

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ,
ВНЕДРЕННЫЕ В БЕНЗОЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИИ
ЦЕХА УЛАВЛИВАНИЯ № 1 ПАО «АКХЗ»**

**MODERN TECHNICAL IDEAS, IMPLEMENTED
AT CHEMICAL PLANT № 1 OF THE PJSC
"AVDIIVKA COKE"**

© 2013 Скрипченко Н.П., к.т.н., Еремеев Ю.В.,
Казьмин В.П. (ПАО «АКХЗ»),
Костенко А.В., Пилипенко В.И. (ГП «УХИН»)

**Skripchenko N.P., PhD in technical sciences,
Eremeev Ju.V., Kazymin V.P.
(PJSC "AVDIIVKA COKE"),
Kostenko A.V., Pilipenko V.I. (SE "UKHIN")**

В статье представлены современные технические решения, внедренные в бензольном отделении цеха улавливания № 1 ПАО «АКХЗ». Накопленный опыт эксплуатации компактного конечного газового холодильника и модернизированного бензольного скруббера в сочетании с упрощенной обвязкой дистилляционной колонны особенно ценен в условиях реконструкции действующего коксохимического предприятия.

Modern technical ideas are presented, that were implemented for the benzene recovery unit of chemical shop № 1 of the PJSC "AVDIIVKA COKE". Operating experience of small foot print COG final cooling and benzene scrubber after revamping with simplified scheme of the distillation column has especially great significance under the reconstruction of operating coke oven plant.

Ключевые слова: конечный газовый спиральный холодильник, модернизация, скруббер, просечно-вытяжная насадка, рефлюкс, флегма.

Keywords: final spiral cooler of coke oven gas, scrubber, revamping, expanded metal packing, reflux, phlegm.

Извлечение бензольных углеводородов из коксового газа продолжает оставаться важной технологической стадией подготовки коксового газа к использованию в энергетических целях, так как позволяет получать ценное сырье для предприятий химической промышленности. При очистке коксового газа от бензольных углеводородов происходит попутное извлечение сероорганических компонентов и нафталина, что позволяет облагораживать газ как топливо и получать потенциальное сырье для квалифицированного использования.

Узел конечного охлаждения

Задача конечного охлаждения коксового газа – понижение температуры для проведения процесса абсорбции бензольных углеводородов. При этом происходит конденсация водяных паров, легких смолистых веществ и нафталина. Образующийся водный конденсат растворяет летучие компоненты газа, прежде всего – цианистый водород и аммиак. Поэтому при конечном охлаждении коксового газа стоит задача по выводу из него вышеперечисленных загрязнений, которая по-разному решается на коксохимических предприятиях Украины [1, 2].

На ПАО «АКХЗ» разработано и применено наиболее современное и оригинальное по аппаратному оформлению технологическое решение, позволяющее существенно сократить размеры конечного газового холодильника (КГХ), упростить технологическую схему и сократить затраты на обслуживание. По сравнению с ранее установленным КГХ, высота аппарата уменьшилась с 40,0 до 11,5 метров, диаметр – с 6,0 до 2,1 метра, выработка сырого бензола увеличилась на 1,5-2,0 %, энергопотребление установки сократилось на 15-20 %. Предприятием получен патент № 23712 от 11.06.2007 на полезную модель «Процесс конечного охлаждения коксового газа».

Конструктивно новый КГХ представляет собой колонну, состоящую из трех спиральных теплообменников суммарной поверхностью 1026 м², вмонтированных в один корпус. Спиральная колонна имеет три ступени охлаждения и работает последовательно по газу и параллельно по оборотной технической воде, подаваемой на верхнюю и среднюю ступени теплообмена. Имеется возможность работы нижнего спирального теплообменника на технической воде захоложенного цикла. На каждую ступень холодильника предусмотрена подача водосмоляной эмульсии для промывки наружных поверхностей спиралей от возможных отложений нафталина; кроме того, при подаче эмульсии на верхнюю ступень две нижние служат дополнительной поверхностью массообмена. Высокие скорости потоков технической воды в спирали, а, следовательно, высокие коэффициенты теплопередачи в сочетании с параллельным подключением по оборотной воде и с возможностью использования на нижней ступени холодильника оборотной технической воды захоложенного цикла обеспечивают малые габариты аппарата и снижение капитальных затрат.

Экологический эффект от внедрения спирального КГХ обусловлен не только переходом от открытого цикла охлаждения коксового газа к закрытому, при этом возникают дополнительные преимущества перед аналогичными схемами: сокращается количество сборников и линий «грязной» воды, отсутствуют насосы для их перекачки и ликвидируются капежи через уплотнения, а также отсутствуют продувочные воды.

