

8. Бринк, И. Ю. Ателье туриста / И. Ю. Бринк, М. П. Бондарец. – М. : Физкультура и спорт, 1990. – 144 с., ил.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ**  
Федоров А.Я., Мелентьева Т.А., Мелентьева М.А.  
*Тульский государственный университет,  
Всероссийский заочный финансовый институт  
Тула, Россия*

Движение взвешенных частиц в турбулентном потоке газа отличается сложностью и интенсивностью. Это обусловлено тем, что частицы реагируют на беспорядочные турбулентные пульсации среды. При теоретическом анализе всех форм движения частиц в турбулентном потоке принимают следующие предположения.

1. Диаметр частиц  $d$  мал по сравнению с масштабом несущих их пульсационных молей  $l$ :

$$d \ll l. \quad (1)$$

При таком предположении каждая частица совершает движение, оставаясь в пределах исходного пульсационного моля. Условию (1) удовлетворяют высокодисперсные частицы:  $d < 0,5 - 1$  мкм.

2. Обтекание частиц турбулентными молями имеет вязкий характер.

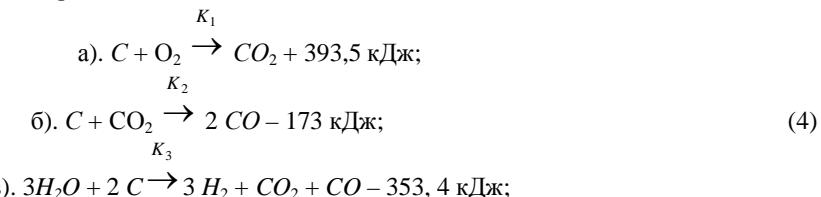
$$F_{cop} = 3 \frac{\pi \eta d u_p}{}, \quad (2)$$

где  $F_{cop}$  – сила сопротивления,  $\eta$  – динамическая вязкость среды,  $u_p$  – скорость обтекания частицы.

Многими экспериментаторами показано, что распределение дисперсных частиц по размеру подчиняется закону Гаусса:

$$\varphi(d) = \frac{1}{\sigma_d \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{d - \bar{d}}{\sigma_d}\right)^2\right\}, \quad (3)$$

где  $\sigma_d$  – дисперсия распределения,  $\bar{d}$  – средний диаметр частиц. Эти частицы участвуют в необратимых химических реакциях. Для проведения реакций необходимо создать соответствующую температуру. Это можно сделать подогревателем многофазной реакционной смеси. В качестве последнего используется либо электрический обог



где  $K^1, K_2, K_3$  – константы необратимых реакций. Эти реакции необходимы для получения технологических газов:  $CO_2, CO, H_2$ . Основой химических реакций служит зола, получаемая на тепловых электрических централях (ТЭЦ). Для

реватель, либо процесс сжигания метана непосредственно на входе в турбулентный химический реактор.

Рассмотрим следующие химические реакции, протекающие в реакционной зоне реактора. Согласно закону Гесса они протекают по уравнениям:

этого необходим реактор в виде стальной трубы с распределенными вводами пара и технического кислорода. Скорость химических реакций (4) определяется следующими зависимостями:

$$W_1 = K^1 [C][O_2];$$

$$\begin{aligned} W_2 &= K_2 [C][CO_2]; \\ W_3 &= K_3 [H_2O]^3[C]^2; \end{aligned} \quad (5)$$

где  $[C]$ ,  $[O_2]$ ,  $[H_2O]$ ,  $[CO_2]$  – концентрации углерода, технического кислорода, пара и диоксида углерода. Углерод, молекулярный кислород, пар – являются исходными реагентами, Диоксид углерода получается в результате химических реакций – а), в) формул (4). Размеры химического ре-

актора определяются временем пребывания смеси в реакционной зоне. Необходимо получить турбулентный режим работы реактора. Для этого нужно достаточно малое время пребывания реакционной смеси:

$$\tau = \frac{V_p}{V_{ob}} ; \quad (6)$$

где  $V_p$ ,  $V_{ob}$  – реакционный объем и объемная скорость. Объемная скорость рассчитывается через объемный расход и плотность исходной смеси  $V_{ob} = 1,11 \cdot 10^5 \text{ см}^3/\text{сек.}$  Отсюда следует, что геометрические размеры реактора должны быть следующими: диаметр 10 см и длина 510

