

# Опыт применения



От партнеров программы Natural Gas STAR

## OPTIMIZE GLYCOL CIRCULATION AND INSTALL FLASH TANK SEPARATORS IN GLYCOL DEHYDRATORS

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ГЛИКОЛЯ И ПРИМЕНЕНИЕ СЕПАРАТОРОВ-РАСШИРИТЕЛЕЙ ПРИ ГЛИКОЛЕВОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ

### Аннотация

В секторе добычи природного газа применяется около 38 000 систем гликолевых влагоотделителей, из которых ежегодно в атмосферу выбрасывается 22 млрд. фут.<sup>3</sup> (0,6 млрд. м<sup>3</sup>) метана. В большинстве систем дегидратации в качестве абсорбента жидкости для удаления воды из природного газа используется триэтиленгликоль (ТЭГ). Кроме воды, триэтиленгликоль поглощает другие летучие органические соединения (ЛОС) и опасные атмосферные загрязнители (ОАЗ). В процессе регенерации триэтиленгликоля путем нагревания в ребойлере, абсорбированный метан, ЛОС и ОАЗ выбрасываются в атмосферу с водой, и, таким образом, происходит потеря газа и денежных средств.

Количество абсорбированного и выброшенного метана прямо пропорционально скорости циркуляции триэтиленгликоля. Многие скважины производят газ в объеме, который намного меньше исходной проектной производительности, но продолжают циркуляцию триэтиленгликоля со скоростью в два, в три раза превышающую необходимый уровень, что приводит к незначительному снижению влажности газа, но одновременно, и к более интенсивной эмиссии метана и росту потребления топлива. Снижение скорости циркуляции обеспечивает сокращение эмиссии метана при незначительных дополнительных затратах.

Установка емкостей сепараторов-расширителей при гликолевой дегидратации способствует дальнейшему снижению эмиссии метана, ЛОС, ОАЗ и обеспечивает большую экономию денежных средств. Регенерированный газ может подаваться в компрессор и/или использоваться в качестве топлива на ребойлерах триэтиленгликоля или в двигателях компрессора. Экономический анализ показывает, что период окупаемости сепараторов-расширителей при гликолевой дегидратации составляет от 4 до 17 месяцев.

Метод снижения потерь газа	Скорость циркуляции ТЭГ, галлон (м <sup>3</sup> )/час.	Стоимость сэкономленного газа, \$/год <sup>2</sup>		Стоимость снижения потерь газа, \$	Окупаемость, мес.
		Энергообменник	Электрический насос		
Снижение скорости циркуляции ТЭГ	От 50% до 200% на циркуляцию <sup>1</sup>	От 390 до 39 400/год <sup>1</sup>		Незначительно	Немедленная
Сепаратор-расширитель	150 (0,68)	2 130 <sup>3</sup>	710 <sup>3</sup>	\$5 000-\$5 600	6-17
	450 (2,05)	21 295 <sup>3</sup>	8 762 <sup>3</sup>	\$7 000-\$14 000	5-8

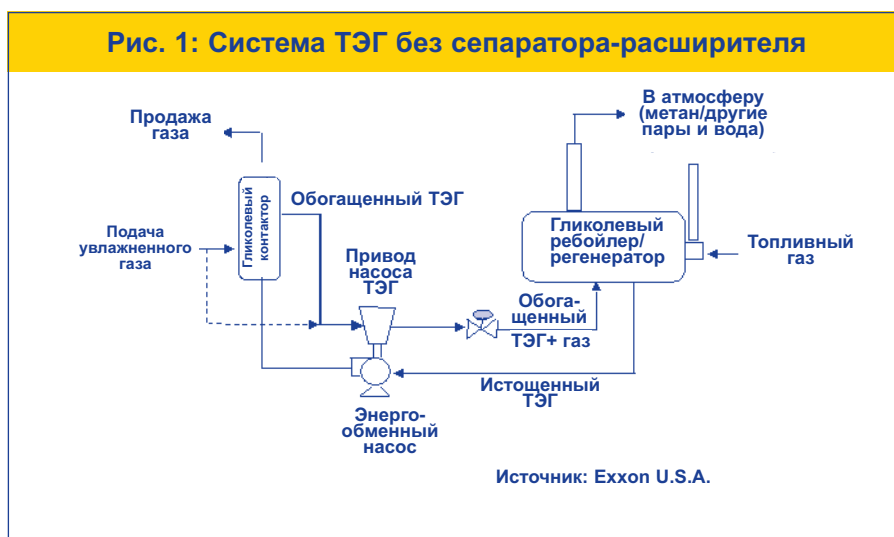
<sup>1</sup> Оптимальная скорость циркуляции изменяется в пределах 30-750 галлонов (0,14-3,40 м<sup>3</sup>) триэтиленгликоля/час. (ТЭГ/час.)

<sup>2</sup> При \$3,00/тыс. фут.<sup>3</sup> (\$106/тыс. м<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> С учетом дохода от продажи регенерированной газоконденсатной жидкости.

Многие компании для удаления влаги в осушителях и обеспечения требуемого качества газа в трубопроводе используют триэтиленгликоль. В обычной системе ТЭГ, показанной на рис. 1, "истощенный" (сухой) триэтиленгликоль подается в газовый контактор. В контакторе триэтиленгликоль абсорбирует воду, метан, ЛОС и ОАЗ (включая бензол, толуол, этилбензол и ксилол (БТЭК)) из увлажненного газа. "Насыщенный" (влажный) триэтиленгликоль выходит из контактора в состоянии газонасыщения при давлении, установленном для коммерческого трубопровода и составляющим обычно 250-800 фунт/дюйм<sup>2</sup> (1 723,7 - 5 515,8 кПа). Газ, вовлеченный в "насыщенный" гликоль, и дополнительно увлажненный газ, минуя контактор, расширяются в приводном механизме энергообменника и поступают в насос, обеспечивающий циркуляцию триэтиленгликоля. Затем ТЭГ циркулирует через ребойлер, где абсорбированная вода, метан и ЛОС выпариваются и выбрасываются в атмосферу. "Истощенный" триэтиленгликоль подается через энергообменный насос обратно в газовый контактор и цикл повторяется.

