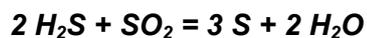


## Обоснование применения анализаторов хвостового газа АМЕТЕК на высокоэффективных установках Клауса

### 1. Эффективность установки как функция регулирования расхода воздуха

Установки Клауса с проектной эффективностью извлечения серы свыше 90% вне зависимости от типа или модификации комплектуются анализаторами хвостового газа (или соотношения  $H_2S$  и  $SO_2$ ) в качестве *обязательного элемента*. Эти анализаторы играют ключевую роль в управлении установкой Клауса, позволяя достичь проектной эффективности и значительно снизить выбросы окислов серы в атмосферу.

Стандартный процесс Клауса состоит из высокотемпературной стадии, в которой 1/3 входящего газа  $H_2S$  окисляется кислородом воздуха до  $SO_2$ , и последующих (от одной до трех) низкотемпературных каталитических стадий, где остаточный сероводород взаимодействует с  $SO_2$  с образованием воды и элементарной серы:



Для полноты протекания этой реакции необходимо *соблюдение точного стехиометрического соотношения* компонентов ( $H_2S$  и  $SO_2$ ) на каталитической стадии. Это соотношение *регулируется расходом воздуха*, подаваемого в высокотемпературную стадию для частичного окисления  $H_2S$ . При идеальном соотношении ( $H_2S:SO_2=2:1$ ) в каталитической стадии достигается максимально возможная эффективность работы установки в целом.

При *отклонении стехиометрии* от идеальной (в результате недостатка или избытка воздуха, подаваемого для окисления в точности 1/3  $H_2S$ ) эффективность установки *резко снижается* (рис. 1). Одновременно резко увеличивается количество выбросов окислов серы в атмосферу.

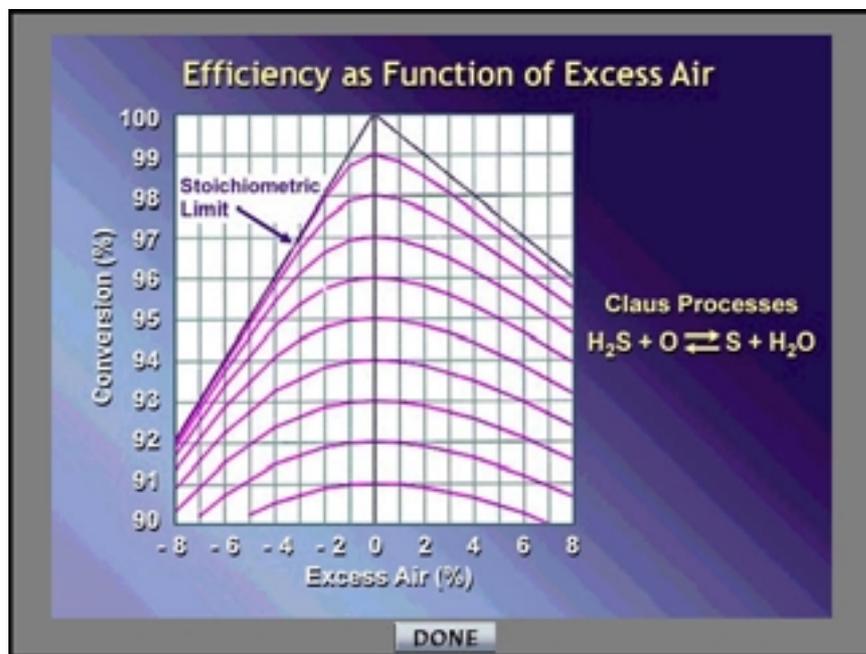


Рис. 1. Эффективность работы установки (Conversion, %) как функция недостатка или избытка воздуха (Excess Air, %) в высокотемпературной стадии.

Содержание  $H_2S$  в газе, поступающем на установку Клауса из разных процессов нефте- или газопереработки, постоянно меняется. Поэтому для поддержания требуемого стехиометрического соотношения (2:1) необходима постоянная корректировка расхода воздуха. Это задачу решает анализатор соотношения  $H_2S/SO_2$  в хвостовом газе 880 NSL.

## 2. Обоснование использования анализатора хвостового газа

В высокотемпературной стадии установки Клауса получается порядка 60% элементарной серы. В первой, каталитической стадии ее образуется еще около 30%.

Для достижения значения эффективности свыше 90%, а также для снижения выбросов окислов серы необходимо использование *дополнительных каталитических стадий*. Повышение эффективности на 5%-8% в результате строительства и эксплуатации таких дополнительных стадий требует значительных капитальных затрат. В то же время, отсутствие средств, обеспечивающих соответствие соотношения  $H_2S/SO_2$  в каталитической стадии стехиометрическому (2:1), не позволяет повысить эффективность, что делает строительство и эксплуатацию такой установки экономически неоправданными.