Важным аспектом работы конечного охлаждения является необходимость удаления из коксового газа нафталина вследствие конденсации последнего, которая происходит при понижении температуры охлажденного газа ниже температуры выходящего газа из первичных холодильников.

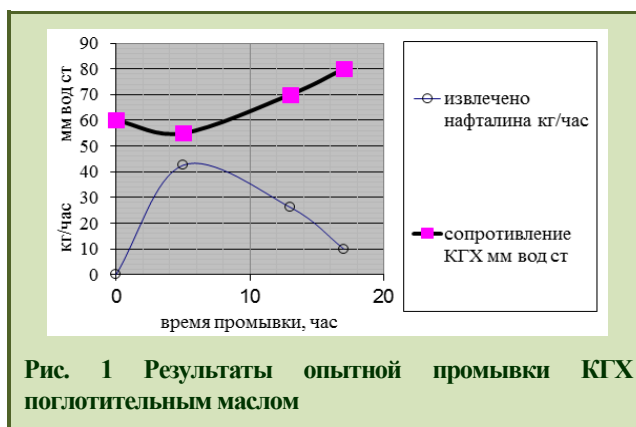
Применение поглотительного масла вместо смолы для извлечения нафталина из коксового газа при конечном охлаждении представляет интерес, так как масло является лучшим экстрагентом. Для устойчивой работы холодильника

проектом предусматривалась постоянная промывка каждой секции смесью каменноугольного масла (30 %) и воды (70 %) через разбрызгивающее устройство в количестве 4-5 м³/ч на одну секцию-спираль. На рис. 1 приведены результаты опытной промывки газового пространства КГХ эмульсией поглотительного масла при расходе коксового газа 85-90 тыс. м³/час. Из рисунка следует, что минимальное сопротивление аппарата наблюдается при извлечении около 40 кг/ч нафталина. С насыщением промывного масла нафталином гидравлическое сопротивление КГХ начинает возрастать.

Одной из проблем использования поглотительного масла в таких процессах является его стойкое эмульгирование и плохое отстаивание. Сложность представляет и дальнейшая переработка масла и воды с высоким содержанием смолистых веществ.



Наиболее приемлемым оказался способ промывки спиральных поверхностей теплообмена водосмоляной смесью. При отборе и анализе проб смолы на содержание нафталина установили, что балансовое количество этого компонента, экстрагируемого смолой, примерно соответствует приходу нафталина с коксовым газом, определенному по концентрации нафталина в газе после первичных газовых холодильников (0,5-0,7 г/м³). Естественно, что концентрация нафталина в коксовом газе после КГХ будет приблизительно соответствовать равновесной концентрации нафталина в каменноугольной смоле с содержанием этого компонента около 10-12 %. Основным режимным показателем, определяющим степень удаления нафталина, является гидравлическое сопротивление КГХ. За счет высокой скорости газа (около 20 м/с) и высокой степени турбулентности газового потока реализуется эффект самоочищения пластин. Для поддержания оптимального сопротивления спирального КГХ оказалось возможным осуществлять периодическую промывку верхней спиральной поверхности теплообмена горячей водосмоляной смесью.



Скрубберное отделение

Использование старого корпуса скруббера для модернизации осложняют существенные ограничения на повышение интенсивности процесса извлечения бензольных углеводородов, так как большой диаметр аппарата, разработанного под

хордовую насадку, не позволяет увеличить скорость газа в свободном сечении и в полной мере использовать все преимущества современных насадок, – в частности, высокий коэффициент массопередачи. Кроме того, при использовании насадок типа «Меллапак» («Зульцер Хемтех») металлоемкость скруббера большого диаметра неоправданно повышается.

Поэтому на ПАО «АКХЗ» разработали собственную оригинальную конструкцию насадки, защищенную патентом № 20441 от 15.01.2007 на полезную модель «Скруббер для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа».



Основные особенности разработанной конструкции – новые элементы внутренней структуры, в частности – насадка из просечно-вытяжных листов, оригинальное решение распределительных устройств для поглотительного масла, новая конструкция брызгоотбойника-каплеуловителя. Скруббер был изготовлен силами завода и ЧП «Новатор», при этом использован существующий корпус бензольного скруббера. Бензольный скруббер новой конструкции позволил заменить три аппарата старой конструкции с плоскопараллельной насадкой.

По высоте скруббера расположено четыре яруса (блока) металлической просечно-вытяжной насадки с просечными отверстиями, на которых образуется пленка каменноугольного поглотительного масла. Отверстия представляют собой ромб с диагоналями 15 и 40 мм, ширина полосы составляет 2,5 мм. Блок состоит из пакетов различной конфигурации, каждый из последующих по высоте пакетов насадки, составляющих ярус, повернут по отношению к предыдущему на 45°. Над каждым пакетом насадки смонтирована распределительная тарелка, на которой установлены клапаны для пропускания газа и форсунки с разбрызгивающими тарелочками.

