

## ОБ УГАРЕ КОКСА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТК

© Ю.С. Васильев<sup>1</sup>, А.Л. Фидчунов<sup>2</sup>, Л.Н. Фидчунов<sup>3</sup>, И.В. Шульга<sup>4</sup>

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина.

<sup>1</sup> Васильев Юрий Семенович, доктор техн. наук, проф., главный научн. сотр., e-mail: y.vasilev33@gmail.com

<sup>2</sup> Фидчунов Алексей Леонидович, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. коксового отдела, e-mail: fch.aleks@gmail.com

<sup>3</sup> Фидчунов Леонид Николаевич, канд. техн. наук, с.н.с., ведущий научн. сотр. коксового отдела, e-mail: fch.aleks@gmail.com

<sup>4</sup> Шульга Игорь Владимирович, заведующий коксовым отделом, канд. техн. наук, доц., заведующий коксовым отделом, e-mail: ko@ukhin.com.ua

*Оценено влияние конструктивных особенностей установки сухого тушения кокса (УСТК) на величину угара кокса и производительность УСТК. Показана невозможность обеспечения проектной производительности 70 т/ч на действующих УСТК. Основными ограничениями, препятствующими увеличению производительности УСТК, являются большой объем форкамеры и недостаточные производительность дымососа и котла*

Ключевые слова: установка сухого тушения кокса, угар кокса, производительность УСТК.

\*\*\*\*\*

Тушение кокса на одном из коксохимических производств Украины (завод № 1) осуществляется на УСТК, состоящей из трех камер тушения с проектной производительностью по 70 т/ч валового кокса при его охлаждении от 1050 до 250 °С. Производительность УСТК при проектном периоде коксования 24 ч и при двухчасовой продолжительности циклических остановок составляет 126,35 т/ч. При двух работающих камерах тушения необходима производительность камеры ~ 63,2 т/ч. Однако практика эксплуатации показала, что максимальная производительность, которую удается достичь, не превышает 62 т/ч. Выяснению причин такого положения и посвящается данная статья.

Процесс тушения кокса в УСТК идет с потерей его массы – угаром – и добавлением тепла от угара к физическому теплу кокса, передаваемому теплоносителю. При этом для тепловых расчетов УСТК величина угара принимается от 0,1 [1] до 0,6 % [2] от массы потушенного кокса, то есть существенно меньше экспериментально полученных значений, доходящих до 3 % и более [3, 4]. Это обуславливает необходимость корректировки проектного значения производительности УСТК.

Для оценки влияния на производительность УСТК угара кокса нами использовались данные расчета теплового баланса, приведенного в монографии Р.И. Давидзона [2].

Физическое тепло теплоносителя  $Q_n$  (ккал/кг), расходуемое на производство пара, определяется уравнением:

$$Q_n = V_T \cdot (C_{тн} \cdot t_{тн} - C_{тк} \cdot t_{тк}) + Q_k \cdot 10^{-2} \cdot y \quad (1),$$

где  $V_T$  – удельный расход теплоносителя на тушение кокса, м<sup>3</sup>/кг;

$C_{тн}$ ,  $C_{тк}$  – соответственно, начальная и конечная теплоемкость теплоносителя при температуре, соответственно  $t_{тн}$  и  $t_{тк}$ , ккал/м<sup>3</sup>·град;

$t_{тн}$  и  $t_{тк}$  – соответственно, температура теплоносителя на входе в котел и выходе из него, °С;

$Q_k$  – теплотворная способность кокса, ккал/кг;

$10^{-2}$  – коэффициент перевода % в доли единицы;

$y$  – угар кокса, %.

При  $V_T = 1,45$  [5],  $Q_k = 7300$  ккал/кг и значениях  $C_{тн}$ ,  $C_{тк}$ ,  $t_{тн}$  и  $t_{тк}$  из [2], выражение (1) принимает вид:

$$Q_n = 295,2 + 73y \quad (2).$$

При  $t_{тн} = \text{const}$  и  $t_{тк} = \text{const}$  выражения (1) и (2) дают следующую формулу, устанавливающую связь между угаром кокса и удельным расходом теплоносителя:

$$V_T = (295,2 + 73y) / 203,58, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3),$$

а связь между производительностью УСТК и угаром кокса описывается уравнением:

$$П = V_d / V_T, \quad (4),$$

где  $V_d$  – производительность дымососа, м<sup>3</sup>/ч;

$П$  – производительность УСТК по коксу, т/ч.

Производительность основного дымососа УСТК этого предприятия составляет 195000 м<sup>3</sup>/ч теплоносителя с температурой 443 К. Для температуры теплоносителя, соответствующей нормальным условиям (273 К), производительность дымососа составляет 195000 · 273/443 = 120170 м<sup>3</sup>/ч.