Рис. 1: Система ТЭГ без сепаратора-расширителя



Описанная выше система предназначена для удаления воды из газового потока, и ее функционирование может сопровождаться значительной эмиссией метана. Существует несколько способов, которые позволяют компаниям снизить потери газа, именно:

### 1) Уменьшение скорости циркуляции триэтиленгликоля.

При добыче газа наблюдается снижение объемов газа при падении давления в резервуаре. Скорости циркуляции ТЭГ в гликолевых осушителях, установленных на устье скважины, рассчитаны на начальную высокую производительность и поэтому имеют неиспользованную мощность при длительной эксплуатации скважины. Обычно скорость циркуляции ТЭГ намного выше, чем требуется стандартами содержания влаги в газе, соответствующим условиям продажи. Эмиссия метана из гликолевого осушителя прямо пропорциональна объему триэтиленгликоля, циркулирующего в системе. Чем выше скорость циркуляции, тем большее количество метана выбрасывается из регенератора. Излишняя циркуляция приводит к росту эмиссии метана без существенного и необходимого понижения абсолютной влажности газа. Партнеры Natural Gas STAR пришли к заключению, что скорость рециркуляции ТЭГ в системах осушения часто превышает требуемую в два или более раз. Компании могут снижать

скорость циркуляции триэтиленгликоля и соответственно эмиссию метана без влияния на эффективность дегидратации и дополнительных финансовых затрат.

## 2) Установка сепараторов-расширителей.

Большая часть осушителей сектора производства и переработки газа направляет газогликолевую смесь из циркуляционного насоса ТЭГ непосредственно на генератор, где весь метан и ЛОС, поглощенные обогащенным триэтиленгликолем, выпускаются в атмосферу. При рассмотрении конкретного случая выявлено, что сепараторы-расширители не используются в 85 процентах осушительных установок производительностью менее 1 млн. фут.<sup>3</sup> (28,3 тыс. м<sup>3</sup>) в сутки, в 60 процентах установок производительностью 1-5 млн. фут.<sup>3</sup> (28,3 - 141,6 тыс.м<sup>3</sup>) газа в сутки, и в 30 - 35 процентах установок производительностью свыше 5 млн. фут.<sup>3</sup> (141,6 тыс.м<sup>3</sup>) газа в сутки.

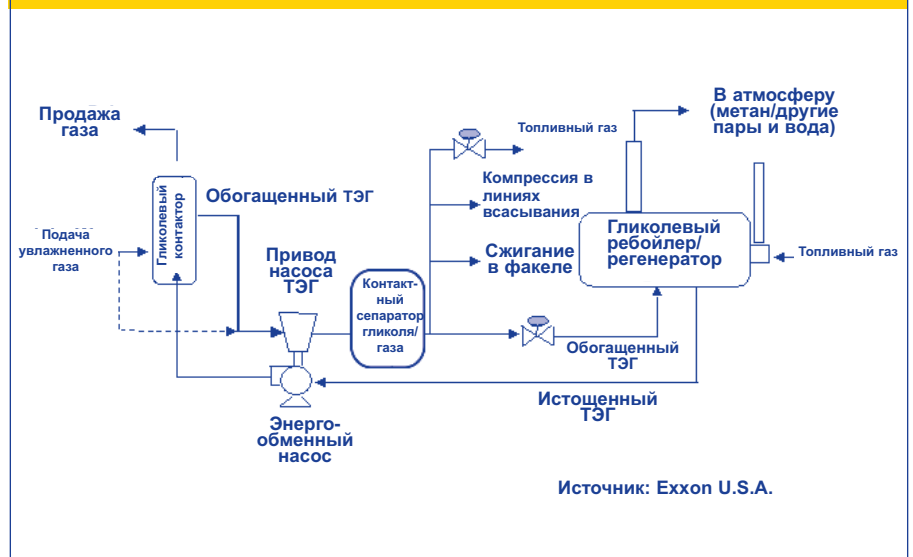
В сепараторах-расширителях газ и жидкость отделяются либо при величине давления в газо-топливной системе, либо при давлении системы всасывания компрессора от 40 до 100 фунт/дюйм<sup>2</sup> (275,8-689,4 кПа). При более низком давлении и без дополнительного нагрева, газ обогащается метаном и более легкими ЛОС, но вода остается в растворе вместе с триэтиленгликолем. Сепараторы-расширители задерживают приблизительно 90 процентов метана и 10 - 40 процентов ЛОС, поглощенных триэтиленгликолем. Таким образом, количество выбросов уменьшается. Влажный триэтиленгликоль, существенно обедненный метаном и легкими углеводородами, движется к гликолевому ребойлеру/регенератору, где он нагревается для выпаривания абсорбированной воды. Метан и ЛОС при этом сохраняются. Газы такого состава обычно выбрасываются в атмосферу, а истощенный триэтиленгликоль циркулирует и направляется вновь в газовый контактор. На рис. 2 показан дегидратор ТЭГ с сепаратором-расширителем.

**Примечание:** Установка сепараторов-расширителей на крупногабаритные дегидраторы может быть необходима для выполнения Технических требований наиболее доступных технологий управления (ТТНДТУ), применяемых в нефтегазовой отрасли США в рамках Национальных стандартов эмиссии опасных атмосферных загрязнителей. Если наличие таких установок определено законом, партнеры не должны включать достигнутые сокращения эмиссии метана в ежегодные отчеты программы Natural Gas STAR.

