

Использование энергосберегающей технологии сверхзвуковой сепарации газа на газоконденсатных месторождениях Крайнего Севера

Р.В. Корытников

директор экспериментального завода¹
RVKoritynikov@mail.ru

Д.А. Яхонтов

ведущий инженер технического отдела²
DAYahontov@mail.ru

Л.А. Багиров

генеральный директор³

С.З. Имаев

технический директор³

¹ООО «ТюменНИИгипрогаз», Тюмень, Россия

²АУП ООО «Газпром добыча Ямбург», Новый Уренгой, Россия

³ООО «Энго-Инжиниринг», Москва, Россия

Одной из ключевых задач при освоении северных газоконденсатных месторождений России является создание высокоэффективных малогабаритных установок комплексной подготовки природного газа к транспорту (УКПГ). Существующие УКПГ, базирующиеся на процессе низкотемпературной сепарации (НТС), основанном на охлаждении газа за счет падения его давления в клапане Джоуля-Томсона или турбодетандере, не отвечают современным требованиям ресурсо- и энергосбережения при эксплуатации месторождений. В данной статье приводятся результаты промышленных испытаний технологии сверхзвуковой газодинамической сепарации (далее ГДС), проведенных на одном из объектов ООО «Газпром добыча Ямбург».

Материалы и методы

В процессе выполнения работ проведены следующие исследования:

1. Расчетный анализ характеристик ГДС: Метод исследования — компьютерное моделирование закрученного течения природного газа в канале ГДС, расчетный анализ геометрической конфигурации газодинамического канала в сверхзвуковом сепараторе, расчетный анализ влияния эксплуатационных параметров (давление, температура, расход, содержание

Технология ГДС

Технология ГДС газа базируется на использовании охлаждения газа в сверхзвуковом закрученном потоке природного газа [1].

Основным элементом технологии является ГДС, в котором реализуется ускорение закрученного потока природного газа до сверхзвуковых скоростей, конденсация и сепарация целевых фракций природного газа и дальнейшее торможение потока. Схема ГДС показана на рис. 1.

В газодинамическом сепараторе входной поток газа закручивается в лопатках неподвижного завихрителя 1, далее закрученный поток ускоряется до сверхзвуковой скорости в сверхзвуковом сопле Лавала 2. В сверхзвуковом потоке, за счет преобразования потенциальной энергии газа в кинетическую, происходит сильное охлаждение газа. Охлажденный поток направляется в рабочую часть 3, в которой происходит конденсация целевых фракций природного газа и воды. Образующиеся капли за счет центробежных сил, обусловленных закруткой потока, двигаются к стенкам рабочей части. На выходе из рабочей части формируется центральное ядро потока, очищенное от целевых фракций, и пристеночный двухфазный пограничный слой, состоящий из жидкости (углеводородов и воды) и газа. Посредством кольцевого отбора двухфазный пристеночный слой отделяется от ядра потока и направляется в диффузор 4, в котором происходит торможение потока. Очищенный газ из ядра потока поступает в диффузор 5 и также затормаживается [2].

В сверхзвуковом потоке газа можно реализовать температуры от -50 до -100°C, поэтому ГДС позволяет обеспечить глубокое извлечение целевых компонентов из природного газа.

Процесс НТС, использующий технологию ГДС, находит применение в установках

подготовки природного газа к транспорту (извлечение компонентов тяжелее пентана C_{5+} и воды), а также в системах, используемых для извлечения углеводородов тяжелее метана (этан, пропан, бутан и т.д.) [3].

Принципиальная технологическая схема НТС с ГДС приведена на рис. 2. Основные отличия данной схемы от классических технологических схем, использующих клапан Джоуля-Томсона или турбодетандер, состоит в том, что в сепаратор C_2 попадает не весь охлажденный поток газа, а только его часть — двухфазный поток из ГДС. Это происходит потому, что в ГДС наряду с охлаждением потока газа осуществляется его дальнейшее разделение на две части, где одна из них — двухфазный поток, в который входят образовавшиеся капли целевого компонента, а вторая — газ, очищенный от целевого компонента. Это дает возможность уменьшить как минимум вдвое размеры низкотемпературного сепаратора, а т.к. сам ГДС имеет малые размеры, то все оборудование НТС становится существенно менее металлоемким по сравнению с традиционными вариантами.

