



На правах рукописи

Прокопов Андрей Васильевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА
ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С
ВЫСОКИМ КОНДЕНСАТНЫМ ФАКТОРОМ**

по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и
высокоэнергетических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в Центре добычи газа Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий»

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор
Истомин Владимир Александрович
главный научный сотрудник Центра добычи газа
Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий»

Официальные оппоненты доктор химических наук, профессор
Мельников Вячеслав Борисович
профессор кафедры «Оборудования
нефтегазопереработки» Федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего
образования «Российский государственный университет
нефти и газа (национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина»

кандидат технических наук
Касперович Александр Геннадьевич
ведущий инженер отдела аналитического мониторинга и
прогноза Общества с ограниченной ответственностью
«Газпром переработка»

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Защита состоится «11» июня 2019 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.204.08 при РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047, г. Москва, А-47, Миусская пл., д. 9) в аудитории 443 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева и на официальном сайте РХТУ им. Д.И. Менделеева (<https://diss.muotr.ru/author/1092/>). Автореферат диссертации размещён на официальном сайте РХТУ им. Д.И. Менделеева и на официальном сайте ВАК.

Автореферат диссертации разослан _____ 2019 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.204.08

С.В. Вержичинская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время добыча конденсат содержащего природного газа осуществляется из валанжинских и ачимовских залежей Уренгойского, Ямбургского, Заполярного и др. нефтегазоконденсатных месторождений Надым-Пур-Тазовского региона (НТПР). Промысловая подготовка газов таких залежей на действующих и проектируемых месторождениях НТПР осуществляется по технологиям низкотемпературной сепарации (НТС) и низкотемпературной абсорбции (НТА). Остаточное содержание пропан-бутанов и углеводородов C_{5+} в товарном газе находится на довольно высоком уровне 45...55 и 3...6 г/м³, соответственно. Это определяет необходимость совершенствования низкотемпературных технологий промышленной подготовки газа для увеличения степени извлечения углеводородов C_{3+} .

Разрабатываемые месторождения НТПР постепенно переходят на стадию падающей добычи и для поддержания объёмов добываемого сырья рассматриваются возможности освоения новых, более глубоко залегающих залежей (ачимовских, неоком-юрских и др.).

Таким образом, разработка новых технологических схем промышленной подготовки конденсатсодержащих газов с целью повышения извлечения ценных компонентов и улучшения технико-экономических показателей работы как новых, так и действующих установок комплексной подготовки газа (УКПГ) является актуальной задачей.

Цель работы

Повышение глубины извлечения углеводородов C_3-C_4 и C_{5+} в составе товарных жидких продуктов на действующих и проектируемых установках комплексной подготовки газа газоконденсатных месторождений с высоким содержанием углеводородов C_{5+} .

Основные задачи исследования

1. Проанализировать существующие технологические схемы промышленной подготовки природных газов газоконденсатных месторождений и определить перспективные направления их совершенствования.

2. Выявить особенности промышленной подготовки природных газов с высоким содержанием C_{5+} (влияние состава поступающего на УКПГ флюида на содержание C_{5+} в подготовленном газе, интенсивности охлаждения газа и конденсата, влияние капельного уноса на точку росы газа по углеводородам).

3. Установить оптимальный состав углеводородного абсорбента для дополнительного извлечения C_3-C_4 и C_{5+} по технологии промышленной низкотемпературной абсорбции.

4. Разработать новые технологии промышленной низкотемпературной сепарации для интенсификации извлечения углеводородов C_{3+} с дополнительной обработкой газа концевой дегазации конденсата.

5. Разработать новые технологии промышленной низкотемпературной абсорбции для интенсификации извлечения углеводородов C_{3+} из газов с высоким содержанием углеводородов C_{5+} .

Научная новизна работы

1. Выявлены закономерности подготовки природных газов с большим содержанием углеводородов C_{5+} , связанные с эффективностью охлаждения газа и конденсата, глубиной извлечения компонентов, влиянием капельного уноса на показатели качества, что позволяет разрабатывать новые технологии подготовки конденсатсодержащих газов.

2. Разработана технология низкотемпературной подготовки газов концевой дегазации конденсата для вариантов охлаждения газа с использованием процессов дросселирования, эжектирования и детандирования для увеличения выхода углеводородов C_{3+} в составе нестабильного конденсата.

3. Разработана технология промышленной низкотемпературной абсорбции с использованием селективного абсорбента, позволяющая существенно увеличить выход товарной жидкой продукции.

Практическая значимость работы

1. Применительно к действующей УКПГ-31 Уренгойского месторождения (ачимовская залежь, участок 1А) разработана и рекомендована к внедрению технология НТС с эжектором на температурном уровне сепарации

минус 33...минус 35 °С, обеспечивающая дополнительное извлечение углеводородов C_{3+} из газов концевой ступени дегазации нестабильного конденсата.

2. Разработаны перспективные технологии НТС для промышленной подготовки конденсатсодержащих газов ачимовских залежей: дроссельная технология на температурном уровне сепарации до минус 40 °С и турбодетандерная – до минус 50 °С. Эти технологии рекомендованы к внедрению на перспективных объектах освоения ачимовских залежей Уренгойского месторождения (участки 4А и 5А).

