

Опыт применения



От партнеров программы Natural Gas STAR

DIRECTED INSPECTION AND MAINTENANCE AT GAS PROCESSING PLANTS AND BOOSTER STATIONS

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ И БУСТЕРНЫХ СТАНЦИЙ

Аннотация

Заводы по переработке природного газа и сопутствующие им бустерные компрессорные станции выбрасывают приблизительно 36 миллиардов кубических футов (1 млрд. м³) метана ежегодно. Более 24 млрд. фут.³ (720 млн. м³) общих потерь метана на газовых заводах происходит в результате утечек из компрессоров с нарушенной герметичностью и других узлов оборудования типа клапанов, соединительных муфт, уплотнений и патрубков. Выполнение Программы целенаправленного обследования и технического обслуживания (ЦОТО) - это проверенный, экономически эффективный способ, позволяющий обнаруживать, измерять, определять приоритетность ремонтных работ и устранять утечки в оборудовании с целью уменьшения выбросов метана.

ЦОТО начинается с исследования базовых условий для установления и определения количества утечек. Затем выполняется ремонт только того оборудования, устранение утечек которого является экономически обоснованным с учетом стоимости ремонта, предполагаемого срока эксплуатации до ремонта и периода окупаемости. Последующие проверки планируются на основе данных предыдущих проверок, что позволяет операторам более тщательно следить за теми узлами оборудования, которые могут давать утечки, и ремонт которых рентабелен. Исследования базовых условий газоперерабатывающих заводов партнеров программы Natural Gas STAR показали, что большая часть метана выделяется из относительно небольшого числа узлов оборудования с нарушенной герметичностью. Клапаны являются источником наибольших утечек (30%), далее следуют соединительные муфты (24%) и уплотнения компрессора (23%). Оставшиеся 23% потерь метана приходятся, прежде всего, на патрубки, картеры, ограничители давления и уплотнения насосов.

Партнеры по переработке природного газа Natural Gas STAR сообщают о значительной экономии и снижении эмиссии метана при выполнении программы ЦОТО. Исследования, проведенные на четырех заводах Агентством охраны окружающей среды США (EPA) и Институтом технологии газа (GTI), показали, что выполнение программы ЦОТО на газоперерабатывающих заводах позволило сократить выбросы метана до 96% и сэкономить до \$164 000 на один завод.

Источник утечки	Эмиссия метана	Метод снижения потерь метана	Возможное снижение эмиссии	Стоимость выполнения	Ежегодная экономия партнера при цене газа \$3/тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³)
Эмиссия метана от газоперерабатывающих заводов и бустерных станций	45 000 - 128 000 тыс. фут. ³ /год (1 350 000 - 3 840 000 м ³) на газовый завод	Целенаправленное обследование и техобслуживание	До 96%, в среднем 77%	\$14 000 - \$50 000 на проверку и измерение утечек, \$39 000 - \$78 000 на ремонт	\$58 000 - \$164 000 /год на газовый завод

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

Введение

Выбросы в атмосферу вследствие утечек из оборудования составляют более 80% от ежегодных утечек природного газа на газоперерабатывающих заводах и бустерных станциях. Эмиссия газа из выпускных отверстий, оборудования внутреннего сгорания и систем сжигания составляет оставшиеся 20% утечек газа и выбросов метана. Партнеры Natural Gas STAR показали, что программа ЦОТО позволяет устранить до 96% утечек газа и, соответственно, 80% выбросов метана вследствие технологических утечек из оборудования. В данном исследовании серии “Опыт применения” описываются методы и технологии, которые могут использоваться для успешного осуществления программы ЦОТО.

Описание технологии

Программа ЦОТО начинается с детального обследования базовых состояний с целью выявления узлов с нарушенной герметичностью. Измеряется массовый объем эмиссии из узлов, через которые происходит утечка газа, оценивается стоимость ремонта и рассчитывается период окупаемости ремонта по каждой утечке. Данные по утечкам и стоимости ремонта, полученные в результате основных проверок, затем используются для проведения последующих осмотров, позволяя операторам сконцентрировать внимание на узлах, предрасположенных к утечкам и ремонт которых рентабелен.

В последующих разделах описываются различные методы определения утечек и измерений, которые могут использоваться как часть программы ЦОТО на газоперерабатывающих заводах и бустерных станциях.

Методы обнаружения утечек

Методы обнаружения утечек, являющиеся составной частью программы ЦОТО, могут применяться в отношении всех компонентов в период проведения расширенного обследования их базовых состояний или же только для узлов, подверженных значительному нарушению герметичности. Ниже приводится рекомендованный перечень методов обнаружения утечек.

- ★ **Использование мыльных растворов** является оперативным, простым и недорогим методом определения мест утечек, при котором мыльный раствор наносится на мелкие, доступные узлы типа резьбовых соединений. Применение мыльного раствора эффективно для выявления ослабления фитингов и соединений, которые можно устранить на месте и тем самым исключить утечки, а также для оперативной проверки герметичности после выполнения ремонта. Многие источники эмиссии метана, обнаружение, измерение и устранение которых приносит прибыль, в большинстве своем больше по размеру, чем небольшие утечки, обнаруживаемые мыльным раствором. Однако, поскольку проверка методом нанесения мыльного раствора является быстрой и дешевой, ее можно легко включить в процедуру текущих ремонтов.
- ★ **Электронная индикация** проводится с использованием небольших переносных детекторов или газоанализаторов и является другим оперативным методом обнаружения мест утечек. Электронные газоанализаторы оснащены термокаталитическими датчиками и датчиками теплопроводности для обнаружения присутствия определенных газов и могут использоваться на больших открытых участках, где невозможно нанесение мыльного раствора. Электронный метод определения утечек менее оперативен по сравнению с использованием мыльного раствора (в среднем 50

обследований за час), и определение мест утечек на его основе может быть затруднено при большой концентрации углеводородных газов. Электронные газоанализаторы могут использоваться на больших открытых поверхностях, которые сложно обследовать, используя метод нанесения мыльного раствора.