Другим важным преимуществом технологии ГДС, по сравнению с традиционными технологиями, базирующимися, например, на охлаждении газа при его расширении в дроссельном клапане, является возможность обеспечения более низких температур газа в сверхзвуковом потоке при одном и том же перепаде давлений на входе-выходе устройств. Термодинамические принципы работы ГДС обуславливают близость его показателей к характеристикам работы турбодетандера, объединяя функции расширения, типовой циклонной сепарации газ/жидкость и повторного сжатия в одном компактном, стационарном, трубном устройстве [4-6].

Существенным энергосберегающим эффектом сверхзвуковой сепарации газа

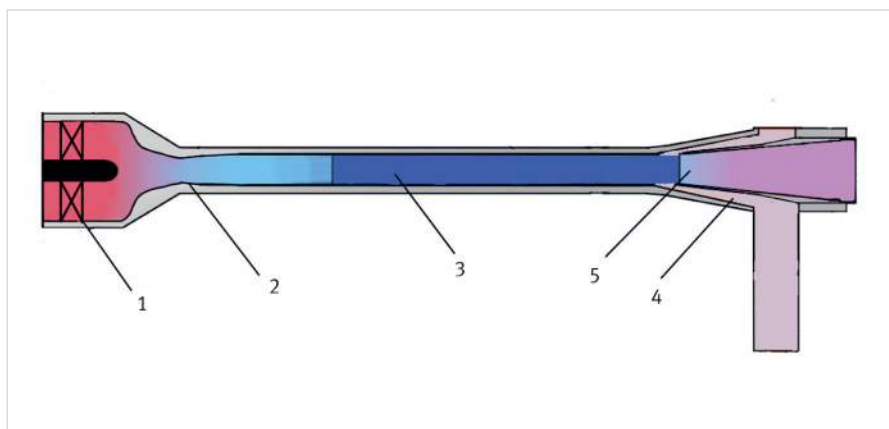


Рис. 1 — Принципиальная схема ГДС

- конденсата в газе) на эффективность работы узла ГДС.
- Расчетный анализ теплового и массового баланса потоков технологических схем НТС, основанных на различных процессах.
 - Верификация проведенных математических расчетов и данных, полученных в процессе предварительных и приемочных испытаний модели узла сверхзвуковой ГДС на УПМТ-15С ЗНГКМ.
- Методы исследования:
- регистрация и анализ параметров рабочих режимов УПМТ-15 (давления, температуры, расходы, составы, температуры точки росы газовых потоков);
 - хроматографический анализ проб газа;
 - расчетный анализ на основе полученных результатов измерений.
- Расчетный сравнительный экономический анализ различных технологических схем подготовки газа на УКПГ.

Ключевые слова

сверхзвуковая сепарация, сопло Лавала, сепаратор, низкотемпературная сепарация

является отсутствие необходимости в сверхнизких температурах газа на входе в сепаратор НТС. Для достижения сопоставимых значений по сепарации компонент C_{3+} в сепараторе НТС при схеме с ТДА потребуется температура ниже -50°C во всем контуре ТДА — сепаратор НТС, при сверхзвуковой сепарации температура в сепараторе НТС будет составлять не ниже -30°C . Данная особенность внутренней конструкции ГДС позволяет значительно снизить энергопотребление компрессорного и детандерного оборудования, аппаратов воздушного охлаждения газа (АВО), сэкономить топливный газ на работу газоперекачивающих агрегатов.

Технология ГДС прошла все стадии от лабораторных и опытных установок до промышленных агрегатов. В настоящее время в отрасли эксплуатируется четыре установки, пять установок находятся в стадии проектирования и изготовления.

Испытания ГДС на установке НТС УПМТ УКПГ-1С ЗНГКМ

В период 2009–2011 гг. на установке низкотемпературной сепарации УПМТ-15, УКПГ-1С Заполярного НГКМ проводились испытания сверхзвукового ГДС (арматурный узел АР-ГДС.2008.41). Испытания проводились специалистами ООО «Газпром добыча Ямбург» при участии Центра «ЭНГО».