3. Разработаны две технологические схемы абсорбционной подготовки газа с углубленным извлечением углеводородов C_{3+} , которые могут быть использованы при модернизации УКПГ-1В Ямбургского НГКМ.

Теоретическая значимость работы

1. Предложена корреляция содержания углеводородов C_{5+} в газе сепарации с содержанием углеводородов C_3-C_4 в обрабатываемом газе, характеризующая эффективность подготовки конденсатсодержащих газов.

2. Установлены особенности снижения температуры нестабильного конденсата из низкотемпературного сепаратора при его дросселировании в зависимости от состава входного газа, что позволило оптимизировать процесс рекуперации холода конденсата.

3. Получены зависимости степени извлечения углеводородов C_{3+} углеводородными фракциями из газа сепарации, позволяющие оптимизировать состав селективного абсорбента в технологии низкотемпературной абсорбции.

4. Уточнена методика расчетного определения точки росы товарного газа по углеводородам в зависимости от величины уноса жидкости из низкотемпературного сепаратора.

Апробация работы. Результаты, изложенные в диссертационной работе, были представлены на следующих российских и международных научных конференциях: Молодежная научно-практическая конференция ООО «Газпром ВНИИГАЗ» «Инновации сегодня и завтра: миссия молодых ученых» (г. Москва 8 декабря 2016 г.); Пятая международная конференция «Современные технические инновационные решения, направленные на повышение эффективности реконструкции и технического

переворужения объектов добычи углеводородного сырья» (г. Москва 10-13 октября 2016 г.); Первая международная научно-практической конференции «Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем» (SPRS 2016) (г. Москва 12-14 сентября 2016 г.); Российская нефтегазовая техническая конференция SPE (г. Москва 15-17 октября 2018 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 статей в рецензируемых различных журналах, входящих в «Перечень...» ВАК Минобрнауки РФ, а также 1 статья в издании, входящем в базу данных SCOPUS. Получены пять патентов РФ на изобретения.

Личный вклад автора состоял в анализе литературных данных, проведении расчётных исследований, обработке и интерпретации результатов. Автор принимал непосредственное участие в подготовке публикаций и презентации докладов на конференциях.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, пяти приложений и библиографического списка из 110 наименований. Объём работы (основной текст) – 120 страниц, таблиц -24, рисунков - 53.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, раскрыта научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также методы исследования и защищаемые положения.

В первой главе приведён анализ технологических схем промышленной подготовки конденсатсодержащих газов методом низкотемпературной сепарации (НТС), который позволил выявить основные направления совершенствования действующих технологических схем НТС с эжектором, дросселем и турбодетандером (ТДА). Перспективным направлением развития таких технологий является снижения температурного уровня сепарации с помощью дополнительной подготовки газов дегазации перед их подачей на эжектор или в товарный газ. Снижение температурного уровня сепарации позволит увеличить удельный выход товарной жидкой продукции и снизить содержание компонентов C_{3+} в товарном газе.

Что касается технологии промышленной низкотемпературной абсорбции (ПНТА), то перспективным направлением является получение и применение селективного абсорбента для интенсификации извлечения C_{3+} с возможностью регулирования количества и компонентного состава абсорбента. Тогда как в действующей технологии ПНТА в качестве абсорбента непосредственно используется конденсат с первой ступени сепарации.

Во второй главе проведён детальный анализ особенностей технологии подготовки газа с высоким конденсатным фактором методами НТС и ПНТА.

Эффективность охлаждения в дроссельном и детандерном устройствах. В процессах охлаждения температура газа на выходе из охлаждающего устройства определяется количеством сконденсировавшейся жидкости и её теплофизическими свойствами: теплотой конденсации и теплоёмкостью. Для процесса детандирования количество конденсируемой жидкости оказывает существенное влияние на эффективность процесса охлаждения и, следовательно, на температуру газа на выходе из детандера. Температура газа на выходе из дросселя для составов с различным содержанием C_{5+} различается незначительно. Это обусловлено меньшим количеством конденсируемой жидкости и меньшим охлаждением газа при его дросселировании, чем при детандировании.

Специфика охлаждения конденсата низкотемпературной ступени сепарации при дросселировании. С увеличением содержания C_{5+} во входном потоке охлаждение жидкости из низкотемпературного сепаратора после её дросселирования увеличивается. Эту закономерность можно объяснить физическими процессами, происходящими при дросселировании жидкости (НК): процесс дросселирования НК сопровождается дегазацией и образованием холода при испарении жидкости. Поэтому с увеличением содержания компонентов C_1-C_4 в жидкости низкотемпературного сепаратора степень её охлаждения после дросселирования увеличивается. Содержание метана и этана в сконденсировавшейся жидкости низкотемпературного сепаратора определяется количеством C_5-C_6 во входном потоке (пластовом газе). Анализ изменения состава пластового газа в процессе его низкотемпературной подготовки показал, что содержание C_5-C_6 в пластовом газе коррелирует с общим содержанием углеводородов C_{5+} в этом потоке.