### Технические нормы национальных стандартов эмиссии опасных атмосферных загрязнителей в США

29 июня 2001 г. Агентство охраны окружающей среды США (US EPA) завершило разработку Национальных стандартов эмиссии опасных атмосферных загрязнителей (ОАЗ) для оборудования добычи нефти и газа (40 Кодекс федеральных норм, подраздел 63 НН) и для установок транспортировки и хранения нефти и газа (40 Кодекс федеральных норм, подраздел 63 ННН). Эти стандарты устанавливают минимум пропускной способности 3 млн. фут.<sup>3</sup>/сут. (84 950,54 м<sup>3</sup>/сут.) для добычных установок и более высокий уровень 10 млн. фут.<sup>3</sup>/сут. (283 168,5 м<sup>3</sup>/сут.) для установок транспортировки и хранения газа. Если данные пределы превышаются, то компании должны устанавливать оборудование для снижения ОАЗ на 95 процентов из выпускных клапанов дегидратора, используя систему управления замкнутой вентиляцией, либо усовершенствовать процесс, либо сжигать ОАЗ до концентрации ниже 20 ppmv. Эти стандарты распространяются на случаи, когда общая эмиссия бензола превышает 1 тонну в год.

Рис. 2: Схема дегидрататора с сепаратором-расширителем



### 3) Замещение энергообменных насосов электронасосами

На отдаленных участках газодобычи нет электроэнергии и поэтому для энергоснабжения насосов, обеспечивающих циркуляцию истощенного триэтиленгликоля, используются энергообменные насосы. На каждую единицу объема газа, абсорбированного обогащенным триэтиленгликолем на выходе из контактора, следует добавить еще две единицы объема из линии подачи увлажненного газа, чтобы обеспечить работу насоса, циркулирующего истощенный ТЭГ. Поэтому использование поршневых или шестеренчатых типов энергообменных насосов в три раза увеличивает объем абсорбированного триэтиленгликолем и выбрасываемого в атмосферу газа без установки сепараторов-расширителей. Установка электродвигателя вместо энергообменного насоса устраняет этот дополнительный источник эмиссии. Обычные энергообменные насосы поршневого типа пропускают большие объемы обогащенного (влажного) триэтиленгликоля в систему истощенного (сухого) триэтиленгликоля. Утечка в 0,5 процента может удвоить скорость циркуляции, необходимую для сохранения уровня содержания газа, соответствующего условиям поставки, что увеличивает потенциальную эмиссию. Для получения дополнительной информации по данной теме, см. статью АОС "Замена гликолевых насосов с газовым усилителем на электрические насосы" из серии "Опыт применения".

---

## Экономические и экологические выгоды

Оптимизация циркуляции гликоля и установка сепараторов-расширителей обеспечивает следующие экономические и экологические преимущества:

- ★ Снижение циркуляции гликоля до оптимальных объемов исключает затраты на замену гликоля, а также расходы на приобретение топлива для ребойлера.
- ★ Сокращение эмиссии ЛОС и ОАЗ (БТЭК) улучшает качество почвы и воздуха. Сокращение эмиссии БТЭК в больших объемах на крупных дегидрататорах.
- ★ Использование сепараторов-расширителей на дегидраторных установках с конденсаторами на ребойлере повышает эффективность конденсатора путем удаления большей части неконденсируемого газа, прежде всего метана. Конденсатор регенерирует природный газоконденсат и ОАЗ более эффективно, чем сепаратор-расширитель в отдельности.
- ★ Использование газа, регенерированного в сепараторах-расширителях, в качестве газового топлива, снижает эксплуатационные расходы.
- ★ Подача газа, регенерированного в сепараторах-расширителях, на всасывающий компрессор (общепринятый проект для новых установок) приводит к снижению производственных затрат.
- ★ Подача регенерированного газа дегидрататора на конденсаторную установку позволяет использовать газ из сепараторов-расширителей в качестве поглотителя в гликолевом ребойлере.

---

## Принятие решения

Компании могут оценить затраты и прибыль при оптимизации скорости циркуляции триэтиленгликоля и установке сепараторов-расширителей на основании следующего:

**Этап 1: Оптимизация скорости циркуляции.** Для определения оптимальной скорости циркуляции можно выполнить несколько следующих простых операций. Сначала получают текущую скорость циркуляции по показаниям регулятора потока, измеряющего количество галлонов циркулирующего триэтиленгликоля. Каждый галлон циркулирующего триэтиленгликоля абсорбирует один стандартный кубический фут метана, а если установлен энергообменный насос, то для его функционирования дополнительно потребуется два кубических фута газа. Весь этот газ выбрасывается в атмосферу при отсутствии сепаратора-расширителя.

Далее определяют минимальную скорость циркуляции, необходимую для осушки газового потока. Минимальная скорость циркуляции триэтиленгликоля является функцией потока газа, влагосодержания входящего газа и требуемой абсолютной влажности исходящего газа. Скорость влагоудаления представлена функцией потока газа и объема воды, устранимой из газового

### Пять этапов оценки эффективности оптимизации скорости циркуляции триэтиленгликоля и установки сепараторов-расширителей:

1. Оптимизация скорости циркуляции.
2. Выявление установок дегидратации без сепараторов-расширителей.
3. Оценка капитальных затрат и стоимости установки.
4. Экономия газа.
5. Экономический анализ.

потока. Соотношение триэтиленгликоля и воды (количество галлонов триэтиленгликоля, необходимое для абсорбирования 1 фунта воды) варьируется в пределах 2-5 галлона триэтиленгликоля на фунт воды (0,02-0,04 м³/кг); в промышленности применяется "эмпирическое правило", на основании которого принимается, что для удаления 1 фунта воды (0,45 кг) необходимо 3 галлона (0,01 м³) триэтиленгликоля. Чем выше скорость влагоудаления или чем выше соотношение триэтиленгликоля и воды, тем выше должна быть скорость циркуляции ТЭГ. Некоторые партнеры программы сообщают о случаях занижения стандартных пропорций триэтиленгликоля и воды (т. е. менее 3 галлонов триэтиленгликоля на 1 фунт воды), что приводило к снижению оптимальных скоростей циркуляции триэтиленгликоля.

