



Рис. 2. Разностные интегральные кривые повторяемости форм циркуляции и модулей стока рек за летне-осенний период

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ  
ПРИНЦИПОВ БЕЗОТХОДНОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ  
УТИЛИЗАЦИИ  
ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ  
СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ**

Исмагилова З.Ф.

*Закрытое акционерное общество «Текойл»,  
г. Уфа, Россия*

При очистке сероводородсодержащих природных или нефтяных газов на установках аминной очистки образуются кислые газы, содержащие до 30% об. сероводорода. Имеется ряд работ, в которых показана возможность утилизации таких газов путем окисления до элементной серы на твердых катализаторах в одну стадию. Метод получил название прямого окисления, поскольку окислителем сероводорода выступает непосредственно кислород воздуха, в отличие от метода Клауса, где в качестве окислителя используется сернистый ангидрид, получаемый в термической ступени процесса путем сжигания части, поступающей на утилизацию сероводорода. После термической ступени следуют несколько каталитических ступеней, где и происходит реакция между сернистым ангидридом и сероводородом с получением элементной серы. Необходимость организации процесса Клауса в несколько ступеней вызвана тем, что степень превращения сероводорода и сернистым ангидридом с образо-

ванием серы при условии однократного их контакта из-за условий термодинамического равновесия не превышает 95-96%.

Принципиальная возможность осуществления метода прямого окисления в одну стадию обусловлено тем, что каталитические реакции между сероводородом и кислородом практически полностью смещена в сторону образования серы. Однако, испытания опытных установок одностадийного прямого окисления показала наличие «узких» мест в реализации процесса на практике. Это трудности, связанные с поддержанием изотермических условий в слое катализатора и уноса части получаемой серы в виде аэрозоли. Для решения первой проблемы предложено осуществлять процесс в кипящем слое сферического катализатора, что позволяет значительно поднять эффективность съема тепла экзотермической реакции окисления сероводорода. Имеется ряд сообщений об успешных испытаниях установок, в которых используется реактор с кипящим слоем катализатора со встроенным змеевиком для подачи хладагента. Таким образом, удается поддерживать устойчивый режим работы при окислении кислых газов, содержащих до 50-60% сероводорода. Содержание сероводорода в кислом газе может достигать, например, на установках абсорбционной очистки нефтезаводских газов до 90-95%. Для съема тепла при окислении таких высококонцентрированных газов потребуется увеличить поверхности змеевикового теплообменника, од-

нако до определенного предела. Расчеты показывают, что существуют предельные значения соотношения объема реактора занятым змеевиковым элементом к общему объему, после которого происходит нарушение режима псевдоожижения и осуществление процесса становится невозможным.

Как указано выше, вторая проблема, которую следует решить для реализации процесса прямого окисления, в первую очередь, высококонцентрированных сероводородсодержащих газов это образование при конденсации паров аэрозольной серы и унос ее после конденсатора. Этому способствуют два фактора, с одной стороны, высокая концентрация паров серы в реакционных газах и одновременно низкая их температура в отличие от процесса Клауса, где образование жидкокапельной серы значительно меньше.

Отсюда следует, что температурные условия процесса прямого окисления таковы, что они создают благоприятные условия для образования перенасыщенного пара элементной серы, что приводит к созданию высокодисперсной аэрозольной серы. Это положение находит подтверждение в том, что количество аэрозоля серы находится в прямой зависимости от концентрации сероводорода в исходном газе.

Нами предложены ряд технических решений, позволяющих обеспечить устойчивую работу реактора с кипящим слоем катализатора при окислении высококонцентрированных сероводородсодержащих газов, например, газов десорбции установки аминовой очистки нефтезаводских газов.

Одним из таких методов являются, использование рециркуляции части отходящих газов на смешение с воздухом. Определены оптимальные соотношения рециркулируемого газа и воздуха.

Разработана технологическая схема опытно-промышленной установки для утилизации кислого газа, содержащего 95% сероводорода. Сущность процесса, как указывалось выше, заключается в том, что часть отходящих газов возвращается для смешения с сырьевым газом, что позволяет поддерживать устойчивый оптимальный режим окисления и создается после реактора благоприятные условия для конденсации серы. Исходный сероводород, содержащий газ поступает с установки аминовой очистки с температурой 30-320С и давлением до 0,05 МПа в газовый сепаратор, где происходит отделение конденсата от газовой фазы. После этого газ попадает в теплообменник (Т-2) для предварительного подогрева до температуры 2000С и направлять на окисление в реактор с кипящим слоем сферического катализатора. Окисление проводится кислородом воздуха в стехиометрическом соотношении подаваемым в реактор после предварительного подогрева в теплообменнике (Т-1). В качестве теплоносителя в теплообменниках Т-1 и Т-2 используется

керосин с температурой 2400С и давлением 0,6-0,8 МПа. Подвод воздуха и кислого газа выполнен таким образом, что смешение происходит непосредственно в слое катализатора. Для снятия избыточного тепла экзотермической реакции окисления сероводорода в реактор встроены змеевик, позволяющий поддерживать оптимальную температуру 260-3000С за счет подаваемой в печь паро-конденсатной смеси с температурой 120-1300С. Продукты реакции вместе с рециркуляционным газом после реактора поступают в трубный пучок конденсатора серы (КС-1), где происходит конденсация паров серы и отвод ее через серозатвор по серопроводу на склад. В качестве хладагента используется пароконденсатная смесь, образующаяся при смешении насыщенного пара заводской линии и предварительно нагретого конденсата в емкости Е-1. Смесь поступает в межтрубный пучок с температурой 120-1300С, после чего сбрасывается в линию возврата конденсата. Отходящие газы, содержащие небольшое количество аэрозольной серы направляется в абсорбционной сероулавнитель. Часть очищенного от серы газа после сероулавнителя газодувкой возвращается на вход установки, а оставшаяся часть направляется в печь для санитарного дожига (П-1) и через дымовую трубу рассеивается в атмосфере, а жидкая сера из нижней части аппарата, обогреваемого паром, через затвор выводится в серонакопитель. Все трубопроводы, в которых имеется жидкая сера, выполнены паровой рубашкой. В емкость Е-1, предназначенную для сбора конденсата, встроены змеевик с паром, подогреваемого до температуры 1000С. Подвод кислого газа с установки МЭА и на установку окисления выполнен с пароспутником и теплоизоляцией для предотвращения замерзания водного конденсата в зимний период работы установки.

Принятые в схеме принцип создания безотходной технологии позволяет проводить утилизацию высококонцентрированных газов и резко сократить унос серы, т.е. предотвратить потери серы и загрязнение окружающей среды сернистым ангидридом. Таким образом, решение технологической задачи окисления высококонцентрированных газов одновременно сопровождается повышением экологической безопасности процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алхазов Т.Г., Амиргулян Н.С. Сернистые соединения природных газов и нефтей. – М.: Недра, 1989. – 124 с.
2. Исмагилов Ф.Р., Вольцов А.А., Аминов О.Н., Сафин Р.Р., Плечев А.В. Экология и новые технологии очистки сероводородсодержащих газов. – Уфа: Экология, 2000. – 214 с.