Зависимости остаточного содержания C_{5+} в газе низкотемпературной ступени сепарации от состава входного газа. Проведённый анализ технологических схем промышленной подготовки газоконденсатных газов при давлении 6,0 МПа на температурном уровне сепарации минус 30 °С выявил возможный диапазон содержания компонентов C_{5+} в газе низкотемпературной сепарации: от 3 до 6 г/м³. В процессе разработки месторождения (по мере снижения содержания C_{5+} в пластовом газе) остаточное содержание C_{5+} в товарном газе незначительно увеличивается. Удельное количество C_{5+} в товарном газе (в г/м³) определяется содержанием C_3 - C_4 в пластовом газе (в г/м³) и рассчитывается по зависимости:

$$C_{5+} = -0,026 \cdot [C_3 - C_4] + 6,3 \quad (1)$$

Зависимость (1) позволяет на основе содержания в пластовом газе компонентов C_3 - C_4 осуществлять прогноз изменения остаточного содержания C_{5+} в газе сепарации и степень их извлечения в процессе разработки месторождения для конденсатсодержащих газов с конденсатным фактором от 100 до 300 г/м³.

Зависимости извлечения компонентов C_{3+} от температуры и фракционного состава абсорбента. Одним из перспективных вариантов развития технологий подготовки конденсатсодержащего газа является направление, заключающееся в адаптации заводских технологий абсорбционной подготовки газа к промышленным условиям. Задача заключается в подборе абсорбента оптимального состава и его применении для увеличения степени извлечения целевых компонентов из газа, поступающего в абсорбер. В качестве абсорбента рассматривались десятиградусные фракции (далее – фракция), которые были получены при физико-химическом анализе проб товарного нестабильного конденсата Ямбургского НГКМ. Дополнительное извлечение C_{3+} , C_3 - C_4 и C_{5+} из газа, поступающего в низкотемпературный абсорбер, определено относительно базовой технологии НТС. Согласно результатам расчёта, для максимального извлечения каждой из групп компонентов требуется определённый состав абсорбента: для C_3 - C_4 – фракция 60...70 °С, для C_{5+} – фракция 150...170 °С, а для C_{3+} – фракция 100...120 °С.

Таким образом, получение и применение специального селективного абсорбента принципиально позволяет увеличить степень извлечения C_3 - C_4 и C_{5+} при подготовке газа по технологии промышленной низкотемпературной абсорбции.

Особенности расчётного определения точки росы товарного газа по углеводородам ($TTR_{УВ}$). Моделирование фактических режимов работы установок НТС показало, что расчётные значения $TTR_{УВ}$, определенные имеющимися средствами в моделирующих программных комплексах, всегда выше экспериментальных значений (получаемых конденсационными гигрометрами). В связи с этим необходимо уточнение расчетной методики определения $TTR_{УВ}$ для ее согласования с экспериментальными значениями.

По мере понижения температуры количество конденсирующейся из газа углеводородной жидкости очень медленно увеличивается, но при некоторой температуре процесс конденсации резко интенсифицируется. При инструментальном определении $TTR_{УВ}$ при этой температуре наблюдается интенсивная конденсация углеводородной жидкости на зеркальце прибора. В связи с этим предлагается расчетная методика определения значения $TTR_{УВ}$. За расчётное значение $TTR_{УВ}$ рекомендуется принимать такое значение температуры, при котором содержание жидкости в газе сепарации составит от 0,5 до 2,0 мг/м³. Значение количества сконденсировавшейся жидкости, которое следует принимать при расчёте $TTR_{УВ}$, определяется из анализа кривой конденсации. Предложенная схема расчёта $TTR_{УВ}$ хорошо согласуется с экспериментально измеряемой величиной $TTR_{УВ}$ товарного газа.

Третья глава посвящена совершенствованию низкотемпературных технологий промышленной подготовки газа ачимовских залежей НПТР.

В настоящее время вводятся в разработку ачимовские залежи Уренгойского месторождения (лицензионные участки 4А и 5А). Содержание C_3-C_4 в этих залежах оставляет ~120 г/м³, а C_{5+} на начальный период разработки месторождения – 300...400 г/м³.

Проведённый анализ технологии подготовки газа на УКПГ-31 (участок 1А) показал, что технологическая схема НТС с эжектором на имеющемся оборудовании работает при параметрах, близких к оптимальным (с температурой НТС минус 30 °С). Температура НТС в рамках реализованной проектной схемы не может быть снижена из-за резкого увеличения количества низконапорных газов дегазации конденсата и, как следствие, «запирания» эжектора. Поэтому для понижения температуры НТС и повышения степени извлечения C_3-C_4 и C_{5+} необходимо модифицировать

технологическую схему с целью снижения количества низконапорных газов, поступающих на эжектор.

Разработка технологической схемы НТС с эжектором для дополнительного извлечения товарного конденсата. Сокращение количества газов концевой дегазации может быть реализовано путём их охлаждения с последующим отделением сконденсировавшейся жидкости. Для определения температуры, до которой необходимо охлаждать газ дегазации рассмотрен процесс конденсации углеводородов при постепенном снижении температуры. Оптимальная температура, до которой может быть выполнено охлаждение газов дегазации в рамках существующей технологической схемы УКПГ-31 составляет минус 30 °С, извлечение C_{3+} при этом составит ~ 65 %.

