

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ПО МЕТОДУ ВСА «HALDOR TOPSOE» В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ РЕСУРСОВ СЕРОВОДОРОДА КОКСОВОГО ГАЗА

© И.И. Сикан¹, Ю.Н. Скрипий², Р.В. Каренов³, Н.В. Мукина⁴

ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», 50095, Днепропетровская область, Кривой Рог, ул. Орджоникидзе, 1, Украина

Л.П. Банников⁵

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИН)» б1023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина

¹ Сикан Иван Иванович, главный инженер КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», e-mail: Ivan.Sikan@arcelormittal.com

² Скрипий Юрий Николаевич, начальник производственно-технической службы КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», e-mail: Yuriy.Skripiy@arcelormittal.com,

³ Каренов Роман Вячеславович, начальник цеха сероочистки КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», e-mail: Roman.Karenov@arcelormittal.com,

⁴ Мукина Наталья Владимировна, начальник технического отдела КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com

⁵ Банников Леонид Петрович, канд. техн. наук, заведующий химическим отделом, e-mail: ukhinbannikov@gmail.com

В статье рассмотрено влияние снижения ресурсов сероводорода на эксплуатацию установки по производству серной кислоты методом ВСА «ХАЛЬДОР ТОПСОЕ». Основные проблемы в рассматриваемом случае связаны со снижением количества тепла, выделяемого на стадиях горения, конверсии и конденсации. Показана целесообразность одноступенчатого сжигания в сложившихся условиях, связанная с конструктивными особенностями печи-котла и изменившейся теплофизической характеристикой топлива (смесь коксового газа с сероводородным).

Ключевые слова: коксовый газ, сероводородный газ, установка ВСА, одноступенчатое сжигание.



Yменьшение содержания сероводорода в коксовом газе и снижение объемов производства вызывают определенные несоответствия проектных и фактических показателей технологического режима работы установки по производству серной кислоты. Соответствующие данные для установки ВСА («ХАЛЬДОР ТОПСОЕ») КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели технологического регламента	Проектные	Фактические
Производство серной кислоты (моногидрата), т/сутки	208	37-48
Объемная доля SO ₂ в технологическом газе перед первым слоем реактора, %	5,61	1,66-1,69
Расход сероводородного газа, нм ³ /ч	1500-3000	400-700
Температура дымовых газов перед камерой смешения, °C	<790	456-476
Температура газов после первого слоя реактора, °C	<550	442-471
Температура газов после второго слоя реактора, °C	<440	397-407
Температура технологического газа на выходе из конденсатора ВСА, °C	<100	90-93
Объемная доля в регенераторном газе, %:		
H ₂ S	76,0	40,6-51,6
HCN	10,0	6,5-10,7
CO ₂	14,0	20,7-31,4

Данные табл. 1 показывают, что при снижении производительности установки в несколько раз уменьшается концентрация сероводорода в регенераторном газе и концентрация диоксида серы в технологическом газе (ТГ). Вследствие уменьшения теплоты сгорания регенераторного газа температура технологического газа после топки котла снизилась в среднем на 324 °C; по причине недостатка тепла конверсии при снижении содержания SO₂ температура газа после первого слоя реактора в среднем снизилась на 94 °C, а второго слоя – на 38 °C. Снижение тепла конденсации серной кислоты за счет уменьшения количества производимой кислоты привело к падению температуры после конденсатора ВСА на 7-10 °C. Таким образом, приведенные отклонения от технологического режима показывают закономерность снижения вырабатываемого тепла при производстве кислоты на всех стадиях процесса при снижении объемов перерабатываемого сероводородного газа и концентрации H₂S. Для снижения негативного эффекта на предприятии осуществлен ряд мероприятий на стадиях горения, конверсии и конденсации.

