

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ  
КОКСА И ГАЗА В КАМЕРЕ СУХОГО  
ТУШЕНИЯ КОКСА**

© 2009 Голубев А.В.,  
Гребенюк А.Ф., к.т.н.  
(ДонНТУ)

*Рассмотрены причины снижения интенсивности теплообмена в промышленных камерах сухого тушения кокса по сравнению с данными, полученными в экспериментальных условиях. Предложена более совершенная конструкция устройства для распределения потоков кокса и газа в камере тушения. Проведенные на лабораторной установке исследования структуры потоков показали, что предложенное устройство обеспечивает режим движения кокса, близкий к идеальному вытеснению.*

*Reasons of decline of intensity of heat transfer in the industrial chambers of coke heat recovery are considered as compared to information, gained in experimental terms. More perfect construction for distributing of streams of coke and gas is offered. Research of the structures of streams conducted on the laboratory setting has showed that the offered device is provided by the mode of motion of coke near to the ideal ousting.*

Ключевые слова: кокс, сухое тушение, теплообмен, интенсивность, идеальное вытеснение, лабораторная установка.

Сухое тушение кокса является эффективной энергосберегающей технологией, обеспечивающей утилизацию до 35 % тепла, затрачиваемого на коксование углей, и улучшающей экологическую обстановку на коксохимических предприятиях. Однако широкому применению этого процесса препятствует громоздкость установок сухого тушения кокса и большой расход электроэнергии на циркуляцию инертных газов.

В значительной мере указанные недостатки обусловлены низкой интенсивностью теплообмена между коксом и газами в промышленных камерах. По практическим данным время пребывания кокса в промышленных камерах Гипрококса составляет 2,0-2,2 часа, тогда как продолжительность его охлаждения от 1000 до 200-220 °С, рассчитанная по значениям коэффициентов теплообмена в экспериментальных условиях, не превышает 1,5-1,0 ч.

Основной причиной снижения интенсивности процесса в промышленных камерах сухого тушения является неравномерность распределения потоков кокса и газа в поперечном сечении [1]. Как известно, ввод газа в слой кокса в камерах Гипрококса производится частично через вертикальный патрубок, размещенный в конусной части камеры по ее оси и перекрытый сверху коническими кольцами в виде жалюзи, а частично – через периферийную кольцевую щель в конусной части камеры [2]. Диаметр центрального устройства для ввода газа равен 3 м, а диаметр периферийной кольцевой щели – около 4,5 м. Поток кокса выходит из зоны теплообмена через кольцевой канал, сечение которого составляет около 26 % сечения цилиндрической части камеры тушения. Пространство под кольцевым каналом заполнено коксом, что в свою очередь негативно влияет на распределение скоростей движения кокса в камере.

Равномерное распределение потоков кокса и газа может быть достигнуто при использовании распределительных устройств, в которых каналы для ввода газа и вывода кокса размещены равномерно по всему сечению камеры тушения и под которыми имеется свободное пространство, чтобы поток кокса разрывался и дальнейшее его движение не оказывало влияния на скорость кокса в каналах распределительного устройства.

На кафедре химической технологии топлива ДонНТУ разработано соответствующее этим требованиям распределительное устройство [3] (рис. 1), состоящее из опорных балок Λ-образной формы (1), расположенных параллельно в двух горизонтальных плоскостях с зазорами 400-500 мм, причем нижний ряд смещен на полшага по отношению к верхнему. Для регулировки скорости движения слоя кокса под нижними балками установлены поворотные шиберы (2), перекрывающие частично или полностью зазоры между балками. Инертный газ подводится из кольцевого канала (3) в пространство (4) под каждой балкой и равномерно распределяется в слое кокса.

Для оценки структуры потоков кокса в камере сухого тушения с описанным распределительным устройством была изготовлена лабораторная модель (рис. 2). Камера прямоугольного сечения состоит из верхней части (1) с делителем потока кокса в виде Λ-

образной балки (2) и нижней части (3) с направляющими кокса (4) и поворотным шибером (5). В нижней части имеется окно (6) для выгрузки порций кокса, прошедших через распределительное устройство.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. В камеру (1) загружали 12-20 кг кокса класса крупности 10-25 мм (коксый орешек) при закрытом шибере (5) и разравнивали поверхность засыпки. На горизонтальную поверхность

укладывали слой индикатора – куски кокса размером 10-25 мм, покрытые белой краской. Масса индикатора составляла около 1,1 кг, при этом он образовывал слой толщиной в один кусок. После окончания загрузки производили периодическое пропускание кокса через распределительное устройство путем кратковременного открывания шибера (5), что соответствует реальной динамике движения кокса в промышленной камере УСТК.