Таким образом, для повышения эффективности подготовки газа на УКПГ-31 посредством снижения температуры НТС в технологическую схему необходимо добавить установку дополнительного извлечения конденсата (УДИК) из низконапорных газов.

Применительно к модернизации действующей установки УКПГ-31 нами разработаны два варианта технологической схемы с УДИК: с применением пропановой холодильной установки (ПХУ) и с охлаждением газов дегазации холодным конденсатом НТС. В качестве примера на рис. 1 приведена технологическая схема с охлаждением газов дегазации в ПХУ. УДИК включает разделители Р-3 и Р-4, теплообменники Т-4/1 «газ-конденсат» и Т-4/2 «газ-газ», сепаратор С-4, а также теплообменник испаритель И-1 и ПХУ или дополнительный теплообменник при охлаждении газов дегазации в ПХУ. Охлаждённый в теплообменниках Т-4/1 и Т-4/2 и И-1 газ дегазации БЕ и Р-3 поступает в сепаратор С-4. Газ из С-4 направляют на эжектор, а жидкость после нагрева в Т-4 – в разделитель Р-4, предназначенный для отделения ВМР, дегазации конденсата и достижения такого значения давления насыщенных паров (ДНП), которое существенно не изменит ДНП суммарного (товарного) НК. Конденсат из Р-4 перекачивается в товарный конденсат насосом Н-2.

Важным параметром УДИК является температура в разделителе Р-4, которая определяет ДНП конденсата и количество дополнительно извлеченного товарного

конденсата. Установлено, что оптимальная температура в P-4 составляет плюс 5 °С. При этой температуре ДНП товарного НК увеличится незначительно (на 0,1 МПа), что вполне допустимо, а степень извлечения C_{3+} из сконденсировавшейся жидкости сепаратора C-4 составит ~ 96%.