Установка переработки моторных топлив (далее УПМТ) предназначена для получения СПБТ (смесь пропан — бутановая техническая) и стабильного газового бензина из конденсата, выделенного из газоконденсатной смеси валанжинской залежи, добываемой из одной скважины Заполярного месторождения. В состав УПМТ входит блок низкотемпературной сепарации (НТС) и блок фракционирования газа.

Газоконденсатная смесь из скважины поступает в блок НТС, где за счет охлаждения газа в рекуперативном теплообменнике и последующего дросселирования газа в клапане Джоуля-Томсона происходит конденсация тяжелых углеводородов и воды. Сконденсировавшаяся жидкость отделяется из газа в низкотемпературном сепараторе. Выделившийся в блоке НТС углеводородный конденсат служит сырьем для установки фракционирования, в которой получают товарный стабильный бензин и СПБТ. Принципиальная схема блока НТС УПМТ представлена на рис. 3.

Блок НТС УПМТ работает на перепаде давления в 40–50 атм, при этом давление на входе в блок составляет 120–125 атм, давление на выходе из блока 75–77 атм. Расход газа варьируется в диапазоне 10000–12000 $\text{м}^3/\text{час}$. Точка росы товарного газа по воде и углеводородам на выходе из блока НТС соответствует ОСТ 51.40-93. Для предотвращения гидратообразования в элементах установки используется метанол. На рис. 3 также приведены составы газа на входе и выходе блока НТС при дросселировании газа в клапане Джоуля-Томсона.

Общий вид ГДС с элементами обвязки и принципиальная схема его подключения приведены соответственно на рис. 4 и 5. Газ подавался на вход в ГДС после охлаждения в рекуперативном теплообменнике 10Т-1 «газ-газ», двухфазный поток из ГДС направлялся в низкотемпературный сепаратор 10С-2, очищенный газ из ГДС смешивался с газовой фазой из сепаратора 10С-2 и поступал на нагрев в рекуперативный теплообменник 10Т-1. Для обеспечения измерения основных параметров работы ГДС блок НТС был доукомплектован необходимым измерительным оборудованием, позволяющим определять все основные параметры потоков на входе и выходе ГДС.

Испытания блока НТС с работающим ГДС производились на различных режимах, отличающихся давлением и расходом входного газа, поступающего на вход блока НТС.

В ходе испытаний осуществлялся замер давлений, температур и расходов газа в основных элементах установки. Для возможности измерения составов газа в потоках установки было смонтировано специальное оборудование, позволяющее отбирать пробы в следующих точках:

- на выходе из сепаратора 10С-1;
- на выходе из ГДС (очищенный газ);
- на выходе из блока НТС (товарный газ).

По измеренным составам газов определялась расчетная точка росы по углеводородам очищенного и товарного газа. Расчеты точек росы по углеводородам проводились в соответствии с [7].

Испытания ГДС были проведены при различных давлениях сырого газа на входе в сепаратор 10С-1:

режим 1, $P = 11,8$ МПа;

режим 2, $P = 11,5$ МПа;

режим 3, $P = 11,0$ МПа.