Проблемы могут возникнуть, если скорость циркуляции триэтиленгликоля слишком низкая и поэтому желательно некоторое превышение пропорций циркуляции. Например, чрезмерно ограниченная скорость циркуляции может вызывать проблемы с гидравликой лотка, эффективностью контактора и загрязнением гликолевого теплообменника. Поэтому операторы должны применять дополнительный коэффициент безопасности при вычислении снижения скорости циркуляции. Оптимальная скорость циркуляции для каждой установки дегидратации обычно варьируется в пределах 10 - 30 процентов от минимально возможной скорости циркуляции. Для определения оптимальных и минимальных скоростей циркуляции ТЭГ используются формулы, представленные на рис. 3.

### Рис 3: Расчет оптимальной скорости циркуляции триэтиленгликоля

Осушитель с производительностью 20 млн. фут.<sup>3</sup>/сут. (566 336,9 м³/сут.) имеет установочную скорость циркуляции ТЭГ 280 галлонов/час. (1,27 м³/час.), содержание влаги в газе 60 фунтов воды/млн. фут.<sup>3</sup> (7 кг/тыс. м³). Необходимо обеспечить превышение на 15 процентов минимальной скорости. Оптимальная скорость циркуляции ТЭГ может быть рассчитана следующим образом:

#### Дано:

F = дебит газа, млн. фут.<sup>3</sup>/сут.

I = начальное содержание влаги в газе, фут./млн. фут.<sup>3</sup>

O = содержание влаги на выходе, фунт/млн. фут.<sup>3</sup> (Правило 4)

G = отношение гликоля и воды, галлон ТЭГ/фут. воды (Правило 3)

L(мин.) = минимальная скорость циркуляции ТЭГ, галлон/час.

W = скорость удаления влаги, фунт/час.

#### Вычисление: L(мин.) = Минимальная скорость циркуляции ТЭГ, галлон/час

$$L(\text{мин.}) = W \times G$$

$$W = \frac{F \times (I - O)}{24 \text{ час./сут.}}$$

$$W = \frac{20 \times (60 - 4)}{24 \text{ час./сут.}} = 46,66 \text{ фунтов воды/час. (21,16 кг/час.)}$$

$$G = 3$$

$$L(\text{мин.}) = 46,66 \times 3 = 140 \text{ галлон ТЭГ/час. (0,5 м}^3\text{/час.)}$$

**Это минимальная скорость циркуляции. Оптимальная скорость циркуляции при превышении L(мин.) на 15 процентов 160 галлон (0,6 м³) ТЭГ/час.**

#### Например:

$$L(\text{опт.}) = \text{оптимальная скорость циркуляции } L(\text{опт.}) = 140 \text{ галлонов (0,5 м}^3\text{) ТЭГ/час.} \times 1,15 = 160 \text{ галлонов (0,6 м}^3\text{) ТЭГ/час.}$$

**Партнеры Natural Gas STAR и другие эксперты выделяют следующие пять аргументов для операторов гликолевых влагоотделителей с избыточной циркуляцией триэтиленгликоля:**

- Энергообменные насосы, работающие на газовом топливе, могут загрязнять истощенный гликоль и, тем самым, снижать его эффективность при абсорбировании воды из влажного газового потока. Этот недостаток компенсируют за счет применения избыточной циркуляции для того, чтобы получить ту же температуру точки росы, которая могла быть достигнута при использовании незагрязненного гликоля, циркулирующего при более низкой скорости.
- Скорости циркуляции устанавливаются скорее исходя из проектной мощности оборудования, чем в соответствии с фактической пропускной способностью.
- Более высокие нормы гарантируют соответственный уровень дегидратации при изменении скорости подачи газа.
- Оборудование дегидратации находится на отдаленных участках, что затрудняет проведение частых регулировок.
- Сушители эксплуатируются независимыми подрядчиками, которые практически не заинтересованы в оптимизации скорости циркуляции и сокращении эмиссии метана.

**Этап 2: Выявление установок дегидратации без сепараторов-расширителей.** Современные установки дегидратации включают в стандартной комплектации сепараторы-расширители. Приблизительно две трети оборудования не оснащены сепараторами-расширителями. Это оборудование, как правило, небольших размеров, находится в эксплуатации длительное время или расположено на большом удалении. Перед переходом к следующему этапу компания первоначально должна выявить наличие установок дегидратации, не оснащенных сепараторами-расширителями.

**Этап 3: Оценка капитальных затрат и стоимости установки.** При оценке стоимость оптимизации скорости циркуляции гликоля принималась за низкую и составляла (1/2 час. при \$25/час).

Перед оценкой затрат на приобретение и установку сепараторов-расширителей партнеры должны определиться с проектом и параметрами, которые удовлетворяют их требованиям. Выбор сепаратора-расширителя зависит от ряда факторов, включающих состав газового потока (т. е. скорость регенерации сжиженных газов), нормы строительства, стоимость и сложность выполнения. Сепараторы-расширители изготавливаются в двух вариантах - вертикальном и горизонтальном. Обычно в процессах, рассчитанных на большие объемы газоконденсата в газовом потоке, должен применяться трехфазный горизонтальный сепаратор (природный газ, триэтиленгликоль, газоконденсат) с периодом удержания 10 - 30 минут). Для процессов, протекающих при малых объемах газоконденсата, можно использовать двухфазный сепаратор (природный газ, триэтиленгликоль) с периодом удержания 5 - 10 минут. Для двухфазных систем рекомендуется использовать вертикальные резервуары.

Фирмы-изготовители поставляют широкую номенклатуру сепараторов-расширителей, рассчитанных на различные объемы и продолжительность периода осаждения. Для определения подходящего размера сепаратора-расширителя партнеры должны рассчитать фиксированный объем осаждения, необходимого для каждой системы.