Стадия горения

Для стадии горения регенераторного газа разработан режим с подачей дополнительного количества топливного (коксового) газа. Паровой котел ПКС-Ц-12/26 первоначально был предназначен для двухступенчатого сжигания сероводородного газа и выработки пара (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика котла	Значение
Теплонапряжение топочного объема, тыс. ккал/м ³	400
Теплонапряжение горизонтального циклона, тыс. ккал/м ³	2200
Объем циклонной топки, м ³	30,6
Объем горизонтального циклона, м ³	5,6
Расход воздуха в газогорелочное устройство, нм ³ /ч	7500
Расход сероводородного газа, нм ³ /ч	1500-3000
Коэффициент избытка воздуха в циклонной топке	0,97
Коэффициент избытка воздуха в камере дожига	1,1
Количество подаваемого воздуха в камеру дожига, нм ³ /час	2000

На основании расчета теплового баланса и характеристик котла вначале был применен двухступенчатый подвод воздуха, обеспечивающий снижение образования оксидов азота, с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 0,97$ в циклонной топке и $\alpha = 1,1$ в камере дожига. Для этой цели АОЗТ НПП «Котлоэнергопром» разработал специальную горелку, рассчитанную на длительное совместное использование двух видов топлива (сероводородсодержащего и коксового газов) с применением алгоритма контроля горения топлив и минимизации образования CO и NO_x.



Практикой установлено, что содержание (по объему) оксидов азота в производственной серной кислоте при работе традиционного отделения серной кислоты коксохимического предприятия составляет:

- при одноступенчатом сжигании в печи-котле сероводородного газа (установки старого типа) 0,3-0,2 %;
- с камерой дожига (режим А.П. Сергеева) – 0,03-0,09 % [1, 2].

Актуальность двухступенчатого сжигания сероводородного газа диктовалась как нежелательным содержанием окислов азота в вырабатываемой серной кислоте, так и вновь вводимыми требованиями к содержанию выбросов NO_x на трубе ВСА в разрешительной документации. Температура газа в топке (1200-1250 °C) обеспечивает сгорание сероводорода до SO₂ и ограничивается термостойкостью огнеупоров. После котла температура снижается до 700-800 °C за счет функцио-

нирования теплообменных змеевиков. Практикой эксплуатации сернокислотных установок определена температура ТГ на входе в камеру дожига не ниже 700 °C.

В условиях недостатка воздуха некоторое количество сероводорода не догорает с попутным образованием серы. Температура выше 700 °C обеспечивает полное сгорание цианистого водорода, а также серы и H₂S в камере дожига. Температура на выходе из камеры дожига должна соответствовать требованиям ПТЭ (715 °C и выше) исходя из необходимости снижения образования оксидов азота [3].

Практика эксплуатации, однако, показала, что существующий котел не может обеспечить двухступенчатое сжигание смеси коксового и сероводородного газов. Основной причиной этого является несоответствие конструктивных особенностей горизонтального циклона и топки, запроектированных под сгорание сероводородного газа, теплофизическими свойствам коксового газа как необходимого вспомогательного источника тепла. Вследствие такого несоответствия в период работы в двухступенчатом режиме сжигания смеси газов периодически наблюдались частичные обрушения футеровки котлов (несколько раз в области перехода продуктов горения из горизонтального циклона в топку, т. наз. «пережима»). По мнению разработчиков котлов (АОЗТ НПП «Котлоэнергопром»), причиной подобных разрушений является более высокая адиабатическая температура сгорания коксового газа по сравнению с температурой сгорания сероводородного газа.

Адиабатическая температура горения смеси заданного состава рассчитывается на основании предположения, что все тепло, выделяемое при горении, полностью тратится на нагрев продуктов сгорания. В промышленности многие процессы горения можно условно отнести к адиабатическим, особенно при оценке стойкости огнеупорных материалов и тепловой напряженности почного пространства.

Различают несколько видов адиабатической температуры сгорания:

- жаропроизводительностью называется максимальная температура горения при стехиометрическом сгорании топлив, то есть при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ и начальной температуре газа и воздуха 0 °C;

- калориметрической температурой называется температура при действительном коэффициенте избытка воздуха и действительной температуре смеси, подаваемой на горение;

– теоретической температурой учитывается, кроме того, теплота, затрачиваемая на диссоциацию CO₂ и H₂O.