★ **Применение анализаторов органических паров (OVA) и анализаторов токсичных паров (TVA),** которые

представляют собой портативные детекторы углеводородов и также могут использоваться для определения утечек. Анализатор OVA является пламенно-ионизационным детектором (FID), который позволяет измерять концентрацию органических паров в диапазоне 9-10 000 ppm. Анализатор TVA объединяет FID и фотоионизационный детектор (PID) и предназначен для измерения концентраций органических паров, превышающих 10 000 ppm. Анализаторы TVA и OVA позволяют определять концентрацию метана в зоне утечки.

Утечки обнаруживают путем направления впускного отверстия зонда на отверстие, откуда возможно появление утечки. В ходе медленного перемещения зонда вдоль поверхности контакта или отверстия считываются показания концентрации до момента достижения максимального уровня. Максимальная зарегистрированная концентрация принимается в качестве показания величины обнаруженной утечки. Обследование с применением анализатора TVA происходит медленнее, примерно 40 узлов за час, и прибор нуждается в частой калибровке. На крупных заводах анализаторы токсичных паров применяются для диагностики утечек летучих органических соединений (VOC), так что эти же приборы можно использовать и для обнаружения утечек метана.

- ★ **При акустическом обнаружении утечек** с помощью портативного акустического устройства измеряется звуковой сигнал, возникающий при выходе из отверстия газа, находящегося под высоким давлением. При перемещении турбулентного потока газа из зоны высокого давления в зону низкого давления через место утечки возникает акустический сигнал, который обнаруживается портативным датчиком или зондом, а затем усиливается и регистрируется в измерительной системе.

Рис. 1: Анализатор токсичных паров



Источник: Thermo Environmental Instruments Inc

Рис. 2: Акустическое обнаружение утечки



Источник: Physical Acoustics Corp.

Акустические детекторы не позволяют измерять объем утечек, но с их помощью можно определить относительные размеры мест утечек, так как высокоинтенсивный или "громкий" звук указывает на более высокий уровень утечки. Акустические приборы разрабатываются для обнаружения сигналов как высокой, так и низкой частоты.

Высокочастотное акустическое обнаружение наиболее целесообразно применять в условиях постороннего шума и возможности размещения датчика непосредственно на месте утечки. На рис. 2 показана установка акустического датчика на диагностируемый узел для обнаружения утечки. Акустические датчики особенно удобны для обнаружения утечек, связанных с клапанами, типа выпускных, предохранительных устройств сброса давления, соединенных с вентиляционными отводами для газов. Другим вариантом является применение ультразвукового метода обнаружения утечек, основанного на регистрации распространяющихся в воздушной среде ультразвуковых сигналов в диапазоне 20 кГц - 100 кГц. Ультразвуковые детекторы оснащены портативным акустическим зондом или сканером, который позволяет находить источник утечки на расстоянии до 100 футов (30,5 м). При обнаружении утечки возрастает громкость звука в наушниках. Ультразвуковые детекторы могут быть чувствительны к фоновым шумам, хотя многие модели оснащаются специальными частотными фильтрами, что позволяет настроить зонд на определенный вид утечки при повышенном уровне внешних помех.

Технологии измерения утечек

Важным составляющим компонентом программы ЦОТО является измерение удельных массовых эмиссий или объемов утечек из выявленных источников, что позволяет направлять специалистов и средства на ремонт участков только с высокой интенсивностью утечек, где проведение ремонтных работ рентабельно. Обычно используются четыре метода измерений:

- ★ **Анализаторы токсичных паров (TVA)** могут применяться для оценки удельных массовых эмиссий. Измеренные анализатором в ppm концентрации преобразуются в удельную массовую эмиссию на основе уравнения пересчета. Главным недостатком применения TVA для измерения утечек метана является то, что уравнение пересчета обычно не учитывает специфику участка. При этом удельные массовые эмиссии, полученные на основе TVA с использованием уравнения пересчета, отличаются от реальных значений в два-три раза. В исследованиях, проведенных партнерами программы Natural Gas STAR совместно с Агентством охраны окружающей среды США (EPA), Институтом газа (GRI), сейчас Институт технологии газа (GTI), и Американской газовой ассоциацией (AGA), установлено, что чувствительность или "пороговые" значения в 10 000 ppm или 100 000 ppm анализаторов токсичных паров не позволяют находить источники утечек метана, устранение которых рентабельно. Ввиду того, что использование общего уравнения пересчета в TVA влияет на точность измерений, разработка новых уравнений пересчета, учитывающих условия участка, может повысить эффективность определения фактических объемов утечек.

