



Новые российские технологии сепарации природных газов и возможности их использования для месторождений на шельфе

New Russian Natural Gas Separation Procedures and Possibilities in Their Application at Offshore Fields



С.З. Имаев, к.ф.-м.н.
тел./факс: (495) 540-46-36
625-76-63
info@engo3s.com
/ООО "ЭНГО Инжиниринг",
г. Москва/



Л.А. Багиров, к.ф.-м.н.
/ООО "ЭНГО Инжиниринг",
г. Москва/



Е.В. Войтенков
/ООО "ЭНГО Инжиниринг",
г. Москва/

S.Z. Imaev, PhD, L.A. Bagirov, PhD,
E.V. Voitenkov
(ООО "ENGO Engineering" Ltd,
Moscow)

Ключевые слова: технология сепарации природных газов, месторождение, нефтегазоносная область, подготовка газа к транспорту, природный газ, толща высокольдистых многолетнемерзлых пород.

Key words: procedure to separate natural gas, a field, oil/gas-bearing region, gas treatment for transportation, natural gas, thickness of permafrost rock.

Представлена российская технология сверхзвуковой сепарации (3S-сепарации). Технология может применяться для решения задач, связанных с подготовкой газа к транспорту и обеспечением глубокого извлечения из газа целевых компонентов. Установки, базирующиеся на 3S-технологии, имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими системами, поэтому могут рассматриваться как одни из возможных вариантов УКПГ для месторождений полуострова Ямал и морских месторождений Арктики.

The paper presents the Russian procedure of super sonic separation (3S – separation). This procedure may be applied for the solution of the problems related to gas treatment for its transportation and provision of deep extraction of specific gas component from it. The facilities based upon 3S – procedure have several advantages versus the existing systems and that's why may be considered as one of the possible options for Gas Treatment Plants at the fields of Yamal Peninsular and for off-shore Arctic fields.

К настоящему времени базовые месторождения Западной Сибири, обеспечивающие основную часть текущей добычи газа в России, в значительной мере уже выработаны и находятся на завершающей стадии эксплуатации. В связи с этим основными источниками газа в обозримом будущем могут стать полуостров Ямал, являющийся одним из наиболее перспективных нефтегазоносных районов Западной Сибири, и морские месторождения, находящиеся в Арктике.

На Ямале и в прилегающих акваториях открыто 11 газовых и 15 нефтегазоконденсатных месторождений. Разведанные запасы только крупнейших месторождений региона – Бованенковского,

Харасавэйского, Северо-Тамбейского, Круzenштернского – составляют около 7,3 трлн куб. м газа. Промышленное освоение месторождений Ямала позволит довести добычу газа на полуострове к 2030 г. до 310-360 млрд куб. м в год. По сравнению с другими нефтегазоносными областями севера Западной Сибири Ямал унаследовал своими геологическими условиями. Ключевым фактором этих условий является толща высокольдистых многолетнемерзлых пород, в силу своей нестабильности особо чувствительная к техногенным воздействиям.

Столь сложные геологические условия полуострова, а также возрастающая удаленность новых центров добычи газа от центров

потребления и транспортных коммуникаций делают затруднительным использование типовых проектных решений при разработке ямальских месторождений. Одной из ключевых задач при освоении газовых и газоконденсатных месторождений полуострова Ямал является создание высокоэффективных малогабаритных установок комплексной подготовки природного газа к транспорту (УКПГ). Существующие УКПГ, базирующиеся на охлаждении газа при его дросселировании в клапане Джоуля-Томсона, не отвечают современным требованиям, касающимся снижения капитальных и эксплуатационных затрат при обустройстве и эксплуатации месторождений с удаленной инфраструктурой. К тому же они не позволяют обеспечить глубокое извлечение из природного газа таких компонентов, как пропан, бутан, пентан и т.д., являющихся ценным сырьем для химической промышленности.

Необходимость разработки месторождений, находящихся в арктических морях, также ставит задачи по созданию малогабаритного эффективного оборудования для подготовки природного газа к транспорту. Особый интерес вызывают технологии подготовки газа, которые могут быть использованы в морских добывающих комплексах, устанавливаемых на морском дне.