На основании значений теоретической температуры при умножении ее на КПД топки можно получить действительную температуру горения.

Оценку условий горения в топке печи котла сероводородного газа провели на основе расчета теоретической температуры горения сероводородного газа, коксового газа и смеси сероводородного и коксового газа. Считается, что при температуре выше 1600 °C необходимо учитывать тепловой эффект диссоциации CO₂ и H₂O, который снижает температуру горения.

Действительная температура горения, которая достигается в самой горячей точке факела, может быть приблизительно оценена путем умножения теоретической температуры на пирометрический коэффициент η (для экранированных топок котлов η = 0,65-0,75).

Анализ расчета показал, что расчетная адиабатическая температура горения смеси газов усредненного состава (табл. 3) составила 1732-1753 °C (рис. 1). Согласно верхней кривой, для коксового газа с соблюдением расчетного диапазона температуры ≈ 1700-1800 °C сжигание необходимо вести с коэффициентом избытка воздуха 1,2-1,3.

Таблица 3

Компоненты	Объемные доли, %		
	сероводородный газ	коксовый газ	смесь сероводородного и коксового газа
H ₂	60,0		33,5
CH ₄	24,4		13,6
CO	6,2		3,5
CO ₂	2,1	22,3	10,0
C ₂ H ₄	2,2		1,2
N ₂	4,3	16,9	9,1
O ₂	0,8	0,8	0,7
H ₂ S		49,6	19,6
HCN		10,4	4,1
H ₂ O	2,2	8,8	4,7

Исходя из результатов расчета, одноступенчатое сжигание для предтопка печи котла ПКС-Ц-12/26 является неприемлемым. В сложившихся условиях необходимо сжигание смеси сероводородного и коксового газов проводить с коэффициентом избытка воздуха 1,2-1,5. Эта вынужденная мера позволяет обеспечить также необходимое количество ТТ на первый по ходу газа контактный слой реактора с регламентной температурой 395-410 °C.

Кроме повышения адиабатической температуры сгорания коксового газа относительно сероводородного, по нашему мнению также необходим учет показателя скорости распространения пламени.

Известно, что напряжение топочного пространства пропорционально теплотворной способности сжигаемого газа, его концентрации и скорости распространения пламени [4]:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Q_1 C_1 u_1}{Q_2 C_2 u_2} \quad (1),$$

где I₁, I₂ – напряжение топочного пространства при сгорании соответственно коксового газа и сероводорода, ккал/m³×ч; Q₁, Q₂ – количество тепла, выделяющееся в топке при сгорании соответственно коксового газа и сероводорода, ккал/ч; C₁, C₂ – объемная концентрация сжигаемых газов в воздушной смеси, при которых достигается максимальная скорость распространения пламени, %; u₁, u₂ – максимальная скорость распространения пламени (для коксового газа и сероводорода), м/с.

Для сероводорода Q₂ = 5580 ккал/ч, C₂ = 11 %; u₂ = 0,336 м/с; для коксового газа Q₁ = 4081 ккал/ч, C₁ = 22,3 %; u₁ = 1,080 м/с, следовательно, I₁/I₂ = 4,8. Из этого следует, что напряжение топочного пространства при сгорании коксового газа в несколько раз выше напряжения при сгорании сероводорода. Это, по-видимому, является основной причиной разрушения кладки предтопка печи-котла при замене части сероводородного газа на коксовый.

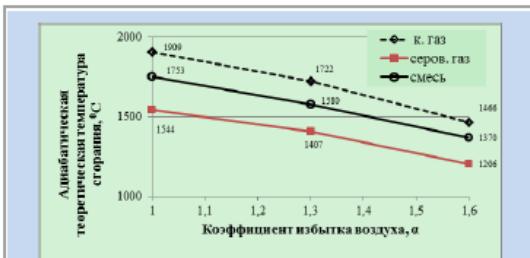


Рис. 1 Зависимость расчетных адиабатических температур горения от коэффициента избытка воздуха