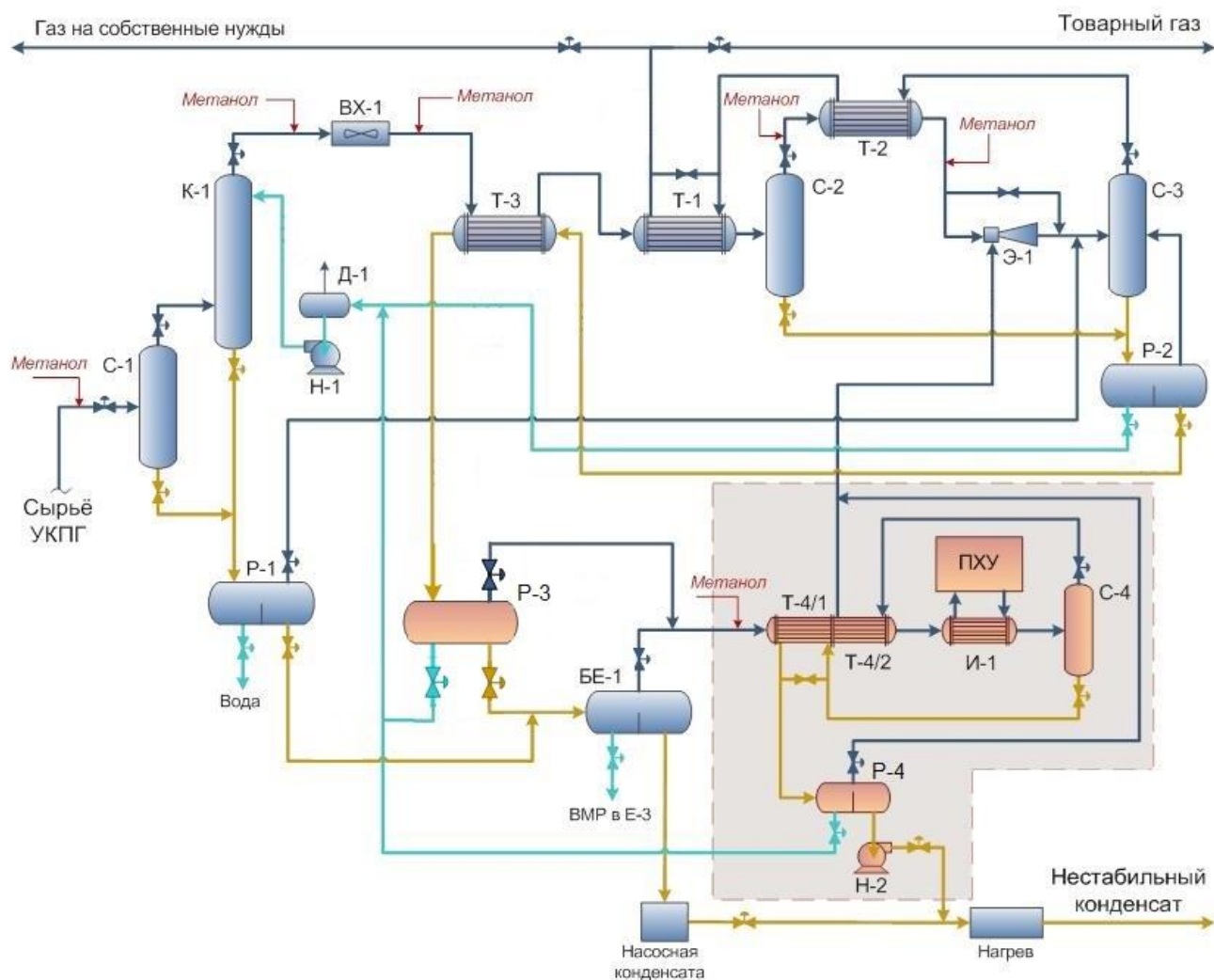


Рис. 1. Технологическая схема НТС с эжектором и УДИК (с охлаждением газов дегазации в ПХУ)

Минимально-возможный температурный уровень сепарации на установке НТС с эжектором и УДИК определялся на основании следующих факторов: количества газов дегазации, образующихся в УДИК и поступающих на эжектор, требуемой поверхности теплообмена T-1 и T-2, удельного выхода НК и степени извлечения углеводородов C_{3+} . По результатам моделирования получено, что применение УДИК к действующей технологической схеме УКПГ-31 с охлаждением газов дегазации на

ПХУ позволяет понизить температуру НТС на пять градусов до минус 35 °С и тем самым увеличить удельный выход товарного НК на 5,4 г/м³. При охлаждении газов дегазации в УДИК низкотемпературным конденсатом снижение температуры сепарации составит два градуса до величины минус 32 °С, а увеличение удельного выхода товарного НК на 4,0 г/м³.

Разработка технологической схемы НТС с дросселем на минимальном температурном уровне сепарации. Применение дроссельной технологии по сравнению с эжекторной позволяет снизить температуру НТС за счет исключения подачи низконапорных газов концевой ступени дегазации конденсата на вход в низкотемпературный сепаратор.

В традиционных технологических схемах НТС с дросселем утилизация низконапорных газов дегазации осуществляется путём их компримирования с подачей в товарный газ. Для ачимовских газов такое техническое решение представляется не целесообразным из-за большого содержания в них C₃₊ и тем самым сильного влияния на показатели качества газа – водной и углеводородной точек росы. Для ачимовских газов выполнение требований к точкам росы товарного газа по технологии НТС с дросселем на пониженном температурном уровне можно обеспечить только при дополнительной подготовке низконапорных газов концевой дегазации, с извлечением из них жидких углеводородов.

Определение оптимального температурного уровня сепарации осуществлялось по следующим параметрам: удельному выходу товарного НК, характеристикам теплообменника Т-2 и количеству газов дегазации. Проведённый анализ совокупности факторов показал, что оптимальная температура НТС для схемы с дросселем составляет минус 40 °С. Увеличение удельный выхода товарного НК относительно эжекторной технологии подготовки газа на температурном уровне минус 30 °С составит ~14 г/м³.

Разработка технологической схемы НТС с ТДА на минимальном температурном уровне сепарации. Применение ТДА в технологии НТС дает дополнительные возможности понижения температуры сепарации и, тем самым, увеличения степени извлечения C₃₊ и выхода товарного НК. Основным ограничением при переходе на пониженный температурный уровень сепарации для технологии НТС

с ТДА является увеличение количества газов дегазации, которые при подаче в газ сепарации оказывают сильное влияние на водную и углеводородную точки росы товарного газа. Поэтому для перехода на температурный уровень сепарации до минус 50 °С предложено проводить подготовку газа концевой дегазации перед подачей в товарный газ в УДИК. Охлаждение газов в УДИК для рассматриваемого случая рекомендовано осуществлять конденсатом НТС.

Обоснование оптимального температурного уровня НТС для предложенной схемы выполнено по параметрам, рассмотренным выше для дроссельной и эжекторной технологии (поверхность теплообменного оборудования, удельный выход НК и количество низконапорного газа, поступающего из УДИК на смешение с газом сепарации). Из проведённого расчётного моделирования следует, что минимальная температура НТС, обеспечивающая извлечение целевых углеводородов близкое к максимальным значениям, в среднем составляет минус 50 °С. Увеличение удельный выхода товарного НК относительно эжекторной технологии составит ~29 г/м³.

Проведённая экономическая оценка вариантов модернизации УКПГ-31 Уренгойского месторождения показала, что наибольший экономический эффект имеет место для технологии НТС с ТДА, тогда как технология ТНС с дросселем и УДИК характеризуется минимальным сроком окупаемости.