$$Q = U \bullet I; \quad (7)$$

Тогда мощность подогревателя равна:  $Q = 29,5 \text{ кВт}$  (рис.1). Рассчитаем сопротивление электрического подогревателя:

$$R_1 = \frac{\rho \ell}{S} = 22 \text{ Ом}; \quad (8)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление медно – никелевого сплава,  $\ell$  – длина проводника,  $S$  – площадь поперечного сечения. Геометрические размеры подогревателя находятся из формулы (8) –  $\ell = 157 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $S = 28,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ . Поэтому диаметр проволоки должен быть  $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

$$Re = \frac{V_d D}{\nu}; \quad (9)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость реакционной смеси. Поэтому:  $Re = 125000$ . Константы скоростей химических реакций (5) находятся из справочных данных для температуры  $1500^\circ\text{C}$ :  $K_1 = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ л}/(\text{моль} \bullet \text{сек})$ ;  $K_2 = 0,13 \text{ л}/(\text{моль} \bullet \text{сек})$ ;

турбундийский подогреватель служит для нагрева реакционной смеси до требуемой температуры.

Линейная скорость течения в реакторе равна:  $V_d = 125 \text{ см} / \text{сек.}$  Это необходимо для получения турбулентного режима течения:

$K_3 = 0,25 \text{ л}/(\text{моль} \bullet \text{сек})$ . Существование турбулентного режима движения многофазной системы обеспечивает стационарный режим идеально-го вытеснения (6). В этом случае процесс описывается следующими нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{d[C]}{dx} &= -K_1[C][O_2], \\ \frac{d[C]}{dx} &= -K_2[C][CO_2], \\ \frac{d[C]}{dx} &= -K_3[C]^2[H_2O]^3, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d[O_2]}{dx} &= -K_1[C][O^2], \\ \frac{d[CO_2]}{dx} &= -K_2[C][CO_2] + K_3[C]^2[H_2O]^3, \\ \frac{d[H_2O]}{dx} &= -K_3[C]^2[H_2O]^3. \end{aligned} \quad (10)$$

Эта система дифференциальных уравнений составлена на основе закона действующих масс. Решение системы обыкновенных уравнений с соответствующими начальными условиями (10)

приведено на рис. 2 и рис. 3. Расходы технического кислорода, пара и углерода следует из материального баланса:

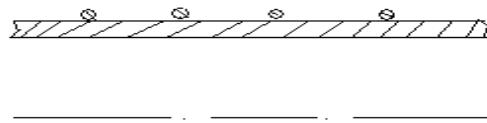
$$\begin{aligned} V_{O_2} &= V_p \bullet W_I; \\ V_{H_2O} &= V_p \bullet W_3; \\ V_c &= V_p \bullet (W_I + W_2 + W_3). \end{aligned} \quad (11)$$

Для нахождения концентраций исходных реагентов в потоке воспользуемся уравнениями состояния для турбулентной реакционной смеси:

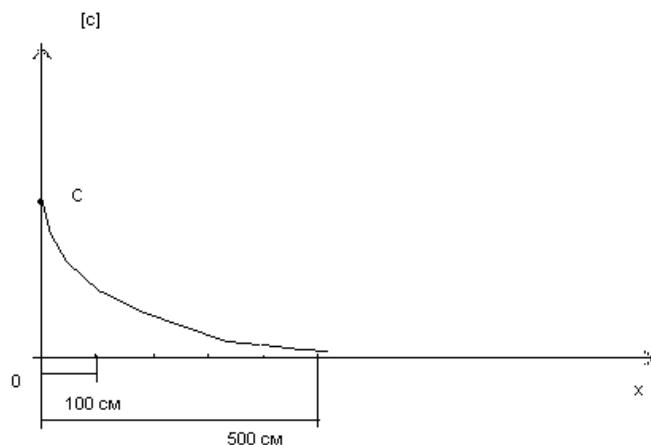
$$\begin{aligned} P_1 Vp &= (m_1 / \rho_c) RT; \\ P_2 Vp &= (m_2 / \rho_{O_2}) RT; \\ P_3 Vp &= (m_3 / \rho_{H_2O}) RT; \end{aligned} \quad (12)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – давления;  $m_1, m_2, m_3$  – массы;  $\rho_c, \rho_{O_2}, \rho_{H_2O}$  – плотности углерода, технического кислорода, пара;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура в реакционной зоне. Поэтому концентрация углерода будет равна -  $[C] = 0,14$  м/л. Из справочных данных известно, что