Давление товарного газа на выходе из УПМТ во время испытаний находилось в

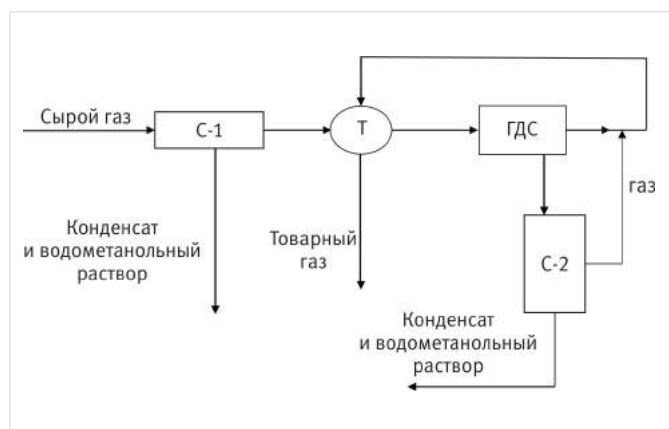


Рис. 2 — Принципиальная схема НТС с ГДС

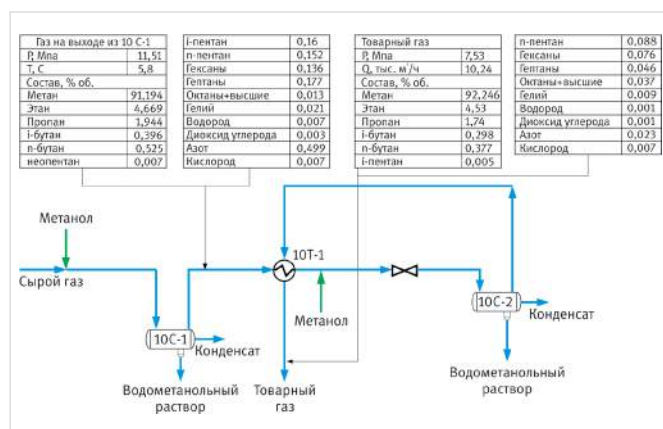


Рис. 3 — Принципиальная схема НТС УПМТ с дроссельным клапаном

пределах 7,5–7,6 МПа.

В таб. 1 приведен перечень основных параметров, регистрировавшихся при испытаниях ГДС. В этой же таблице представлены расчетные содержания компонентов C_{5+} и расчетные значения точек росы по углеводородам в газовых потоках, составы которых анализировались в ходе испытаний.

В таб. 2 и таб. 3 приводятся результаты хроматографического анализа проб газов, отобранных в трубопроводах очищенного

газа на выходе из ГДС, и товарного газа на выходе из УПМТ соответственно на всех трех режимах испытаний.

На рис. 3 и рис. 5 на принципиальной технологической схеме УПМТ для испытанного режима 2 нанесены основные показатели работы УПМТ с работающим и отключенным арматурным узлом блока ГДС.

Очищенный газ на выходе из ГДС на режимах 1 и 2, а также товарный газ на режиме 2 находятся при измеренных давлениях

в сверхкритическом состоянии (т.е. не конденсируются ни при каких температурах газа). Для этих потоков в таб. 4 внесены расчетные точки росы по углеводородам для различных давлений газа.

Для осуществления сравнения параметров работы УПМТ с дроссельным клапаном и параметров работы УПМТ с ГДС были проведены испытания блока НТС при работе с дроссельным клапаном на следующих режимах:

Параметры	С работающим сверхзвуковым сепаратором			С дроссельным клапаном	
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 2	Режим 3
Давление газа на входе в сепаратор 10С-1, МПа	11,78	11,50	11,03	11,51	11,00
Температура газа на входе в сепаратор 10С-1, °С	9,7	8,1	6,0	5,8	4,0
Давление газа в сепараторе 10С-2, МПа	7,60	7,64	7,60	7,66	7,66
Температура газа в сепараторе 10С-2, °С	-23,9	-24,9	-24,2	-28,5	-27,0
Давление товарного газа с УПМТ, МПа	7,49	7,56	7,53	7,53	7,53
Расход товарного газа с УПМТ, тыс. н.м ³ /час	11,430	11,190	10,650	10,240	10,170
Давление газа на входе в ГДС, МПа	10,94	10,70	10,21	-	-
Температура газа на входе в ГДС, °С	-9,6	-11,0	-12,1	-	-
Давление газожидкостной смеси, на выходе из ГДС, МПа	7,56	7,64	7,61	-	-
Давление очищенного газа на выходе из ГДС, МПа	7,57	7,61	7,57	-	-
Температура очищенного газа на выходе из ГДС, °С	-22,2	-23,4	-23,0	-	-
Точка росы по углеводородам очищенного газа на выходе из ГДС, °С	ниже -40*	ниже -40*	-31	-	-
Точка росы по углеводородам товарного газа, °С	-29	ниже -40*	-34	-20	-22
Содержание компонентов C_{5+} в очищенном газе на выходе из ГДС-сепаратора, г/н.м ³	4.31	3.86	5.11	-	-
Содержание компонентов C_{5+} в товарном газе, г/н.м ³	5.79	5.86	6.34	9.19	8.49

* — звездочка указывает на то, что газ с измеренным составом не конденсируется ни при каких температурах при измеренном давлении газа.