Совместное решение относительно  $V_T$  (при  $V_T = 120170$  м<sup>3</sup>/ч) уравнений (3) и (4) дает значение величины угара кокса (0,74 %), при котором УСТК может обеспечить проектную производительность 70 т/ч валового кокса. При этом из формул (1) и (3) следует, что дальнейшее увеличение (сверх 0,74 %) угара на каждые 0,1 % приводит либо к уменьшению производительности УСТК ~ на 2,4 %, либо к увеличению температуры теплоносителя перед котлом на 15 °С.

Проведенное ГП «УХИН» на заводе № 1 определение потери массы (угара) кокса осуществлялось по методике, основанной на балансе углерода (С) и водорода (Н) в сбросе на свечах избыточного теплоносителя и вентиляционных выбросов.

Для определения потери массы кокса (угара) использовалась формула:

$$У = 100V_c (C + H) / 0,9 П \quad (5),$$

где  $У$  – потеря массы (угар) кокса в УСТК, %;

$V_c$  – суммарный сброс избыточного теплоносителя на свечах избыточного теплоносителя и вентиляционных выбросов, м<sup>3</sup>/ч;

$C + H$  – суммарное содержание углерода и водорода в 1 м<sup>3</sup> сбрасываемого теплоносителя, кг;

100 – коэффициент перевода долей единицы в проценты;

0,9 – содержание в коксе горючих компонентов, доли единицы;

$П$  – производительность УСТК по коксу, т/ч.

Величины сброса на свечах избыточного теплоносителя и вентиляционных выбросов рассчитывались по методике определения скорости и расхода газовых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнений [6]. Определение величины сброса избыточного теплоносителя на свечу вентиляционных выбросов выполнялось по формуле:

$$V_n = V_b / K_p \quad (6),$$

где  $V_b$  – сброс на свечу вентиляционных выбросов, м<sup>3</sup>/ч;

$K_p$  – коэффициент разбавления, показывающий количество объемов воздуха, приходящееся на один объем теплоносителя, в сбросе через разгрузочное устройство.

Величина  $K_p$  рассчитывалась по балансу кислорода в сбрасываемом на свечу газе и газе-теплоносителя по формуле:

$$K_p = \frac{21 - O_{дн}}{21 - O_{дв}} \quad (7),$$

где 21 – концентрация кислорода в воздухе, %;

$O_{дн}$  – концентрация кислорода в газе-теплоносителе;

$O_{дв}$  – концентрация кислорода в сбросе на свечу вентиляционных выбросов, %.

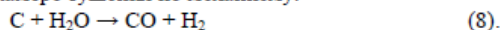
Были получены неожиданно большие (более 1,5 %) значения величины потери массы (угара) кокса при производительности УСТК ~ 60-62 т/ч. Неожиданно большие потому, что аналогичное обследование, проведенное ГП «УХИН» на другом отечественном коксохимическом заводе (завод № 2), показало: потеря массы кокса на старых, изношенных УСТК с увеличенной до 0,8-1,0 % концентрацией кислорода в теплоносителе (против 0,1-0,2 % в УСТК завода № 1) составляет от 1,1 до 1,4 %. При таких значениях величины угара кокса максимальная производительность УСТК, определенная в результате решения уравнений (3) и (4) не может превышать 60,4 т/ч.

Сравнение конструкций УСТК заводов № 1 и № 2 свидетельствует об увеличенной до пяти печей вместимости форкамеры УСТК завода № 1 по сравнению с УСТК завода № 2, емкость форкамеры которых составляет три печи. Такая разница в объемах форкамеры обуславливает практически вдвое большую продолжительность пребывания кокса в форкамере УСТК завода № 1, то есть практически вдвое большую продолжите-

льность процесса остаточного газовойделения из кокса. При производительности УСТК завода № 1, равной 2,5 печи в час, пятикамерная емкость форкамеры обеспечивает двухчасовую продолжительность процесса остаточного газовойделения против ~ 1 ч на УСТК завода № 2 с емкостью форкамеры около 3 печей.

По данным [7] двухчасовая продолжительность выдержки кокса в форкамере обеспечивает потерю ~ 1 % его массы в виде газа следующего состава (% по объему):  $H_2 - 81,4$ ;  $CO - 7,6$ ;  $CH_4 - 0,6$  и  $N_2 - 10,4$ . При плотности такого газа  $0,302 \text{ кг/м}^3$ , остаточное газовойделение, равное 1 % от массы кокса (10 кг на тонну кокса), соответствует  $10/0,302 = 33,1 \text{ м}^3$  газа на тонну потушенного кокса.

