

РФ, МЧС и другие), наше предприятие имеет много-летние связи, позволившие обеспечить разработку и серийные поставки современных источников электроэнергии на специальные объекты для решения важных государственных задач.

К проектам последнего времени можно отнести:

- Создание системы для обеспечения работы новой системы вооружения «Тополь».
- Обеспечение вновь создаваемых объектов (трубопроводов, добывающих и перерабатывающих предприятий) ОАО «Газпром», АК «Транснефть».
- обеспечение автономными источниками электроснабжения строительства вахтовых поселков в рамках проекта «Сахалин-II», современным требованием - система менеджмента качества ОАО «ЗВЕЗДА» сертифицирована по стандарту ISO-9001:2000. Предприятие имеет Лицензии и сертификаты Госатомнадзора, Агентства по промышленности, МПС, Морского и Речного регистров на право разработки, производства и обслуживания дизельных двигателей и автономных электростанций.

Промышленные дизели и различные виды ДГУ и ДЭС имеют Сертификаты соответствия Госстандарту России по ГОСТ Р 50460-92.

Шесть видов продукции «ЗВЕЗДЫ» удостоено Золотого знака качества национального конкурса «Российская марка».

Постоянно работая в направлении улучшения потребительских характеристик своей продукции, ОАО «ЗВЕЗДА» стремится обеспечить потребителей надежными и высокоэффективными дизель-генераторными станциями.

СВЕРХЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ПРОЕКТОВ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИИ

*Салават З. ИМАЕВ, Вадим И. АЛФЕРОВ, Лев А. БАГИРОВ, Леонард М. ДМИТРИЕВ, Владимир И. ФЕЙГИН, Центр "ЭНГО"
TransLang Technologies Ltd*

SUPersonic TECHNOLOGIES OF NATURAL GAS PROCESSING FOR DEVELOPMENT OF OFFSHORE FIELDS OF RUSSIA

*Salavat Z. IMAYEV, Vadim I. ALFYOROV, Lev A. BAGIROV, Leonard M. DMITRIEV, Vladimir I. FEIGYN, Centre "ENGO",
TransLang Technologies Ltd*

ABSTRACT

The 3S-technology is the latest technology intended to extract target components from natural gases. The technology is based on cooling of natural gas in a supersonic swirling gas flow.

The 3S-technology is of a particular interest to solve problems of natural gas conditioning on offshore fields, especially for Shtokmanskoye and Prirazlomnoye fields.

The technology makes it possible to provide natural gas conditioning under subsea conditions on the sea bed.

3S-технология – новейшая технология, предназначенная для извлечения целевых компонентов из природных газов. 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 скоростей больших скорости распространения звука в газе. При этом за счет перехода части потенциальной энергии потока в кинетическую энергию происходит сильное охлаждение газа.

В качестве примера на Рис. 1 показано изменение основных параметров потока при расширении природного газа в сверхзвуковом сопле Лаваля. Состав природного газа принят следующим: CH_4 - 80 %, C_2H_6 - 10 %, C_3H_8 - 6 %, C_4H_{10} - 4 %. Давление и

температура газа в форкамере сопла приняты равными 60 бар и 5 °C соответственно. Данные графики построены исходя из квазиодномерного изоэнтропического приближения движения газа в сопле. При расчете парожидкостного равновесия использовано уравнение Пенга-Робинсона.

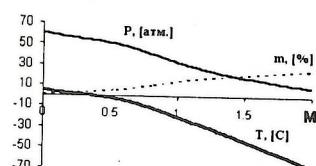


Рис. 1: Зависимости основных параметров газового потока в сверхзвуковом сопле от числа Маха (P, T – статические давление и температура газа, m – массовая доля конденсата в потоке)

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

Если в сверхзвуковом сопле провести отделение от газового потока сконденсировавшихся капель, содержащих в основном тяжелые компоненты C_{3+} , то газ на выходе из сопла будет состоять в основном из легких компонентов, таких как метан, этан и др.

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 (далее 3S-сепаратор), в которой реализована 3S-технология, представлена на Рис. 2.