Это означает, что при этом давлении газ находится в сверхкритическом состоянии.

Таб. 1 — Сравнительные характеристики работы блока НТС УПМТ с ГДС и с дроссельным клапаном

Состав, % об.	Состав очищенного газа на выходе из ГДС			Режим 1 (11.8 МПа)		Режим 2 (11.5 МПа)		Режим 3 (11.0 МПа)	
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	ГДС	ГДС	ГДС	ГДС	ГДС	ГДС
Метан	93,882	93,795	93,609	92,882	92,794	92,246	92,702	92,188	92,188
Этан	3,956	3,960	4,130	4,267	4,263	4,530	4,322	4,550	4,550
Пропан	1,212	1,248	1,363	1,535	1,648	1,740	1,646	1,770	1,770
i-бутан	0,181	0,168	0,181	0,240	0,264	0,298	0,273	0,305	0,305
n-бутан	0,163	0,181	0,199	0,270	0,305	0,377	0,323	0,386	0,386
i-пентан	0,032	0,034	0,041	0,059	0,070	0,088	0,075	0,091	0,091
n-пентан	0,024	0,025	0,032	0,044	0,053	0,076	0,056	0,078	0,078
Гексаны	0,016	0,014	0,023	0,025	0,028	0,046	0,031	0,046	0,046
Гептаны	0,019	0,011	0,033	0,028	0,023	0,037	0,025	0,034	0,034
Октаны + высшие	0,009	0,010	0,014	0,012	0,004	0,009	0,005	0,006	0,006
Гелий	0,021	0,014	0,016	0,017	0,017	0,023	0,016	0,015	0,015
Водород	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Диоксид углерода	0,006	0,008	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,005	0,005
Азот	0,471	0,521	0,340	0,601	0,514	0,503	0,514	0,507	0,507
Кислород	0,001	0,004	0,010	0,009	0,007	0,009	0,003	0,005	0,005

Таб. 2 — Составы очищенного газа на выходе из ГДС

Таб. 3 — Составы товарного газа на выходе из УПМТ

режим 2, P = 11,5 МПа;

режим 3, P = 11,0 МПа.

Результаты испытаний УПМТ при работе с дроссельным клапаном также внесены в таб. 1–4.

Сверхзвуковой ГДС при испытаниях продемонстрировал стабильную работу во всем диапазоне испытанных давлений входного газа. Давление на выходе из ГДС поддерживалось на уровне 7,5–7,6 МПа и определялось давлением в магистральном газопроводе. Измеренный уровень статических давлений в сверхзвуковом канале ГДС соответствовал расчетному числу Маха (M), который для испытанной конструкции был на уровне M=1,2.

Для предотвращения гидратообразования в шлейф скважины на УПМТ подается ингибитор гидратообразования — метанол, перевод установки с работы на клапане Джоуля-Томсона на технологию — ГДС не потребовал дополнительной подачи метанола. Это объясняется тем, что, хотя в сверхзвуковом канале и реализуются довольно низкие температуры газа (ниже -50°C), время нахождения потока в сверхзвуковом сопле чрезвычайно мало и составляет порядка 10^{-4} с. За столь короткое время внутри сопла не успевают образовываться кристаллы гидратов, рост которых, как известно, требует гораздо большего времени. В потоках на входе и выходе ГДС проблем с гидратообразованием также нет, так как при работающем ГДС температура газа в этих потоках выше, чем при работе с клапаном Джоуля-Томсона.

В ходе проведенных испытаний показано, что включение ГДС в схему НТС позволяет существенно улучшить показатели работы НТС.

Так, работа ГДС в составе УПМТ позволяет понизить точку росы товарного газа по углеводородам по сравнению с использованной ранее схемой с дроссельным клапаном. Точка росы при включенном ГДС понижается на 10°C и более в сравнении с соответствующим значением при работе УПМТ с дроссельным клапаном.