Коксовый газ подается через патрубок входа газа и поднимается вверх. В свою очередь, каменноугольное поглотительное масло подается через форсуночный коллектор на верхнюю распределительную тарелку, переливается через переливные устройства на разбрызгивающие тарелочки, которые распределяют поток по всему сечению скруббера.

Навстречу потоку поглотительного масла, равномерно распределяясь в просечно-вытяжных листах, поднимается коксовый газ, взаимодействуя со стекающим маслом. Газ через клапаны в перераспределительных тарелках проходит на следующий ярус насадки, где взаимодействует с перераспределенным потоком поглотительного масла.

После верхнего яруса газ взаимодействует с разбрызгиваемым через форсуночный коллектор свежим поглотительным маслом «дебензине», где имеет место массообмен между газом и каплями поглотительного масла. Далее газ попадает в совмещенный брызгоотбойник, где из газового потока извлекаются капли уносимого поглотительного масла.

Основные проектные данные нового скруббера:

Габариты, мм:

– высота	39035;
– диаметр	6000
Номинальный расход коксового газа, тыс. $\text{м}^3/\text{час}$	100-120
Скорость газа в свободном сечении, $\text{м}/\text{с}$	1,0-1,2
Относительное свободное сечение насадки, %	95
Рабочая поверхность насадки, м^2	27720
Номинальный расход поглотительного масла, $\text{м}^3/\text{час}$	180-200

На рис. 2 приведена характеристика насыщения поглотительного масла бензольными углеводородами по высоте скруббера.



Рассчитанный на основании практических данных работы коэффициент массопередачи составляет 0,08-0,10 кг/м² ч мм рт.ст., что существенно выше аналогичного показателя деревянной хордовой насадки (0,04 кг/м² ч мм.рт.ст.). При обычно применяемой поверхности насадки 1,1-1,3 м² на 1 м³ обрабатываемого газа использование данного типа насадки обеспечивает удельную поверхность 0,55-0,62 м²/м³. Применение разработанного типа насадки уменьшает требуемую поверхность абсорбции по сравнению с деревянной хордовой как минимум в два раза. Следует подчеркнуть, что данные показатели достигнуты на невысоких линейных скоростях газа (0,7-1,1 м/с), что дает существенные преимущества разработанной конструкции аппарата по величине гидравлического сопротивления.

Отделение дистилляции

Ранее в цехе улавливания №1 ПАО «АКХЗ» использовалась традиционная схема дистилляции оборотного масла с дефлегмацией его паров вне бензольной колонны. На современном этапе развития процессов улавливания бензольных углеводородов, по мнению специалистов AISE (ассоциации инженеров по производству чугуна и стали) необходима реализация схемы с рефлюксом сырого бензола (температура верха колонны 90-120 °С), что исключает необходимость установки дефлегматора [3].

Использование традиционной схемы с орошением флегмой имеет следующие основные недостатки. Во-первых, получаемая в дефлегматоре флегма и образующийся конденсат водяных паров (флегмовая вода) близки по удельному весу, и их гравитационное разделение путем отстоя весьма затруднительно. В результате этого содержание смолистых веществ в сепараторной воде повышается, что затрудняет ее дальнейшую переработку. Во-вторых, при подаче флегмы в масло «бензине» она вновь возвращается в дистилляционную колонну, затем в дефлегматор, т.е. наиболее «ценные» компоненты масла (гомологи нафталина), входящие в состав флегмы, циркулируют в контуре сборник масла «бензине» – дефлегматор, при этом не принимая участия в процессе очистки коксового газа. С другой стороны, подача флегмы (содержащей бензольные углеводороды) в масло «дебензине» также не вполне оправдана. В-третьих, при орошении флегмой легкие погоны поглотительного масла попадают в сырой бензол, что ухудшает его качество и ведет к перерасходу масла. Поэтому конденсация паров масла вне дистилляционной колонны (в дефлегматоре) может рассматриваться как громоздкий и не вполне рациональный технологический прием.

При орошении рефлюксом сырого бензола происходит конденсация легких погоней масла непосредственно в дистилляционной колонне, и они постоянно находятся в основном абсорбционном цикле, что приводит к сокращению их потерь с сырым бензолом и упрощению процесса вывода сепараторной воды.

На ПАО «АКХЗ» впервые в Украине применена схема дистилляции с орошением рефлюксом вместо прежней схемы с орошением бензольной колонны флегмой.

Для реализации орошения колонны рефлюксом дистилляционная колонна должна включать исчерпывающую и укрепляющую часть, орошаемую рефлюксом из смеси углеводородов, температура кипения которых существенно ниже температуры кипения легких погоней масла.