Четвёртая глава посвящена совершенствованию технологий абсорбционной подготовки газоконденсатного газа. Абсорбционная технология промышленной подготовки конденсатсодержащих газов применяется на УКПГ-1В Ямбургского НГКМ. В качестве абсорбента используют углеводородный конденсат, выделяемый на первой ступени сепарации. Процесс абсорбции осуществляется в области низкотемпературной сепарации при давлении ~4МПа и температуре минус 30 °С. В процессе разработки месторождения конденсатный фактор пластовой смеси и, следовательно, количество абсорбента снижается, это приводит к уменьшению эффективности применения процесса низкотемпературной абсорбции. Анализ технологической схемы подготовки газа на УКПГ-1В Ямбургского НГКМ показал, что применение в качестве абсорбента НК с первой ступени сепарации исключает

возможность регулирования его количественного и компонентного состава, а также степени извлечения C_3-C_4 и C_{5+} .

Таким образом, для увеличения степени извлечения C_{3+} требуется доработка существующей технологии ПНТА. Для этого необходимо оптимизировать состав абсорбента и разработать технологию его получения и регенерации.

Разработка новой технологической схемы абсорбционной подготовки газа на температурном уровне минус 25...минус 30 °С. Для УКПГ-1В Ямбургского НГКМ предварительно было выполнено исследование степени извлечения C_{3+} углеводородными фракциями. Определено, что оптимальным абсорбентом для извлечения C_3-C_4 является фракция с температурой начала и конца кипения 60...70 °С, для C_{5+} – фракция 150...170 °С.

Исследование влияния удельного расхода абсорбента на степень извлечения C_{3+} , C_3-C_4 и C_{5+} , а также содержание рассматриваемых фракций в составе пластового газа в процессе разработки месторождения позволило определить оптимальный состав абсорбента – широкая фракция 120...170 °С. Применение этой фракции при удельном расходе абсорбента 25...30 г/м³ позволяет снизить содержание C_{5+} в газе после абсорбции до 1 г/м³, а C_3-C_4 на 20 г/м³. Обеспечение требуемого удельного расхода абсорбента на протяжении всего периода эксплуатации УКПГ осуществляется в установке его регенерации.

Усовершенствованная технологическая схема абсорбционной подготовки газа и установкой приготовления и регенерации абсорбента для углублённого извлечения углеводородов C_{3+} приведена на рис. 2.

Разработанная схема отличается от традиционной установки ПНТА наличием дополнительного установка подготовки и регенерации абсорбента.

Установка подготовки и регенерации абсорбента включает: предварительную дегазацию отработанного абсорбента в сепараторах С-1/1 и С-1/2, нагрев абсорбента между ступенями сепарации в теплообменнике Т-1/1 и процесс ректификации. Регенерация насыщенного абсорбента может быть проведена с использованием одной ректификационной колонны или с применением ректификационной колонны, соединённой с стриппинг-колонной. В процессе подготовке газа и регенерации абсорбента часть абсорбента переходит в газовую фазу. Для восполнения потерь

абсорбента используют конденсат из разделителя P-1, направляя его на установку регенерации абсорбента.