★ **Метод отбора в газосборные емкости** обычно используется для измерения удельной массовой эмиссии из мест утечек. Место утечки или весь узел накрывают "мешком" или тентом. Инертный газ, например, азот, подается в емкость с известным расходом. После наполнения мешка из него отбирается проба газовой смеси и измеряется концентрация метана. Удельная массовая эмиссия рассчитывается на основе измеренной концентрации метана в газосборном мешке и скорости подачи в него инертного газа. Метод отбора в газосборные емкости достаточно точный (погрешность от $\pm 10\%$ до 15%), но медленный (только два-три образца в час). Он также удобен для непосредственного измерения больших утечек, но неприемлем для измерений на очень крупных узлах оборудования, имеющих сложную форму и расположенных в недоступных местах.

★ **Пробоотборники больших объемов** полностью улавливают утечки из узлов с нарушенной герметичностью и позволяют точно определять их скорость. На рис. 3 показано измерение утечки с использованием пробоотборника большого объема. Измеряемый газ и большой объем воздуха в месте утечки на узле с нарушенной герметичностью нагнетаются в прибор через вакуумный шланг. Пробоотборники больших объемов оснащены двумя детекторами углеводородов для измерения концентрации углеводородных газов в отобранной пробе и в воздухе. Результаты измерений корректируются с учетом концентрации углеводородов в воздухе, при этом удельная массовая эмиссия рассчитывается путем умножения скорости потока отбираемой пробы на разницу концентраций газа в ней и в воздухе. Объем эмиссии метана определяется путем калибровки детекторов углеводородов с учетом диапазона концентраций метана в воздухе.



Пробоотборники больших объемов оборудованы специальным устройством, обеспечивающим полное улавливание метана и исключающим его попадание из близлежащих источников. Пробоотборники больших объемов позволяют измерять утечки со скоростью до 8 фут.³/мин. (0,22 м³/мин.), что соответствует 11,5 тыс. фут.³/сут. (325 м³/сут.). Утечки со скоростью выше 8 фут.³/мин. (0,22 м³/мин.) следует измерять методом отбора в газосборные емкости или расходомером. Два оператора за час могут выполнить измерения на 30 узлах оборудования с помощью пробоотборника больших объемов, в то время как метод отбора в газосборные емкости позволяет провести только 2-3 измерения в час.

★ **Ротаметр** и другие расходомеры применяются для измерений исключительно больших утечек, которые нельзя выполнить с помощью других приборов. На расходомеры газ от источника утечки обычно поступает через калибровочную трубку. Поток приподнимает в трубке "поплавок" на высоту, пропорциональную скорости утечки. Ввиду громоздкости ротаметров их целесообразно использовать на патрубках сброса и узлах, на которых весь поток может быть полностью направлен через счетчик. Показания ротаметров и других устройств измерения потока могут быть дополнены данными, полученными с применением пробоотборников больших объемов или метода отбора в газосборные емкости анализаторов токсичных паров (TVA).

На рис. 4 приведены обобщенные данные по применению, эффективности и примерной стоимости способов обнаружения утечек, а также указаны изложенные выше методы проведения измерений.

Рис. 4: Технологии обнаружения и измерения утечек			
Прибор/Технология	Применение	Эффективность	Примерные капитальные затраты
Мыльный раствор	Малые источники утечки, типа соединительных муфт.	Только проверка.	Менее \$100
Электронные газоанализаторы	Фланцы, воздушные вентили, большие зазоры и свечные краны.	Только проверка.	Менее \$1 000
Акустические детекторы/ультразвуковые детекторы	Все узлы, крупные утечки, газ под давлением и недоступные узлы	Только проверка.	\$1 000 - \$20 000 (зависит от чувствительности прибора, размера, смежного оборудования)
TVA (пламенно-ионизационный детектор)	Все узлы.	Лучше всего только для обнаружения. Измерение требует корреляции с размером утечки непосредственно на участке.	Менее \$10 000 за прибор (в зависимости от чувствительности /размера)
Отбор в газосборные емкости	Наиболее доступные узлы.	Только измерения. Трудоемкий процесс.	Менее \$10 000 за анализ (в зависимости от стоимости образца)
Пробоотборник большого объема	Наиболее доступные узлы (интенсивность утечки <11,5 тыс. фут ³ в сутки) (325 м ³ /сутки).	Обнаружение и измерение	> \$10 000
Ротаметр	Утечки очень больших объемов.	Только измерение.	Менее \$1 000

Принятие решения

Программа ЦОТО включает четыре этапа: (1) исследование базовых условий; (2) регистрация результатов и определение узлов для проведения экономически эффективных ремонтных работ; (3) анализ данных, выполнение ремонта, оценка экономии метана и (4) разработка плана последующих обследований и мониторинга оборудования, подверженного утечкам.

Этап 1: Исследование базовых условий. Программа ЦОТО обычно начинается с обследования базового состояния мест возможных утечек. После выявления узлов с утечками получают точные данные измерений скорости утечек, используя метод отбора в газосборные емкости, пробоотборник больших объемов или анализатор токсичных паров, настроенный на специфическую концентрацию газа на участке. Партнеры программы установили, что измерения утечек с применением пробоотборника больших объемов экономически эффективны, оперативны и точны.

Перед исследованием базовых условий операторы газового завода могут не располагать точным перечнем элементов оборудования. Начальные оценки показали, что их на 40% меньше, чем фактических узлов, подсчитанных во время первоначального обследования. Число элементов оборудования зависит от размера и сложности установки. Обследование базового состояния оборудования, проведенное EPA и GRI на четырех газоперерабатывающих заводах, показало, что число фактических узлов находилось в пределах от 14 до 200 на мелких установках и до более 56 400 узлов на самых крупных установках.

