

**ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА  
УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА  
CLEANING OF PROCESS GAS OF COKE DRY  
COOLING**

© 2013 Кирбаба В.В., Скрипченко Н.П., к.т.н.  
(ПАО «АКХЗ»),  
Серебрянский Д.А., Плашихин С.В.  
(ООО «ИПЭ»)

**Kirbaba V.V.,  
Skrichenko N.P., PhD in technical sciences  
(PJSC "AVDIIVKA COKE")  
Serebryanskiy D.A., Plashihin S.V. (LLC "IPE")**

*Предложен малозатратный метод модернизации циклонных пылеуловителей УСТК, который позволяет в 2-4 раза снизить унос пыли и продлить срок службы аппарата. Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования показали, что эффективность улавливания коксовой пыли в модернизированном циклонном пылеуловителе выше на 10 % по сравнению с циклоном ЦН-15.*

*A cost-effective method for modernization of cyclone dust collectors of CDCP has been proposed, which allows to reduce an entrainment of dust and to extend the service life of the unit. Computer simulations and experimental studies showed that coke dust collection efficiency in the modernized cyclone at 10 % higher compared with the ordinary cyclone.*

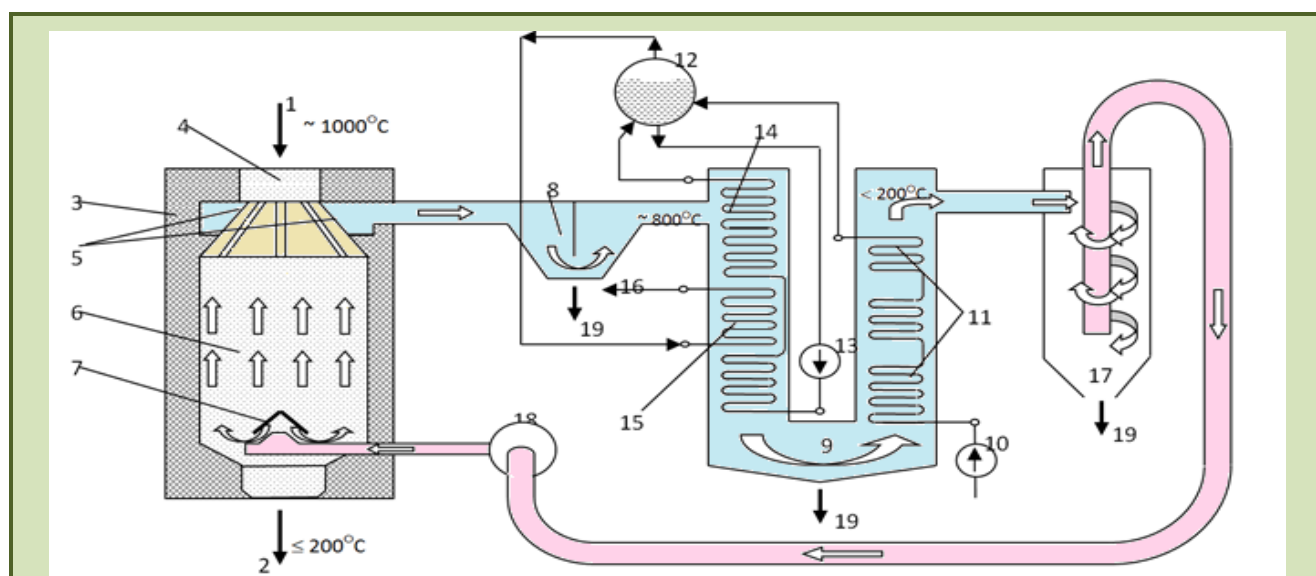
Ключевые слова: кокс, сухое тушение, пылеунос, циклон, эрозия, модернизация, срок службы, эффективность.

Keywords: coke, dry cooling, dust discharge, cyclone, erosion, modernization, service life, efficiency.

\*\*\*\*\*

Одним из окончательных этапов производства кокса является его тушение после коксовой батареи. Существуют два основных метода тушения: сухой и «мокрый». В процессе «мокрого» тушения выделяется значительное количество пара с высоким содержанием фенолов, а обратная вода поступает на систему водоочистки. К недостаткам данного способа можно отнести выбросы газообразных загрязняющих веществ в атмосферу и выпадение капельной влаги на технологическое оборудование завода, вследствие чего происходит активная коррозия металлоконструкций.

Наиболее безопасной с экологической точки зрения является установка сухого тушения кокса (УСТК), см. рис. 1.