Данная статья посвящена технологии сверхзвуковой сепарации (3S-сепарации), которая может применяться для решения задач, связанных с подготовкой газа к транспорту и обеспечением глубокого извлечения из газа целевых компонентов. Установки, базирующиеся на 3S-технологии, имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими системами, поэтому могут рассматриваться как одни из возможных вариантов УКПГ для месторождений полуострова Ямал и морских месторождений Арктики.

Разработанная группой российских ученых и инженеров новая сверхзвуковая технология сепара-

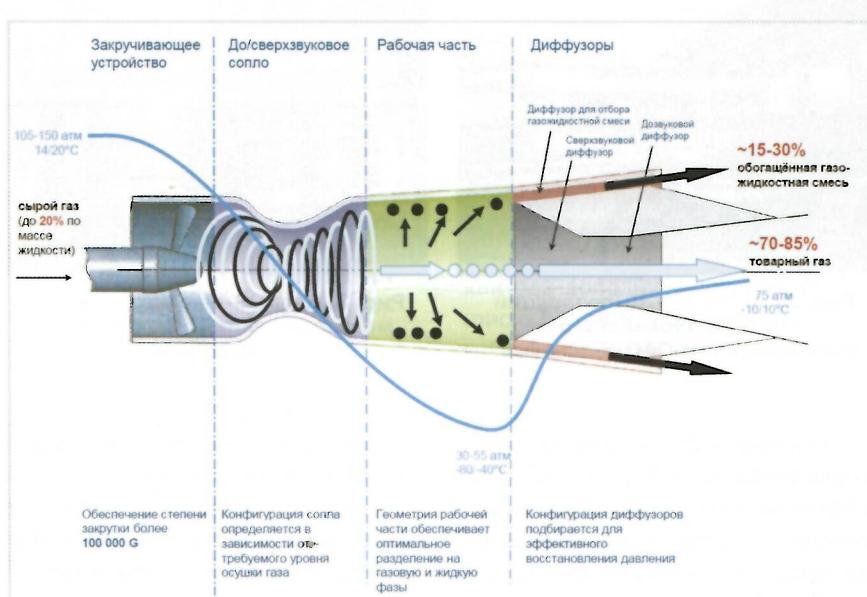


Рис. 1. Принципиальная схема 3S-сепаратора

ции компонентов природного и попутного газа получила название 3S-технологии (SuperSonic Separation). Технология базируется на охлаждении природного газа в сверхзвуковом закрученном потоке газа. Сверхзвуковой поток реализуется с помощью конфузорно-диффузорного сопла Лаваля. В таком сопле газ разгоняется до скорости распространения звука в газе. При этом за счет перехода части потенциальной энергии потока в кинетическую происходит сильное охлаждение газа.

Расширение природного газа даже до небольших чисел Маха ($M \sim 1.5-2.0$) позволяет охладить газ до температур, достаточных для конденсации компонентов тяжелее не только пропана, но даже этана. При этом для достижения криогенных температур природного газа дополнительных источников холода, таких как холодильники, турбодетандеры и т.д., не требуется.

В 3S-технологии отбор сконденсировавшихся в сверхзвуковом сопле капель конденсата, содержащих целевые компоненты, осуществляется под воздействием центробежных сил. Поле центробежных сил создается посредством закрутки потока в форкамере сверхзвукового сопла.

Принципиальная схема установки, реализующей 3S-технологию (далее 3S-сепаратор), представлена на рис. 1.

3S-сепаратор включает в себя: закручивающее устройство, до/сверхзвуковое сопло, рабочую часть, устройство отбора газожидкостной смеси, диффузоры.

Применение диффузора на выходе из рабочей части 3S-сепаратора позволяет за счет торможения преобразовать часть кинетической энергии потока в потенциальную, что обеспечивает получение на выходе из диффузора газа с давлением существенно большим, чем его статическое давление в сверхзвуковом сопле, при котором происходит конденсация целевых компонентов.

3S-технология как способ и устройства, работающие на его основе, запатентована в России и странах СНГ, а также в США, Канаде, Австралии, Великобритании, Франции, Нидерландах, Испании, Италии и ряде других стран.

