

Опыт применения



От партнеров программы Natural Gas STAR

CONVERT GAS PNEUMATIC CONTROLS TO INSTRUMENT AIR

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДУХА

Аннотация

Пневматические системы, работающие на природном газе высокого давления, широко используются при управлении технологическими процессами в нефтяной и газовой отраслях. Типичными процессами являются регулирование давления, температуры, уровня жидкости и потока газа. Постоянные утечки из регулирующих устройств в совокупности представляют собой крупнейший источник эмиссии метана в газовой отрасли, на который ежегодно приходится 24 млрд. фут.³ (680 млн. м³) при добыче, 16 млрд. фут.³ (453 млн. м³) при переработке и 14 млрд. фут.³ (396 млн. м³) при транспортировке газа.

Компании могут получить значительную экономию средств и снижение эмиссии метана путем перевода газовых пневматических регулирующих систем на использование очищенного атмосферного (технологического) воздуха. При этом природный газ высокого давления замещается технологическим воздухом, что исключает эмиссию метана и повышает безопасность. Однако экономически эффективное применение таких систем возможно лишь на участках с централизованным или автономным электроснабжением.

Партнеры программы Natural Gas STAR сообщают о ежегодной экономии до 70 000 тысяч кубических футов (1 982 тыс. м³) газа на одну установку в результате преобразования газовых пневматических регулирующих систем на использование технологического воздуха, что в денежном выражении составляет до \$210 000 в год. Конкретная экономия для каждого участка зависит от модели, технического состояния и особенности рабочего режима регуляторов.

Метод снижения потерь газа ¹	Усредненный объем экономии газа, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/год	Средняя стоимость сэкономленного газа, \$/год ¹	Средняя стоимость выполнения работ, \$/год ²	Средний период окупаемости, лет
Замена газа на технологический воздух в пневматических системах (на установку)	20 000 (0,6)	60 000	50 000	< 1

¹ Стоимость газа \$3/тыс. фут.³ (\$106/тыс. м³)

² Стоимость установки компрессора, осушителя и другого дополнительного оборудования

Настоящий документ - один из отчетов серии "Опыт применения", разработанной EPA в сотрудничестве с газовой отраслью в рамках проектов программы Natural Gas STAR.

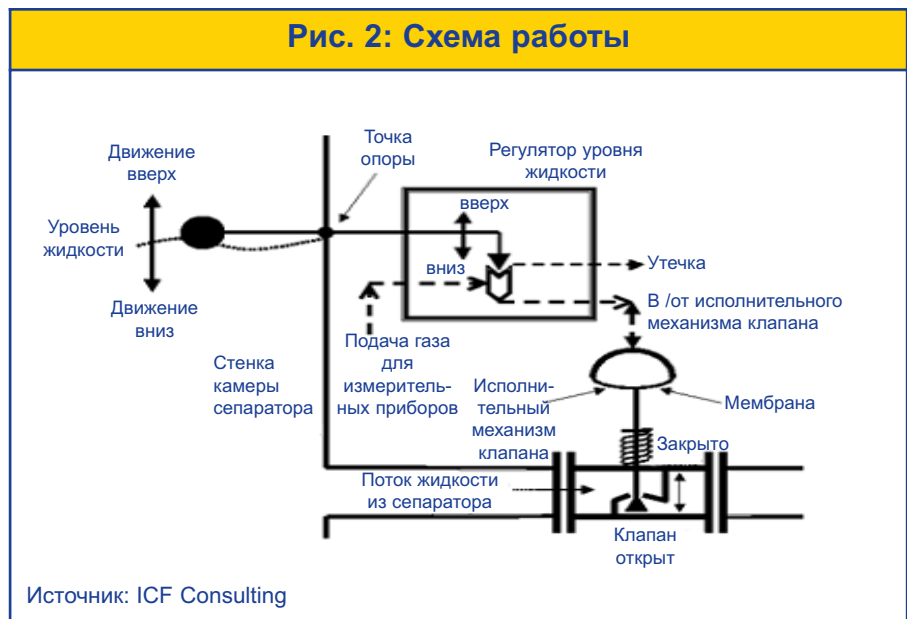
Описание технологии

Газовая отрасль располагает разнообразными средствами управления работой клапанов, которые регулируют давление, поток, температуру, и уровень жидкости. Большую часть приборного оснащения и аппаратуры контроля можно отнести к одной из трех категорий: (1) пневматической, (2) электрической или (3) механической. В большинстве случаев в газовой отрасли применяются пневматические устройства, работающие на природном газе высокого давления, что обеспечивает необходимый объем энергии и передачу управляющих сигналов. Пневматические системы, питаемые природным газом высокого давления, находят широкое применение в газовой отрасли. В производственном секторе, около 250 000 пневматических устройств контролируют и управляют потоками газа и жидкости, состоянием уровня в осушителях и разделителях, температурой в регенераторах осушителей и давлением в испарителях. На большинстве установок по переработке газа уже используется технологический воздух, но на некоторых пневматических устройствах продолжается применение газа. Группы резервуаров и насосные станции, питающие данные установки, оснащены приблизительно 13 000 газовых пневматических устройств. В секторе транспортировки от 90 000 до 130 000 пневматических устройств обеспечивают функционирование запорных клапанов и регулируют газовый поток и давление в компрессорных станциях, трубопроводах и складских помещениях. Пневматические устройства, регулирующие поток и давление газа, также используются при работе счетчиков пропускных и газораспределительных систем, принадлежащих газораспределительным компаниям.