Стоимость полного обследования базового состояния с использованием пробоотборников больших объемов составляет приблизительно \$1,00 на узел оборудования или приблизительно \$15 000 - \$20 000; для газового завода среднего размера (в ценах 2000 г.). Партнеры обнаружили, что стоимость последующих обследований по программе ЦОТО на 25 - 40% ниже стоимости начальных. При дальнейших обследованиях оборудования внимание уделяется в основном узлам, подверженным утечкам. На некоторых агрегатах газового завода проверки на утечку и измерения следует чаще проводить во время регулярного планового осмотра и текущего ремонта. Для других узлов оборудования простая и быстрая проверка на утечку может быть включена в повседневную текущую работу и процедуру техобслуживания. Некоторые операторы обучают персонал проведению осмотров для выявления утечек, другие привлекают независимых консультантов для проведения исследований базовых условий.

Эмпирический метод

Начальная стоимость обследования базового состояния = \$1,00 на узел оборудования

Этап 2: Регистрация результатов и определение узлов, подлежащих ремонту. Измерения утечек, полученные в ходе выполнения Этапа 1, должны анализироваться на выявление источников и устранение утечек с наибольшей экономической эффективностью. Определяется приоритетность устранения источников утечек путем сравнения стоимости упущенного природного газа и оценочных затрат на материалы, оплату труда рабочим, простои оборудования во время устранения утечки. Некоторые утечки легко устраняются на месте простой затяжкой соединительных элементов. Другие виды ремонта более сложны и требуют простоя оборудования. Операторы могут отмечать места утечек на оборудовании идентификационными ярлыками для того, чтобы утечки можно было устранить позднее. Иногда большие утечки обнаруживаются на узлах оборудования, которое обычно проверяется только при плановых осмотрах, в этом случае может быть предложен план профилактического ремонта для устранения утечек без дополнительных затрат.

После обнаружения и измерения утечек операторы должны зарегистрировать исходные данные с тем, чтобы последующие исследования направлялись только на узлы с высокой интенсивностью утечек. Результаты проведения программы ЦОТО можно отслеживать любым

удобным методом и в любом формате. Ниже приведены данные, которые операторы предлагают регистрировать:

Этапы принятия решения для программы ЦОТО

1. Исследование базовых условий.
2. Регистрация результатов и определение узлов, подлежащих ремонту.
3. Анализ данных и оценка экономии.
4. Разработка плана обследования для будущего выполнения программы ЦОТО.

- ★ идентификационный знак для каждого места утечки;
- ★ тип узла (например, сбросной патрубок);
- ★ измеренная скорость утечки;
- ★ дата проведения обследования;
- ★ оценочная годовая потеря газа;
- ★ оценочная стоимость ремонта.

Данная информация позволит правильно скоординировать последующие исследования эмиссии, установит приоритетность будущих ремонтных работ и может быть использована для анализа объемов экономии газа и экономической эффективности проведения программы ЦОТО.

Исследования базовых условий, проведенные на более чем 100 000 узлах оборудования на четырех управляемых партнерами газоперерабатывающих заводах, показали, что утечки имели только 3% узлов оборудования. Однако на долю этих узлов приходилось 82% всей эмиссии метана с четырех заводов, в целом более 265 млн. фут.³ (7,42 млн. м³) в год. Результаты показали, что детали оборудования, подверженные вибрации, частому использованию или температурным колебаниям, наиболее часто пропускают газ.

На рис. 5 показано измеренное среднее количество выбросов метана из негерметичных узлов оборудования газового завода, а также средняя стоимость ремонта различных узлов. Данные рис. 5 можно использовать для определения утечек оборудования газового завода, обнаружение и устранение которых имеет наименьшую стоимость. Например, многие из крупных утечек могут быть связаны с компрессорами, однако устранение этих утечек обычно бывает наиболее дорогим. С другой стороны, затраты на устранение утечек из соединительных муфт небольшие. На основе данных рис. 5, можно предполагать, что своевременное обслуживание таких узлов оборудования как фланцы, клапаны и патрубки позволяет эффективно снижать выбросы метана в атмосферу.

Этап 3: Анализ данных и оценка экономии. Сравнивая затраты на ремонт с оценочной стоимостью утечки, можно определить, возможен ли рентабельный ремонт. Ремонт с наименьшими затратами - это