Второй, на наш взгляд, причиной потери массы кокса в УСТК, является дожиг этого газа в кольцевом канале, приводящий к насыщению теплоносителя парами воды, активно взаимодействующими с углеродом кокса в камере тушения по механизму:



Количество образующихся в кольцевом канале УСТК водяных паров составляет (в соответствии с реакцией  $H_2 + 0,5 O_2 = H_2O$ ):

$$33,1 \cdot 62 \cdot 81,4 \cdot 10^{-2} = 1670,5 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 33,1 – удельная величина остаточного газовойделения в форкамере,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;

62 – производительность УСТК по валовому коксу,  $\text{т}/\text{ч}$ ;

81,4 – концентрация водорода в газе форкамеры, %;

$10^{-2}$  – коэффициент перевода % в доли единицы.

Поскольку часть водяных паров выводится из УСТК со сбрасываемым теплоносителем, оставшееся количество этих паров, поступающих в камеру тушения, определялось с учетом доли сбрасываемого теплоносителя в общем его количестве следующим образом:

$$1670,5 \cdot \frac{103310}{103310 + 8000} = 1550,4 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 8000 – экспериментально определенный суммарный сброс теплоносителя на свечи избыточного теплоносителя и вентиляционных выбросов,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

103310 – производительность дымососа,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; определенная следующим образом:

$$103310 = 195000 \cdot \frac{273}{443} \cdot \sqrt{\frac{630}{850}},$$

где 195000 – производительность дымососа при напоре 850 мм вод.ст. и температуре теплоносителя 443 К,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

630 и 850 – соответственно рабочий и максимальный напор дымососа, мм вод.ст.

Количество кокса, прореагировавшего с водяными парами в камере тушения, составляет:

$$\frac{0,5 \cdot 1550,4 \cdot 12}{22,4 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 485,7 \text{ кг},$$

где 0,5 – коэффициент конверсии углерода кокса при взаимодействии с водяным паром [8];

22,4 – объем моля водорода,  $\text{м}^3$ ;

12 – массовая доля углерода, кг;

0,95 – доля углерода в коксе;

0,9 – доля горючих компонентов в коксе.

Потеря массы кокса за счет конверсии с водяным паром составляет

$$485,7 \cdot 100 / 62000 = 0,78 \%,$$

что в сумме с потерей массы за счет остаточного газовойделения дает общую величину потери массы ~ 1,8 %.

Достаточно хорошая сходимость экспериментально определенной потери массы кокса (более 1,5 %) с результатами проведенных расчетов, свидетельствует о том, что основной причиной большой потери массы кокса в УСТК завода № 1 является большой объем форкамеры, обуславливающий большую потерю кокса за счет остаточного газовойделения.

Дожиг в кольцевом канале газов остаточного газовойделения не позволяет обеспечить проектную производительность камеры УСТК в 70  $\text{т}/\text{ч}$  потушенного кокса из-за ограниченной производительности экономайзера в 35  $\text{т}/\text{ч}$  острого пара. Для выработки этого количества пара экономайзер должен пропустить  $105000 \text{ м}^3/\text{ч}$  теплоносителя с температурой не выше 800 °С и теплосодержанием

$$105000 \cdot 0,3483 \cdot 800 = 29257,2 \cdot 10^3 \text{ ккал}/\text{ч},$$

где 0,3483 – теплоемкость теплоносителя при 800 °С [2],  $\text{ккал}/\text{м}^3$ .

Дожиг в кольцевом канале газов остаточного газовойделения увеличивает теплосодержание теплоносителя. Количество этих газов составляет

$$62 \cdot 33,1 = 2052,2 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 62 – производительность УСТК по потушенному коксу,  $\text{т}/\text{ч}$ ;

33,1 – удельное остаточное газовойделение из кокса в форкамере,  $\text{м}^3/\text{т}$ .

Теплотворная способность газа остаточного газовойделения равна

$$Q_n = 2052,2 \cdot 10^{-2} (81,4 \cdot 2400 + 7,6 \cdot 2800 + 0,6 \cdot 7980) = 4544,2 \cdot 10^3 \text{ ккал}/\text{ч},$$

где 81,4; 7,6 и 0,6 – содержание в газе соответственно водорода, оксида углерода и метана, %;

2400, 2800 и 7980 – низшая теплотворная способность соответственно водорода, оксида углерода и метана [9],  $\text{ккал}/\text{м}^3$ ;

$10^{-2}$  – коэффициент перевода % в доли единицы.