На рис.1 представлена пневматическая регулирующая система, работающая на природном газе. Пневматическая регулирующая система состоит из регуляторов управления и клапанов, которые работают на природном газе при давлении около 20-30 фунтов на квадратный дюйм (137,8 - 206,7 кПа), и соединительных трубок, подающих питание на все регулирующие устройства. Природный газ также используется в некоторых "обслуживающих (вспомогательных) устройствах", таких как небольшие пневматические насосы, стартеры двигателя компрессора и запорные вентили. На рис. 2 приведена упрощенная схема пневматического контура управления. Регулирование уровня жидкости в сепараторе осуществляется с помощью поплавка, который механически связан с регулятором уровня жидкости с внешней стороны камеры.



При повышении или понижении уровня жидкости поплавков перемещается вверх или вниз, передавая импульсы на небольшие игольчатые клапаны внутри регулятора. При этом газ направляется на исполнительный механизм игольчатого клапана, и отверстие перекрывается, либо давление газа на исполнительный механизм снижается. При повышении давления газа на исполнительный механизм клапана, мембрана, соединенная штоком с задвижкой клапана, смещается вниз, что приводит к открытию заглушки и увеличению оттока жидкости из сепаратора. При сбросе давления газа на исполнительный механизм клапана задвижка перекрывается под воздействием пружины.



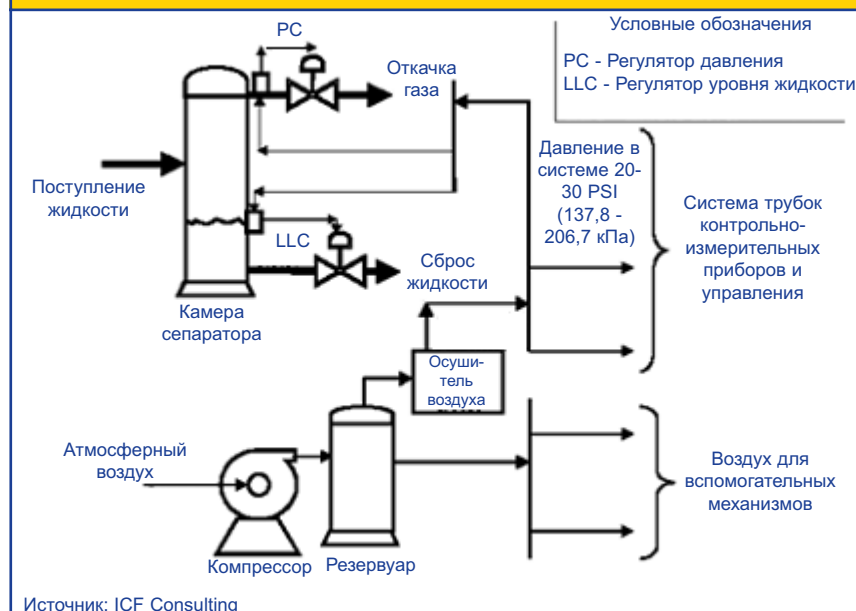
Пневматические устройства являются основным источником эмиссии метана в газовой промышленности, т. к. природный газ, который используется для их функционирования, выбрасывается в атмосферу. При этом метан выделяется из межтрубных соединений, средств управления и любых других участков в пределах распределительной системы трубопроводов. Фактическая скорость утечки или уровень эмиссии в значительной степени зависит от конструкции устройства. Вообще, регуляторы подобных конструкций имеют стандартные, установившиеся объемы утечек, независимо от их марки. Скорость эмиссии метана также зависит от давления подаваемого газа, частоты использования, срока эксплуатации или состояния оборудования.

Многие партнеры считают, что в пневматических системах экономически выгодно заменять природный газ на сжатый воздух. Использование технологического воздуха исключает эмиссию метана и позволяют повысить количество продаваемого газа. Кроме того, исключается использование огнеопасного вещества и значительно возрастает безопасность эксплуатации. Первичные затраты, связанные с преобразованием устройств на применение технологического воздуха, включают затраты на установку компрессора и соответствующего оборудования и эксплуатационные расходы на электроснабжение двигателя компрессора. Существующий пневматический подводящий газовый трубопровод, приборы управления и исполнительные механизмы клапана газовой пневматической системы могут быть повторно использованы после переключения на систему технологического воздуха.

Система сжатого технологического воздуха показана на рис. 3. Для обеспечения функционирования данной системы атмосферный воздух

подвергается сжатию, помещается в резервуары, а затем фильтруется и осушается для дальнейшего использования. Воздух, предназначенный для вспомогательных устройств (пневмонасосы небольшого размера, стартеры двигателя газового компрессора, пневмоприборы, оборудование пескоструйной очистки) не требует осушения. Все другие узлы газовой пневмосистемы работают так же, как и при подаче обычного газа.

Рис. 3: Система сжатого технологического воздуха



Основными компонентами проекта переключения на систему технологического воздуха являются компрессор, источник питания, водоотделитель и резервуар. Ниже приводится описание каждого из этих компонентов с пояснениями относительно их установки.

- ★ **Компрессор.** Компрессоры используются для подачи технологического воздуха и могут быть различных типов и параметров от роторных, винтовых и центробежных до многоступенчатых поршневых. Параметры компрессора зависят от размера установки, количества регуляторов в системе, а также их проектных объемов утечек. Обычно компрессор работает от электродвигателя, который включается и выключается в зависимости от давления в резервуаре. Для повышения надежности обычно устанавливается резервный компрессор.
- ★ **Источник питания.** Основным компонентом системы технологического воздуха является источник питания, необходимый для обеспечения работы компрессора. Ввиду доступности природный газ высокого давления может подаваться в пневматические системы непрерывно 24 часа в сутки и семь дней в неделю. Однако надежность системы технологического воздуха зависит от устойчивого функционирования компрессора и бесперебойного электроснабжения. Большая часть крупных участков подключена к сети электроснабжения или оснащена автономными энергетическими установками. Однако для более мелких и удаленных участков иногда сложно найти надежный источник электроснабжения. В некоторых случаях экономически эффективным оказывается использование компрессоров на солнечных батареях, что одновременно обеспечивает снижение эмиссии метана и энергопотребления. Продолжается разработка малогабаритных топливных батарей, работающих на природном газе.