На рис. 4 приведен базовый расчет необходимого объема осаждения для сепаратора-расширителя, основанный на скорости циркуляции триэтиленгликоля. Дополнительный объем может потребоваться в случае, если оператор направляет газоконденсат в сепаратор-расширитель для осаждения и последующей периодической закачки в автоцистерны. Например, если при заданной скорости циркуляции триэтиленгликоля осаждается 75 галлонов (0,28 м<sup>3</sup>) и накапливается 35 галлонов (0,13 м<sup>3</sup>) газоконденсата, то объем для осаждения должен быть увеличен на 35 галлонов (0,13 м<sup>3</sup>).

**Рис. 4: Определение размеров сепаратора-расширителя**

**Дано:** L = скорость циркуляции триэтиленгликолевая, галлон/час  
T = продолжительность отстаивания, мин.

**Вычисление:** SV = объем осаждаемой жидкости, галлон  
 $SV = (L \times T) / 60$

**Замечание:** Необходимо учитывать накопление газоконденсата при его периодической закачке в цистерну в условиях конкретного участка.

Общая стоимость сепаратора-расширителя зависит от: (А) капитальных затрат и (Б) стоимости установки и эксплуатации.

*(А) Капитальные затраты*

Стоимость сепаратора-расширителя варьируется в пределах \$2 500 - \$5 000, без учета затрат на установку, в зависимости от проекта и его параметров. При необходимости использования нестандартных сепараторов-расширителей с большой емкостью они могут быть изготовлены по специальному заказу, либо можно установить несколько типовых сепараторов-расширителей или отдельно накопительную емкость для газоконденсата.

*(Б) Расходы на установку и эксплуатацию*

Затраты на установку зависят от расположения, рельефа местности, фундамента, наличия защиты от воздействий атмосферных осадков (нормы производства емкостей основаны на количестве сероводорода в газе), объема накопления и откачки газоконденсата, а также степени автоматизации и приборного оснащения. По информации фирм-производителей в среднем затраты на установку оборудования составляют \$1 200, включая доставку, сборку и трудозатраты. Эта цена может увеличиться на 80 процентов в зависимости от особенностей места эксплуатации.

Сепараторы-расширители, устанавливаемые в системах дегидратации, выпускаются в заводских условиях и включают трубную обвязку, клапаны и вспомогательное оборудование. Монтаж оборудования может быть выполнен с минимальным временем простоя. Для снижения затрат на установку партнеры предлагают устанавливать сепараторы-расширители во время ремонта модулей дегидратации или капитального ремонта других систем.

Сепараторы-расширители спроектированы как простые камеры давления, с несколькими рабочими узлами. Поэтому затраты на их эксплуатацию и техническое обслуживание незначительны. Партнеры пришли к заключению, что техническое обслуживание сепараторов-расширителей может проводиться во время обслуживания и ремонта установки дегидратации.

Капитальные затраты и расходы на установку ряда моделей сепараторов-расширителей, а также их параметры представлены на рис. 5 а, б.

**Рис. 5а: Параметры и стоимость вертикальных разделителей**

Объем осаднения, галлоны (м³) <sup>1</sup>	Диаметр, фут. (м)	Высота, фут. (м)	Капитальные затраты, \$	Затраты на установку, \$	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, \$
8,2 (0,03)	1,08 (0,33)	4 (1,22)	2 500	1 200 - 2 160	Незначительные
13,5 (0,05)	1,33 (0,4)	4 (1,22)	3 300	1 200 - 2 160	Незначительные
22,3 (0,08)	1,66 (0,5)	4 (1,22)	4 300	1 200 - 2 160	Незначительные
33,6 (0,13)	2 (0,6)	4 (1,22)	5 000	1 200 - 2 160	Незначительные

Примечание: данные о стоимости предоставлены корпорацией Sivalis  
<sup>1</sup>Объем осаднения = половина полного объема (без учета требований накопления газоконденсата).



**Рис. 5b: Типовые параметры и стоимость горизонтальных трехфазных разделителей**

Объем осаднения, галлоны (м <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Диаметр, фут. (м)	Высота, фут. (м)	Капитальные затраты, \$	Затраты на установку, \$	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, \$
49 (0,19)	2 (0,6)	3 (0,91)	3 000	1 200 - 2 160	Незначительные
65 (0,23)	2 (0,6)	5 (1,52)	3 200	1 200 - 2 160	Незначительные
107 (0,5)	2,5 (0,76)	5 (1,52)	3 400	1 200 - 2 160	Незначительные
158 (0,6)	3 (0,91)	5 (1,52)	4 800	1 200 - 2 160	Незначительные
225 (0,85)	3 (0,91)	7,5 (2,29)	5 000	1 200 - 2 160	Незначительные

Примечание: данные о стоимости предоставлены корпорацией Sivalis  
<sup>1</sup>Объем осаднения = половина полного объема (без учета требований накопления газоконденсата).

**Этап 4: Экономия газа.** Экономия газа достигается за счет оптимизации скорости циркуляции, установки сепараторов-расширителей, а в некоторых случаях при использовании обоих вариантов. На рис. 6 показано, как рассчитывать экономию газа при оптимизации скорости циркуляции триэтиленгликоля без применения сепараторов-расширителей. Дополнительная экономия при снижении скорости циркуляции ТЭГ включает:

- ★ Снижение расхода топлива на работу регенератора. Сокращение нагрузки на регенератор при тепловом режиме 1 340 Вт/галлон (89 204,1 ккал/м<sup>3</sup>), циркулирующего ТЭГ, позволяют получить экономию \$545 - \$54 456, в зависимости от объема избыточной циркуляции и теплопроводности природного газа.
- ★ Снижение частоты замены гликоля. Эксперты оценивают потерю ТЭГ в объеме 0,5 процентов в час. Ежегодная экономия могла бы составить от \$393, если скорость циркуляции сокращена с 45 до 30 галлонов/час (с 0,17 до 0,11 м<sup>3</sup>/час.), до \$39 300, если скорость снижена с 3 000 до 750 галлонов/час. (с 11,36 до 2,84 м<sup>3</sup>/час.).