Сжигание этого газа в кольцевом канале увеличивает теплосодержание теплоносителя, поступающего в экономайзер, до

$$29257,2 \cdot 10^3 + 4544,2 \cdot 10^3 = 33801,4 \cdot 10^3 \text{ ккал}/\text{ч}.$$

Количество теплоносителя с температурой 800 °С, соответствующее теплосодержанию в  $33801,4 \cdot 10^3 \text{ ккал}/\text{ч}$ , составляет:

$$105000 \cdot 33801,4 \cdot 10^3 / 29257,2 \cdot 10^3 = 121310 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Полученные данные по требуемому и возможному поступлению теплоносителя в экономайзер позволяют рассчитать максимальную производительность УСТК:

$$P = 70 \cdot 105000 / 121310 = 60,6 \text{ т/ч},$$

где 70 – проектная производительность камеры УСТК по потушенному коксу, т/ч.

Снижения потери массы кокса и увеличения производительности УСТК можно достичь путем уменьшения времени изотермической выдержки кокса за счет уменьшения его количества в форкамере. При этом снизится потеря массы кокса за счет остаточного газовойделения и его угар от взаимодействия с водяным паром.

Снижение потери массы кокса и увеличение производительности может быть обеспечено при работе УСТК с действующей свечей форкамеры. При таких условиях будет иметь место постоянный сброс части газов остаточного газовойделения на свечу. Поступающее в кольцевой канал оставшееся количество газов форкамеры образует меньшее количество водяных паров и обеспечит меньшую величину угара кокса.

Для обеспечения проектной производительности по коксу 70 т/ч производительность дымососа должна составлять не менее 225000 м<sup>3</sup>/ч теплоносителя, а котла – не меньше 40 т/ч.

#### Выводы

1. Конструктивные особенности УСТК завода № 1 обеспечивают производительность УСТК, не превышающую 86 % от проектной – 60,6 т/ч. Основными ограничениями, препятствующими увеличению производительности до проектных 70 т/ч, являются большой объем форкамеры и недостаточные производительность дымососа и котла.

2. Причиной завышенной проектной производительности УСТК является заниженная (0,6 %) оценка потери массы (угара) кокса, которая по расчетным данным составляет ~ 1,8 %, что достаточно

хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований, превышающих 1,5 %.

#### Библиографический список

1. Теплицкий М.Г. Сухое тушение кокса / М.Г. Теплицкий, И.З. Гордон, Н.А. Кудрявая [и др.]. – М: Металлургия, 1971. – 264 с.
2. Давидзон Р.И. Мастер установки сухого тушения кокса / Р.И. Давидзон – М: Металлургия, 1980. – 124 с.
3. Степанов Ю.В. Потери в материальном балансе промышленного процесса коксования / Ю.В. Степанов, Н.А. Беркутов, В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 2001. – № 6. – С. 17-23.
4. Старовойт А.Г. О физико-химических процессах в зоне циркуляции камеры УСТК / А.Г. Старовойт, В.Ф. Гончаров [и др.] // Кокс и химия. – 1988. – № 7. – С. 21-24.
5. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. – Харьков: Гипрококс, 2001. – 309 с.
6. ГОСТ 17.24.06-90 «Методы определения скорости и расхода газовых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнений».
7. Стахеев С.Г. Выход и состав газа при изотермической выдержке и охлаждении кокса в УСТК / С.Г. Стахеев, В.И. Сухоруков, С.П. Родькин // Кокс и Химия. – 1992. – № 10. – С. 17-21.
8. Тютюнников Ю.Б. Технологические схемы, расчеты и моделирование промышленных процессов газификации угля / Ю.Б. Тютюнников, М.С. Шентовичский, И.В. Шульга. – Харьков: ХГЭУ, 1996. – 66 с.
9. ТУ У 322-00190443-101-99 «Газ коксовый очищенный».

Рукопись поступила в редакцию 20.01.2016

#### THE COKE BURNING COSS AND THE PRODUCTIVITY OF COKE DRY QUENCHING

© Vasilyev Yu.S., Doctor of Technical Sciences, Fidchunov A.L., PhD in technical sciences, Fidchunov L.N., PhD in technical sciences, Shulga I.V., PhD in technical sciences (SE "UKHIN")

*The effect been estimated of the design features of the equipment of coke dry quenching (CDQ) on the value of coke burning coss and productivity of CDQ. The impossibility has been shown of providing the design capacity of 70 t/h on existing CDQ. The main limits preventing the increase in CDQ productivity are a large volume of prechamber and insufficient productivity of smoke exhauster and boiler.*

Keywords: the dry coke quenching, equipment, coke burn, CDQ productivity.