Инструментальные замеры концентраций NO и CO в продуктах горения газоанализатором Testo 350 после печи-котла ПКС-Ц-12/26 при сжигании смеси газов с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,4$ показали, что при горении образуется 600–900 ppm NO и 0–18 ppm NO₂. После контактного аппарата при охлаждении газа примерно 300–500 ppm NO окисляется в NO₂. Причины окисления следующие:

- повышение коэффициента избытка воздуха при горении приводит к увеличению образования NO; скорость окисления NO в NO₂ увеличивается пропорционально квадрату концентрации NO в ТГ;
- с понижением температуры равновесие реакции NO + 0,5O₂ ⇌ NO₂ сдвигается вправо. Ниже температуры 150 °C реакция протекает полностью с образованием NO₂, выше температуры 600 °C реакция окисления NO в NO₂ не протекает;

Следовательно, нехарактерная для двухступенчатого метода реакция образования NO₂ протекает в конденсаторе ВСА, а причиной является вынужденное повышение коэффициента избытка воздуха. Так, при снижении расхода воздуха на печь-котел с 9000 до 6000 м³/ч произошло снижение концентрации NO с 800 до 500 ppm.

Стадия конверсии

Для проектного режима работы установки ВСА расход технологического газа на контактный аппарат должен составлять 35320 м³/ч. Если печь-котел будет работать на имеющееся количество сероводородного газа (до 800 м³/ч) и с проектным коэффициентом избытка воздуха, то объем технологического газа составит всего 11 % от проектной величины. Недостаточный объем ТГ влияет на линейную скорость газов в свободном сечении контактного аппарата, которая по нормам отечественного проектирования принимается равной 0,3 м/с (объем газов при н.у.). При сжигании только имеющего-

ся количества сероводородного газа скорость прохождения газа составила бы 0,033 м/с, что недостаточно для обеспечения нормального гидравлического режима реактора.

Таким образом, существующий ресурс сероводорода в очищаемом газе (5,8–7,6 г/м³) и перерабатываемый объем коксового газа (87–100 тыс. м³/ч) в цехе сероочистки не может обеспечить проектный режим в аппаратах установки ВСА. Поэтому объем ТГ увеличивается за счет сжигания дополнительного количества коксового газа, которое в свою очередь обеспечивает также дополнительный приход тепла в печь-котел. Значения показателей режима работы реактора ВСА при совместном сжигании газов при избытке воздуха приведены в табл. 4

Основная реакция стадии каталитического окисления диоксида серы происходит с выделением тепла:



В результате происходит разогревание слоя катализатора, согласно данным технологического регламента:

1 слой: с <410 до <450 °C;

2 слой: с <410 до <440 °C.

Таким образом, температурный режим контактного слоя является индикатором степени конверсии SO₂ в SO₃. Повышение температуры третьего слоя незначительно ввиду низкой концентрации SO₂ перед слоем. Результаты анализа показали, что независимо от температуры поступающего газа, среднее повышение температуры на первом слое (Δt_1) равно 53,2 °C, а среднее Δt_2 равно 15,3 °C. На рис. 2 приведено сравнение режимных и текущих значений температур по слоям реактора.

Причиной недостаточного повышения температур по слоям реактора является понижение ресурса сероводорода, поступающего в цех сероочистки.

При работе старого цеха сероочистки на полной загрузке третий слой катализатора разогревался на 4–5 градусов. При сжигании смеси коксового и сероводородного газов в топке печи котла концентрация диоксида серы существенно снизилась в сравнении с проектным значением. Поэтому необходимо было выяснить, находится ли третий слой в рабочем состоянии и способен ли он осуществлять каталитический процесс.

Проведенный анализ истории показаний температуры АСУ ТП показал, что в момент кратковременных сбоев температурного профиля на контактном аппарате происходит перераспределение функций второго и третьего слоя катализатора, при недостаточной высокой температуре на входе во второй слой происходило остыивание газа. Так как каталитического процесса в этот момент на втором слое не было, концентрация диоксида

серы, поступающего на третий слой, кратковременно повышалась. Необходимо отметить, что температура второго слоя формально находилась в пределах нормы технологического регламента и выше точки росы конденсации серной кислоты. В результате такого отклонения в работу включался третий слой реактора, при этом Δt_3 повышалось максимально на 15–24 °С. Такая же нештатная ситуация предусматривается при проектирова-

нии реакторов. По данным производителей пятиступенчатого контактного аппарата, пятый слой катализатора является резервным и вступает в работу при снижении активности одного из слоев.

