

## Практическая работа №3

Решение задач на примере работы реакторов для реализации гетерогенных некаталитических процессов

## Задание 1.

Рассчитайте время  $t_{\text{п}}$  необходимое для полного сжигания частиц графита плотностью  $\rho_{\text{в}}=2,2 \text{ г/см}^3$  нескольких проб разных размерных фракций (с радиусами  $R_0 = 1, 2, 3, 4, 5, \text{ мм}$ ) в входящих газовых потоках, содержащих разные концентрации кислорода ( $C_{A0}=5, 10, 15, 20\%$ ) при температуре  $T=900 \text{ }^\circ\text{C}$  и константы скорости реакции горения  $k=20 \text{ см/с}$ . На основе полученных данных в координатах  $x(t_{\text{п}})$ - $y(R_0)$  построить графики с разными концентрациями кислорода в газовом потоке на входе в реактор ( $C_A$ )

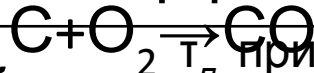
## Последовательность выполнения задания

Для случая высоких скоростей газа внешняя диффузия кислорода к поверхности графита не вносит вклад в общее сопротивление процесса. Поскольку частицы графита полностью сгорают, то скорость рассматриваемого гетерогенного процесса определяется скоростью химической реакции.

Время полного превращения  $\tau_n = \frac{\rho_B R_0}{bkC_A}$  считают по уравнению

где  $\rho_B$  – плотность графита, привести к размерности моль/см<sup>3</sup>, варианты концентраций кислорода в газовом потоке преобразовать по формуле  $C_{A_i} = (C_{A_0}/22400)(273/(273+T))$  моль/см<sup>3</sup>

$b=1$  – стехиометрический коэффициент углерода в реакции:



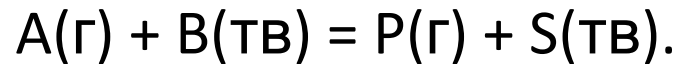
По данным сводной таблицы построить графики и сделать

$C_{A_0}$					
5					
10					
15					
20					

выводы.

## Задание 2.

Определите лимитирующую стадию гетерогенного процесса, если он подчиняется модели фронтального перемещения зоны изотермической реакции сферических частиц вещества  $B$ (тв) одного размера в печи обжига с газовым пространством  $A$ (г) постоянного состава:



При испытаниях установлено, что за 2 секунды частицы реагируют на 30% ( $\tau=2\text{с}$ ,  $X_B=0,3$ ), а за 5 с – на 75% ( $\tau=5\text{с}$ ,  $X_B=0,75$ ).

## Ход выполнения задания

Полное время превращения  $\tau_n$  в модели с фронтальным перемещением зоны реакций является константой, не зависящей от времени пребывания частиц в реакторе. Если лимитирующая стадия существует, то подстановка экспериментальных данных в одно из ниже приведенных уравнений покажет, что  $\tau_n$  останется постоянным при любых опытных значениях  $\tau$  и соответствующих  $X_R$ .

Процесс лимитируется химической реакцией	$\tau_n = \frac{\rho_B R_0}{bkC_A} \left[ 1 - \frac{R}{R_0} \right] = \tau / \left[ 1 - (1 - x_B)^{1/3} \right]$
Процесс лимитируется внутренней диффузией	$\tau_n = \frac{\rho_B R_0^2}{6bDC_A} = \tau / \left[ 1 - 3(1 - x_B)^{2/3} + 2(1 - x_B) \right]$
Процесс лимитируется внешней диффузией	$\tau_n = \frac{\rho_B R_0}{3b\beta C_A} = \tau / x_B$

### Задание 3.

Рассчитать степень превращения твердого вещества, состоящего из смеси частиц  $F_i(R_i)$  разного размера  $R_i$  (состав приведен в таблице), которые реагируют с газом в реакторе с движущимся слоем в режиме идеального вытеснения за время пребывания в аппарате  $\tau = 480$  с, если известно время полного превращения частиц однородного состава соответствующих размеров  $\tau_p(R_i)$  (время приведено в