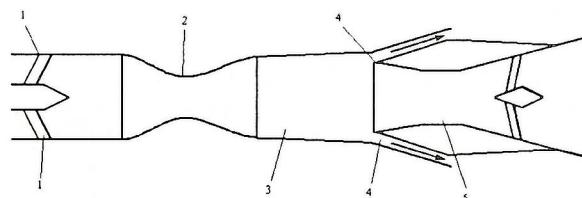


Рис.2. Принципиальная схема 3S-сепаратора

3S-сепаратор включает в себя: 1 - закручивающее устройство, 2 - сверхзвуковое сопло, 3 - рабочую часть, 4 - устройство отбора газожидкостной смеси, 5 - диффузор.

Применение диффузора на выходе из рабочей части 3S-сепаратора позволяет преобразовать часть кинетической энергии потока в потенциальную, что обеспечивает получение давления газа на выходе из диффузора большего, чем статическое давление газа в сверхзвуковом сопле.

Компания TransLang Technologies Ltd обладает международными патентами на 3S-технологию и 3S-сепараторы.

Опытное и промышленное испытание 3S-технологии

Для совершенствования технологии и для коммерческого использования компанией TransLang Technologies Ltd разработан целый ряд установок. К настоящему времени созданы и активно используются следующие установки типа «3S»:

- Испытательный комплекс в Дидсбери (Калгари, Канада) (Рис.3).

Установка производительностью до 12 кг/сек газа при начальном давлении газа 50-70 бар и конечным давлением газа не ниже 40 бар. Установка предназначена для исследования извлечения из природного газа компонентов C_{5+} . Стенд рассчитан на продолжительный срок эксплуатации и оборудован измерительным комплексом, позволяющим проводить измерение давлений, температур и концентраций компонент в элементах 3S-сепаратора.

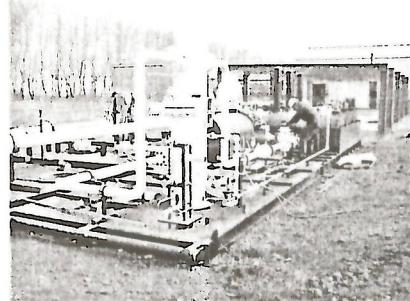


Рис. 3. Испытательный стенд в Didsbury

- Экспериментальный стенд (Рис.4) с установкой типа «3S» в Московской области (Russian Federation) с производительностью по газу 1,5-2,5 кг/сек, рабочим давлением до 150 атм., с возможностями изменения начальной температуры от -60°C до $+20^{\circ}\text{C}$. Стенд оборудован специальными устройствами, позволяющими задавать запланированный состав смеси углеводородных газов на входе в 3S-сепаратор.



Рис. 4. Посещение экспериментального стенда (Московская область)

- Опытно-промышленная установка в Западной Сибири (Рис.5). В сентябре 2004 года на одном из газовых заводов в Западной Сибири в составе комплекса НТК успешно запущен в опытно-промышленную эксплуатацию пакет, состоящий из двух установок «3S», каждая мощностью свыше 400 млн. н.м³ в год. Начальное давление газа в 3S-сепараторе - 32 атм. 3S-сепаратор осуществляет извлечение компонентов C_3 , в комплексе получения ШФЛУ и СГБ.

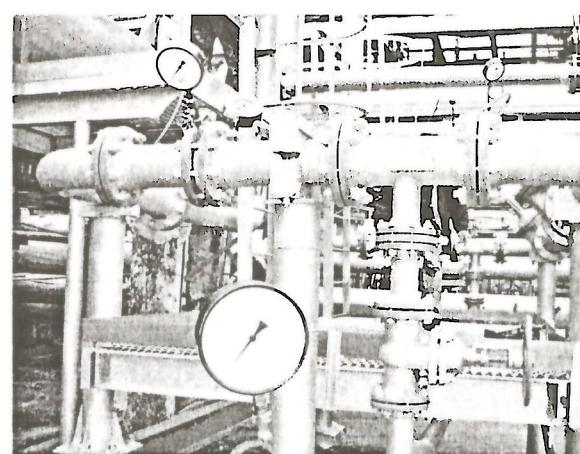


Рис.5. Вид 3S установки в Западной Сибири

- Для исследования различных принципиальных физических аспектов применения технологии «3S» используются две лабораторные установки в Московской области. Для одной из них рабочим газом является воздух, а для другой – смесь азота и пропан – бутанов.