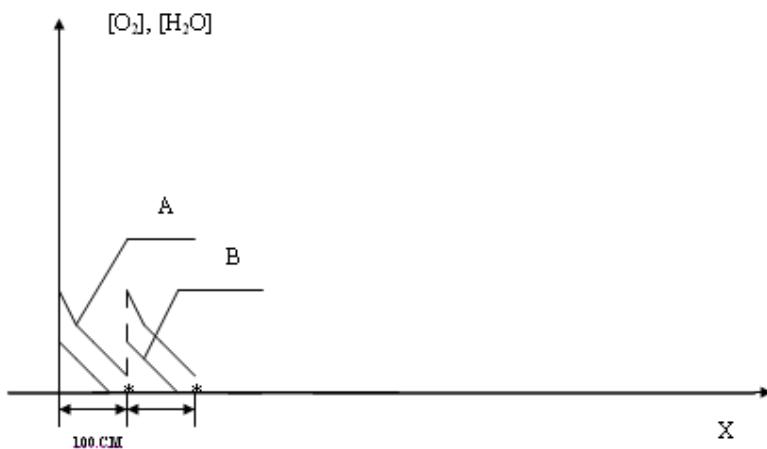
концентрации технического кислорода и пара равны -  $[O_2] = 0,15$  м/л,  $[H_2O] = 0,09$  м/л. Расходы кислорода, пара и углерода в трубчатом турбулентном реакторе соответственно равны -  $V_{O_2} = 0,09$  т/ч.;  $V_{H_2O} = 0,02$  т/ч.;  $V_c = 6,25$  т/ч. Реактор описывается моделью идеального вытеснения, что справедливо в условиях развитого турбулентного течения многофазной смеси (11 - 12).



**Рис. 1.** Схема подогревателя из медно-никелевого сплава



**Рис. 2.** Распределение концентрации углерода по длине реактора.



**Рис. 3.** Распределение концентраций кислорода и пара по длине реактора. А - молекулярный кислород, В – пар

Общее давление в реакторе складывается из давления исходных реагентов и продуктов химических реакций. Согласно технологическим условиям оно равно 2 атм.

$$P_{об} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_{к.п.}); \quad (13)$$

где  $P_{к.п.}$  – давление конечных продуктов. Эти конечные продукты представляют синтез – газ и диоксид углерода (технологические газы) (13).

Примеси в золе представляют вредные вещества для здоровья человека. Поэтому, их необходимо

удалять из выбросов предприятия. Удаление можно осуществить в соответствии со следующими реакциями:



где Pb, B, Mn – свинец, бор, марганец. Эти вещества являются вредными веществами, и они превышают допустимые нормы ПДК.  $PbO_2$ ,  $BO_2$ ,  $MnO$  – оксиды вредных веществ, которые имеют более меньшие пределы токсичности (14).

На воздухе свинец покрывается тонким слоем окисла, который медленно превращается в основной карбонат. Жесткая вода создает на свинце такое же покрытие, которое предохраняет воду от загрязнения растворимыми соединениями свинца. Мягкая вода растворяет заметные количества свинца, и это приводит к отравлению воды.

Существует ряд окислов свинца, из которых наибольшее значение имеют окись свинца (свинцовый глет)  $PbO$  и двуокись свинца  $PbO_2$ .

Свинцовый глет получают при нагревании свинца на воздухе. Это желтый порошок или желтовато – красное кристаллическое вещество, применяемое при производстве свинцового стекла и при получении соединений свинца.

Бор образует блестящие прозрачные кристаллы, обладающие такой же твердостью, как алмаз. Диоксид бора получается в результате обратимой бимолекулярной химической реакции.

Марганец – серебристо-белый металл, обладающий розоватым оттенком. Он активен и замещает водород даже в холодной воде. Основное применение марганец находит при производстве специальных сталей. Марганицевые стали получают из специальных сплавов, содержащих высокий процент марганца и образующихся при восстановлении смеси окислов железа и марганца коксом в доменной печи. Оксид марганца является результатом бимолекулярной химической реакции.

Окисление углерода в реакторе наиболее эффективно протекает в условиях распределенного ввода пара и технологического кислорода. Этот процесс и рецикл по технологическим газам позволяет сократить расход подсветочного мазута (876 кг/ч) на современной Череповецкой ТЭЦ.