Включение ГДС в состав УПМТ позволяет также сократить содержание целевых компонентов C_{5+} в товарном газе на 56% (режим 2) и 33% (режим 3). На выходе из ГДС содержание компонентов C_{5+} достигает значений 3,51–5,11 г/м³, что в 1,6–2,6 раза меньше, чем содержание компонентов C_{5+} в очищенном газе при работе с дроссельным клапаном.

Результаты промышленной эксплуатации газодинамических сепараторов в системе подготовки газа в сравнении с существующими технологиями показала следующие преимущества:

- оптимальное использование пластовой энергии газа;
- энерго- и ресурсосбережение углеводородного сырья, разрабатываемых месторождений;
- 100% утилизация попутного нефтяного газа;
- продление периода бескомпрессорной эксплуатации месторождения;
- обеспечение высокого уровня надежности и эксплуатационной безопасности;
- отсутствие сложного вибродиагностического оборудования и высококвалифицированного персонала, как например, при эксплуатации турбодетандерных агрегатов (ТДА);
- обеспечение минимального техногенного воздействия на

окружающую среду;

- малогабаритность и низкая металлоемкость, возможность размещения в ограниченных условиях;
- возможность использования на шельфовых месторождениях в составе подводных добычных месторождений;
- возможность использования в составе проектной схемы установок комплексной подготовки газа (УКПГ);
- низкие капитальные и эксплуатационные затраты.

Итоги

Промышленные испытания технологии сверхзвуковой сепарации проведены на одном из объектов ООО «Газпром добыча Ямбург». В ходе этих испытаний было показано, что данная технология может быть эффективно использована для решения задач, связанных с подготовкой газа к магистральному транспорту, при условии углубленного извлечения углеводородного конденсата и минимизации инвестиционных затрат, а также повышения энергоэффективности установки подготовки газа в целом.

Выводы

В результате проведенных испытаний показано, что использование НТС с заменой клапана Джоуля-Томпсона блоком ГДС в процессе подготовки газа позволяет соединить простоту и надёжность работы НТС с клапаном Джоуля-Томпсона с более углублённым извлечением жидких углеводородов, включая этан и пропан-бутаны, за счет низких температур (порядка -55...-65°C), реализующихся в соплах ГДС. При этом конструктивно важно, что во всех остальных элементах НТС температура не падает ниже -35°C.

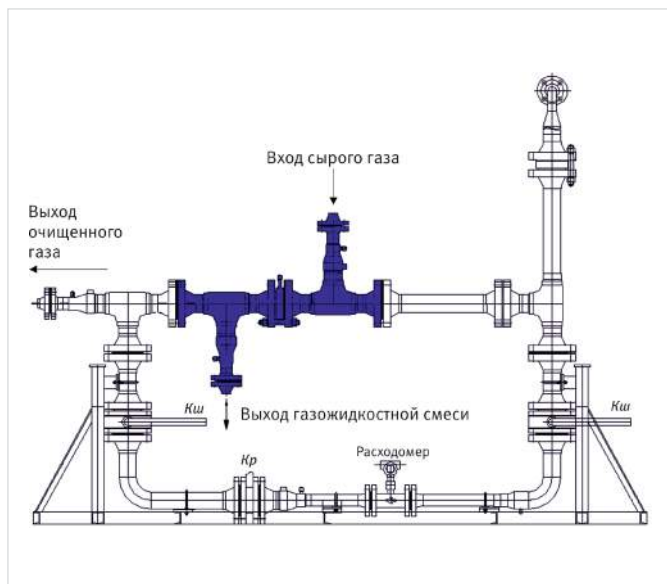


Рис. 4 — Общий вид ГДС (арматурный узел)