Определение концентраций диоксида серы по высоте реактора проводили йодометрическим методом. Результаты замеров приведены в табл. 5.

Таблица 4

Показатели	Значение
Температура продуктов горения (ТГ), °С	402
Давление ТГ, мбар	30
Давление воздуха на коллекторе воздуходувки, мбар	68
Давление коксового газа после компрессора, мбар	58,5
Расход сероводородного газа, м ³ /ч	760
Расход воздуха, м ³ /ч	12456
Давление воздуха на горелку, мбар	69,3
Расход коксового газа, м ³ /ч	1138
Давление коксового газа после рубашки котла, мбар	59,4
Температура дымовых газов после камеры смешения, °С	473
Давление дымовых газов в топке, мбар	37
Температура ТГ на реактор, °С	402
Температура ТГ после 1 слоя, °С	454
температура ТГ на 1 слой, °С	394
Температура ТГ после 2 слоя, °С	411
Объем ТГ, нм ³ /ч	14119
Скорость в свободном сечении реактора ВСА, м/с	0,34

Таблица 5

Точка отбора	Объемная доля SO ₂ в ТГ, %, по замерам		Температура ТГ в реакторе, °С
	ГП «УХИН»	ЦЗЛ ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»	
До слоя	1,66	1,69	404
После 1-го слоя	0,65	0,66	448
До 2-го слоя			391
После 2-го слоя	0,092	0,11	408
До 3-го слоя			372
После 3-го слоя	0,003	0,08	370

Приведенные данные показывают, что степень конверсии диоксида серы составляет: на первом слое катализатора – 61 %, на втором слое – 86 %, на третьем слое – 97 %. Общая степень конверсии составляет 99,8 %. С учетом того, что определение проводилось при содер-

жании кислорода в реакторе 12 %, а на трубе ВСА – 17 %, концентрация диоксида серы в отходящих газах составляет 28 мг/м³, что не превышает требования технологических нормативов (500 мг/м³).

Таким образом, технология процесса ВСА на стадии катализа обеспечивает высокую степень конверсии диоксида серы даже при существенном снижении нагрузки.

на основании испытаний ГП «УХИН» рекомендовано изготовление компенсатора из стали 10X17H13M2(3)T (AISI 316).

Причиной повышенной коррозии оборудования является конденсация паров воды и кислоты, которая интенсифицируется при увеличении содержания паров воды и нарушениях целостности теплоизоляции. Основной причиной повышения опасности конденсации является недостаточная нагрузка оборудования. Увеличение содержания паров воды повышает точку росы конденсации кислоты, что вызвано сгоранием водорода коксового газа.

В период остановки была произведена замена теплоизоляции с применением материала, обладающего более низким коэффициентом теплопроводности ($\lambda = 0,08$ вместо $0,12 \text{ Вт}/\text{м}\times\text{К}$), результате чего в газоходе перед конденсатором ВСА количество сульфата железа существенно уменьшилось, также отсутствовали следы влаги. Существенно снизилось образование сульфата железа и у основания дымовой трубы.

При сгорании сероводородного и коксового газа в топке образуются оксиды азота (NO_x), содержание которых ограничивается в продукции серной кислоте и в хвостовых газах на трубе ВСА. Повышенное образование NO_x отрицательно влияет на качество серной кислоты, способствует коррозии оборудования и увеличивает выбросы загрязняющих веществ.

Незначительная часть NO_2 может раствориться в серной кислоте с образованием нитрозной кислоты. При хранении такой кислоты в емкости из углеродистой стали кислота может приобретать легкий красноватый оттенок.