В течение последних трех лет было проведено более 400 испытаний установок типа «3S» с различными температурами, давлениями и составами газовых смесей. Испытаны дозвуковые, околозвуковые и сверхзвуковые режимы сепарации. Разработаны оптимальные конструкции 3S-сепараторов, обеспечивающих извлечение из природного газа компонентов С3+, С5+.

На Рис.6 приведена диаграмма, на которой наглядно представлены результаты серии экспериментов на опытной установке с расходом газа 1,5–2,5 кг/с.



Рис.6. Сравнение эффективности 3S-сепаратора и устройств, базирующихся на дросселировании газа в JT-клапанах.

Каждая точка на диаграмме соответствует определенному экспериментально реализованному режиму. По вертикальной оси диаграммы отложена эффективность отбора компонент природного газа (пентана, бутанов + пропана) в 3S-сепараторе, по горизонтальной оси – эффективность, рассчитанная для установки с JT-клапаном для того же режима (при том же перепаде давления).

Эффективность извлечения измеряется величиной $D_a = a_0 - a_k$, где a_0, a_k – начальная и конечная (на выходе из устройства) мольная концентрация компонент.

Видно, что существует область режимов (особенно при малых начальных концентрациях), когда извлечение целевых компонент в 3S-сепараторе возможно, а при использовании JT клапана – нет.

В испытаниях, результаты которых представлены на данной диаграмме, варьировались начальные концентрации компонент, давление и температура газа на входе в 3S-сепаратор, перепад давлений на устройстве и газодинамический режим потока. Результаты получены при реализации в рабочей секции 3S-сепаратора режимов с числами Маха M > 1.5.

Проведенное сравнение 3S-технологии с турбодетандерами показало, что существуют схемы, в которых 3S-технология обеспечивает лучшее извлечение целевых компонентов, по сравнению со схемами, в которых используется только турбодетандер. В некоторых случаях 3S-сепараторы обеспечивают извлечение целевых компонентов для параметров,

при которых работа турбодетандеров невозможна (см. ниже).

Преимущества 3S-технологии

Некоторые преимущества «3S» по сравнению с традиционными технологиями сепарации углеводородов из природного газа:

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

«3S» обладает потенциалом использования при решении следующих задач газовой промышленности:

- подготовка газа к транспорту (дегидратация и выделение тяжелых углеводородов);
- сепарация пропан - бутанов (ШФЛУ);
- сепарация H₂S и CO₂;
- выделение этана.

Расчеты, основанные на данных экспериментов, проведенные для конкретных месторождений, показывают, что применение 3S-технологии позволяет увеличить больше чем на 30% 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 позволяет 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, использование 3S-сепараторов позволяет снизить потребную компрессорную мощность на 15-20 % при том же уровне извлечения.

Соответствующие технологические схемы запатентованы.

Это открывает возможность удешевления продукции газовых заводов путем недорогой реконструкции.

Применение 3S-технологии на морских месторождениях природного газа

Важнейшими преимуществами 3S-технологии являются малый размер установок, отсутствие в них движущихся частей, отсутствие персонала для обслуживания, возможность использования энергии пласта и, как результат, снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Все это делает особенно перспективным применение 3S технологии для газовых месторождений, расположенных на шельфе.

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 как обеспечение точки росы по углеводородам и воде, так и в некоторых особых случаях обеспечение необходимого уровня теплоты сгорания HV (Heat Value) подготовленного газа.

В начальный период эксплуатации месторождений для охлаждения газа в схемах HTC 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 счёт эффекта Джоуля-Томсона, но также посредством совершения газом дополнительной работы.

Базисные схемы HTC с использованием JT клапана, а также турбодетандерного агрегата представлены на Рис. 7 и 8.