В данный момент в промышленной эксплуатации находятся две установки сверхзвуковой сепарации: на газоперерабатывающих объектах ОАО «Роснефть» и на месторождении китайской государственной компании PetroChina.



Рис. 2. Установка 3S-сепарации на УКПГ Губкинского месторождения ОАО "Роснефть"



Рис. 3. Блок 3S-сепарации на УПГ месторождения YANA компании PetroChina



Рис. 4. Установка 3S-сепарации на Заполярном месторождении ОАО "Газпром"

Установка 3S-сепарации, смонтированная в 2007 г. в ОАО «Роснефть» на УКПГ Губкинского месторождения, позволила понизить точку росы по углеводородам и воде на 20 °С по сравнению со стандартной схемой с клапаном Джоуля-Томсона, использовавшейся ранее на этом объекте. Данная установка успешно эксплуатируется до сих пор и обеспечивает подготовку до 80 000 нм³/час природного газа при входном давлении газа 70-80 атм (рис. 2).

В 2011 г. в компании PetroChina был успешно запущен блок 3S-сепарации на установке переработки газа месторождения YANA. Данный блок, включающий в себя два 3S-сепаратора, также обеспечил снижение более чем на 20 °С точки росы по воде и углеводородам в товарном газе по сравнению со стандартной схемой с клапаном Джоуля-Томсона, применявшийся ранее на этом объекте. При этом давление газа на входе в установку составляло 108 атм, расход газа – 160 000 нм³/час (рис. 3).

В 2009 г. на Заполярном месторождении ОАО «Газпром» были успешно проведены межведомственные испытания 3S-сепаратора. По результатам этих испытаний 3S-сепараторы были рекомендованы к применению на других объектах ОАО «Газпром» (рис. 4).

В настоящее время ведется монтаж установок 3S-сепарации еще на пяти объектах переработки газа в России и за ее пределами.

Некоторые преимущества 3S по сравнению с традиционными тех-

нологиями сепарации углеводородов из природного газа:

- малые габариты и, как следствие, возможность размещения в достаточно ограниченном объеме, а также относительно легкого включения в комплекс другого оборудования, снижение стоимости монтажа и установки;
- низкие капитальные затраты и эксплуатационные издержки;
- отсутствие движущихся частей;
- способность использовать обычно пропадающую энергию пласта;
- отсутствие необходимости в постоянном обслуживании;
- более высокая эффективность по сравнению с общераспространенным оборудованием для сепарации;
- экологическая безопасность.

Все это делает особенно перспективным применение 3S-технологии для газовых месторождений, расположенных на Ямале и на шельфе арктических морей.

3S является перспективной технологией в плане использования при решении следующих задач газовой промышленности:

- подготовка газа к транспорту (дегидратация и выделение тяжелых углеводородов);
- сепарация пропан-бутанов (ШФЛУ);
- сепарация H_2S и CO_2 ;
- выделение этана.

Расчеты, проведенные для конкретных месторождений и основанные на данных экспериментов, показывают, что применение 3S-технологии позволяет более чем на

30 % увеличить отбор тяжелых углеводородов при использовании существующей мощности дожимных компрессорных станций. При сохранении уровня отбора тяжелых углеводородов компрессорная мощность может быть уменьшена на 50-70 %.

Применение 3S-сепараторов вместо JT-клапанов на существующих газоперерабатывающих заводах дает возможность при одной и той же компрессорной мощности увеличить извлечение LPG на 10-20 % или при одном и том же уровне извлечения уменьшить потребную компрессорную мощность на 10-20 %.

На газоперерабатывающих заводах по экстракции LPG, использующих турбодетандеры и холодильники, применение 3S-сепараторов позволяет снизить потребную компрессорную мощность на 15-20 % при том же уровне извлечения. Это открывает возможность удешевления продукции газовых заводов путем недорогой реконструкции. Соответствующие технологические схемы запатентованы.

В настоящее время основной схемой подготовки природного газа к транспортировке на морских месторождениях со средним и высоким пластовым давлением газа является схема низкотемпературной сепарации газа (HTC). При этом целью такой подготовки газа может быть обеспечение как точки росы по углеводородам и воде, так и (в некоторых особых случаях) необходимого уровня теплоты сгорания HV (Heat Value) подготовленного газа.