**Рис. 1** Принципиальная схема УСТК:

1 – подача раскаленного кокса; 2 – выход охлажденного кокса; 3 – камера сухого тушения (включает в себя поз. 4-7); 4 – форкамера для приема раскаленного кокса; 5 – косые газовые каналы для выхода газа; 6 – зона сухого тушения; 7 – подвод газа и газораспределительное устройство; 8 – пылесадительная камера; 9 – котел-утилизатор (поз. 10-16); 10 – питательный насос; 11 – экономайзер; 12 – барабан-сепаратор; 13 – циркуляционный насос; 14 – испарительные поверхности нагрева; 15 – пароперегреватель; 16 – выход перегретого пара; 17 – пылесадительный циклон; 18 – эксгаузер, обеспечивающий циркуляцию охлаждающего газа; 19 – отвод коксовой мелочи и пыли

Процесс тушения кокса происходит за счет многократной рециркуляции технологических газов внутри системы УСТК. Первоначально раскаленный газ попадает в пылевую камеру, в которой происходит его очистка от крупнодисперсных частиц. Затем поток попадает в котел-утилизатор, в котором отдает тепло на получение пара энергетических параметров (4 МПа в количестве 0,4 т/т кокса). После котла-утилизатора технологические газы направляются в циклонный пылеуловитель, в котором происходит основная разгрузка потока от твердых частиц коксовой пыли. Из циклона газы попадают в эксгаузер и снова в тушильную камеру. При таком способе тушения не происходит взаимодействие газов с окружающей средой.

Циркулирующий в УСТК охлаждающий инертный газ представляет собой продукт взаимодействия воздуха, первоначально находящегося в газоходах УСТК перед пуском, с раскаленным коксом.



**Рис. 2** Абразивный износ корпуса циклона ЦН-15 (участок за входным патрубком)

Однако и данный способ имеет существенные недостатки, среди которых – абразивный износ всего технологического тракта и, как следствие, истирание конвективных поверхностей котла утилизатора.

На рис. 2 приведен общий вид циклона ЦН-15 диаметром 2,2 м через несколько лет после его установки в систему УСТК.

Экспериментальные исследования эффективности улавливания коксовой пыли из технологических газов циклонами УСТК на ряде предприятий выявили, что коэффициент улавливания не превышает 70 % при аэродинамическом сопротивлении около 1000 Па.

Время износа стенки пылеуловителя можно приблизительно оценить по зависимости:

$$\tau = \frac{gh}{c\vartheta_r^3 K_a c E} \quad (1),$$

где  $\tau$  – время износа стенки пылеуловителя, с;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/s^2$ ;  $h$  – глубина износа, м;  $c$  – запыленность газового потока,  $kg/m^3$ ;  $\vartheta_r$  – скорость газового потока, м/с;  $K_a$  – коэффициент абразивности,  $m^2/kg$ ;  $E$  – вероятность удара частиц пыли о стенку, доли единицы.

Из приведенной зависимости видно, что время износа зависит от скорости газопылевого потока в третьей степени, концентрации частиц и вероятности удара частиц о стенку.

Увеличить эффективность улавливания и снизить при этом абразивный износ корпуса можно за счет малозатратной модернизации любого типа циклона. Пример такой модернизации приведен на рис. 3.

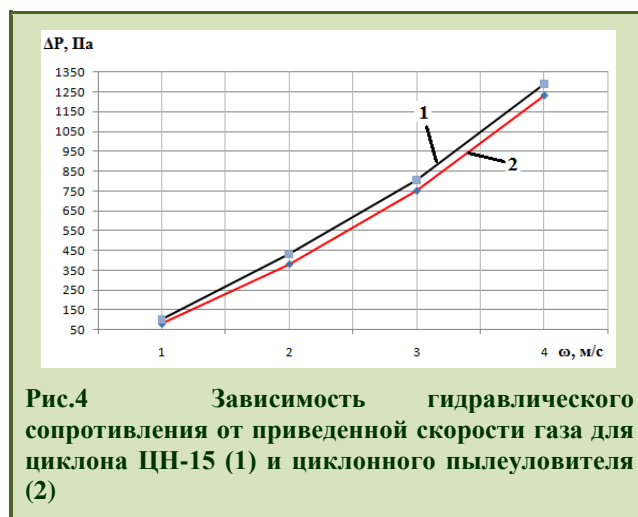


**Рис. 3** Общий вид модернизированного циклона

Модернизированный циклонный пылеуловитель [1] (рис. 3) состоит из входного патрубка 1, внутреннего корпуса 2 и внешнего корпуса 4, жалюзийного элемента 3, внутреннего бункера-накопителя 6 со шлюзовым затвором для выгрузки

уловленной пыли или золы (на рисунке не указано), наружного бункера-накопителя 5 со шлюзовым затвором для выгрузки уловленной пыли или золы (на рисунке не указано) и выходного патрубка 7.