Характеристика работы дистилляционной колонны с рефлюксным орошением

Параметр	Значение
Расход поглотительного масла на колонну	200 м ³ /ч
Температура масла после трубчатой печи	160-180 °С
Температура масла после колонны	135-150 °С
Температура верха колонны	90-95 °С
Количество пара подаваемого в колонну	7-8 т/ч
Температура пара	150 °С
Количество рефлюкса	7-8 т/ч
Температура рефлюкса	25-38 °С
Расход охлаждающей воды	250-480 м ³ /ч
Выработка сырого бензола	4 т/ч
Количество тарелок в укрепляющей части	8
Количество тарелок в исчерпывающей части	17
Содержание отгона до 180 °С в продукте	≥91 %

Эффективность работы укрепляющей части колонны (определяемая количеством и КПД тарелок) оценивается потерями метилгомологов нафталина с сырым бензолом, т.е. селективностью разделения паров нафталина и его метилгомологов (имеющих близкие температуры кипения) при необходимом выводе из оборотного цикла соответствующего количества нафталина с сырым бензолом. Причем от степени упомянутой селективности зависит рабочий концентрационный уровень нафталина и его метил-гомологов в оборотном масле. Т.е. содержание нафталина в масле желательно поддерживать на наиболее низком уровне (ориентировочно не более 8 %) с целью доочистки газа от нафталина до нормативных требований, а содержание метил-гомологов – на наиболее высоком уровне для обеспечения высокой поглотительной способности масла по отношению к бензольным углеводородам. По предварительной оценке, оптимальное количество тарелок в укрепляющей части дистилляционной колонны находится в пределах 6-10 штук [4].

При рефлюксном орошении верха колонны сырым бензолом вероятно возрастание нагрузки исчерпывающей части колонны по отгоняемым из масла бензольным углеводородам за счет возможного частичного поступления их из укрепляющей части. По этой причине в исчерпывающей части колонны устанавливается 20 тарелок (клапанного типа) [4].

Для определения материального и теплового балансов верха дистилляционной колонны важное значение имеет определение объема паровой фазы (поступающей в конденсаторы-холодильники) на основе баланса укрепляющей части колонны с учетом конкретного значения абсолютного давления перед конденсаторами-холодильниками (зависящего от их типа). При этом также определяются оптимальные значения расхода рефлюкса и температуры паровой фазы на выходе из колонны, исходя из следующих условий:

- полное испарение рефлюкса в укрепляющей части колонны;
- отсутствие конденсации водяных паров и паров продуктового дистиллята («сырого» бензола) в укрепляющей части;
- приблизительное соответствие парциального давления водяных паров в смеси на выходе из колонны их упругости при данной температуре (паров на выходе из колонны).

В таблице приведены основные параметры работы отделения дистилляции ЦУ №1 ПАО «АКХЗ». Таким образом, в бензольном отделении ПАО «АКХЗ» осуществлена реконструкция с внедрением наиболее передовых решений, в том числе собственных уникальных разработок, которые находят применение на отечественных и зарубежных предприятиях. При реконструкции действующего узла конечного охлаждения в условиях ограниченной территории для размещения нового оборудования целесообразна установка компактного газового холодильника. При наличии корпуса бензольного скруббера применение насадки из просечной вытяжной сетки, разработанной на ПАО «АКХЗ», обеспечивает высокий коэффициент массопередачи. Переход бензольной колонны на рефлюксное орошение минимизирует аппаратное оформление и упрощает его обслуживание.

Библиографический список

1. **Базов С.В.** Комплексные решения по повышению эффективности работы установки закрытого цикла конечного охлаждения ЧАО «МАКЕЕВКОКС» / **С.В.Базов, О.Н.Мос-товой, С.А.Губанов [и др.]** // Углехимический журнал. – 2012. – № 5-6. – С. 50-54.
2. **Федак С.П.** Конечное охлаждение коксового газа с применением различного оборудования / **С.П.Федак, Л.А.Казак, Л.Ф.Сырова [и др.]** // Углехимический журнал. – 2009. – № 3-4. – С. 68-74.
3. **Wakelin D.H.** Making, Shaping and Treating of Steel (Iron Making) / **David H. Wakelin, Richard J. Fruehan** // Latest technology. – Vol. 2. – 1999. – P. 497-533.
4. **Тарасов Н.А.** Освоение усовершенствованной схемы бензольного отделения цеха улавливания химических продуктов коксования / **Н.А.Тарасов, И.И.Мельников, В.М.Крячук [и др.]** // Кокс и химия. – 2001. – № 12. – С. 24-29.

Рукопись поступила в редакцию 12.07.2013