Экономические и экологические выгоды

★ **Водоотделители.** Водоотделители или осушители воздуха являются составной частью компрессорных систем, работающих на технологическом воздухе. Вода, присутствующая в атмосферном воздухе, конденсируется, когда воздух находится под давлением, или охлаждается, и это может вызвать сбой в работе системы из-за повреждения приборных щитков или блокировки подачи технологического воздуха в систему труб и засорения отверстий регуляторов. Для малогабаритных систем экономически оправданным оказалось применение мембранных осушителей. Они представляют собой молекулярные фильтры, пропускающие через мембрану молекулы кислорода и азота и задерживающие молекулы воды. Такие осушители очень надежны в эксплуатации, не имеют подвижных узлов, а элементы фильтра легко заменяются. При больших объемах экономически эффективно применение сушильных аппаратов с влагопоглотителями (оксидом алюминия).

★ **Резервуар.** Резервуар удерживает достаточный объем воздуха для непрерывной подачи его под давлением в пневматическую систему регулирования и исключает необходимость постоянной работы воздушного компрессора. Резервуар может за короткое время выпустить большой объем сжатого воздуха, например, для стартера двигателя, пневмонасоса, пневматических приборов, не нарушая процесса регулирования.

Сокращение эмиссии метана от пневматических устройств путем переоснащения систем управления и контрольно-измерительных приборов для использования технологического воздуха, может принести значительные экономические и экологические выгоды для газодобывающих компаний, которые включают следующее:

- ★ Экономия денежных средств за счет сокращения утечек газа. При ценах на газ \$3 за тыс. фут.³ (\$106/тыс. м³) экономия от снижения утечек может составлять \$360 в год на устройство или \$210 000 и более на участок. В большинстве случаев затраты на переоснащение для использования технологического воздуха могут окупиться менее, чем за год.
- ★ Увеличение срока службы регуляторов и улучшение их функциональных характеристик. Природный газ, используемый в пневмоавтоматике, часто содержит агрессивные примеси (такие, как двуокись углерода и сероводород), которые уменьшают срок службы устройств. Более того, в природном газе могут находиться окислы железа, засоряющие небольшие отверстия в регуляторах и вызывающие сбои в их работе, что приводит к аварийным ситуациям. При использовании хорошо очищенного и высушенного технологического воздуха повышается эффективность и срок эксплуатации системы.
- ★ Исключение применения горючего природного газа. Замещение природного газа сжатым воздухом значительно повышает безопасность работы систем переработки, транспортировки и распределения газа. Это особенно важно для морских установок, где высок риск возгорания.
- ★ Сокращение эмиссии метана. По отчетам участников программы, ежегодное сокращение эмиссии метана составляет 70 000 000 фут.³ (1 982 179 м³) на участок и зависит от количества устройств и типов регуляторов.

Переоборудование пневматической системы, работающей на природном газе, на использование технологического воздуха возможно на всех участках и установках по переработке природного газа. Для определения более эффективных методов переоснащения системы требуется проведение технического и экономического обоснования. Следующие действия, которые сопровождаются описанием конкретных примеров, затрат, соответствующими расчетными формулами и сопутствующими факторами, помогут компаниям оценить возможности такого переоснащения.

Процесс принятия решений для переоборудования устройств, работающих на природном газе, на использование технологического воздуха

1. Определение возможного места установки систем технологического воздуха.
2. Определение рациональных параметров системы.
3. Оценка стоимости проекта.
4. Экономия газа.
5. Оценка экономической эффективности.
6. Разработка плана модернизации.

Этап 1: Определение возможного места установки систем технологического воздуха. Большинство регулирующих систем, работающих на природном газе, можно переоборудовать на использование технологического воздуха. Для функционирования системы подачи технологического воздуха необходим компрессор, водоотделители, системы электроснабжения и другое оборудование. Первым этапом для успешного выполнения проекта переоборудования является тщательное обследование участков и выявление наиболее удачных мест для его экономически эффективной реализации. В основном, в процессе принятия решений во внимание берутся три главных фактора.

- ★ **Расположение участка.** Расположение участка может оказать значительное влияние на выбор оборудования и стоимость установки систем технологического воздуха. Например, переход на такую систему нецелесообразен на децентрализованном участке, когда резервуары находятся на значительном расстоянии между собой. Система технологического воздуха наиболее подходит для применения на морских платформах и береговых промыслах, где элементы пневматической системы сконцентрированы на относительно небольшой площади.
- ★ **Количество пневматических установок.** Чем больше пневматических регуляторов переоборудовано на технологический воздух, тем выше потенциал сокращения эмиссии и повышения экономии для компании. Переоборудование приборов на применение технологического воздуха наиболее эффективно при проведении крупномасштабных изменений на промысле.
- ★ **Доступность энергоснабжения.** Так как функционирование основной части систем технологического воздуха основано на работе компрессора с электрическим приводом, возникает необходимость в источнике бесперебойной подачи электроэнергии. Многие участки имеют собственные генерирующие установки, но на малых и отдаленных участках их нет. Для них использование систем технологического воздуха становится нерентабельным из-за высокой стоимости электроэнергии. Более того, для участков, имеющих генерирующие установки, необходимо произвести расчет и убедиться в достаточности выработки электроэнергии для поддержания работы системы, так как затраты на модернизацию генератора могут оказаться слишком высокими. На отдаленных промыслах следует рассмотреть возможность использования солнечной энергии или генерирование электроэнергии в микротурбинах.