Установка сепараторов-расширителей позволяет партнерам регенерировать большую часть газа, абсорбированного триэтиленгликолем. Количество газа, сохраненного за счет установки сепараторов-расширителей, зависит от вида насоса, циркулирующего триэтиленгликоль, скорости циркуляции гликоля в дегидраторе и давления в сепараторе-расширителе. Обычно, приблизительно 90 процентов метана может быть извлечено из ТЭГ при использовании сепараторов-расширителей.

Тип циркуляционного насоса, используемого в осушителе, является фактором, наиболее влияющим, на извлечение газа. По приблизительным оценкам, каждый галлон (0,004 м<sup>3</sup>) триэтиленгликоля, выходящий из контактора, содержит 1 фут.<sup>3</sup> (0,028 м<sup>3</sup>) растворенного в нем метана. Для энергообменных насосов дополнительно требуется газ высокого давления, и в связи с этим необходимо использование потока обогащенного триэтиленгликоля, достаточного для откачки истощенного триэтиленгликоля и подачи его обратно в контактор. В результате такие насосы повышают количество метана на 3 фут.<sup>3</sup> (0,085 м<sup>3</sup>), приходящегося на галлон (0,004 м<sup>3</sup>) циркулирующего ТЭГ.

**Рис. 6: Расчет общей ежегодной экономии при оптимизации циркуляции триэтиленгликоля без установки сепараторов-расширителей**

**Дано:**

A = степень абсорбции ТЭГ, фут.<sup>3</sup>/галлон (Правило 1)  
 E = энергообменный газовый насос ТЭГ, если применяется, фут.<sup>3</sup>/галлон (Правило 2)  
 H = Часы в год (8 760)  
 P = Цена продажи газа, в предположении \$3/ тыс. фут.<sup>3</sup> (\$106/тыс. м<sup>3</sup>)  
 L (исходная) = скорость циркуляции триэтиленгликоля перед регулировкой, галлон/час.  
 L (оптимальная) = скорость циркуляции ТЭГ после регулировки, галлон/час.  
**V = стоимость сэкономленного газа, \$/год**

$$V = \frac{(L \text{ (исходная)} - L \text{ (оптимальная)}) \times (A + E) \times H \times P}{1000}$$

Оценки, выполненные на основе этой формулы, показывают, что незначительное снижение скорости циркуляции может давать существенную экономию, как показано в следующих примерах. Заметем, что экономия должна быть сокращена на 2/3 там, где истощенный гликоль подается с помощью электрического насоса вместо энергообменного.

Исходная скорость циркуляции, галлон (м <sup>3</sup> )/час.	Оптимальная скорость циркуляции, галлон (м <sup>3</sup> )/час.	Сокращение эмиссии метана в год, тыс. фут. <sup>3</sup> (тыс. м <sup>3</sup> )	Ежегодная экономия средств, \$ при \$3/тыс. фут. <sup>3</sup> (\$106/тыс.м <sup>3</sup> )
45 (0,17)	30 (0,11)	394 (11)	\$1182
90 (0,34)	30 (0,11)	1 577 (44,6)	\$4 731
225 (0,85)	150 (0,57)	1 971 (55,8)	\$5 913
450 (1,7)	150 (0,57)	7 884 (223,2)	\$23 652
675 (2,55)	450 (1,7)	5 913 (167,4)	\$17 739
1 350 (5,11)	450 (1,7)	23 652 (669,8)	\$70 956
1 125 (4,26)	750 (2,84)	9 855 (279)	\$29 565
2 250 (8,52)	750 (2,84)	3 9420 (1 116,2)	\$118 260

На рис. 7 представлен метод расчета объемов выбросов метана при отсутствии сепараторов-расширителей, а также стоимость газа, который можно сэкономить при установке сепаратора-расширителя. В этом примере предполагается, что скорость циркуляции триэтиленгликоля оптимизирована.

**Рис. 7: Объем выбросов газа при отсутствии сепаратора-расширителя и потенциальная экономия**

Предположим, что установка дегидратации с энергообменным насосом циркулирует 150 галлон (0,6 м<sup>3</sup>) триэтиленгликоля в час, с коэффициентом регенерации 90 процентов, и стоимостью газа \$3 за тыс. фут.<sup>3</sup> (\$106/тыс. м<sup>3</sup>).

**Дано:** L = скорость циркуляции триэтиленгликоля (галлон(м<sup>3</sup>)/час)  
 G = скорость увлечения метана (эмпирическое правило 3 фут.<sup>3</sup>/галлон для энергообменного насоса; 1 фут.<sup>3</sup>/галлон для электронасоса)

**Вычисление:** V = ежегодный объем выбрасываемого газа, тыс.фут.<sup>3</sup>/год

$$V = (L \times G) \times 8760 \text{ (час. в год)} / 1000 \text{ фут.}^3/\text{тыс. фут.}^3$$

$$V = 150 \text{ галлон/час.} \times 3 \text{ фут.}^3/\text{галлон} \times 8760 \text{ час./год} / 1000 \text{ фут.}^3/\text{тыс. фут.}^3$$

$$V = 3942 \text{ тыс. фут.}^3/\text{год} \text{ (111,6 тыс. м}^3/\text{год)}$$

$$\text{Экономия} = 3942 \text{ тыс. фут.}^3 \times 0,9 \times \$3/\text{тыс. фут.}^3 = \$10643 \text{ в год}$$

На рис. 8 приводится сравнение потенциальной экономии при использовании сепараторов-расширителей, рассчитанной для энергообменных и электрических насосов при различных скоростях циркуляции. Анализ показывает, что небольшие установки дегидратации и установки с электрическими циркуляционными насосами имеют более низкую окупаемость сепараторов-расширителей.