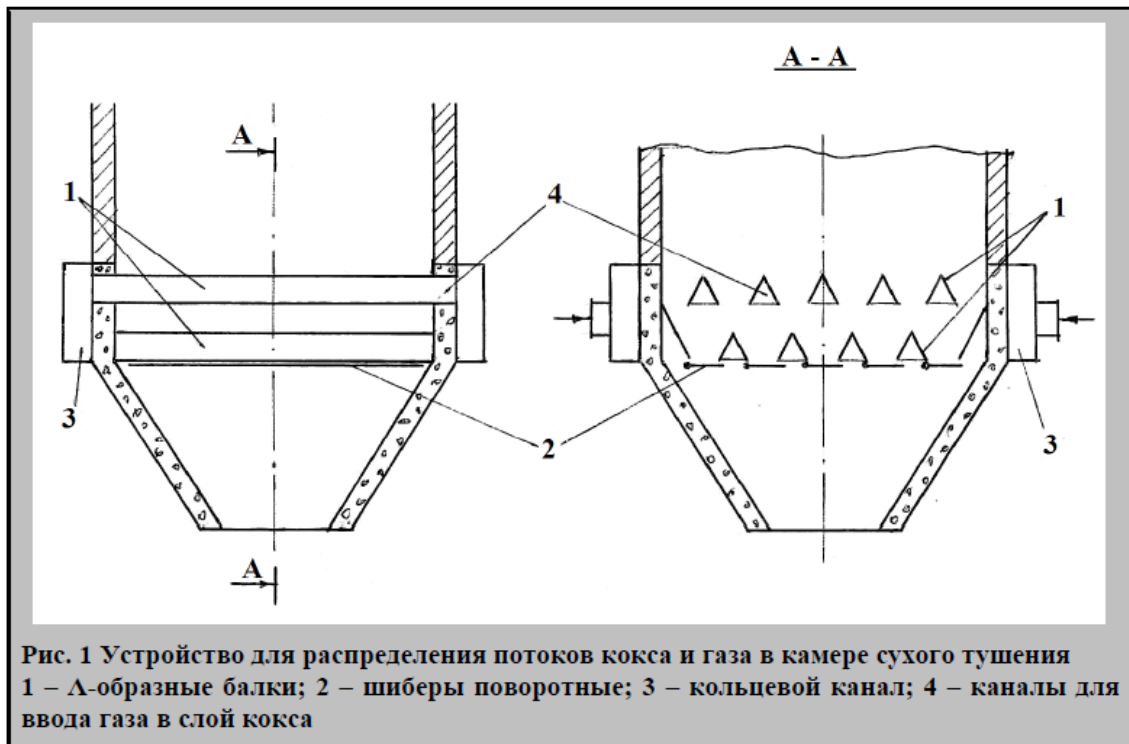


Рис. 1 Устройство для распределения потоков кокса и газа в камере сухого тушения  
1 – Λ-образные балки; 2 – шиберы поворотные; 3 – кольцевой канал; 4 – каналы для ввода газа в слой кокса

Каждую порцию кокса (1,0-1,4 кг) извлекали из камеры (3) через окно (6), выбирали из нее окрашенные куски, после чего взвешивали кокс с точностью до 0,005 кг, а индикатор – с точностью до 0,0005 кг. Взвешенную порцию кокса снова загружали в камеру (1) и разравнивали поверхность загрузки. Таким образом масса кокса в камере оставалась неизменной в течение всего эксперимента, как это и имеет место в

промышленной камере при установившемся режиме работы.

Эксперимент продолжался до отсутствия индикатора в выгружаемой порции кокса. Отсутствие индикатора в камере (1) подтверждалось сравнением общей массы выгруженного в течение эксперимента индикатора с массой индикатора, загруженного в камеру перед началом эксперимента.