Этап 2: Определение рациональных параметров системы. После выбора места выполнения проекта важно определить рациональные технические параметры системы технологического воздуха. Необходимая мощность системы напрямую определяется количеством сжатого воздуха, потребляемого одновременно пневматическими регуляторами и вспомогательным оборудованием.

★ **Требования по технологическому**

воздуху. Объем технологического воздуха, необходимый для пневматических систем управления, эквивалентен объему газа, используемого для работы существующей аппаратуры, отрегулированной на потери воздуха во время процесса сушки. Текущий объем потребляемого газа можно определить путем прямого считывания показаний счетчика (если счетчик установлен). При отсутствии счетчиков можно воспользоваться данными практического метода, устанавливающего расход одного фут.³ в мин. (0,02 м³/мин.) технологического воздуха на контур замкнутой системы управления (включающую регулятор управления и регулирующий клапан).

Практический метод:

1 фут.³ в мин. воздуха на контур управления

Первоначальный расчет требуемого объема технологического воздуха должен производиться с учетом потерь в процессе осушки. Обычно мембранные фильтры осушителей воздуха потребляют 17 процентов подаваемого воздуха. В результате оценочный объем потребления технологического воздуха составляет 83 процента от общего подаваемого объема сжатого воздуха. Для функционирования влагопоглотителя не требуется воздух, и он не нуждается в регулировке.

Практический метод:

17% подаваемого воздуха поглощается мембраной осушителя

★ **Потребление воздуха вспомогательным оборудованием.** Сжатый воздух может использоваться для работы вспомогательного оборудования, включая стартер двигателя, насосы с пневматическим приводом, пневматические инструменты (пневматический гаечный ключ ударного действия), устройства пескоструйной очистки. В отличие от технологического воздуха, воздух вспомогательного оборудования не требует осушки. Частота использования данного оборудования и объемы потребляемого воздуха рассматриваются как дополнительные. Компаниям необходимо оценить возможность использования сжатого воздуха на других установках непосредственно на месте, с учетом особенностей участка, рассматривая и возможность укрупнения промысла. Практический метод указывает, что максимальный расход сжатого воздуха, необходимого для периодического функционирования вспомогательного оборудования, превышает в два раза установившийся объем потребления технологического воздуха.

Практический метод:

В пневматической системе используется 1/3 воздуха для технологических целей, 2/3 - для работы вспомогательного оборудования.

На рис. 4 представлен расчет объема технологического воздуха для работы компрессора. Исходя из данных практического метода (1 фут.³/мин. (0,02 м³/мин.)/контур управления), текущее потребление газа может составить 35 фут.³/мин. (0,99 м³/мин.) осушенного технологического воздуха. Учитывая, что потребление воздуха осушителем составляет 17 процентов от общего подаваемого объема, общую потребность в технологическом воздухе составляет 42 фут.³/мин. (1,18 м³/мин.). С учетом потребности воздуха для вспомогательного оборудования в объеме 70 фут.³/мин. (1,98 м³/мин.) общий расход сжатого воздуха по проекту составит 112 фут.³/мин. (3,17 м³/мин.).

Рис. 4: Расчет параметров компрессора при переоснащении газовых пневматических устройств на использование технологического воздуха

Дано:	Участок со средним объемом газодобычи, оснащенный пневматическими устройствами, гликолевым водоотделителем, компрессором, 35 контурами управления при среднем объеме потребления газа вспомогательным оборудованием 10 фут. ³ /мин. (0,28 м ³ /мин.) для обеспечения работы пневматических насосов и запуска двигателя компрессора.
A	= Общий объем сжатого газа
I _{au}	= Потребление технологического воздуха
I _{as}	= Подача технологического воздуха
U _{as}	= Подача воздуха для вспомогательного оборудования
L	= Контуров управления
	Практический метод: 1 фут.³/мин. (0,02 м³/мин.)/контур управления для расчета системы технологического воздуха. Практический метод: 17% воздуха поглощается мембранными осушителями. Практический метод: в пневматической системе используется 1/3 воздуха для технологических целей, 2/3 - для работы вспомогательного оборудования.
	Расчет: A = Необходимая мощность воздушного компрессора.
A	= I _{As} + U _{As}
I _{au}	= L x (1 фут. ³ /мин. (0,02 м ³ /мин.)/контур управления)
I _{as}	= I _{Au} /(100% - го воздуха, проходящего через осушитель)
U _{as}	= I _{Au} x (использование части воздуха вспомогательного оборудования) / (использование части технологического воздуха)
L	=(35 x 1)/(100%-17%)+(35 x 1) x (2/3)/(1/3)=112 фут. ³ /мин. (3,17 м ³ /мин.)

Этап 3: Оценка стоимости проекта. Основные расходы по установке и эксплуатации систем технологического воздуха включают расходы на установку компрессора, осушителей, резервуаров и электроэнергию. Фактическая стоимость установки напрямую зависит от параметров устройств, их расположения и других особенностей участка. Стоимость типового переоснащения газовых пневматических систем управления на использование сжатого технологического воздуха приблизительно составляет \$35 000 - \$60 000.

