаемые технические решения. С уверенностью можно утверждать о целесообразности использования процессов адсорбционной осушки и низкотемпературной ректификации для промышленной подготовки природного газа.

Список литературы

1. Шевкунов С.Н., Шилкин А.А., Способ комплексной подготовки продукции газовых и газоконденсатных залежей с глубоким извлечением углеводородов C_3 и установка для его осуществления // Заявка на патент № 2015138573 Россия.
2. Шумяцкий Ю.И., Промышленные адсорбционные процессы. М.: КолосС, 2009. 74 с.
3. Николаев В.В., Бусыгина Н.В., Основные процессы физической и физико-химической переработки газа. М.: Недра, 1998. 184 с.
4. Мурин В.И., Кисленко Н.Н., Сурков Ю.В. и др. Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник: в 2 ч. М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. ч.1. 517 с.

Adsorption dehydration and low-temperature rectification in the processes of commercial preparation of natural gas

Author:

Stanislav N. Shevkunov — Ph.D., The head of Department on processing of gas condensate and gas chemistry; Shevkunov@novatek.ru

OJSC "NOVATEK", Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper discusses the features of the processes of adsorption drying and low temperature rectification in relation to the commercial preparation of gas Valanginian deposits. The advantage of the proposed technical solution is to exclude the application of inhibitors of hydrate formation and deep extraction of hydrocarbons C_{3+} from marketable dry gas. The result is a decrease in the cost of commercial products and increases the yield of such an expensive commercial product as wide fraction of light hydrocarbons.

Materials and methods

As the basis were adopted by the technical developments of gas processing plants. With

the involvement of the design institutes have developed the basic technical solutions, produced the necessary technological calculations on the basis of which was adopted the concept of creating an advanced installation. Real technical and economical parameters of the installation were obtained in the experimental-industrial operation.

Results

The work proved the efficiency of the processes of adsorption drying and low temperature rectification in commercial preparation of natural gas. Proposed technical solutions allow to abandon the use of inhibitors of hydrate formation (with the exception of the start-up of operations) and to increase the yield of liquid

hydrocarbons on 11% in comparison with the technology of low temperature separation. Installing using the proposed technology is successfully operated at the Termokarstovoye gas condensate field.

Conclusions

Commercial operation experience showed high efficiency of the plant using the proposed technical solutions. We can confidently assert the feasibility of using adsorption processes of dehydration and low temperature rectification for field treatment of natural gas.

Keywords

gas field, adsorption, low temperature distillation

References

1. Shevkunov S.N., Shilkin A.A., *Sposob kompleksnoj podgotovki produkci gazovyh i gazokondensatnyh zalezhej s glubokim izvlecheniem uglevodorodov S_{3+} i ustanovka dlja ego osushhestvleniya* [Comprehensive training method of production of gas and gas condensate deposits with deep extraction of hydrocarbons and C_{3+} installation for its implementation]. Patent application number 2015138573 Russia.
2. Shumjackij Ju.I., *Promyshlennye adsorbciionnye process* [Industrial adsorption processes]. Moscow: KolosS, 2009, 74p.
3. Nikolaev V.V., Busygina N.V., *Osnovnye processy fizicheskoy i fiziko-himicheskoy pererabotki gaza* [Main processes of physical and physical-chemical processing of gas]. Moscow: Nedra, 1998, 184p.
4. Murin V.I., Kislenco N.N., Surkov Ju.V. i dr. *Tehnologiya pererabotki prirodnogo gaza i kondensata* [Technology processing of natural gas and condensate]. Manual in 2 parts. Part 1. Moscow: Nedra-Biznescentr, 2002, 517 p.



Автомобиль комплексного бригадного обслуживания и ремонта (АКБОР) на шасси КАМАЗ-43502 с КМУ предназначен для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, монтажа различного рода оборудования, грузов, а также транспортировки грузов и рабочую бригаду, за счет установленной сдвоенной кабины.

Автомобиль хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации — в условиях бездорожья. На бортовой автомобиль КАМАЗ-43502 может быть установлено КМУ производства **Palfinger, Fassi, HIAB, Unic, Донг Янг, Канглим и др.**

423800, г. Набережные Челны, Индустриальный проезд, д. 29
+7 (8552) 53-74-54, 53-74-72

Кран-манипулятор (гидроманипулятор) предназначен для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, монтажных и демонтажных работ на различных объектах народного хозяйства.

Данный автомобиль, КАМАЗ-43502, изготавливается по заказу для дорожно-строительных организаций, установлена сдвоенная кабина с дополнительными местами и спальным местом. Установлено КМУ ИМ-55 и бортовая платформа со светящимися светодиодными дорожными знаками и проблесковыми маячками.

Модификации автомобилей АКБОР возможны на следующих шасси КАМАЗ: 4308, 43502, 43253, 43118, 5350, 65111, 65115 и других моделей.

damin16@mail.ru

www.damin16.ru