**Рис. 8: Потенциальная экономия при использовании сепараторов-расширителей**

Скорость циркуляции триэтиленгликоля, галлон (м <sup>3</sup> )/час.	Энергообменный насос		Электронасос	
	тыс. фут. <sup>3</sup> (тыс. м <sup>3</sup> )/год	\$/год	тыс. фут. <sup>3</sup> (тыс. м <sup>3</sup> )/год	\$/год
30 (0,11)	710 (20,1)	2 129	237 (6,7)	710
150 (0,57)	3 548 (100,5)	10 643	1 183 (33,5)	3 548
300 (1,13)	7 096 (201)	21 287	2 365 (67)	7 096
450 (1,7)	10 643 (301,4)	31 930	3 548 (100,5)	10 643

Важно заметить, что дополнительный доход может быть получен при продаже газоконденсата. При переработке обогащенного промышленного газа, газоконденсат часто конденсируется и отделяется в сепараторах-расширителях. Изменение его объема связано с температурой, давлением в контакторе, в сепараторах-расширителях, составом получаемого газа и степенью вовлечения газа триэтиленгликолем. Этот расчет имеет специфический характер и не входит в предмет данного рассмотрения.

## Этап 5: Экономический анализ

Как следует из расчетов, выполненных на Этапе 4, оптимизация циркуляции гликоля, приводящая к снижению скорости, приносит экономию денежных средств. Поэтому партнерам следует всегда выполнять эти действия, независимо от того, будут или нет устанавливаться сепараторы-расширители. В дальнейшем анализе рассматриваются сепараторы-расширители в предположении, что скорость циркуляции гликоля уже оптимизирована.

После того как капитальные затраты и стоимость работ по установке определены, а также известна стоимость сэкономленного газа, партнеры могут выполнить экономический анализ. Прямой метод оценки экономических показателей основан на анализе окупаемости капиталовложений по дисконтированным затратам, при которых затраты первого года на установку сепараторов-расширителей сравниваются с дисконтированной стоимостью сэкономленного газа (с учетом продажи газоконденсата) за период действия проекта.

На рис. 9 а, б представлены результаты такого анализа. Для всех систем, за исключением установок наименьшего размера, применение сепараторов-расширителей в устройствах дегидратации с энергообменным насосом окупается менее, чем за год, в то время как для устройств с электронасосом возможный период окупаемости составляет два с половиной года.

**Рис. 9 а: Экономические показатели установки сепараторов-расширителей на осушитель с энергообменным насосом**

Скорость циркуляции триэтиленгликоля, галлон (м <sup>3</sup> )/час.	Капитальные затраты и затраты на установку <sup>1</sup> , \$	Стоимость годовой экономии газа <sup>2</sup> , \$/год	Общая экономия <sup>3</sup> , \$/год	Срок окупаемости, мес.	Возврат инвестиций <sup>4</sup>
30 (0,11)	5 160	2 129	2 158	29	31%
150 (0,57)	5 560	10 643	10 792	6	193%
300 (1,13)	7 160	21 287	21 573	4	301%
450 (1,7)	13 920 <sup>5</sup>	31 930	32 365	5	232%

<sup>1</sup> Горизонтальная емкость сепаратора-расширителя, непредвиденные затраты на установку - 80 %; 30 мин. - время осаждения плюс еженедельный объем накопления газоконденсата там, где он получен.

<sup>2</sup> Стоимость газа \$3/тыс. фут.<sup>3</sup> (\$106/тыс. м<sup>3</sup>)

<sup>3</sup> Более высокая прибыль включает получение газоконденсата (если имеется) при 1% от объема извлеченного газа и его цене \$21/баррель (\$176,5/м<sup>3</sup>). Данная норма получения газоконденсата относится только к рассматриваемым примерам, и для каждого участка требуется индивидуальный расчет.

<sup>4</sup> ВНП (внутренняя норма прибыли) рассчитана на период 5 лет.

<sup>5</sup> Стоимость двух параллельных сепараторов-расширителей (по размерам заказчика) для случаев, когда объем осаждения превышает стандартные параметры емкости сепаратора-расширителя.

**Рис. 9b: Экономические показатели установки сепараторов-расширителей на осушитель с энергообменным насосом**

Скорость циркуляции триэтиленгликоля, галлон (м <sup>3</sup> )/час.	Капитальные затраты и затраты на установку <sup>1</sup> , \$	Стоимость годовой экономии газа <sup>2</sup> , \$/год	Общая экономия <sup>3</sup> , \$/год	Срок окупаемости, мес.	Возврат инвестиций <sup>4</sup>
30 (0,11)	5 160 <sup>5</sup>	710	719	Нет	Нет
150 (0,57)	5 160 <sup>5</sup>	3 548	3 596	17	64%
300 (1,13)	5 160 <sup>5</sup>	7 096	7 110	9	136%
450 (1,7)	7 160	10 643	10 671	8	149%

<sup>1</sup> Горизонтальная емкость сепаратора-расширителя, непредвиденные затраты на установку - 80%; 30 мин. - время осаждения плюс еженедельный объем накопления газоконденсата, там где он получен.

<sup>2</sup> Стоимость газа \$3/тыс. фут.<sup>3</sup> (\$106/тыс. м<sup>3</sup>)

<sup>3</sup> Более высокая прибыль включает получение газоконденсата (если имеется) при 1% от объема извлеченного газа и его цене \$21/баррель (\$176,5/м<sup>3</sup>). Данная норма получения газоконденсата относится только к рассматриваемым примерам, и для каждого участка требуется индивидуальный расчет.

<sup>4</sup> ВНП (внутренняя норма прибыли) рассчитана на период 5 лет.

<sup>5</sup> Стоимость двух параллельных сепараторов-расширителей (по размерам заказчика) для случаев, когда объем осаждения превышает стандартные параметры емкости сепаратора-расширителя.