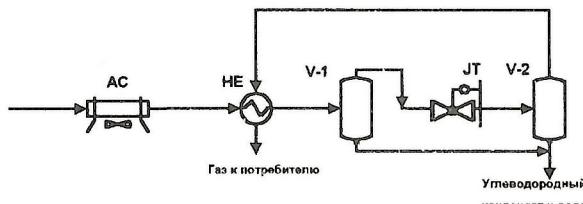


Рис.7. Схема HTC с дросселированием газа

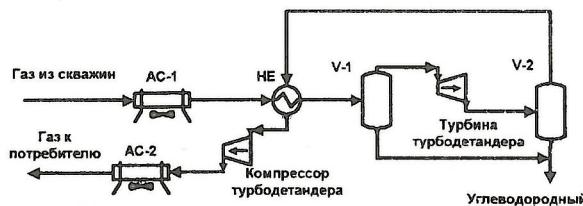


Рис.8 Схема HTC с турбодетандерным агрегатом

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 от газа отделяется жидккая фракция (вода и тяжелые углеводороды). Газовую фазу из сепаратора V-1 далее подают в JT клапан, либо в турбодетандерный агрегат ТЕ. Охлаждённый газ после JT клапана или турбины турбодетандерного агрегата поступает в концевой низкотемпературный сепаратор V-2, в котором отделяют сконденсировавшиеся компоненты, и далее в теплообменник НЕ. После теплообменника в схеме Рис. 7 газ подаётся в магистральный газопровод, по схеме Рис.8 газ сжимают в компрессоре турбодетандерного агрегата, охлаждают в аппарате воздушного охлаждения и также подают в магистральный газопровод.

Применение 3S-сепараторов, разработанных в Translang Technologies Ltd, позволяет улучшить работу описанных схем обработки газа. Последние испытанные образцы 3S-сепараторов могут быть использованы как без дополнительных устройств (Рис.9), так и

в случае необходимости, в комбинации с рекуперативными теплообменниками и вторичными сепараторами (Рис. 10).

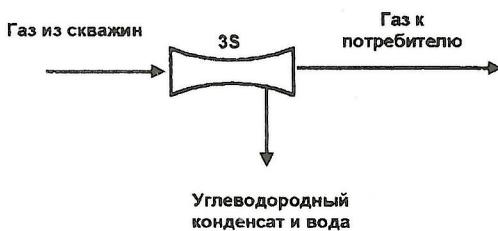


Рис.9: 3S-сепаратор

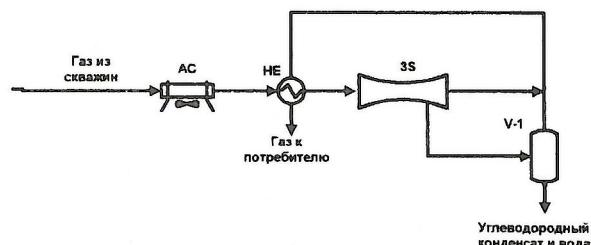


Рис.10: Комбинированная схема использования 3S-сепаратора

Преимущества 3S-технологии по сравнению с JT клапаном показаны в предыдущем разделе. Поэтому здесь остановимся на случае, в котором 3S-сепаратор имеет преимущества по сравнению с турбодетандерным агрегатом.

В этой связи, наиболее интересным является случай использования 3S-технологии на месторождениях, в которых 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. Особенно важно это для вариантов, в которых подготовленный газ необходимо транспортировать по подводному трубопроводу.

В этом случае обеспечить подготовку природного газа к транспортировке в большинстве случаев с помощью JT клапана или турбодетандера невозможно. Это связано с тем, что в стандартных схемах провести конденсацию целевых компонентов при давлениях, близких к 100 атм., невозможно.

На Рис. 11 показана фазовая диаграмма природного газа в координатах температура и 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 (CCB) и температуры (CCT) газа, выше которых образование жидкой фазы невозможно. Для природных газов критическое давление часто не превышает 100 атм., именно поэтому при давлениях больше 100 атм. конденсацию и сепарацию компонент природных газов в стандартных низкотемпературных процессах провести невозможно.