Цель эксперимента заключалась в построении кривой отклика при импульсном вводе индикатора, характеризующей распределение частиц по времени пребывания в камере [4, 5], в безразмерных координатах:

$$C = f(\theta) \quad (1)$$

где  $c$  – относительная (безразмерная) концентрация индикатора в выгружаемых порциях кокса;

$\theta$  – относительная продолжительность пребывания частиц в камере.



Рис. 2 Лабораторная модель камеры с распределительным устройством  
1 – верхняя камера; 2 – делитель кокса; 3 – нижняя камера; 4 – направляющие кокса;  
5 – шибер поворотный; 6 – окно для выгрузки кокса

Относительная концентрация индикатора в  $i$ -ой порции кокса определялась по формуле:

$$C_i = \frac{\Delta m_i}{\Delta M_i C_0} \quad (2)$$

где  $\Delta m_i$  – масса индикатора (кг), выгружаемого из камеры в  $i$ -ой порции кокса, соответствующей моменту времени  $\tau_i$  от

начала эксперимента;  $\Delta M_i$  – масса  $i$ -ой порции кокса (кг);  $C_0$  – максимальная концентрация индикатора при импульсном вводе и мгновенном (идеальном) его перемешивании, кг (индикатора) / кг (кокса).

$$C_0 = \frac{m}{M} \quad (3)$$

где  $m$  и  $M$  – соответственно масса индикатора и кокса, загруженных в камеру перед началом эксперимента, кг.

С учетом (3) уравнение (2) принимает вид:

$$C_i = \frac{\Delta m_i M}{\Delta M_i m} \quad (4)$$

Относительная продолжительность пребывания частиц в камере составляет:

$$\Theta = \frac{\bar{\tau}_i}{\bar{\tau}_0} \quad (5)$$

где  $\tau_i$  – продолжительность пребывания  $i$ -ой порции кокса в камере;

$\tau_0$  – средняя продолжительность пребывания частиц в камере.

$$\bar{\tau}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta M_i}{G} \quad (6)$$

$$\bar{\tau}_0 = \frac{M}{G} \quad (7)$$

где  $G$  – производительность камеры по коксу, кг/единица времени.

С учетом (6) и (7) относительная продолжительность пребывания частиц в камере составляет:

$$\Theta_i = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta M_i}{M} \quad (8)$$

По значениям  $c_i$  и  $\theta_i$ , рассчитанным по формулам (4) и (5), были построены кривые отклика  $c_i = f(\theta)$ . На рис. 3 приведены экспериментальная кривая отклика при начальной загрузке кокса 20 кг (высота слоя кокса над шибером – 730 мм) и дифференциальные функции распределения продолжительности пребывания для ячеечной модели, рассчитанные по формуле [4]:

$$c = \frac{n^n \cdot \theta^{n-1} \cdot e^{-n\theta}}{(n-1)!} \quad (9)$$

Как видно из рис. 3, подавляющая часть индикатора выходит из камеры в интервале 0,7-1,1 от средней продолжительности пребывания кокса в камере. Сравнение экспериментальной кривой отклика с расчетными функциями распределения свидетельствует о том, что функция распределения частиц кокса по продолжительности пребывания в экспериментальной камере удовлетворительно описывается ячеечной моделью при значении параметра  $n \approx 100$ .

Следует при этом подчеркнуть, что характер движения в камере сухого тушения кокса более корректно описывается диффузионной моделью, для которой функции распределения времени пребывания рассчитываются по формуле [4]:

$$c = \sqrt{\frac{Pe}{4\pi\theta}} \cdot e^{-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{(\theta-1)^2}{\theta}} \quad (10)$$

где:  $Pe = \frac{wl}{E}$  – критерий Пекле (Воденштейна), характеризующий интенсивность продольного перемешивания частиц в потоке;

$w$  – средняя скорость движения частиц в потоке, м/с;

$l$  – длина аппарата (камеры) вдоль потока, м;