Приведенные выше примеры иллюстрируют повышение эффективности при наличии газоконденсата. Ввиду того, что энергообменные насосы увлекают в три раза больше природного газа с обогащенным триэтиленгликолем, чем электронасосы, триэтиленгликоль освобождает большее количество газоконденсата в сепараторы-расширители. Поэтому для системы дегидратации гликоля с энергообменным насосом требуется сепаратор-расширитель большего объема. Увеличенный доход от продажи газоконденсата оправдывает дополнительную стоимость больших емкостей. При наличии электронасоса объем газоконденсата в триэтиленгликоле недостаточен для его рентабельного использования, и поэтому емкости с минимальными размерами могут использоваться при скоростях циркуляции от 30 до 300 галлон/час. (от 0,1 до 1,1 м<sup>3</sup>/час.). Однако, если необходима емкость со скоростью циркуляции 450 галлон/час (1,7 м<sup>3</sup>/час), то незначительный объем газоконденсата может быть получен и продан для снижения затрат на покупку сепаратора-расширителя.

Экономические показатели одновременной установки сепараторов-расширителей и оптимизации скорости циркуляции гликоля полностью зависят от эффективности использования на участке газа, регенерированного в сепараторах-расширителях. Партнеры сообщают о случаях, когда установка источника дегидрататора на устье скважины не включала компрессор с приводом от двигателя, и потребление топливного газа ребойлером было значительно ниже количества газа, регенерированного в сепараторе-расширителе. В этом случае избыток полученного газа должен выпускаться из сепаратора-расширителя. При таком методе эксплуатации оптимизация циркуляции гликоля оказывается рентабельной, так как сокращается объем газа, выбрасываемого из сепаратора-расширителя. Данные потребления топлива на участке необходимы для оценки экономических показателей применения сепараторов-расширителей и оптимизации циркуляции.

Скорость циркуляции триэтиленгликоля в гликолевых осушителях часто в два, три раза выше уровня, необходимого для удаления влаги из природного газа. Большинство промышленных осушителей не имеет сепараторов-расширителей, применение которых могло бы стать эффективным методом получения ценного продукта - метана из триэтиленгликоля, который выбрасывается в атмосферу. Партнеры Natural Gas STAR пришли к следующему заключению:

- ★ Для поддержания скорости циркуляции близкой к оптимальной необходимо информировать технический персонал на участках или подрядчиков о методе расчета и необходимости регулирования скорости циркуляции, включая расчет диапазона "комфортных условий". Включайте регулировку скорости циркуляции в практику текущего технического обслуживания.
- ★ Операторы не должны снижать количество гликоля в системе для снижения скорости циркуляции, т. к. это не обеспечивает необходимой экономии. Сокращение количества гликоля может вызывать проблемы, связанные с гидравликой лотка, работой контактора и засорением гликолевого теплообменника.
- ★ Необходимо идентифицировать все осушители, работающие без сепараторов-расширителей, и собрать необходимую информацию для оценки экономических показателей применения сепараторов-расширителей.
- ★ Там, где есть доступ к промышленной энергосистеме (440 В или выше), замена энергообменного насоса на насос с электродвигателем может привести к сокращению объема газа, вовлеченного триэтиленгликолем, на две трети и значительно сократить эмиссию метана. При возможности подключения к сети с напряжением 220 В применение комбинированного гибридного насоса, работающего за счет газознергетического обмена и электроэнергии, для снижения абсорбции метана может также снизить поглощение метана триэтиленгликолем и сократить эмиссию (см. отчет "Замена газового гликолевого насоса на электронасос").
- ★ Извлеченный метан необходимо направлять на всасывание компрессором или на использование в качестве топлива. Партнеры сообщают, что извлеченный метан иногда содержит слишком много воды и непригоден для использования в пневматических приборных системах.
- ★ Необходимо рассматривать скопление товарного газоконденсата из емкостей контактного дегазирования как потенциальный источник дополнительных доходов.
- ★ Со временем прокладки на газовых энергообменных насосах дают течь, что загрязняет истощенный гликоль и уменьшает эффективность дегидратации. Операторы не должны компенсировать загрязнение гликоля увеличением скорости циркуляции триэтиленгликоля. Вместо этого следует произвести ремонт или замену энергообменного насоса.
- ★ Ведите учет сокращения по каждой установке осушителя и предоставляйте сведения в ваших ежегодных отчетах по программе Natural Gas STAR. Примечание: объемы экономии метана, полученные путем внедрения технологий, требуемых в рамках Национальных стандартов эмиссии опасных атмосферных загрязнителей в США, не должны включаться в программу добровольного сокращения выбросов метана в рамках программы Natural Gas STAR.

---

## Литература

American Petroleum Institute. *Specification for Glycol-Type Gas Dehydration Units* (Spec 12GDU). July 1993.

Garrett, Richard G. Rotor-Tech, Inc. Personal contact.

Gas Research Institute Environmental Technology and Information Center (ETIC). Personal contact.

GRI and U.S. EPA. *Methane Emissions from Gas-Assisted Glycol Pumps* January 1996.

Griffin, Rod. Sivalls, Incorporated. Personal contact.

Henderson, Carolyn. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Moreau, Roland. Exxon-Mobil Co., USA. Personal contact.

Robinson, R.N. *Chemical Engineering Reference Manual, Fourth Edition*. 1987.

Reuter, Curtis. Radian International LLC. Personal contact.

Rueter, C; Gagnon, P; Gamez, J.P. *GRI Technology Enhances Dehydrator Performance*. American Oil and Gas Reporter. March 1996.

Rueter, C.O.; Murff, M.C.; Beitler, C.M. *Glycol Dehydration Operations, Environmental Regulations, and Waste Stream Survey*. Radian International LLC. June 1996.

Tannehill, C.C; Echterhoff, L.; Leppin, D. *Production Variables Dictate Glycol Dehydration Costs*. American Oil and Gas Reporter. March 1994.

Tingley, Kevin. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.



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

EPA430-B-03-013  
Декабрь 2003 г.