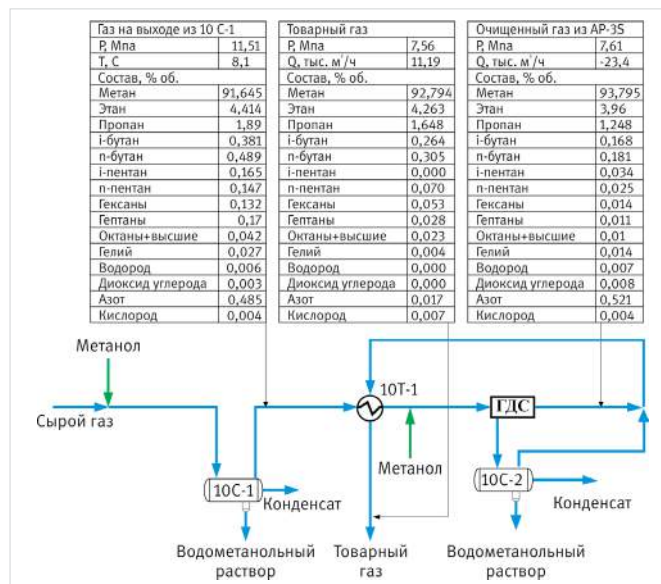


Рис. 5 — Принципиальная схема НТС УПМТ с ГДС

Давление, МПа изб.		6,9	7,0	7,02	7,09	7,4	7,436	7,5	7,51	7,53	7,538	7,54	7,56 и >
Режим 2 (с ГДС)	Товарный газ	-27,3	-28,3	-28,5	-29,4	-34,4	-35,3	-37,4	-37,9	-39,1	-40,0	< -40°C	< -40°C
	Газ после ГДС	-36,2	-38,7	-39,3	-43,6	< -40°C	< -40°C	< -40°C	< -40°C	< -40°C	< -40°C	< -40°C	< -40°C
Режим 2 (с дрос.клапаном)	Товарный газ	-14,7	-15,4	-15,5	-16,1	-18,8	-19,1	-19,8	-19,9	-20,1	-20,2	-20,2	-20,4 и <

– давление, соответствующее реальным измеренным условиям; – газ находится в сверхкритических условиях.

Таб. 4 — Расчетные значения точек росы по углеводородам после ГДС и в товарном газе для режима 2

Список используемой литературы

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. Москва: НАУКА, 1971. Т. 1–2.
2. Вяхирев Р. И., Гриценко А. И., Тер-Саркисов Р. М. Разработка и эксплуатация газовых месторождений. Москва: Бизнес-центр, 2002.
3. Алферов В.И., Багиров Л.А., Дмитриев Л.М., Имаев С.З., Фейгин В.И., Лейси Дж. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components. *Oil&Gas Journal*. 2005. № 45. С. 53–58.
4. Алферов В.И., Багиров Л.А., Дмитриев Л.М., Имаев С.З., Фейгин В.И. Supersonic technologies of natural gas components separation. *Proceedings of: The 18 th Int. Conf. On Efficiency, Cost, Optimizatron, Simulatron and Environmental Impact of Energy Systems, Trondheim, Norway*. 20–22 июня 2005. С. 1263–1270.
5. Алферов В.И., Багиров Л.А., Дмитриев Л.М., Имаев С.З., Фейгин В.И. Сверхзвуковые технологии переработки природных газов для проекта освоения шельфовых месторождений России. Труды 7-ой международной конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики. Санкт-Петербург, 13–15 сентября 2005, с. 271–275.
6. Андреев О.П., Минигулов Р.М., Коротников Р.В., Багиров Л.А., Имаев С.З. Технологические схемы УКПГ на основе 3S-технологии для северных нефтегазоконденсатных месторождений // Наука и техника в газовой промышленности. 2009. № 2. С. 4–10.
7. СТО Газпром 5.4-2007. Газ горючий природный. Методика расчета температуры точки росы по углеводородам.

ENGLISH

GAS INDUSTRY

Using energy-saving technology of supersonic gas separation at condensate fields in the Far North

UDC 622.691

Authors:

Roman V. Korytnikov — experimental plant manager¹; RVKorytnikov@mail.ru

Dmitriy A. Yakhontov — lead engineer technical department²; DAYahontov@mail.ru

Lev A. Bagirov — general director³;

Salavat Z. Imaev — technical director³;

¹TyumenNIIgiprogaz LLC, Tyumen, Russian Federation

²Gazprom dobycha Yamburg LLC, Novy Urengoy, Russian Federation

³Engo-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

Abstract

Creation of high efficiency and small-sized complex gas treatment plant (CGTP) for gas transport is the key problem of north gas condensate field's development in Russia. Current CGTP work on low temperature separation's process (LTS), based on method of gas cooling by means drop of pressure in Joule-Thompson valve or turbo-expander. It does not meet to modern requirements of resources and energy savings during field's production. In article presented an industrial test results of supersonic gas-dynamical gas separation technology (GDS), test was performed at Gazprom dobycha Yamburg facility.