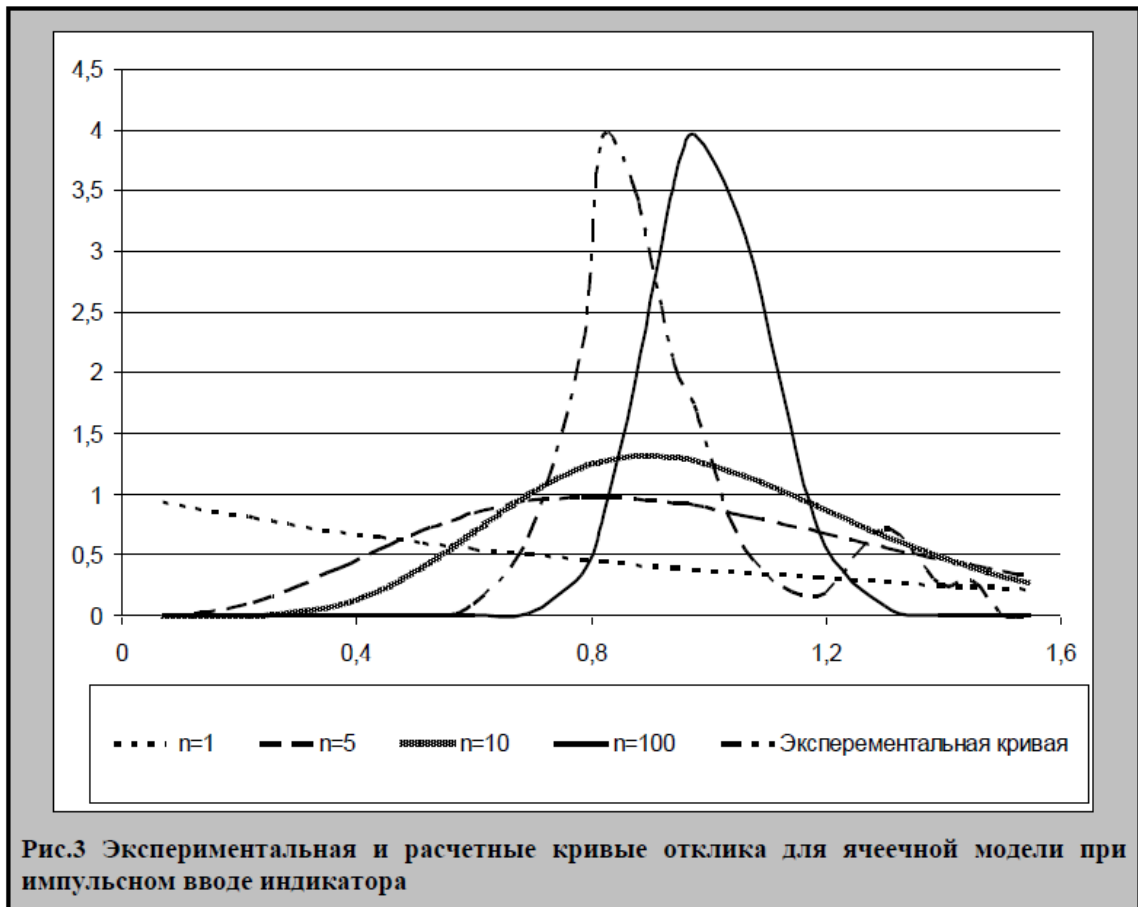
$E$  – коэффициент продольного перемешивания частиц в потоке, м<sup>2</sup>/с.

На рис. 4 приведена экспериментальная кривая отклика при начальной загрузке кокса 12 кг (высота слоя над шибером – 460 мм) и дифференциальные функции распределения времени пребывания для диффузионной модели, из которого видно, что структура потоков в лабораторной модели удовлетворительно описывается диффузионной моделью при значении параметра  $Pe \approx 180$ . Для сравнения отметим, что по данным исследования структуры потоков в

различных аппаратах при значениях параметра  $Re > 10$  характер движения потока мало отличается от идеального вытеснения [5].

Незначительные отклонения экспериментальных кривых от расчетных на нисходящих участках объясняются имевшими место кратковременными зависаниями кокса в одной половине камеры, причиной которых могли служить шероховатости и

незначительные деформации стенок камеры, а также неравномерное уплотнение кокса при засыпании его в камеру. Некоторая несимметричность потоков кокса (о чем свидетельствует также наличие второго пика на нисходящей ветви кривой отклика) обусловлена меньшим раскрытием канала для выхода кокса со стороны, где расположен вал шибера.



Устранение этих отклонений экспериментальных кривых отклика от расчетных может быть обеспечено при выполнении камеры тушения в виде усеченного конуса (или призмы), расширяющегося книзу, и установки двух шиберов по обе стороны

каждого канала для выхода кокса. Последнее позволит приблизительно вдвое уменьшить ширину каждого шибера и крутящий момент на валу.