Для оценки стоимости конкретного проекта необходимо определить затраты на компрессор, осушители, резервуар и электроэнергию. Большинство поставщиков предоставляет расчет стоимости оборудования и информацию по условиям установки (включая размер компрессора, мощность двигателя, объемы энергопотребления и вместимость резервуаров). Компании могут использовать следующие данные по основным комплектующим узлам систем для расчета полной стоимости установки системы технологического воздуха.

★ **Стоимость компрессора.** Обычно на промысле устанавливают два компрессора (рабочий и резервный) для повышения надежности и обеспечения непрерывной добычи газа во время технического обслуживания или капитального ремонта одного из них. Мощность каждого компрессора должна быть достаточной для производства всего необходимого по проекту объема воздуха (т. е. технологического воздуха и воздуха вспомогательного оборудования). На рис. 5 приведены цены и оценка эксплуатационных затрат для малых, средних и больших компрессоров. Заметим, что капитальный ремонт винтового компрессора необходимо проводить каждые 5-6 лет. Такой ремонт обычно включает замену основных частей с приблизительной стоимостью \$3 000 и трудозатратами \$500, а также предполагает возврат \$500 за части компрессора, бывшие в эксплуатации.

Рис. 5: Стоимость воздушного компрессора						
Рабочий размер	Объем воздуха фут. ³ (м ³)/мин.	Тип компрессора	Мощность, л.с	Стоимость оборудования, \$	Годовое обслуживание, \$/год	Срок эксплуатации, лет
Малый	30 (0,85)	Поршневой	10	2 500 ¹	300	1
Средний	125 (3,5)	Турбинный	30	12 500	600	5-6 ²
Большой	350 (10)	Турбинный	75	22 000	600	5-6 ²
¹ Включает стоимость компрессора и резервуара. ² Восстановление компрессора включает замену основных частей с приблизительной стоимостью \$3 000 и трудозатратами \$500, а также возврат \$500 за части компрессора, бывшие в эксплуатации.						

★ **Резервуар.** Система подачи сжатого воздуха включает резервуар, в котором поддерживается постоянное давление воздуха при работе и отключении компрессора. Из опыта практического применения известно, что на 1 галлон емкости резервуара приходится 1 фут.³/мин. (0,028 м³/мин) сжатого воздуха. На рис. 6 приведена стоимость оборудования для резервуаров малых, средних и больших размеров. Резервуары обычно не требуют затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Рис. 6: Стоимость резервуара		
Рабочий размер	Объем воздуха, галлоны (м ³)	Стоимость оборудования, \$
Малый ¹	80 (0,3)	500
Средний	400 (1,5)	1 500
Большой	1 000 (3,8)	3 000
¹ Малые поршневые компрессоры мощностью 10 л.с. и менее обычно поставляются с промежуточным резервуаром.		

★ **Стоимость осушителя воздуха.** Так как технологический воздух должен быть очень сухим во избежание засорения и возникновения коррозии, сжатый воздух обычно пропускают через осушитель. Наиболее широко используются осушители малых и средних размеров с проницаемой мембраной. На крупных пневматических системах можно устанавливать многомембранные осушители или более экономичные осушители с влагопоглощающим слоем из оксида алюминия. Мембранные фильтры удаляют масляный туман и твердые частицы. Они не имеют подвижных узлов и поэтому отличаются низкими эксплуатационными затратами. На рис. 7 представлены цены и эксплуатационные затраты для осушителей различных размеров. Осушитель правильно подобранного размера обеспечивает подготовку необходимого количества газа для подачи в систему технологического воздуха.

Рис. 7: Стоимость осушителя воздуха				
Рабочий размер	Объем воздуха, фут. ³ /мин. (м ³ /мин.)	Тип осушителя	Стоимость оборудования, \$	Эксплуатационные затраты, \$/год
Малый	30 (0,85)	Мембрана	1 500	500
Средний	60 ¹ (1,7)	Мембрана	4 500	2 000
Большой	350 (10)	Оксид алюминия	10 000	3 000
¹ Наибольший размер мембраны; необходимо использовать несколько установок большего объема.				

На основе использования приведенной выше информации можно рассчитать полную стоимость установки оборудования по проекту. На рис. 8 представлен подобный расчет на основе ранее рассматриваемого примера участка со средним объемом добычи газа, на котором потребность в технологическом

Рис. 8: Расчет стоимости монтажа		
Дано:		
	Компрессор (2)	= \$25 000 (рис. 5)
	Резервуар (2 небольших)	= \$1 000 (рис. 6)
	Мембранный осушитель	= \$4 500 (рис. 7)
	Коэффициент монтажа	= 1,5
Расчет полной стоимости монтажа		
	Расчет полной стоимости монтажа	= Цена компрессора + Цена резервуара + Цена осушителя = \$25 000 + \$1 000 + \$4 500 = \$30 500
	Общая стоимость	= Цена оборудования x Коэффициент монтажа = \$30 500 x 1,5 = \$45 750

воздухе составляет 42 фут.³/мин. (1,18 м³/мин.), а максимальная потребность воздуха для вспомогательных систем равна 70 фут.³/мин. (2 м³/мин.) (полная потребность в сжатом воздухе составляет 112 фут.³/мин. (3,17 м³/мин.)). При оценке стоимости монтажа оборудования в газовой отрасли принято считать, что трудозатраты на установку соответствуют стоимости оборудования (т. е. стоимость оборудования при монтаже удваивается). Такой вариант подходит для крупногабаритных систем технологического воздуха с осушкой влагопоглотителем, но для небольших передвижных систем, монтируемых на раме, при расчете полной стоимости монтажа следует применять коэффициент 1,5 (трудозатраты составят половину стоимости оборудования).