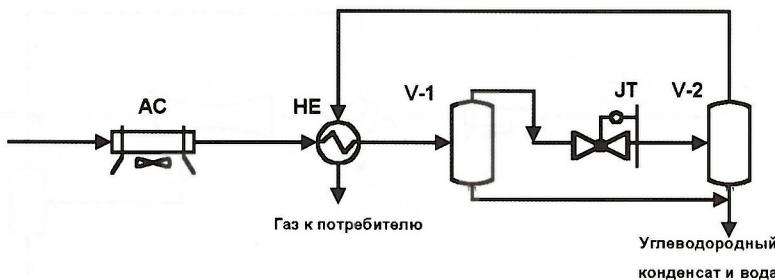


Рис. 5. Схема НТС с дросселированием газа

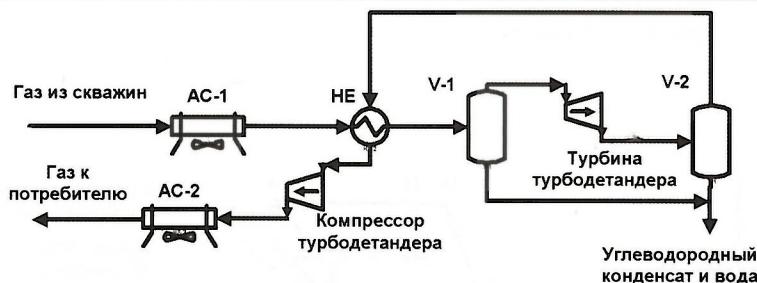


Рис. 6. Схема НТС с турбодетандерным агрегатом

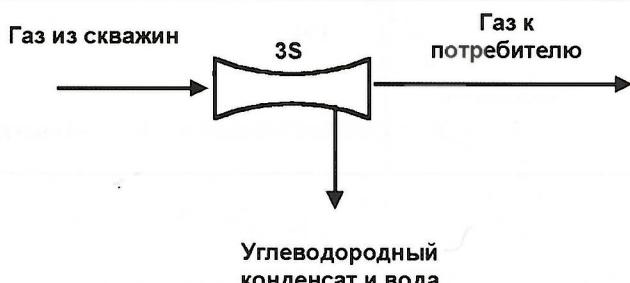


Рис. 7. 3S-сепаратор

В начальный период эксплуатации месторождений для охлаждения газа в схемах НТС используют в основном только эффект Джоуля-Томсона, реализуемый посредством редуцирования давления газа в JT-клапане. При падении пластового давления газа обычно переходят на использование в схемах турбодетандерных агрегатов, в которых охлаждение газа достигается не только за счет эффекта Джоуля-Томсона, но и посредством совершения газом дополнительной работы.

Базисные схемы НТС с использованием JT-клапана, а также турбодетандерного агрегата представлены на рис. 5 и 6.

Пластовый газ охлаждают в теплообменнике при помощи морской

воды или в аппарате воздушного охлаждения АС и в рекуперативном теплообменнике НЕ и подают в первичный сепаратор V-1, где отеляется жидккая фракция (вода и тяжелые углеводороды). Газовую фазу из сепаратора V-1 далее подают в JT-клапан либо в турбодетандерный агрегат ТЕ. Охлажденный газ после JT-клапана или турбины турбодетандерного агрегата поступает в концевой низкотемпературный сепаратор V-2, в котором отделяются сконденсировавшиеся компоненты, и далее – в теплообменник НЕ. После теплообменника в схеме рис. 5 газ подается в магистральный газопровод, по схеме рис. 6 газ сжимают в компрессоре турбодетандерного агрегата, охлаждают в аппарате воздушного охлаждения и также подают в магистральный газопровод.

Применение 3S-сепараторов позволяет улучшить работу описанных схем обработки газа. Последние испытанные образцы 3S-сепараторов могут быть использованы как без дополнительных устройств (рис. 7), так и, в случае необходимости, в комбинации с рекуперативными теплообменниками и вторичными сепараторами (рис. 8).