Таким образом, проведенные нами исследования структуры потоков кокса в

лабораторных условиях показали, что предложенное распределительное устройство может обеспечить равномерное по сечению камеры движение кокса, близкое к режиму

идеального вытеснения, что благоприятно скажется на эффективности теплообмена между коксом и газом.

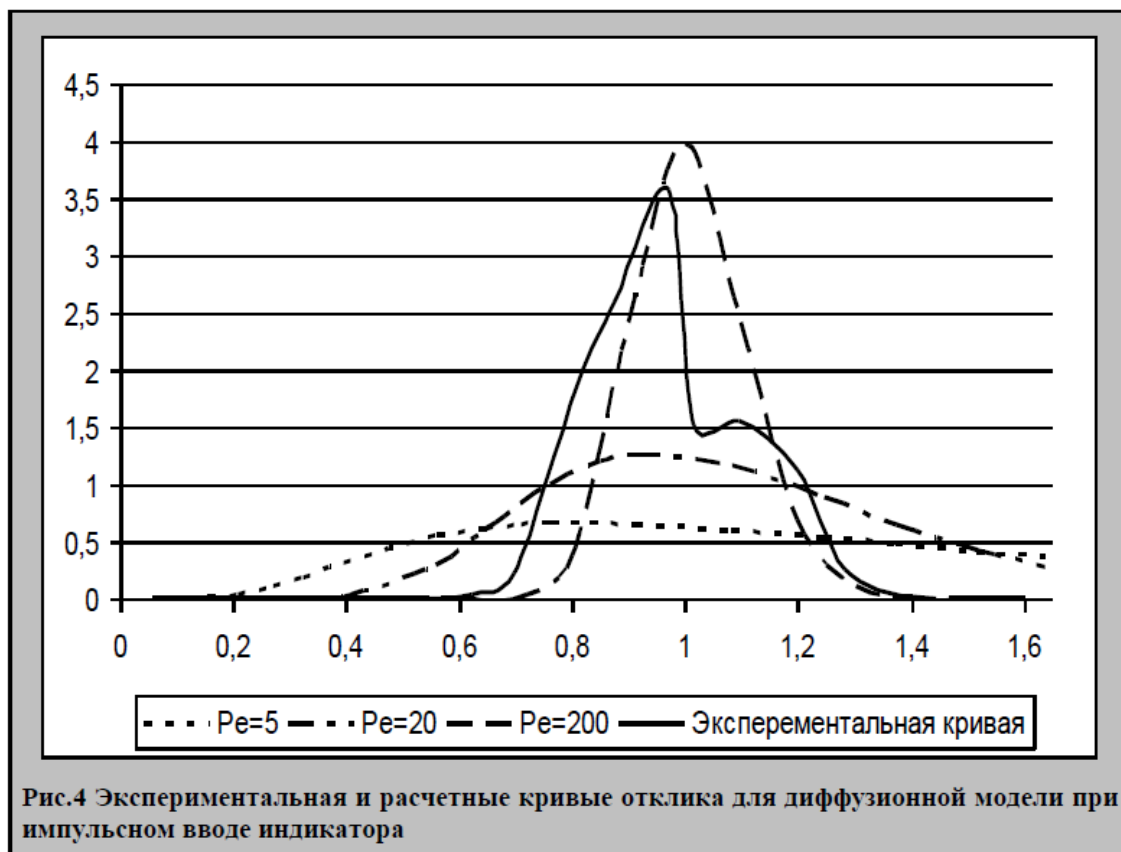


Рис.4 Экспериментальная и расчетные кривые отклика для диффузионной модели при импульсном вводе индикатора

**Библиографический список**

1. Старовойт А.Г., Анисимов В.А., Гончаров В.Ф. Кинетика движения и характер охлаждения кокса в камере УСТК // Кокс и химия. – 1990. – № 3. – С. 9-10.  
 2. Давидзон Р.И. Мастер установки сухого тушения кокса. – М.: Металлургия, 1980. – 124с.

3. Гребенюк О.Ф., Голубев А.В. Пат. 31141 Україна, МПК<sup>7</sup> С 10В 39/02. Камера сухого гасіння / Опубл. 25. 03. 2008; бюл. № 6.  
 4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.  
 5. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1. – М.: Химия, 1995. – 400 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.2009