Дополнительно к затратам на переоснащение необходимо учитывать затраты на электроэнергию, обеспечивающую функционирование системы. Затраты на электроэнергию являются основными в эксплуатационной стоимости компрессора, если на участке не установлен собственный генерирующий блок. Продолжая рассмотрение примера, можно предположить, что цена электроэнергии 7,5 центов/кВтч, а в работе при полной нагрузке находится один компрессор, эксплуатируемый на половину рабочего цикла (коэффициент использования 50%), второй компрессор - резервный. В результате получаем, что затраты на электроэнергию составляют \$13 140 в год. Данный расчет приведен на рис. 9.

Рис. 9: Расчет стоимости электроэнергии		
Дано		
	Мощность двигателя	= 30 л.с.
	Коэффициент использования (КИ)	= 50%
	Стоимость электроэнергии	= \$0,075/кВтч
Расчет энергопотребления:		
	Энергопотребление	= мощность двигателя * РФ цены электроэнергии = [30 л.с. x 8 760 ч/год x 0,5 x \$0,075/кВтч]/0,75 л.с./кВт = \$13 140/год

Этап 4: Экономия газа. Для определения экономии газа, получаемой в результате установки системы технологического воздуха, необходимо определить стандартные объемы утечек (постоянные утечки из сети трубопровода, приборов контроля и т. д.), а также их максимальные объемы, связанные с движениями в регулирующих устройствах. Один из методов предполагает составление перечня всего регулирующего оборудования, оценку стандартной и максимальной эмиссий, определение частоты эксплуатации приборов и объема утечек из сети трубопроводов. Производители регулирующего оборудования обычно предоставляют данные по стандартной и максимальной эмиссии для каждого типа приборов и по каждому виду операций. Эти данные следует увеличить на 25% для каждого устройства, находящегося в эксплуатации 5-10 лет без капитального ремонта, и на 50% для приборов, эксплуатируемых более 10 лет без капитального ремонта, для учета роста объемов утечек в результате износа оборудования. Для повышения точности можно также установить счетчик, при условии проведения мониторинга в течение длительного времени и регистрации

показаний всего вспомогательного оборудования, работающего на газе (т. е. насосов, стартеров двигателей, приводных механизмов и запорных клапанов).

В отчете EPA "Варианты сокращения эмиссии метана из пневматических устройств в газовой промышленности" серии "Опыт применения" приводится перечень марок, моделей и данных газопотребления для широкого спектра пневматических устройств, используемых в настоящее время. Там же приводится информация о производителях и данные фактических измерений, проведенных там, где это было возможно (см. Приложение к отчету). Для упрощения расчетов экономии газа в данном анализе можно воспользоваться рассмотренным выше практическим методом. Экономия газа на участке со средним объемом добычи, приведенная на рис. 4, рассчитана при умеренных объемах утечек 35 фут.³/мин. (0,99 м³/мин.) для 35 пневматических регуляторов, с учетом периодического использования газа для стартера двигателя компрессора и небольших пневматических насосов, перекачивающих химические вещества (заметим, что переоборудование данных установок дает прямую экономию газа от исключения эмиссии). Природный газ не используется в пневматических инструментах или в оборудовании пескоструйной очистки и их работа от дополнительно подаваемого сжатого воздуха не снижает эмиссию метана. Предполагая, что средний ежегодный поток газа 10 фут.³/мин. (0,28 м³/мин.) не будет использоваться регулирующими устройствами, экономия газа составит 45 фут.³/мин. (1,27 м³/мин.). На рис. 10 показано, что экономия соответствует 23 652 тыс. фут.³ (669,7 м³) газа в год при его годовой стоимости \$71 000.

Рис. 10: Расчет экономии газа		
Дано		
	Потребление газа в технологических целях	= 35 фут. ³ /мин. (0,99 м ³ /мин.)
	Прочие устройства - потребители газа	= 10 фут. ³ /мин. (0,28 м ³ /мин.)
Расчет стоимости сэкономленного газа		
	Объем экономии природного газа	= Технологическое использование + Использование для других целей = 35 фут. ³ /мин. (0,99 м ³ /мин.) + 10 фут. ³ /мин. (0,28 м ³ /мин.) = 45 фут. ³ /мин. (1,27 м ³ /мин.)
	Ежегодный объем экономии газа	= 45 фут. ³ /мин. (1,27 м ³ /мин.) x 525 600 мин./год /1 000 = 23 652 тыс. фут. ³ /год (669,7 м ³ /год)
	Ежегодная стоимость сэкономленного газа	= объем x \$3/ тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³) = 23 652 тыс. фут. ³ /год (669,7 м ³ /год) x \$3/ тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³) = \$71 000/год

Этап 5: Оценка экономической эффективности. Экономическая эффективность замены природного газа на технологический воздух в пневматической регулирующей системе может быть оценена на основе прямого анализа затрат и результатов.

На рис. 11 приводится пример анализа затрат и результатов для участка со средним объемом добычи газа. Движение денежных средств в течение 5 лет представлено с учетом исходных данных на рис. 8 и 9 (показано в скобках) и прибыли, рассчитанной на рис. 10. Ежегодные затраты на техническое обслуживание компрессора и осушителей воздуха взяты из рис. 5 и 7. Учтены также затраты на капитальный ремонт компрессора через 5 лет по данным рис. 5. Чистая приведенная стоимость (NPV) равна прибыли за вычетом затрат в течение пяти лет, при ежегодной ставке дисконтирования 10процентов. Внутренняя норма рентабельности отражает ставку дисконтирования, при которой NPV равна нулю.