Наиболее интересным является случай использования 3S-технологии на месторождениях, где требуется поддерживать на выходе из установки подготовки газа давление подготовленного газа на уровне ~100 атм. Высокий уровень давления газа на выходе из установки может быть обусловлен необходимостью транспортирования газа на большие расстояния. Это особенно важно для вариантов, в которых подготовленный газ необходимо транспортировать по подводному трубопроводу. Такой вариант, в частности, актуален при разработке Штокмановского месторождения, находящегося в Баренцевом море.

В этом случае обеспечить подготовку природного газа к транспортировке с помощью JT-клапана или турбодетандера в большинстве случаев не представляется возможным. Это связано с невозможностью проведения в стандартных схемах конденсации целевых компонентов при давлениях, близких к 100 атм.

На рис. 9 показана фазовая диаграмма природного газа в координатах «температура – давление». Внутри такой фазовой диаграммы природный газ представляет собой двухфазную смесь газа и жидкости. Для того чтобы в низкотемпературном технологическом процессе произошло разделение компонентов природного газа, необходимо, чтобы природный газ в какой-нибудь точке процесса существовал в двухфазном состоянии. В то же время для любого природного газа существуют критические



значения давления (ССВ) и температуры (ССТ) газа, выше которых жидкую фазу не образуется. Для природных газов критическое давление часто не превышает 100 атм, именно поэтому при давлениях более 100 атм конденсацию и сепарацию компонент природных газов в стандартных низкотемпературных процессах провести невозможно.

На рис. 9 нанесены диаграммы изменения термодинамического состояния при последовательном прохождении природного газа через различные участки установок, схемы которых приводятся на рис. 5-7.

Р-Т-диаграмма А-Д-Ф-Е соответствует схеме установки с JT-клапаном, представленной на рис. 5, А-Д'-Ф'-Е'-Е – схеме с турбодетандером (рис. 6), А-В-С – схеме 3S-сепаратора (рис. 7). Участки А-Д, А-Д' и Ф-Е, Ф'-Е' отражают прохождение газа через охлаждающие и нагревающие каналы рекуперативного теплообменника НЕ, Д-Ф – дросселирование газа в JT-клапане, Д'-Ф' – прохождение газа через турбину турбодетандера ТЕ, Е'-Е – сжатие газа в компрессоре турбодетандера ТЕ.

Диаграмма А-В-С соответствует прохождению газа через 3S-сепаратор (рис. 9). Отрезок А-В соответствует расширению природного газа в сопле 3S-сепаратора, сопровождаемому процессом охлаждения газа, конденсации целевых компонентов и отделению сконденсировавшихся капель конденсата, участок В-С отражает сжатие газа в диффузоре 3S-сепаратора.