Рис. 5: Средние показатели эмиссии метана и стоимость ремонта выбранных узлов газоперерабатывающего завода				
Название узлов	Газовый завод без компрессоров, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/год/узел	Поршневой компрессор, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/год/узел	Центробежный компрессор, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/год/узел	Средняя стоимость ремонта, \$
Компрессор открытого трубопровода (ОТ)	-	1 417 (40,1)	2 887 (81,7)	\$5 000
Устройство запуска (ОТ)	-	1 341 (38)	1 341 (38)	-
Сбросной патрубок	742 (21)	-	-	\$75
Другие устройства (ОТ)	43 (1,2)	-	-	\$65
Уплотнение компрессора	-	1 440 (40,7)	485 (13,7)	\$2 000
Клапан	25 (0,7)	-	-	\$130
Разгрузочный клапан	3,9 (0,1)	308 (8,7)	-	\$150
Прокладки цилиндра; топливный клапан	-	127 (3,6)	63,4 (1,8)	\$125
Соединение	6,7 (0,2)	-	-	\$25
Фланец	88,2 (2,5)	89,7 (2,5)	115 (3,2)	\$150
Источник: Показатели выбросов метана представляют собой средневзвешенные показатели измерений выбросов, зарегистрированные в двух исследованиях: <i>U.S.EPA, Gas Research Institute (сейчас Gas Technology Institute), и Radian Intl., 1996, Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Volume 8: Equipment Leaks; и Gas Technology Institute and Clearstone Engineering, 2002, Identification and Evaluation of Opportunities to Reduce Methane Losses at Four Gas Processing Plants/Определение и оценка возможности снижения потерь метана на четырех газоперерабатывающих заводах</i>. Данные стоимости ремонта приводятся в долларах 2000 года на основе исследования GTI/Clearstone. Примечание: Показатели выбросов метана соответствуют среднему объемному содержанию метана в природном газе, который равен 87%. Показатели выбросов от компрессоров, которые подают газ на сжигание в факеле, и деталей компрессоров, в которых не используются пускатели на природном газе, составляют 11%.				

важнейшая часть успешной программы ЦОТО, так как наибольшей экономии можно добиться в том случае, когда устранение утечек рентабельно.

Проверка оборудования на утечки и оценка стоимости ремонта на четырех газовых заводах показала, что за 6 месяцев и меньше окупается ремонт 78% узлов оборудования, подверженных утечкам. Кроме того, 92% ремонтов, связанных с устранением утечек, окупались менее, чем за 1 год, а устранение 94,5% утечек окупилось менее, чем за 4 года.

На рис. 6 показан пример расчета экономии газа при устранении 10 наибольших утечек на отдельном газовом заводе. Этот пример поясняет, как следует проводить расчет для выявления тех утечек, которые можно устранить с наименьшими затратами для каждого определенного узла оборудования.

Рис. 6: Пример возможной экономии газа при устранении десяти крупнейших утечек на одном газоперерабатывающем заводе

Название узлов	Экономия газа, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/год	Величина сэкономленного газа при \$3/тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³), \$/год	Стоимость ремонта, \$	Период окупаемости
Конический клапан (утечка через седло клапана)	4 214 (119)	\$12 642	\$200	5-6 дней
Муфта на топливном газопроводе	4 052 (114,7)	\$12 156	\$100	3-4 дня
Резьбовое соединение	3 482 (98,6)	\$10 446	\$10	Ближайший
Конический клапан на линии для отвода газа на сжигание в факеле	3 030 (85,8)	\$9 090	\$200	8 дней
Регулятор	2 572 (72,8)	\$7 716	\$200	10 дней
Прокладка цилиндра двойного действия	2 550 (72,2)	\$7 650	\$2 000	3 месяца
Патрубок	2 320	\$6 960	\$60	3-4 дня
Муфта на топливном газопроводе	2 204	\$6 612	\$100	5-6 дней
Сальники	1 928	\$5 784	\$2 000	4 месяца
Запорный клапан	1 576	\$4 728	\$60	4-5 дней
Всего	27 928	\$83 784	\$4 930	21 день

Партнеры Natural Gas STAR обнаружили, что эффективным способом анализа результатов обследования базовых условий является составление перечня, в котором указываются все утечки, связанная с ними стоимость ремонта, ожидаемая экономия газа и предполагаемый срок службы отремонтированного узла. Используя эту информацию, можно легко рассчитать такие экономические показатели, как чистая приведенная стоимость или период окупаемости ремонта каждого узла оборудования, имеющего утечки. Далее партнеры могут определить, ремонт каких агрегатов является рентабельным.

На рис. 7 и 8 приведен анализ, который можно использовать для определения относительной рентабельности по программе ЦОТО для выбранных узлов газового завода. Данные по стоимости, число узлов и средние показатели газовой эмиссии из некоторых узлов оборудования основываются на данных, полученных при осуществлении программы ЦОТО на четырех газоперерабатывающих заводах. На рис. 7 отражены исходные стоимости обследования базовых условий, ремонта негерметичных соединений, разгрузочных клапанов, патрубков и других узлов. На рис. 8 представлены результаты экономического анализа осуществления программы ЦОТО по выбранным узлам оборудования на основе исходных данных рис. 7.

Рис. 7: Базовая стоимость для анализа движения средств по программе ЦОТО для некоторых узлов газоперерабатывающего завода

Тип узла		Число узлов на газовый завод	Оценка стоимости проверки	При допущении 3% утечки	Оценка стоимости ремонта, \$/узел	Полная стоимость ремонта	Общая стоимость поисков и устранения утечек
Соединения	На компрессоре	2135	\$2 135	64	\$5	\$320	\$2 455
	Вне компрессора	7664	\$7 664	230	\$-	\$0	\$7 664
	Всего соединений	9799	\$9 799	294			\$10 119
Разгрузочный клапан	На компрессоре	13	\$13	1	\$150	\$150	\$163
	Вне компрессора	48	\$48	1	\$150	\$150	\$198
	Всего для разгрузочных клапанов	61	\$61	2			\$361
Открытый трубопровод	Сбросный патрубок	15	\$15	1	\$5 000	\$5 000	\$5 015
	Пускатель	15	\$15	1	\$1 000	\$1 000	\$1 015
	Сбросный патрубок	1	\$1	1	\$75	\$75	\$76
	Прочие узлы	171	\$171	5	\$65	\$325	\$496
	Всего по открытому трубопроводу	202	\$202	8			\$6 602
Другие узлы	На компрессоре	309	\$309	9	\$175	\$1 575	\$1 884
	Вне компрессора	1825	\$1 825	55	\$130	\$7 150	\$8 975
	Всего по другим узлам	2134	\$2 134	64			\$10859
Предположения: Данные по стоимости и численности узлов приведены из исследования GTI/Clearstone 2000 г. Стоимость ремонта соединений вне компрессора предполагает, что ремонт выполняется на месте простой затяжкой соединений.							