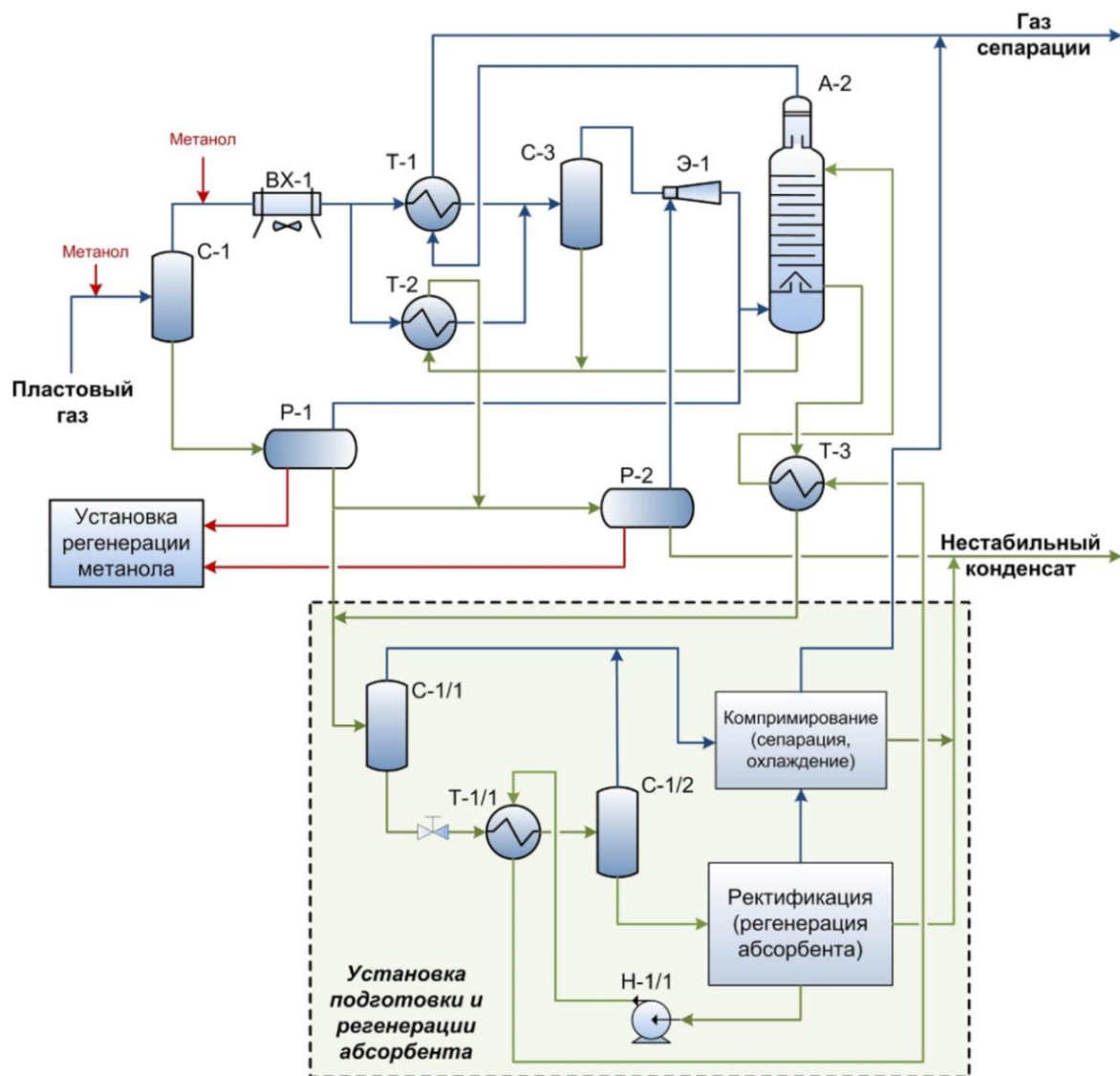


Рис. 2. Усовершенствованная технологическая схема ПНТА для углублённого извлечения углеводородов C_{3+} с установкой приготовления и регенерации абсорбента

Проведенное расчетно-технологическое моделирование показывает, что относительно традиционной технологии ПНТА степень извлечения углеводородов C_{5+} из газа сепарации может быть увеличена с 30 до 85 % (дополнительное извлечение C_{5+} составит $\sim 3 \text{ г/м}^3$), при этом степень извлечения C_3-C_4 может быть увеличена с 50 до 60 % (дополнительное извлечение C_3-C_4 составит $\sim 10 \text{ г/м}^3$).

Разработка усовершенствованной технологической схемы ПНТА на температурном уровне абсорбции минус 17...минус 20 °С. Модифицированная выше технология ПНТА, также как и проектная технология ПНТА на УКПГ-1В характеризуются довольно высокой чувствительностью $TTR_{ув}$ товарного газа к капельному уносу абсорбента. Расчётное значение $TTR_{ув}$ для разработанной технологии повышается примерно на семь градусов относительно проектной технологии. Различие влияния уноса жидкости на $TTR_{ув}$ для проектной технологии ПНТА и модифицированной ПНТА обусловлено составом уносимой жидкости – абсорбента. Для технологии ПНТА этой жидкостью является нестабильный конденсат с первой ступени сепарации, состоящий как из лёгких углеводородов C_1-C_4 , так и наиболее высококипящих C_{10+} . В модифицированной технологии ПНТА уносимая жидкость – смесь углеводородов с содержанием не менее 85 % мас. фракции с температурами начала и конца кипения 120...170 °С (C_7-C_{10}). Наличие лёгких компонентов в составе уносимой жидкости (абсорбента) для технологии ПНТА приводит к незначительному повышению показателя $TTR_{ув}$.

Требования к качеству товарного газа с учётом сохранения высокой степени извлечения C_{3+} можно обеспечить, если проводить процесс абсорбции в области промежуточной ступени сепарации с последующей низкотемпературной сепарацией. Это позволяет существенно снизить влияние капельного уноса абсорбента на $TTR_{ув}$ газа сепарации. Такая технологическая схема подготовки газа включает первичную и низкотемпературную сепарацию, охлаждение и рекуперацию холода газа низкотемпературной сепарации и узел абсорбционной подготовки газа. Между узлом абсорбции и низкотемпературной ступени сепарации осуществляется охлаждение газа с помощью дросселя, эжектора или другого устройства.

Проведение процесса абсорбции в области промежуточной ступени сепарации с последующей низкотемпературной подготовкой позволяет снизить $TTR_{ув}$ на 5°С относительно разработанной ранее усовершенствованной технологии ПНТА. Требование к $TTR_{ув}$ для умеренной макроклиматической зоны (минус 2 °С) при уносе жидкости из сепаратора НТС 150 мг/м³ обеспечивается во всём интервале давления с запасом 14 градусов, а для холодной зоны (минус 10 °С) с запасом – шесть градусов. Полученные значения несколько ниже, чем для модернизированной технологии

ПНТА, однако при этом для вновь разработанной схемы проще обеспечить требования к качеству сепарации и величине уноса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведён анализ промысловых технологий подготовки природных газов с большим конденсатным фактором и определены перспективные направления их совершенствования для увеличения степени извлечения пропан-бутанов и углеводородов C_{5+} .

2. Предложена корреляция содержания углеводородов C_{5+} в газе сепарации с содержанием пропан-бутанов в обрабатываемом газе. Корреляция позволяет определять содержание C_{5+} в газе сепарации в зависимости от состава пластового газа и может использоваться на стадии предварительных расчётов материальных балансов УКПГ.