Расторимость NO существенно увеличивается при появлении оксида азота (IV). В этом случае образующаяся смесь оксидов азота $\text{NO} + \text{NO}_2$ лучше растворяется в продукции кислоте и вызывает коррозию оборудования. Образование оксида азота NO_2 также происходит в результате окисления на ванадиевом катализаторе контактного аппарата.

На рис. 3 приведена растворимостьmonoоксида азота в серной кислоте согласно данным [5].

Из этого следует, что растворимость оксида азота (II) в серной кислоте невелика и слегка увеличивается, начиная с концентрации кислоты 90

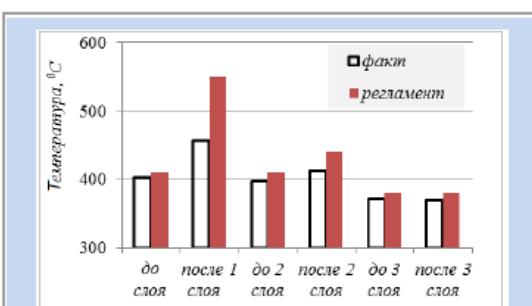


Рис. 2 Усредненные фактические и регламентные значения температуры ТГ по слоям реактора

Другими особенностями конверсии SO_2 в SO_3 в сложившихся условиях являются попутное окисление NO в NO_2 и наличие CO в технологическом газе. Результаты обследования реактора ВСА при помощи газоанализатора *Testo 350* показали, что приблизительно 10 % CO превращается в CO_2 на катализитических слоях, и 50-55 % NO окисляется до NO_2 . Вследствие этого на дымовой трубе ВСА виден коричневато-желтый туман (т.наз. «плоский хвост»).

Стадия конденсации

После реактора ВСА в ТГ производится впрыск силиконового масла для улучшения процесса конденсации серной кислоты. ВСА конденсатор состоит из четырех модулей; в связи с пониженной производительностью два модуля предполагается заменить на фальш-блоки.

Осмотр внутреннего пространства конденсатора ВСА при плановой остановке показал наличие «вздутия» полимерного покрытия (ПТФЭ) трубной решетки из-за сульфатации поверхности; также обнаружены подтеки раствора сульфата на уплотнении трубок. Компенсатор газохода был подвержен интенсивной коррозии и на отдельном участке разрушен. Химический анализ металла соответствовал марке стали 12Х18Н10ТЛ. Указанная сталь в данных условиях является нестойкой,

%. Серной кислотой оксид азота (II) в отсутствие оксида азота (IV) поглощается плохо.



Рис. 3 Растворимость NO в серной кислоте

Контроль содержания оксидов азота в производственной серной кислоте при эксплуатации установки ВСА в период совместного сжигания коксового и сероводородного газов показал, что содержание оксидов в пересчете на N₂O₃ составляет 0,001-0,03 % с максимальным значением 0,04 %.

В зависимости от парциальных давлений оксидов азота в технологическом газе, в серной кислоте устанавливается условная молярная концентрация N₂O₃, которая рассчитывается по формуле [6]: $M_{N_2O_3} = 0,5 \times (P_{NO} + P_{NO_2} + 2P_{N_2O_4}) \times \frac{1}{RT}$, моль/дм³ (3), где P_{NO} – парциальное давление азотистого ангидрида, атм; P_{NO₂} – парциальное давление диоксида азота, атм; P_{N₂O₄} – парциальное давление N₂O₄, атм; R – универсальная газовая постоянная, дм³×атм/(моль×град).

В процессе совместного сжигания образуется преимущественно оксид азота NO; в процессе абсорбции серной кислотой возможно частичное его окисление до NO₂; суммарно NO + NO₂ образуют оксид N₂O₃.

При концентрации NO, равной 300-500 ppm и NO₂ – 150-250 ppm, общем давлении порядка 1 атм и плотности кислоты 1,83 г/см³ концентрация оксидов азота в производственной кислоте меньше определяемой величины.

Ограничение в содержании оксидов азота в производимой на ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» серной кислоте технической по ГОСТ 2184-77 не предусматривается. Увеличение концентрации оксидов азота в серной кислоте приводит к

повышению ее коррозионной активности в сульфатном отделении.

