

**СОВРЕМЕННЫЕ  
ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ГАЗОВЫХ АППАРАТОВ**

© 2009 Грабко В.В., Ли В.М., Шевченко Т.А.  
(Гипрококс),  
Соловьев М.А. (ОАО «Алчевсккокс»)

*В статье обобщен опыт Гипрококса по разработке новых теплообменных устройств, отвечающих современным требованиям, для газовых аппаратов химического крыла коксохимических предприятий.*

*In the article the Giprokoks design experience was generalized on the new heat-mass-transfer apparatus, in according with up-to-date requirements for the gas vessels of the coke oven gas processing plants.*

Ключевые слова: теплообменная аппаратура, коксовый газ, очистка от сероводорода, конечное охлаждение, улавливание бензола, эффективность, надежность.

**В** процессе проектирования новых и реконструкции действующих химических цехов коксохимических предприятий Гипрококсом были разработаны новые теплообменные устройства для газовых аппаратов.

Основные требования к этим устройствам следующие:

- высокая эффективность;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- незаращение отложениями;
- возможность установки в существующих аппаратах.

Такие теплообменные устройства разработаны Гипрококсом для процессов очистки газа от сероводорода, конечного охлаждения газа и улавливания бензола.

**1. Очистка коксового газа от сероводорода**

При реконструкции действующих цехов очистки коксового газа от сероводорода коксохимических предприятий Украины требуется выполнение комплекса мероприятий, направленных на сокращение выбросов в атмосферу диоксида серы (что достигается очисткой коксового газа от сероводорода до уровня  $\leq 0,5 \text{ г/м}^3$ ), сокращение количества сточных вод и расхода содопродуктов, максимальное использование существующего оборудования.

В 2002 г. ОАО «Алчевсккокс» успешно завершил I очередь реконструкции цеха очистки коксового газа от сероводорода вакуум-карбонатным способом по рабочему проекту, разработанному Гипрококсом. Была выполнена радикальная реконструкция серных скрубберов Д = 6000 мм № 3 (бывший № 5) и № 4 (бывший № 6) с заменой деревянной хордовой насадки на тарелки провальной типа. В 2007 г. в составе комплекса коксовой батареей (к.б.) № 10-бис ОАО «Алчевсккокс» (II очередь реконструкции цеха сероочистки) по тому же проекту Гипрококса была завершена реконструкция серных скрубберов Д = 6000 мм № 1 и № 2 с заменой деревянной хордовой насадки на тарелки провальной типа. Для снижения стоимости реконструкции серных скрубберов Д = 6000 мм,

технические проекты их реконструкции были выполнены с максимальным использованием элементов существующих внутренних устройств.

При реконструкции серных скрубберов была предусмотрена установка двумя пакетами 21<sup>ой</sup> крупнодырчатой провальной тарелки. Крупнодырчатые провальные тарелки не подвержены зарастанию или забиванию отверстий отложениями. Гидравлическое сопротивление скрубберов для улавливания сероводорода и глубина очистки коксового газа стабильны. Равномерное распределение поглотительного раствора на верхней массообменной тарелке 1<sup>ого</sup> пакета достигается с помощью оросительной тарелки специальной конструкции, на которую раствор подается трубчатым распределителем. Для более равномерного распределения поглотительного раствора по высоте пакетов тарелок над нижним пакетом также была установлена оросительная тарелка.

Предполагалось, что после II очереди реконструкции цеха сероочистки улавливание сероводорода из коксового газа будет осуществляться двумя газовыми потоками (табл. 1):

- 1<sup>ый</sup> газовый поток в составе серных скрубберов Д = 6000 мм № 3 (бывший № 5) и № 4 (бывший № 6);
- 2<sup>ой</sup> газовый поток в составе серных скрубберов Д = 6000 мм № 1 и № 2.

При этом скрубберы № 3 и № 1 – первая ступень улавливания, скрубберы № 4 и № 2 – вторая ступень.

Таблица 1

**Проектные показатели работы скрубберов**

№	Наименование характеристики	Численные значения	
		I поток	II поток
1	Количество подаваемого коксового газа, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	~100	~100
2	Количество подаваемого поглотительного раствора, $\text{м}^3/\text{ч}$	350	350
3	Содержание сероводорода на входе в скруббер, $\text{г}/\text{м}^3$	18	18
4	Содержание сероводорода на выходе из скруббера, $\text{г}/\text{м}^3$	0,5	0,5
5	Гидравлическое сопротивление аппарата, мм вод.ст.	~120	~110

В настоящее время в эксплуатации находятся две очереди серных скрубберов.