3. Уточнена методика расчётного определения точки росы по углеводородам подготовленного товарного газа в зависимости от капельного уноса НК из низкотемпературного сепаратора. Методика позволяет согласовать расчетную и измеряемую гигрометрами конденсационного типа точки росы по углеводородам.

4. Оптимизирован состав абсорбента (фракция 120...170 °С) в технологии ПНТА на температурном уровне минус 30 °С для увеличения извлечения C_{3+} .

5. Разработана низкотемпературная установка подготовки газов конечной ступени дегазации конденсата, позволяющая существенно снизить температурный уровень НТС и тем самым увеличить выход товарного НК.

6. Применительно к действующей УКПГ-31 Уренгойского месторождения (ачимовская залежь, участок 1А) разработана и рекомендована к внедрению технология НТС с эжектором на температурном уровне сепарации минус 33...минус 35 °С и дополнительным извлечением углеводородов C_{3+} из газов конечной ступени дегазации нестабильного конденсата.

7. Предложены перспективные технологии НТС для промышленной подготовки газов (конденсатсодержащие газы ачимовских отложений) на пониженном температурном уровне сепарации: дроссельная технология – до минус 40 °С и турбодетандерная – до минус 50 °С. Разработанные технологические решения

рекомендуются для практического применения на перспективных объектах подготовки газов ачимовских залежей, включая участки 4А и 5А Уренгойского месторождения.

8. Применительно к действующей УКПГ- 1В Ямбургского месторождения разработаны новые технологии низкотемпературной абсорбции для углубленного извлечения C_{3+} с использованием селективного абсорбента (фракция 120...170 °С). В предлагаемые технологические схемы дополнительно включена установка подготовки и регенерации абсорбента с подпиткой НК первой ступени сепарации.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

1. **Прокопов А.В.**, Кубанов А.Н., Истомин В.А., Федулов Д.М., Цацулина Т.С. Современное состояние технологий промышленной подготовки газа газоконденсатных месторождений // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2015. № 3 (23). С. 100-108.

2. **Прокопов А.В.**, Истомин В.А., Федулов Д.М. Степень извлечения и остаточное содержание углеводородов $C_{5+В}$ в газе сепарации газоконденсатных месторождений // Нефтегазохимия. 2016. № 2, С. 64-70.

3. **Прокопов А.В.**, Истомин В.А. Абсорбционные технологии промышленной подготовки газоконденсатных газов // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2016. № 2 (26). С. 165-173.

4. **Прокопов А.В.**, Истомин В.А., Федулов Д.М. Выделение углеводородов $C_{3+В}$ из газоконденсатной смеси при промышленной подготовке пластового флюида // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2016. № 4 (28). С. 204-208.

5. **Прокопов А.В.**, Истомин В.А., Федулов Д.М., Дедов А.Г. Повышение эффективности низкотемпературного абсорбционного извлечения углеводородов C_{5+} из газа газоконденсатных месторождений // Химическая технология. 2017. № 7. С. 308-314.

6. **Прокопов А.В.**, Истомин В.А., Федулов Д.М. Разработка новой технологии низкотемпературной абсорбции для подготовки природного газа газоконденсатных месторождений // Химическая промышленность сегодня. 2017. № 6. С. 37-46.

7. **Прокопов А.В.**, Кубанов А.Н., Истомин В.А., Снежко Д.Н., Чепурнов А.Н., Акопян А.К. Специфика промышленной подготовки газов ачимовских залежей // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2018. № 1 (33). С. 226-234.

8. Фальк А., Чепурнов А.Н., Хайнер Д., Михаэль Ф., **Прокопов А.В.** и др. Промысловая подготовка ачимовских газов по технологии низкотемпературной сепарации: проблемы и перспективы. // SPE-191537-18RPTC. 2018. С. 1-12. Статья включена в базу данных SCOPUS.

Другие работы:

1. Пат. 2633563 С1 Российская Федерация. № 2016118493, 11.05.2016. опубл. 13.10.2017. Бюл. № 29. 13 с.

2. Пат. 2635946 С1 Российская Федерация. № 2016118495, 11.05.2016. опубл. 17.11.2017. Бюл. № 32. 14 с.

3. Пат. 2645102 С2 Российская Федерация. № 2016121485, 31.05.2016. опубл. 15.02.2018. Бюл. № 5. 11 с.

4. Пат. 2659311 С1 Российская Федерация. № 2017111163, 03.04.2017. опубл. 29.06.2018. Бюл. № 19. 12 с.

5. Пат. 2645124 С1 Российская Федерация. № 2016134340, 22.08.2016. опубл. 15.02.2018. Бюл. № 5. 11 с.

Подписано к печати «___» апреля 2019 г.

Заказ №

Тираж 130 экз.

1 уч. – изд.л, ф-т 60x84/16

Отпечатано в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

По адресу: 142717, Московская область,
Ленинский район, сельское поселение Развилковское, пос. Развилка,

Проектируемый проезд № 5537,

владение 15, строение 1,

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»