Для представленных на рис. 9 случаев ни НТС с JT-клапаном, ни

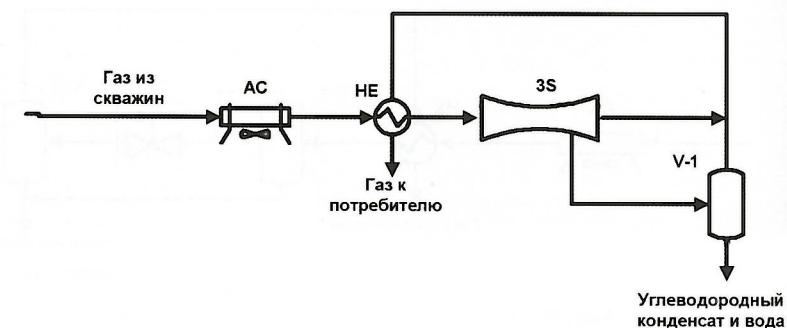


Рис. 8. Комбинированная схема использования 3S-сепаратора

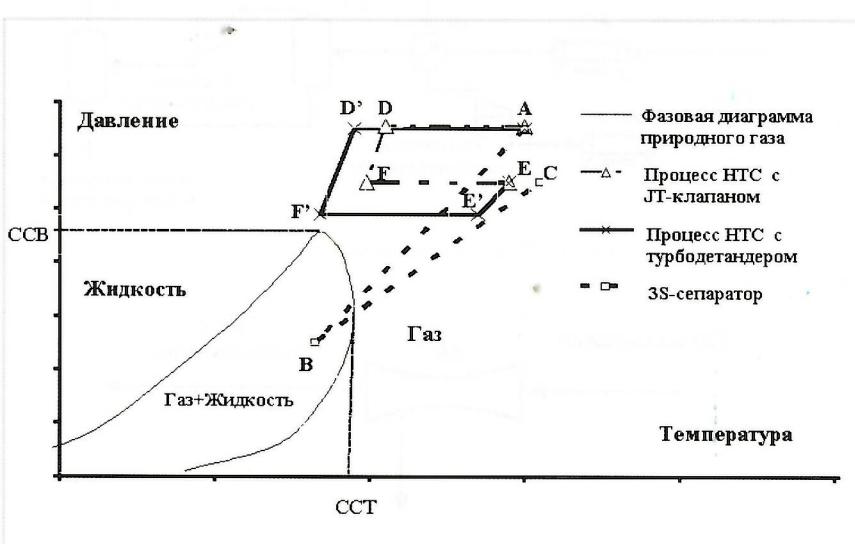


Рис. 9. Диаграммы различных процессов переработки природного газа в случае высокого давления газа на выходе из установки

HTC с турбодетандером не обеспечивают процесса конденсации компонентов газа, а следовательно, и сепарации целевых компонентов. В то же время за счет расширения газа до сверхзвуковых скоростей в сопловом канале 3S-сепаратора удается

достаточно сильно охладить газ и провести сепарацию тяжелых компонентов.

Таким образом, применение 3S-технологии открывает новые возможности в переработке газа на морских месторождениях, а также на месторождениях полуострова Ямал.

Литература

1. Корытников Р.В., Яхонтов Д.А., Багиров Л.А., Дмитриев Л.М., Имаев С.З. Промышленные испытания технологии сверхзвуковой сепарации на установке НТС УПМТ УКПГ-1С Заполярного НГКМ // Нефтепромысловое дело, № 6, 2012.
2. Андреев О.П., Минигулов Р.М., Корытников Р.В., Багиров Л.А., Имаев С.З. Технологические схемы УКПГ на

основе 3S-технологии для северных нефтегазоконденсатных месторождений // Наука и техника газовой промышленности, № 2, 2009.

3. Vadim Alfyorov, Lev Bagirov, Leonard Dmitriev, Vladimir Feygin, Salavat Imaev, John R. Lacey. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components // Oil & Gas Journal / May 23, 2005.



101000, г. Москва, Сретенский бульвар,
д. 6/1, стр. 1, оф. 43
Тел./факс: (495) 540-46-36, 625-76-63
info@engo3s.com

ООО «ЭНГО Инжиниринг» занимается развитием и коммерциализацией инновационной сверхзвуковой технологии сепарации газов (3S-технологии). Компания является создателем и патентообладателем данной технологии.

Компания работает в партнерстве с такими крупнейшими нефтегазовыми корпорациями, как Роснефть, Газпром, PetroChina, FMC Technologies и др.

С 2007 года установка 3S-сепарации работает в промышленном режиме на месторождении в Западной Сибири и с 2011 года – в Китае. В завершающей стадии реализации находятся четыре проекта. На собственном экспериментальном газодинамическом стенде непрерывно ведется научно-исследовательская работа по развитию 3S-технологии.

В 2012 году ООО «ЭНГО Инжиниринг» стало резидентом Фонда «Сколково».

20-22 марта 2013 г.



Ямало-Ненецкий автономный округ

г. НОВЫЙ УРЕНГОЙ
дц «ЯМАЛ», ул. Юбилейная, 5

Межрегиональная специализированная выставка

ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ



Организаторы:

- ✓ Администрация г. Новый Уренгой
- ✓ НО «Фонд развития МО город Новый Уренгой»
- ✓ Выставочная компания «СибЭкспоСервис-Н» (г. Новосибирск)

Оператор выставки:



Выставочная компания «СибЭкспоСервис-Н»,
г. Новосибирск

тел.: (383) 335 63 50 - многоканальный
e-mail: ses@avmail.ru, www.ses.net.ru