В результате анализа данных на рис. 8 можно сделать заключение, что программа ЦОТО наиболее экономически эффективна для узлов оборудования типа кранов, разгрузочных клапанов компрессоров. Утечки из таких узлов относительно легко обнаружить, классифицировать и измерить, и их устранение обеспечивает значительную экономию газа. Ремонт компрессора и соединений вне компрессора тоже может быть рентабельным. Однако возможная экономическая выгода от ремонта этого оборудования, связанного с проверкой большого числа соединений, может быть ограничена малой средней интенсивностью утечек, высокими затратами на их поиск и устранение. Максимально экономически выгоден ремонт, который может выполняться на месте, типа затяжки неплотного фитинга. Для других узлов выгоды от выполнения программы ЦОТО зависят от объемов утечек, возможной экономии газа и стоимости ремонта. Рис. 8 позволяет предполагать, что программа ЦОТО целесообразна для негерметичных компрессорных клапанов, но может оказаться неэффективной для

других клапанов, имеющих меньшую среднюю интенсивность утечки, если проверка на герметичность и ремонт не включены в процедуру техобслуживания.

Рис. 8: Пример экономического анализа по программе ЦОТО для выбранных узлов газоперерабатывающего завода

Тип узла		Общая стоимость поиска и устранения утечки	Экономия газа, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/узел/год	Полная годовая экономия газа, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)	Объем сэкономленного газа (\$3/тыс. фут. ³) (\$106/тыс. м ³)	Движение ликвидности Год 1	Движение ликвидности Год 2	Чистая приведенная стоимость	Период окупаемости (Годы)
Соединения	На компрессоре	\$2 455	6,7 (0,2)	429 (12,1)	\$1 287	(\$1 168)	\$1 287	\$2	1,9
	Вне компрессора	\$7 664	6,7 (0,2)	1 540 (43,6)	\$4 621	(\$3 043)	\$4 621	\$1 053	1,6
	Всего соединений	\$10 119	6,7 (0,2)	1 970 (55,8)	\$5 909	(\$4 210)	\$5 909	\$1 056	1,7
Разгрузочный клапан	На компрессоре	\$163	308 (8,7)	308 (8,7)	\$924	\$761	\$924	\$1 455	0,2
	Вне компрессора	\$198	3,9 (0,1)	4 (0,1)	\$12	(\$186)	\$12	(\$160)	16,9
	Всего для разгрузочных клапанов	\$361		312 (8,8)	\$936	\$575	\$936	\$1 296	0,4
Открытый трубопровод	Сбросный патрубок	\$5 015	2 152 (61)	2 152 (61)	\$6 456	\$1 441	\$6 456	\$6 646	0,8
	Пускатель	\$1 015	1 341 (38)	1 341 (38)	\$4 023	\$3 008	\$4 023	\$6 059	0,3
	Сбросный патрубок	\$76	742 (21)	742 (21)	\$2 226	\$2 150	\$2 226	\$3 794	0,3
	Прочие узлы	\$496	43 (1,2)	215 (6,1)	\$645	\$149	\$645	\$669	0,8
	Всего по открытому трубопроводу	\$6 602		4 450 (126)	\$13 350	\$6 748	\$13 350	\$17 168	0,5
Другие узлы	На компрессоре	\$1 884	95 (2,7)	855 (24,2)	\$2 565	\$681	\$2 565	\$2 739	0,7
	Вне компрессора	\$8 975	25 (0,7)	1 375 (39)	\$4 125	(\$4 850)	\$4 125	(\$1 000)	2,2
	Всего по другим узлам	\$10 859		2 230 (63,1)	\$6 690	(\$4 169)	\$6 690	\$1 739	1,6

Предположения: Данные по стоимости и численности узлов приведены из исследования GTI/Clearstone 2000 г. Стоимость ремонта соединений вне компрессора предполагает, что ремонт выполняется на месте простой затяжкой соединений.

Этап 4: Разработка плана обследования для будущего выполнения программы ЦОТО. Конечным этапом программы ЦОТО является разработка плана будущих исследований и техобслуживания, учитывающего результаты обследования базового состояния. Эффективный план обследования по программе ЦОТО должен включать следующие моменты:

- ★ Перечень комплектующих узлов, подлежащих обследованию и тестированию, а также перечень деталей оборудования, которые следует исключить из обследования.
- ★ Приборы обнаружения, измерения и технологии сбора, регистрации и оценки данных, полученных по программе ЦОТО.
- ★ График обнаружения и измерения утечек.
- ★ Экономическая эффективность устранения утечек.
- ★ Результаты и анализ предыдущих обследований и технического обслуживания для формирования задач последующих исследований по программе ЦОТО.