Рис.11: Экономический анализ переоснащения на систему технологического воздуха						
	0 год	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Стоимость установки, \$	(45 750)					
Стоимость экспл. и тех. обл., \$	0	(13 140) ¹ (3 200) ²	(13 140) (3 200)	(13 140) (3 200)	(13 140) (3 200)	(13 140) (3 200)
Стоимость капремонта, \$	0	0	0	0	0	(4 800) ³
Общая стоимость, \$	(45 750)	(16 340)	(16 340)	(16 340)	(16 340)	(21 140)
Экономия газа, \$	0	71 000 ⁴	71 000	71 000	71 000	71 000
Годовое движение денежных средств, \$	(45 750)	54 660	54 660	54 660	54 660	49 860
Совокупный приток денежных средств, \$	(45 750)	8 910	63 570	118 230	172 890	222 750
Период окупаемости						10
IRR						177%
NPV⁵						\$158 454
¹ Электроэнергия при цене 7,5 центов/кВтч ² Затраты на техобслуживание включают \$1 200 на работу компрессора и \$2 000 на замену мембраны осушителя воздуха ³ Капитальный ремонт компрессора \$3 000 при 10% годовой инфляция. ⁴ Стоимость газа = \$3/тыс. фут. ³ (\$106 тыс. м ³) ⁵ Чистая приведенная стоимость (NPV) основана на ставке дисконтирования 10% в течение 5 лет.						

Этап 6: Разработка плана модернизации. После проведения технического и экономического обоснования проекта перехода на систему технологического воздуха следует разработать системный план модернизации. Этот план может включать установку газового счетчика в линии газоснабжения, расчет количества контуров управления, обеспечение бесперебойной подачи электроэнергии для работы компрессора и замену старых, изношенных регуляторов управления с высокими утечками. Все замены рекомендуется производить одновременно для снижения трудозатрат и простоев. Здесь также можно предусмотреть параллельные действия по установке приборов с

Опыт партнеров

низкой степенью утечек и переход на систему технологического воздуха. Экономия от применения системы технологического воздуха и от установки пневматических приборов с низкой степенью утечек, сокращающих эмиссию метана, одинакова. При каких бы обстоятельствах ни проходила замена пневматических устройств, например, переход с механической на электронную систему управления, существующие пневматические устройства должны заменяться на основе единых экономических показателей, обсуждение которых приводится в упомянутом ранее отчете EPA "Варианты сокращения эмиссии метана из пневматических устройств в газовой промышленности" серии "Опыт применения".

Некоторые партнеры программы EPA Natural Gas Star отмечают в своих отчетах, что переоснащение газовых пневматических систем управления на использование технологического воздуха является единственным источником сокращения эмиссии метана и получения значительной экономии денежных средств. На рис. 12 приведены наиболее показательные достижения некоторых партнеров программы Natural Gas STAR, о которых они сообщили в своих отчетах.

Рис 12: Опыт партнеров программы

Партнер программы Gas STAR	Описание проекта	Стоимость проекта, \$	Годовое сокращение эмиссии тыс. фут. ³ (м ³)/год	Годовая экономия, \$/год ¹	Период окупаемости, мес. ²
Unocal	Установили систему сжатия воздуха на промысле Fresh Water Bayou, Southern Vermillion Parish, штат Луизиана.	60 000	69 350 (1 964)	208 050	<4
Texaco ³	Установили систему сжатия воздуха для управления пневматическими устройствами на 10 промыслах на юге штата Луизиана	40 000	23 000 (651)	69 000	7
Chevron ³	Переоборудовали два пневматических регулятора на использование технологического воздуха и установили новые.	173 000 за 2 года	31 700 (897)	95 100	11
Exxon/Mobil ⁴	Установили системы технологического воздуха на трех вспомогательных передвижных установках и один центральный резервуарный парк в Postle на сепараторе углекислоты.	55 000	19 163 (543)	57 489	12
Shell	Переоборудовали 4 300 клапанов, установленных на морских платформах, на использование технологического воздуха.	нет данных	532 800 (15 000)	1 598 400	нет данных
Marathon	На промыслах New Mexico установили 15 систем технологического воздуха	нет данных	120 - 38 000 (3,4 - 1 000) на промысел	360 - 114 000	нет данных

¹Стоимость газа = \$3/тыс. фут.³ (\$106/тыс. м³)
²Расчет основан на стоимости и объемах экономии газа, предоставленных партнерами программы.
³Данные для отчета были собраны до объединения компаний Chevron и Texaco в 2001 году.
⁴Данные для отчета были собраны до объединения компаний Exxon/Mobil в 1999 году.

Большая часть опыта партнеров программы по замене газовых пневматических устройств и приборов управления на альтернативные регуляторы основана на внедрении систем сжатого технологического воздуха. Некоторые дополнительные варианты по замене газовых пневматических устройств, предпринятые партнерами, приведены ниже.