Так как печь-котел сероводородного газа оборудован экранной системой для быстрого съема тепла, а также имеется система предварительного перемешивания воздуха с газом, фактическая температура факела ниже адиабатической, и роль механизма образования «термических» оксидов азота снижается. В связи с присутствием в регенераторном газе HCN в пределах 5-20 % по объему, возрастает роль топливного механизма образования NO_x. А.П. Сергеев, автор двухступенчатой схемы подачи воздуха в топку печи котла сероводородного газа, установил, что повышение температуры сгорания приводит даже к уменьшению образования NO_x [2]. Это положение подтверждает преимущественно топливный механизм образования NO_x.

Выводы

Снижение объемов перерабатываемого сероводородного газа и концентрации H₂S привело к уменьшению производимого тепла при получении кислоты на стадиях горения, конверсии и конденсации. Для функционирования установки ВСА в таких условиях осуществлен ввод тепла на стадии горения за счет подачи дополнительного количества коксового газа.

По причине конструктивных особенностей печи-котла ПКС-Ц-12/26, а также более вследствие высокой адиабатической температуры сгорания дополнительного коксового газа и более высокой скорости распространения пламени, реализовано одноступенчатое сжигание с коэффициентом избытка воздуха 1,3-1,4.

Процесс каталитического окисления диоксида серы при низких концентрациях осуществляется с высокой степенью конверсии, несмотря на снижение прироста температур по слоям реактора. Концентрация SO₂, CO и NO_x в отходящих газах не превышает требования технологических нормативов.

Снижение производительности установки ВСА привело к интенсификации образования сульфата железа за счет реакции тумана серной кислоты за конденсатором ВСА с конструкционными материалами, а также к увеличению образования NO₂.

Несмотря на существенное снижение объема технологического газа, концентрация получаемой серной кислоты находится в пределах требований

технологического регламента 90,0-92,5 % по мас-
се.

Библиографический список

1. Литвиненко М.С. Очистка коксового газа от сероводорода : [вакуум-карбонатный метод] / Михаил Семенович Литвиненко. – М.: Металлургиздат, 1959. – 308 с.
2. Справочник коксохимика. Т. 3. Улавливание и переработка химических продуктов коксования / [Под общ. ред. Е.Т. Ковалева]. – Харьков: ИД «ИНЖЭК», 2009. – 450 с.
3. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. – Харьков: Гипрококс, 2001. – 309 с.
4. Лиходиевский В.Л. Практическое руководство к выполнению курсовой работы и проведению практических занятий по курсу «Горение топлива и снижение вредных выбросов» для студентов специальности Т.01.02.00 «Теплоэнергетика» / В.Л. Лиходиевский, Н.В. Овсянник, Е.М. Иванова. – Гомель: ГТТУ, 2000. – 32 с.
5. Малина К.М. Справочник сернокислотчика / [Под общ. ред. К.М. Малина]. – М.: Химия. – 1971. – 744 с.
6. Амелин А.Г. Производство серной кислоты / Анатолий Гаврилович Амелин. – М.: Химия. – 1967. – 472 с.

Рукопись поступила в редакцию 23.03.2016

FEATURES OF THE WSA "HALDOR TOPSOE" SULPHURIC ACID PLANT OPERATING IN THE CASE OF H₂S DECREASING IN COKE OVEN GAS RESOURCES

© Sikan I.I., Skripiy Yu.N., Karenov R.V., Mukina N.V. (PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"), Bannikov L.P., PhD in technical sciences (SE «UKHIN»)

The article deals with the effect of reducing hydrogen sulphide resources on the WSA "HALDOR TOPSOE" sulphuric acid plant. The main problem in this case is associated with decreased amount of heat released on burning, conversion and condensation stages. The suitability of single-stage combustion in the conditions associated with the design features of the boiler furnace and changed the thermophysical characteristics of the fuel (a mixture of coke gas with hydrogen sulfide).

Keywords: coke oven gas, hydrogen sulphide gas, WSA "HALDOR TOPSOE" sulphuric acid plant, a one-stage combustion