Эксплуатация реконструируемых скрубберов с установкой в них новых массообменных устройств (провальных тарелок) показала, что они обеспечивают

улавливание сероводорода из коксового газа до норм, требуемых по ПТЭ. В табл. 2 представлены усредненные характеристики работы серного скруббера № 4 согласно данным завода по состоянию на июль 2008 г. (период стабильной работы завода).

Таблица 2

**Усредненные характеристики работы серного скруббера № 4**

№	Наименование характеристики	Численное значение
1	Количество подаваемого коксового газа, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	до 100
2	Количество подаваемого поглотительного раствора, $\text{м}^3/\text{ч}$	375
3	Содержание сероводорода на входе в скруббер, $\text{г}/\text{м}^3$	7,4
4	Содержание сероводорода на выходе из скруббера, $\text{г}/\text{м}^3$	0,3-0,4
5	Гидравлическое сопротивление аппарата, мм вод. ст.	50

### 2. Конечное охлаждение газа

Одной из задач реконструкции бензольного отделения цеха улавливания химических продуктов коксования является обеспечение эффективного конечного охлаждения коксового газа и исключение вредных выбросов в атмосферу [1]. Гипрококс разработал технические проекты конечного газового холодильника  $D = 3600$  мм для ОАО «Маркохим» (в настоящее время – КХП МК «Азовсталь») и реконструкции конечного газового холодильника  $D = 2800/4000$  мм для ОАО «Алчевсккокс». В этих проектах в качестве контактных устройств вместо плоскопараллельной насадки применены провальные

(крупнодырчатые) тарелки. Их применение позволило значительно снизить металлоемкость, уменьшить стоимость аппаратов и расходы по их эксплуатации, увеличить производительность по коксовому газу, снизить температуру выходящего из аппаратов газа. Учитывая большую эффективность работы провальных тарелок, при реконструкции на ОАО «Алчевсккокс» конечного газового холодильника  $D = 2800/4000$  мм производительностью по коксовому газу 125-130 м<sup>3</sup>/ч было установлено 7 решетчатых (крупнодырчатых) тарелок. В табл. 3 представлены данные, полученные в процессе эксплуатации холодильников  $D = 2800/4000$  мм.

Таблица 3

Анализ работы конечных газовых холодильников по данным завода

№	Наименование характеристики	Численное значение
1	Количество подаваемого коксового газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч	125-130
2	Количество подаваемой воды, м <sup>3</sup> /ч	До 900
3	Температура коксового газа на входе в холодильник, °С	50
4	Температура коксового газа на выходе из холодильника, °С	23
5	Температура воды на входе в холодильник, °С	22
6	Температура воды на выходе из холодильника, °С	28-29
7	Массовая доля нафталина в смоле на входе в холодильник, %	8,5
8	Массовая доля нафталина в смоле на выходе из холодильника, %	10,6

### 3. Улавливание бензола

Во многом эффективность улавливания бензола из коксового газа зависит от типа контактных устройств, устанавливаемых в бензольных абсорберах. В качестве таких устройств используются провальные (крупнодырчатые) тарелки и различные насадки – деревянные либо металлические (к последним относятся просечно-вытяжная, Z-образная, плоскопараллельная и др.). Опыт использования провальных тарелок на ОАО «НЛМК» показал, что они не обеспечивают высокой степени улавливания бензола [2]. Вышеперечисленные насадки или забиваются (что приводит к увеличению сопротивления аппарата), или характеризуются недостаточной величиной удельной поверхности (что приводит к увеличению размеров аппарата). Кроме того, большое значение имеет равномерное распределение поглотительного масла по сечению и по высоте контактных устройств [3].

Все выше перечисленное было учтено при реконструкции бензольных абсорберов ОАО «Алчевсккокс». На этом предприятии подача коксового газа для улавливания бензола происходит двумя потоками. В каждом потоке были установлены по два бензольных абсорбера  $D = 3600$  мм с Z-образной алюминиевой насадкой. В первом потоке – абсорберы № 1 и № 2, во втором – № 3 и № 4.

В процессе эксплуатации абсорберов выяснилось, что Z-образная алюминиевая насадка забивалась (недостаточная ширина каналов) присутствующим в поглотительном масле шламом, а материал насадки корродировал, что вызывало необходимость затрат на ее замену. Поэтому завод самостоятельно модернизировал все четыре бензольных абсорбера, установив в двух из них плоскопараллельную насадку, в третьем – комбинацию из плоскопараллельной и деревянной хордовой насадок, а в четвертом – провальные тарелки.