Операторы должны составить отвечающий уникальным характеристикам и процессам завода график обследования по программе ЦОТО с учетом максимальной экономии метана и наименьших затрат. Некоторые партнеры планируют осуществление программы ЦОТО на основе ожидаемого срока службы узлов оборудования, отремонтированных во время предыдущих обследований. Другие партнеры основывают периодичность последующих действий на циклах техобслуживания и состоянии оборудования. Программа ЦОТО является гибкой, и оператор может увеличить периодичность последующих проверок в случае обнаружения многочисленных, больших или повторяемых утечек. Последующие проверки могут касаться узлов оборудования, отремонтированных во время предыдущих проверок или определенных как наиболее подверженные утечке. Со временем операторы могут продолжить точную регулировку объема и частоты обследований оборудования на основе сформировавшихся моделей утечек.

Расчет экономии

Потенциальная экономия газа при выполнении программы ЦОТО варьируется в зависимости от срока эксплуатации и размера завода, числа и типов узлов, включенных в программу, а также эксплуатационных характеристик установки. Партнеры Natural Gas STAR обнаружили, что начальные затраты на исследование базовых условий быстро компенсируются экономией газа. Ниже даются два примера возможной экономии по программе ЦОТО. Первый пример отражает результаты совместного исследования, проведенного Агентством охраны окружающей среды США и Институтом технологии газа, на четырех газовых заводах, а второй пример - исследование, проведенное партнером Natural Gas STAR - компанией Dynegy Inc.

Совместное исследование по программе ЦОТО на четырех газоперерабатывающих заводах

Для осуществления программы ЦОТО Агентство охраны окружающей среды США и Институт технологии газа выбрали четыре газовых завода. Срок эксплуатации заводов варьируется от 20 до 50 лет. Их производительность изменялась от 60 млн. фут.³ газа в сутки (1,68 млн. м³ в сутки) до 210 млн. фут.³ газа в сутки (5,88 млн. м³ в сутки). Проверка на утечку проводилась методом нанесения мыльного раствора и с использованием переносных детекторов углеводородных газов. Узлы оборудования, подверженные утечкам, помечались бирками, а интенсивность утечки измерялась пробоотборниками большого объема.

На рис. 9 показан расчетный годовой объем природного газа, потерянного в виде выбросов в атмосферу, и потенциальная экономия от выполнения программы ЦОТО для этих четырех заводов. Основные результаты исследования заключаются в следующем:

- ★ Стоимость исследования базовых условий на каждом опытном заводе оценивалась приблизительно в \$1,00 на узел оборудования или \$15 000 - \$20 000 на газовый завод.
- ★ На клапаны, соединители, уплотнения компрессора и патрубки приходилась большая часть выбросов метана.
- ★ Было обнаружено, что менее 3% узлов оборудования подвержены утечкам.
- ★ Из общего числа утечек, обнаруженных на отдельных заводах, 50 - 96 могли быть устранены с наименьшими затратами.
- ★ Стоимость ремонта варьировалась от незначительной до \$5 000, в зависимости от типа узла и вида ремонта. Большинство отремонтированных узлов оборудования имело оценочный срок эксплуатации после ремонта до двух лет.

Рис. 9: Оценка потенциальной экономии по программе ЦОТО на четырех газоперерабатывающих заводах							
Завод	Эмиссия метана на заводе, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/сутки	Годовой объем потерянного газа, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)/год	Объем потерянного газа при \$3/тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³), \$/год	Процент эмиссии, устраняемой с наименьшими затратами	Стоимость обследования базовых условий, \$	Полная стоимость ремонта, \$	Чистая экономия при \$3/тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³), \$/год
1	123 (3,5)	44 895 (1 271,3)	\$134 685	90%	\$16 050	\$44 725	\$60 442
2	207 (5,8)	75 555 (2 139,5)	\$226 665	95%	\$14 424	\$39 300	\$161 608
3	352 (10)	128 480 (3 638,1)	\$385 440	50%	\$56 463	\$77 900	\$58 357
4	211 (5,9)	77 015 (2 181)	\$231 045	96%	\$14 168	\$43 450	\$164 185
Всего	893 (25,3)	325 945 (9 229,7)	\$977 835	77%	\$101 105	\$205 375	\$444 592

Исследование компании Dynegy

Партнер Natural Gas STAR компания Dynegy Inc. провела экспериментальное исследование по программе ЦОТО на двух газоперерабатывающих заводах. Это два крупных завода со сроком эксплуатации 35 лет (производительность более 50 млн. фут.³ газа) (14 млн. м³). Один завод перекачивает газ, не содержащий сероводород; другой перерабатывает высокосернистый газ. Проверка на утечку проводилась методом нанесения мыльного раствора, портативных детекторов углеводородов и ультразвуковых детекторов. Измерение утечек проводилось с помощью пробоотборников больших объемов, методами отбора в газосборные емкости и ротаметром для утечек, интенсивность которых превышала верхний предел пробоотборника большого объема. Для каждой установленной утечки определялись экономически выгодные варианты снижения выбросов метана путем сравнения стоимости ремонта или замены оборудования со стоимостью газа, который будет сэкономлен за один год. На рис. 10 подводится итог результатов этого исследования.