Пылеуловитель работает следующим образом: запыленный газовый поток попадает по входному патрубку 1 во внутренний корпус аппарата 2. За счет центробежных сил тяжелые фракции пыли или золы концентрируются у стенки внутреннего корпуса в первой трети и через щелевые окна жалюзийного элемента 3, высота которого равна высоте входного патрубка 1, отводятся в кольцевое пространство между внутренним 2 и внешним 4 корпусами аппарата. Таким образом, крупнодисперсная фракция под действием силы тяжести оседает во внешнем бункере-накопителе 5. Более мелкая фракция пыли или золы сепарируется во внутреннем корпусе циклонного пылеуловителя 2 и оседает во внутреннем бункере-накопителе 6, герметично изолированного от бункера-накопителя 5. Очищенный газовый поток отводится через выходной патрубок 7.



Таким образом, внешний корпус 4 может быть применим при модернизации любого типа циклонного пылеуловителя с изолированным отводом уловленной пыли через шлюзовую затвор.

Модернизация любого циклонного аппарата позволяет в 2-4 раза уменьшить выбросы твердых частиц пыли с циклонного пылеуловителя без увеличения энергозатрат на очистку и снизить абразивный износ корпуса аппарата.

Проведем компьютерный расчет эффективности улавливания для модели циклонного пылеуловителя новой конструкции. В качестве исходных данных примем: медианный диаметр частиц пыли  $d_{50} = 35$  мкм; плотность частиц пыли —  $2200 \text{ кг/м}^3$ ; динамическая вязкость газа —  $19,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; температура газового потока —  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На рис. 4 приведены сравнительные характеристики аэродинамического сопротивления циклона ЦН-15 и циклонного пылеуловителя в зависимости от скорости газового потока в сечении аппаратов [2-3].

Из приведенного графика можно сделать вывод, что с увеличением приведенной скорости газа в сравниваемых пылеуловителях возрастает и их гидравлическое сопротивление. Значения гидравлического сопротивления циклона ЦН-15 и циклонного пылеуловителя лежат практически в одном диапазоне, что можно объяснить сходством их конструктивных параметров.

В табл. 1 приведено распределение дисперсного состава [4-5] коксовой пыли системы аспирации УСТК-4 мест выгрузки кокса на ленту ПАО «АКХЗ». Отбор пробы проводился при помощи семиступенчатого импактора НИИОГАЗ из укрытия места выгрузки кокса на транспортную ленту.

Медианный диаметр частиц пыли  $d_{50} = 35$  мкм,  $\sigma = 0,5$ ; плотность частиц пыли —  $2200 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 1

Дисперсный состав коксовой пыли системы аспирации УСТК-4 ПАО «АКХЗ»

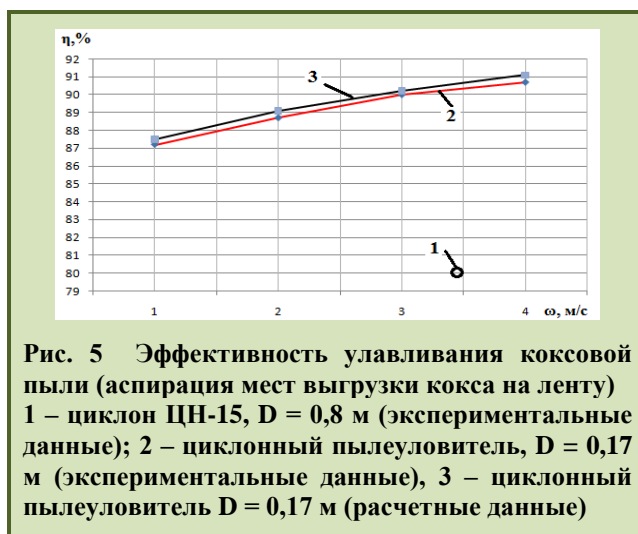
№ ступени	Привес, г	$d_{50}$ , мкм	Массовая доля, %	Σ по ступеням, %	$d_{50}$ раб., мкм
1,1-1,2	0,1243	7	49,64	49,64	18,64
2,1-2,2	0,0537	5	21,45	71,09	13,31
3,1-3,2	0,0212	3,2	8,47	79,55	8,52
4,1-4,2	0,0132	2,6	5,27	84,82	6,92
5,1-5,2	0,0110	2,2	4,39	89,22	5,86
6,1-6,2	0,0069	1,2	2,76	91,97	3,19
7,1-7,2	0,0062	0,76	2,48	94,45	2,02
Фильтр	0,0139		5,55	100,00	
Всего	0,2504		100,00		