Как видно из рис.1, даже небольшое несоответствие расхода воздуха стехиометрическому соотношению приводит к резкому падению эффективности, которое тем более заметно, чем выше максимальное (или проектное) ее значение. Учитывая особенности работы установки на НПЗ, в частности погрешность поддержания расходов, можно утверждать, что при отсутствии анализатора соотношения  $H_2S/SO_2$  *нельзя обеспечить точность поддержания расхода воздуха лучше  $\pm 10\%$* . Это приводит к потере эффективности на 5-8%, т.е. примерно на столько же, сколько должны обеспечивать дополнительные каталитические стадии.

Задача не может быть решена и с помощью анализатора, измеряющего концентрацию  $H_2S$  во входящем газе (а также концентрацию углеводородов, присутствующих во входящем газе, на сжигание которых также тратится воздух) и рассчитывающего расход воздуха для поддержания стехиометрии в каталитической стадии. Эта схема *не позволяет регулировать расхода воздуха точнее  $\pm 5\%$* , что связано как с невозможностью измерения полного состава газа на входе, так и с погрешностью поддержания расходов. Рассмотрим следующие примеры.

а) Неизмеряемая концентрация углеводородов во входящем газе, составляющая всего лишь 0,1%, приводит к увеличению содержания  $H_2S$  в хвостовом газе (и, соответственно, увеличению выбросов окислов серы в трубу) на 4000 ppm.

б) Погрешность измерения расхода кислого 70%-ного газа на входе в установку в 1% дает дополнительно 3500 ppm  $SO_2$  в хвостовом газе (и в выбросах).

Общепринятой схемой управления установкой Клауса является регулирование расхода воздуха *по соотношению  $H_2S$  и  $SO_2$  в хвостовом газе* - на выходе из последнего конденсора. Такой подход позволяет примерно *в 20 раз точнее* по сравнению с измерением на входе задать требуемый расход воздуха и добиться, тем самым, максимально возможной эффективности работы установки в целом.

## 3. Реализация управления установкой Клауса

Схема регулирования расхода воздуха на установке Клауса приведена на рис. 2.

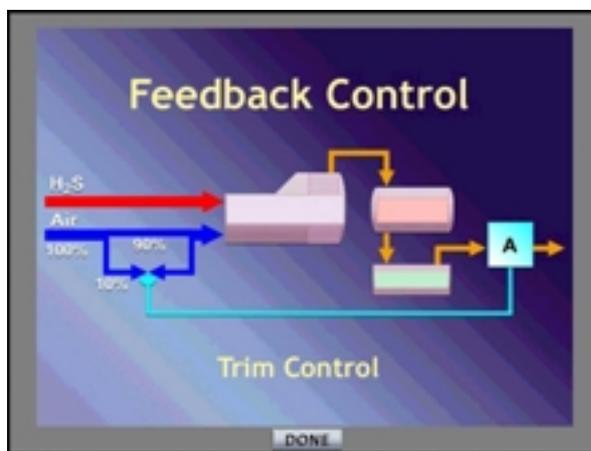


Рис.2. Общая схема управления установкой Клауса с анализатором хвостового газа.

Для *устойчивого управления* установкой по соотношению компонентов на выходе из процесса Клауса *время отклика анализатора должно составлять менее 1 мин.* Применение для этой цели хроматографов неприемлемо, несмотря на то, что они способны помимо  $H_2S$  и  $SO_2$  измерять и содержание других соединений серы в хвостовом газе - обычно  $CO_2$  и  $CS_2$ . Большое (не менее 1,5 мин) время отклика хроматографа, включенного в АСУ ТП, приведет к «раскачке» системы и, как следствие, к невозможности обеспечения точной регулировки расхода воздуха. Единственное на сегодняшний день решение этой задачи – это применение *спектрофотометров*, имеющих время отклика порядка 10 с.

Анализатор 880 NSL представляет четвертое поколение таких приборов. Он выполнен по схеме *интеллектуального датчика* и *не имеет линий пробоотбора*. Средства коммуникации позволяют интегрировать анализатор в любые системы управления, а также обеспечить дистанционный контроль за его работой и правильностью показаний. Такой анализатор, в отличие от хроматографа, не требует дополнительных сред, кроме электропитания и воздуха КИП, что ведет к *минимальным эксплуатационным расходам*. Надежность этих анализаторов настолько высока, что, например, в США, на первые два года эксплуатации комплект запасных частей не предлагается.

#### **4. Выводы**

Применение анализаторов хвостового газа 880 NSL для определения соотношения  $H_2S/SO_2$  и регулирование расхода воздуха на основании этих показаний, реализуемое АСУТП, отдельным контроллером или даже вручную, приводит:

- *к экономической обоснованности эксплуатации 2-х или 3-х стадийной установки Клауса;*
- *к увеличению эффективности работы установки в целом минимум на 3-5%;*
- *к снижению в несколько раз выбросов окислов.*

Эти выводы подтверждены 30-летним опытом эксплуатации более чем 1600 спектрофотометрических анализаторов, работающих на установках Клауса во всем мире.