Рис. 10: Опыт партнера - Исследование компании Dynegy по программе ЦОТО

Стоимость исследования базовых условий	\$35 000 (\$15 000 - \$20 000 на завод)
Общее число узлов оборудования, проверенных на двух заводах	30 208
Общее число узлов, подверженных утечкам	1 156 (3,8%)
Процент отремонтированных узлов	80% на одном заводе; 90% на другом
Общее годовое снижение выбросов метана	100 000 тыс. фут. ³ /год (2831,7 тыс. м. ³ /год)
Годовая экономия (при \$3/тыс. фут. ³)	\$300 000/год
Последующие запланированные проверки (на основе ожидаемого срока службы оборудования после ремонта)	Раз в 3 года

Опыт применения

Программа ЦОТО представляет собой проверенную на практике программу экономически обоснованного снижения эмиссии метана. Выполнение программы ЦОТО на четырех эксплуатируемых партнерами газоперерабатывающих заводах показало, что в газоперерабатывающем секторе программа дает возможности для значительного снижения выбросов метана. Основной опыт применения, полученный партнерами Natural Gas STAR, включает:

- ★ Затраты на исследование базовых условий могут быть компенсированы экономией газа за первый год. Стоимость последующих обследований можно снизить, уделяя внимание только оборудованию, наиболее подверженному утечкам.
- ★ Партнеры считают, что стоимость последующих обследований будет на 25 - 40% ниже, потому что в дальнейшем внимание сосредотачивается на тех узлах оборудования, которые подвержены утечкам и рентабельны для ремонта.
- ★ Условия функционирования газоперерабатывающих заводов различны. Возможности по экономии газа изменяются в зависимости от таких факторов, как срок эксплуатации и размер завода, тип оборудования и дата последнего крупного технического ремонта завода.
- ★ Для получения точных данных по утечкам можно использовать комбинированные технологии обнаружения и измерения утечек. Пробоотборник большого объема является эффективным инструментом для выявления утечек.
- ★ Программа ЦОТО должна быть направлена на следующие пять категорий оборудования, которые вносят большую долю в потери метана: задвижки, клапаны управления, соединительные муфты, уплотнения компрессора и патрубки.
- ★ По возможности, партнеры должны устранять сначала наиболее сильные утечки. Обычно только несколько узлов оборудования, подверженных утечкам, формируют большую часть эмиссии метана.
- ★ Стоимость ремонта таких узлов, как клапаны, фланцы, соединительные муфты и патрубки, определяется их размером, причем ремонт крупных узлов стоит дороже, чем мелких.

- ★ Устранение незначительных утечек может включаться в регулярное техобслуживание. Ремонт, который требует остановки всей системы, может быть предпринят во время следующего планового ремонта.
- ★ Необходимо ввести процедуру "быстрого устранения", которая подразумевает устранение несложных повреждений в процессе проверки (например, неплотно прилегающих уплотнений штока, не полностью закрытых вентилей).
- ★ Проверка на утечки узлов оборудования после выполнения ремонта, подтверждает его эффективность. Проверка методом нанесения мыльного раствора - быстрый способ проверить качество ремонта. Измерения выбросов пробоотборниками больших объемов после ремонта позволяют определить и зарегистрировать количественные показатели экономии газа.
- ★ Необходимо вести регистрацию сокращений эмиссии метана для каждого газоперерабатывающего завода и бустерной станции и включать данные в годовые отчеты программы Natural Gas STAR.

Литература

Ananthakrishna, S. and Henderson, C., 2002, Cost-effective Emissions Reductions Through Leak Detection, and Repair, *Hydrocarbon Processing*, May 2002.

Clearstone Engineering, 2002, *Identification and Evaluation of Opportunities to Reduce Methane Losses at Four Gas Processing Plants*, internal report prepared under U.S. EPA Grant No. 827754-01-0 for Gas Technology Institute, Des Plaines, IL.

Connolly, Jan, Toxic Vapor Analyzers, personal communication.

Frederick, J., Phillips, M., Smith, G.R., Henderson, C., Carlisle, B., 2000, Reducing Methane Emissions Through Cost-Effective Management Practices, *Oil & Gas Journal*, August 28, 2000.

Gas Technology Institute (formerly the Gas Research Institute), personal communication.

Henderson, Carolyn, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, personal communication.

Henderson, C., Panek, J., Smith, M., Picard, D., 2001, Gas-Plant Tests Reveal Cost-Effective Inspection and Maintenance Practices, *Oil & Gas Journal*, May 21, 2001.

Howard, Touche, Indaco Air Quality Services, Inc., personal communication.

McMillan, L.W. and Henderson, C., 1999, Cost-Effectively Reduce Emissions for Natural Gas Processing, *Hydrocarbon Processing*, October 1999.

Mohr, Gary, UE Systems Inc., personal communication.

Phillips, M. and Lott, R., 1999, Emissions Reductions Can Be Cost-Effective, *Pipeline and Gas Journal*, October 1999.

Radian International, 1996, *Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Volume 2, Technical Report*, Report No. GRI-94/0257.1, Gas Technology Institute (formerly Gas Research Institute), Chicago, IL.

Radian International, 1996, *Methane Emissions from the Natural Gas Industry, Volume 8, Equipment Leaks*, Report No. GRI-94/0257.1, Gas Technology Institute (formerly Gas Research Institute), Chicago, IL.

Tamutus, Terry, Physical Acoustics Corporation, personal communication.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, personal communication.



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

EPA430-B-03-018
Октябрь 2003 г.