В октябре 2012 года на Авдеевском коксохимическом заводе, в рамках выполнения НИР по разработке технических решений для системы аспирации УСТК-4 (места выгрузки кокса на ленту) были проведены испытания модели циклонного пылеуловителя. Экспериментальная установка [6-8] была смонтирована на площадке рядом с циклонами ЦН-15. Запыленный поток отбирался из газохода на входе в группу циклонов. Концентрация пыли кокса в газовом потоке на входе в группу циклонов составляла  $3-6 \text{ г/м}^3$ .

Сравнительные значения эффективности улавливания частиц пыли кокса ( $\eta$ , %) в циклоне ЦН-15 и в циклонном пылеуловителе приведена на рис.5.

Из приведенных графиков можно сделать вывод, что эффективность улавливания коксовой пыли (медианный диаметр частиц пыли  $d_{50} = 35$  мкм;  $\sigma = 0,5$ ; плотность частиц пыли –  $2200 \text{ кг/м}^3$ ) в циклонном пылеуловителе выше на 10 % по сравнению с циклоном ЦН-15.

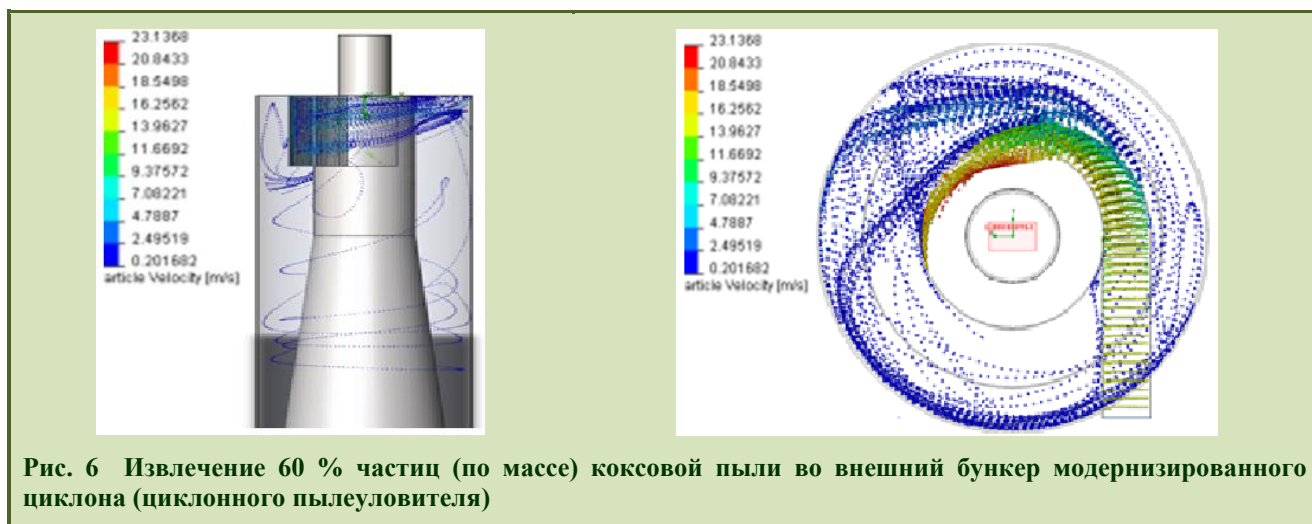
Увеличение эффективности улавливания пыли в циклонном пылеуловителе достигается за счет извлечения из газового потока наиболее концентрированной его части в пристенной зоне первой трети диаметра аппарата через жалюзийный элемент в изолированный бункер-пылесборник. Визуализация данного процесса, полученная путем компьютерного моделирования для рассмотренных выше условий, приведена на рис. 6.