Materials and methods

During the work, the following researches were performed:

1. Calculation analysis of GDS specification: Research method is computer modeling of gas swirling flow in GDS passage, calculation analysis of geometrical configuration of gas-dynamical passage (channel) in supersonic separator, calculation analysis

of working parameter's influence (pressure, temperature, flow, gas condensate content) to efficiency of GDS unit.

2. Calculation analysis of heating and mass flow balance flowsheets LTS based on different processes.
3. Verification of mathematical calculations and data obtained during the preliminary and acceptance tests of the unit model of supersonic GDS on UPMT-15S of Zapolyarny gas condensate field.

Methods of study are:

- recording and analysis of operating modes UPMT-15 (pressure, temperature, flow rate, composition, temperature dew point gas streams);
 - chromatographic analysis of gas samples;
 - calculation analysis based on the results of measurements.
4. Calculation comparative economic analysis of the various flowsheets of gas preparation at the CGTP.

Results

Industrial testing of supersonic separation

technology performed at the facility of "Gazprom dobycha Yamburg". Tests shown that this technology can be effectively used for solving problems related to the gas preparation to the main transport, provided advanced production of hydrocarbon condensate and minimize investment costs and energy efficiency of gas treatment unit in general.

Conclusions

The tests shown that the use of the LTS with the replacement Joule-Thompson valve GDS unit in the gas preparation allows to combine the simplicity and reliability of the LTS with the Joule-Thompson valve with a advanced production of liquid hydrocarbons including ethane, and propane-butane, due to low temperature (about -55... -65°C), realized in the nozzles GDS. Therewith it is important that all remaining elements LTS temperature weren't below minus 35°C.

Keywords

supersonic separation, Laval nozzle, separator, low-temperature separation

References

1. Abramovich G.N. *Prikladnaya gazovaya dinamika* [Practical gas dynamics]. Moscow: Nauka, 1971, Vol. 1–2.
2. Vyakhirev R.I., Gritsenko A.I., Ter-Sarkisov R.M. *Razrabotka i ekspluatatsiya gazovykh mestorozhdeniy* [Gas fields' development and production]. Moscow: Business Centre, 2002.
3. Alferov V.I., Bagirov L.A., Dmitriev L.M., Imaev S.Z., Feygin V.I., Leysi Dzh. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components. *Oil&Gas Journal*, 2005, issue 45, pp. 53–58.
4. Alferov V.I., Bagirov L.A., Dmitriev L.M., Imaev S.Z., Feygin V.I. Supersonic technologies of natural gas components separation. *Proceedings of: The 18 th Int. Conf. On Efficiency, Cost, Optimizatron, Simulatron and Environmental Impact of Energy Systems, Trondheim, Norway*, June 20–22, 2005, pp. 1263–1270.
5. Alferov V.I., Bagirov L.A., Dmitriev L.M., Imaev S.Z., Feygin V.I. *Sverkhzvukovyye tekhnologii pererabotki prirodnykh gazov dlya proekta osvoeniya shel'fovyykh mestorozhdeniy Rossii* [Supersonic technology for processing of natural gas for the project development of offshore fields in Russia]. *Proceedings of the 7th International Conference on the development of oil and gas resources of the Russian Arctic*. St. Petersburg, 13–15 September 2005, pp. 271–275.
6. Andreev O.P., Minigulov R.M., Korytnikov R.V., Bagirov L.A., Imaev S.Z. *Tekhnologicheskie skhemy UKPG na osnove 3S-tekhnologii dlya severnykh neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy* [Technological schemes of CGTP based on 3S-technology for the northern oil and gas fields]. *Science & Technology in the Gas Industry*, 2009, issue 2, pp. 4–10.
7. Gazprom industry standard 5.4-2007. Flammable natural gas. Method of calculating the dew point temperature on hydrocarbon.