- ★ **Жидкий азот.** В системах, работающих на жидком азоте, регулятор, воздушный компрессор и осушитель заменяются цилиндром, содержащим жидкий азот. Регулятор давления обеспечивает прохождение расширенного азота в систему импульсных трубок регуляторов при требуемом давлении. Баллоны с жидким азотом периодически заменяются. Устройства, работающие на жидком азоте, требуют наличия криогенного оборудования, которое имеет достаточно высокую стоимость и сложно в обслуживании. Системы жидкого азота с большими объемами потребления требуют установки испарителя.
- ★ **Механическое управление и система контрольно-измерительных приборов.** Аппаратура механического управления и контрольно-измерительные приборы имеют длительную историю применения в нефтегазовой отрасли. Обычно их установка обусловлена отсутствием пневматических и электронных компонентов. Они имеют простую конструкцию и не требуют источника питания. Подобное оборудование работает с использованием пружин, рычагов, диафрагм, проточных каналов и маховиков ручной подачи. Однако оно имеет ограниченное применение, связанное с необходимостью калибровки, низкой чувствительностью, функционированием только в стационарных режимах и возможным залипанием элементов.
- ★ **Электрические и электропневматические устройства.** В результате совершенствования технологий и различных модернизаций расширяется использование электронных контрольно-измерительных приборов. Преимущества данных устройств заключаются в том, что они не требуют применения компрессорного оборудования и для их работы используется электроэнергия при напряжении в сети 120 В. Другое их преимущество основано на большей безопасности применения по сравнению с устройствами, использующими воспламеняемый природный газ или жидкий азот. Их недостатками являются необходимость в постоянном источнике питания и высокая стоимость.

Хотя приведенные варианты имеют недостатки, системы, использующие воздух вместо газа, находят широкое применение в качестве альтернативы газовым пневматическим регуляторам. Важно отметить, что надежный источник подачи сухого сжатого воздуха в масштабах производственных участков обходится дорого, хотя он более экономичен, чем природный газ. Поэтому стратегия одновременной установки регуляторов с низкими утечками и переход на системы технологического воздуха (см. отчет "Варианты сокращения эмиссии метана из пневматических устройств в газовой промышленности" серии "Опыт применения") зачастую оказывается экономически эффективной. Подобные действия позволят значительно снизить потребление технологического воздуха, необходимую мощность компрессора и объем потребления электроэнергии в течение времени работы участка.

Опыт применения

Партнеры программы Natural Gas STAR сообщают о применении следующего опыта:

- ★ Установка систем технологического воздуха позволяет повысить рентабельность и снизить эмиссию метана.
- ★ Системы технологического воздуха увеличивают длительность рабочего цикла оборудования, на котором возможно скопление небольшого количества серы и кислот при работе на природном газе. Таким образом, увеличивается эффективность эксплуатации и обеспечивается экономия газа.
- ★ Для отдаленных участков, на которых отсутствуют надежные источники электроэнергии, часто необходимо производить оценку возможности использования альтернативных источников. При возможности использования воздушных компрессоров, работающих на солнечных батареях, достигается экономический и экологический эффект, по сравнению с вариантами подачи дорогой электроэнергии на отдаленные участки. Другим рентабельным вариантом является производство электроэнергии на местах в микротурбинах, работающих на природном газе.
- ★ Одновременная установка регуляторов с низкими утечками и переход на систему технологического воздуха часто является экономически эффективными.
- ★ Возможно использование существующей системы труб, которые должны быть предварительно очищены для дальнейшего использования.
- ★ Воздушные компрессоры ротационного типа обычно имеют масляную смазку, которая должна проходить через фильтр в целях поддержания исправной работы мембранных осушителей и увеличения срока их эксплуатации.
- ★ Применение технологического воздуха исключает опасность, связанную с использованием воспламеняемого природного газа в пневматических устройствах.
- ★ Системы, работающие на азоте, могут применяться в качестве альтернативы системам технологического воздуха в особых случаях, но являются дорогостоящими и опасными ввиду наличия сжиженного газа.
- ★ Необходимо включать данные по сокращению эмиссии метана от переоборудования газовых пневматических устройств на потребление технологического воздуха в ежегодные отчеты по программе Natural Gas STAR.

Литература

Adams, Mark. *Pneumatic Instrument Bleed Reduction Strategy and Practical Application*, Fisher Controls International, Inc., 1995.

Beitler, C.M., Reif, D.L., Reuter, C.O. and James M. Evans. *Control Devices Monitoring for Glycol Dehydrator Condensers: Testing and Modeling Approaches*, Radian International LLC, Gas Research Institute, SPE 37879, 1997.

Cober, Bill. C&B Sales and Services, Inc. Personal contact.

Fisher, Kevin S., Reuter, Curtis, Lyon, Mel and Jorge Gamez. *Glycol Dehydrator Emission Control Improved*, Radian Corp., Public Service Co. of Colorado Denver, Gas Research Institute.

Frederick, James. Spirit Energy 76. Personal contact.

Games, J.P., Reuter, C.O. and C.M. Beitler, *Field Testing Results for the R-BTEX Process for Controlling Glycol Dehydrator Emissions*, Gas Research Institute, Radian Corporation, SPE 29742, 1995.

Gunning, Paul M. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Gupta, Arun, Ansari, R. Rai and A.K. Sah. *Reduction of Glycol Loss From Gas Dehydration Unit At Offshore Platform in Bombay Offshore: A Case Study*, N.A.K.R. IOGPT, ONGC, India, SPPE 36225, 1996.

Reid, Laurance, S. *Predicting the Capabilities of Glycol Dehydrators*, SPE-AIME, Laurance Reid Associates.

Scalfana, David B., *Case History Reducing Methane Emissions From High Bleed Pneumatic Controllers Offshore*, Chevron U.S.A. Production Co. SPE 37927, 1997.

Schievelbein, V.H., *Hydrocarbon Recovery from Glycol Reboiler Vapor With Glycol-Cooled Condenser*, Texaco, Inc. SPE 25949, 1993.

Schievelbein, Vernon H. *Reducing Methane Emissions from Glycol Dehydrators*, Texaco EPTD, SPE 37929, 1997.

Soules, J.R. and P.V. Tran. *Solar-Powered Air Compressor: An Economical and Ecological Power Source for Remote Locations*, Otis Engineering



United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA-430-B-04-003
Февраль 2004 г.