На Рис. 11 нанесены диаграммы изменения термодинамического состояния при последовательном

прохождении природного газа через различные участки установок, схемы которых приводятся на Рис. 7-9.

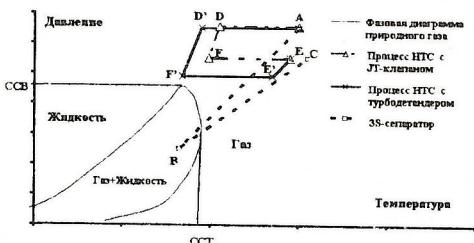


Рис. 11 Диаграммы различных процессов переработки природного газа в случае высокого давления газа на выходе из установки

P-T диаграмма A-D-F-E соответствует схеме установки с JT клапаном, представленной на Рис.7, A-D'-F'-E'-E — схеме с турбодетандером (Рис.8), A-B-C — схеме 3S-сепаратора (Рис.9). Участки A-D, A-D' и F-E, F'-E' отражают прохождение газа через охлаждающие и нагревающие каналы рекуперативного теплообменника HE, D-F — дросселирование газа в JT-клапане, D'-F' — прохождение газа через турбину турбодетандера TE, E'-E — сжатие газа в компрессоре турбодетандера TE.

Диаграмма A-B-C соответствует прохождению газа через 3S-сепаратор (Рис.11). Причем отрезок A-B — соответствует расширению природного газа в сопле 3S-сепаратора, сопровождаемого процессом охлаждения газа, конденсации целевых компонентов и отделения сконденсировавшихся капель конденсата, участок B-C — отражает сжатие газа в диффузоре 3S-сепаратора.

Для представленных на Рис. 11 случаев, ни НТС с JT клапаном, ни НТС с турбодетандером не обеспечивают конденсации компонентов газа, а следовательно и сепарацию целевых компонентов. В то время как 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.

Одна из возможных схем применения 3S-сепаратора для подготовки природного газа к транспортировке на шельфовых месторождениях газа приводится на Рис. 12.

Газ из скважины после прохождения устьевой арматуры направляется в установку с 3S-сепаратором, смонтированной вблизи устья скважины. Установка включает в себя рекуперативный теплообменник, 3S-сепаратор и вторичный сепаратор для сепарации газожидкостного потока, выходящего из 3S-сепаратора. Жидкая смесь углеводородов и воды, отсепарированные от природного газа в установке, направляются по соответствующему шлейфу на платформу в установку подготовки конденсата к транспортировке.

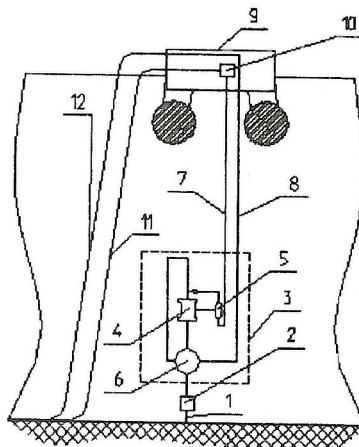


Рис. 12. Вариант использования 3S-сепаратора при подготовке газа к транспортировке на морском месторождении: 1 – Скважина; 2 – Устьевая арматура; 3 – Установка подготовки газа к транспортировке; 4 – 3S – сепаратор; 5 – Газожидкостный сепаратор; 6 – Теплообменник; 7 – Шлейф для жидкого углеводородов и воды; 8, 12 – Трубопровод для очищенного газа; 9 – Платформа; 10 – Установка подготовки конденсата к транспортировке; 11 – Трубопровод для транспортировки конденсата

Важное приложение 3S-технологии — полностью подводная схема подготовки природного газа к транспортировке. Для этого случая схема подключения 3S-сепаратора приведена на Рис. 13.

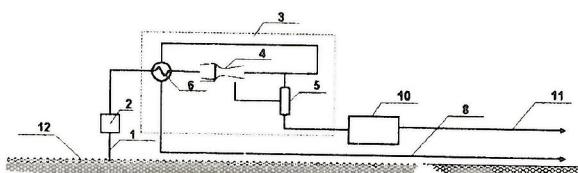


Рис. 13. Полностью подводная схема обработки природного газа