Применение плоскопараллельной насадки с шагом 20-30 мм, деревянной хордовой насадки и провальных тарелок было обусловлено желанием избежать забивания шламом массообменных устройств, и тем самым уменьшить гидравлическое сопротивление аппаратов, а также увеличить срок службы массообменных устройств. Однако при модернизации абсорберов поверхность массообмена уменьшилась приблизительно в 2 раза, что привело к снижению степени извлечения бензола из коксового газа.

В связи с этим Гипрококсом по заданию завода был разработан проект реконструкции существующих бензольных абсорберов  $D = 3600$  мм № 1 и № 2. Для уменьшения стоимости реконструкции абсорберов технический проект был выполнен с максимальным

использованием элементов существующих внутренних устройств.

В проекте реконструкции абсорберов было предусмотрено 5 ярусов структурированной гофрированной насадки, которая по значению удельной поверхности почти в 2 раза превосходит существующую плоскопараллельную, а также характеризуется большей шириной каналов, чем заменённая Z-образная и существующая плоскопараллельная насадки. Структурированная насадка (патент на полезную модель № 22966, Украина, 2007 г.) изготовлена из тонколистовой нержавеющей стали, сваренной при помощи специальной электросварки в пакеты, легко монтируемые через люки в корпусе аппарата. Равномерное орошение поглотительным маслом верхнего яруса насадки происходит через распределительную тарелку специальной конструкции (патент на изобретение № 84634, Украина, 2008 г.), на которую подача масла осуществляется с помощью кольцевого трубчатого распределителя. Для более равномерного распределения поглотительного масла по

высоте насадки через два яруса установлена перераспределительная тарелка, конструкция которой аналогична распределительной.

В октябре 2006 г. по этому проекту был реконструирован и пущен в эксплуатацию абсорбер № 2 первого потока улавливания бензола из коксового газа, причем один ярус структурированной насадки площадью 2640 м<sup>2</sup> не был уложен.

В настоящее время улавливание бензола из коксового газа осуществляется на заводе следующим образом:

– в первом потоке задействованы реконструированные абсорберы №№ 1 и 2;

– во втором потоке работают абсорбер № 3 (существующий) и абсорбер № 4 (массообменное устройство – новая структурированная насадка). Абсорбер № 3 планируется в ближайшее время вывести из эксплуатации.

Анализ работы абсорберов по данным завода представлен в табл. 4.

Таблица 4

Анализ работы абсорберов по данным завода

№	Наименование характеристики	I поток (абсорберы №№ 1 и 2)	II поток (абсорберы №№ 3 и 4)
1	Количество подаваемого коксового газа, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	100-110	100-110
2	Количество подаваемого поглотительного масла, м <sup>3</sup> /ч	200-205	200-230
3	Содержание бензольных углеводородов на входе, г/м <sup>3</sup>	31-33	31-33
4	Содержание бензольных углеводородов на выходе, г/м <sup>3</sup>	2,2-2,5	2,6-2,8
5	Гидравлическое сопротивление аппарата, мм вод. ст.	160-180	160-180

#### Выводы

Разработанные Гипрококсом новые тепломассообменные устройства (крупнодырчатые провальные тарелки для охлаждения коксового газа и для его очистки от сероводорода), а также структурированная гофрированная насадка для улавливания бензольных углеводородов имеют следующие преимущества:

- высокая эффективность;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- незабываемость;
- простота конструкции и дешевизна.

Кроме того, эти устройства позволяют:

- реализовать технологические процессы в одном аппарате;
- исключить установку резервных аппаратов;
- реконструировать существующие аппараты без значительных затрат и уменьшить их количество.

#### Библиографический список

1. Рудыка В.И., Зингерман Ю.Е., Грабко В.В., Казак Л.А. Основные направления модернизации химических цехов коксохимических предприятий // *Кокс и Химия*. – 2004. – №7. – С. 29-33.

2. Кузнецов В.Я., Шебастьяк И.М., Большаякова Л.Н., Конкина И.Н. Опыт использования тарельчатого абсорбера для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа // *Кокс и Химия*. – 2005. – № 2. – С. 22-23.

3. Александров П.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. – М.: Химия, 1971. – 296 с.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.2009