Три циклонных пылеуловителя (циклофильтр) с проектным расходом очистных газов 4 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$  были внедрены на ПАО «Славянские обои-КФТП» в системе аспирации сушильной камеры обоев, причем два пылеуловителя были оснащены водяным охлаждением внешнего корпуса с целью снятия тепловой нагрузки с цехового помещения.

Результаты промышленных испытаний циклонного пылеуловителя представлены в табл. 2.

В результате проведенных промышленных испытаний также было установлено, что при работе циклонного пылеуловителя без водяного охлаждения внешнего корпуса (рис. 7, а) образуется маслянистый конденсат в количестве 65 г/ч, причем распределение смеси конденсата с блестками между внутренним и внешним бункерами составляет 40 на 60 % от общего количества уловленного вещества.



**Результаты промышленных испытаний циклонного пылеуловителя на ПАО «Славянские обои-КФТП»**

Показатель	Циклонный пылеуловитель без водяного охлаждения внешнего корпуса (рис. 7, а)	Циклонный пылеуловитель с водяным охлаждением внешнего корпуса (рис. 7, б)
Средний расход газа, м <sup>3</sup> /ч	3200	4056
Температура газа на входе, °С	101	130
Температура газа на выходе, °С	87	120
Гидравлическое сопротивление, Па	643	838
Средняя концентрация блесток на входе, мг/м <sup>3</sup>	40	42
Средняя концентрация блесток на выходе, мг/м <sup>3</sup>	2,4	2,42
Коэффициент улавливания, %	94	94,2

В случае работы циклонного пылеуловителя с водяным охлаждением внешнего корпуса (рис. 7, б) образуется конденсат в количестве 0,5 дм<sup>3</sup>/сутки (в зависимости от технологического регламента производства), причем весь маслянистый конденсат осаждается во внешнем бункере, а 99 % уловленных блесток – во внутреннем бункере. Такое распределение блесток и маслянистого конденсата между двумя бункерами можно объяснить тем, что газовый поток в большей степени конденсируется во внешнем корпусе за счет водяного охлаждения.



### **Выводы**

1. Предложенный в данной работе малозатратный метод модернизации циклонных пылеуловителей позволяет в 2-4 раза снизить унос пыли и продлить срок службы аппарата за счет эвакуации концентрированной части потока за входным патрубком в первой трети диаметра циклона в изолированный бункер-пылесборник.

2. Проведенные компьютерные расчеты и экспериментальные исследования модели циклонного пылеуловителя показали, что гидравлическое сопротивление циклона ЦН-15 и циклонного пылеуловителя сопоставимы, при этом эффективность улавливания коксовой пыли (медианный диаметр частиц пыли  $d_{50} = 35$  мкм;  $\sigma = 0,5$ ; плотность частиц пыли – 2200 кг/м<sup>3</sup>) в циклонном пылеуловителе выше на 10 % по сравнению с циклоном ЦН-15.

3. Были изготовлены и внедрены на ПАО «Славянские обои-КФТП» в систему аспирации сушильной камеры обоев три промышленных циклонных пылеуловителя с проектным расходом очистных газов 4 тыс. м<sup>3</sup>/ч каждый. Коэффициент улавливания циклонных пылеуловителей составил 94 %. В процессе работы циклонные пылеуловители проявили себя не только как пыле-, но и как каплеуловители.

### **Библиографический список**

1. Пат. UA 73655 U. Циклонный пылеуловитель / Д.А.Серебрянский, С.В.Плашихин. – 201109923; заявл. 10.08.11; опубл. 26.03.12, Бюлл. № 6.
2. Коузов П.А. Сравнительная оценка циклонов различных типов / В сб.: Обеспыливание в металлургии / П.А.Коузов. – М.: Металлургия, 1971. – С. 185-196.

3. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / **И.Е.Идельчик.** – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
4. **Коузов П.А.** Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности **П.А.Коузов, А.Д.Мальгин, Г.М.Скрябин.** – Л.: Химия, 1982. – 256 с.
5. **Биргер М.И.** Справочник по пыле- и золоулавливанию / **М.И.Биргер, А.Ю.Вальдберг, Б.И.Мягков [и др.]**. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
6. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. – Ярославль, 1970. – 95 с.
7. Газоочистное оборудование / Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 120 с.
8. **Курсанова Н.С.** Новые исследования в области центробежной сепарации пыли / Обзорная информация. Сер. ХМ-14: Промышленная и санитарная очистка газов / **Н.С.Курсанова.** – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1989. – 38 с.

Рукопись поступила в редакцию 02.08.2013