Размеры твердых частиц $R_i$ , мк	Состав исходной смеси твердых частиц $F_i(R_i)$ , %	Время полного превращения твердых частиц, определенного размера $\tau_p(R_i)$ , с
50	30	300
100	40	600
200	30	1200

## Последовательность выполнения задания

1) Уточняют лимитирующую стадию гетерогенного процесса, сравнивая соотношения размера частиц с соотношением соответствующих времен полного их превращения, и если они примерно равны, то подтверждается версия лимитирующей стадии химической реакции, т.е.

$$(R_1/R_1) = (R_2/R_1) = (R_3/R_1) = \dots = (R_i/R_1) \approx (\tau_{п1}/\tau_{п1}) = (\tau_{п2}/\tau_{п1}) = (\tau_{п3}/\tau_{п1}) = \dots = (\tau_{пи}/\tau_{п1})$$

2) Проверяют степень влияния частиц каждого размера на степень превращения твердого за время их пребывания в реакторе по условию задачи  $\tau$ , и тогда составляют выражение для степени превращения  $\bar{x}$

$$1 - \bar{x} = \sum_{R(\tau=\tau_n)}^{R_n} (1 - x(R_i)) \cdot \frac{F(R_i)}{F}$$

3) Если процесс лимитируется химической реакцией, то степень превращения будет связана со временем процесса следующим образом:

$$(1 - x(R_i)) = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_n(R_i)}\right)^3$$

Подставляя формулу в предыдущее выражение находят искомое значение средней степени превращения твердого материала,  $\bar{x}$

## Задание 4.

Определить фактическую долю не прореагировавшего в процессе обжига зерен пирита одинакового размера  $\bar{x}_1$  в реакторе с псевдоожиженным слоем твердой фазы, если полное время пребывания каждой частицы в аппарате  $\tau = 10$  минут, среднее время пребывания частиц в аппарате  $\bar{\tau} = 40$  минут,

а время полного превращения частицы связано с ее размером соотношением  $\tau_n \approx R^{1,5}$



## Ход выполнения задания

Во время реакции на поверхности частиц пирита образуется твердая пленка пиритных огарков, и таким образом, внешней диффузией при анализе гетерогенного процесса можно пренебречь. Но необходимо установить лимитирующую стадию (химическая реакция, или внутренняя диффузия или их консолидирующее влияние). Если  $\tau_p \approx R$ , то лимитирует химическая реакция, если  $\tau_p \approx R^2$ , то внутренняя диффузия, если внутри этого интервала, то оба фактора. В псевдооживленном слое вещество ведет себя аналогично потоку в РИС и для условий применения частиц равного размера в расчетах используют выражения:

1) Если лимитирует химическая реакция то выбирают зависимость в эквивалентной форме:

$$1 - \bar{x} = \frac{1}{4} \frac{\tau_n}{\tau} - \frac{1}{20} \left( \frac{\tau_n}{\tau} \right)^2 + \frac{1}{120} \left( \frac{\tau_n}{\tau} \right)^3 - \dots$$

2) Если лимитирует внутренняя диффузия, то:

$$1 - \bar{x} = \frac{1}{5} \frac{\tau_n}{\tau} - \frac{19}{420} \left( \frac{\tau_n}{\tau} \right)^2 + \frac{41}{4620} \left( \frac{\tau_n}{\tau} \right)^3$$

3) При консолидированном влиянии используют оба выражения, а фактический результат представляет собой среднеарифметическое значение.

## Задание 5.

Рассчитать степень превращения твердого вещества, состоящего из смеси частиц  $F_i(R_i)$  разного размера  $R_i$  (состав приведен в таблице), которые реагируют с газом в реакторе с кипящим слоем в режиме идеального смешения со скоростью подачи исходного вещества  $F=0,5$  кг/мин и количеством продукта в псевдоожиженном слое  $W=5$  кг, если известно время полного превращения частиц однородного состава соответствующих размеров  $t_{\text{п}}(R_i)$ , (время приведено в таблице). Частицы продукта в ходе реакции не изменяют массы, размеров и не выносятся за пределы реактора, а

лимитирующая стадия – химическая реакция.

Размеры твердых частиц $R_i$ , мк	Состав исходной смеси твердых частиц $F_i(R_i)$ , %	Время полного превращения твердых частиц, определенного размера $t_{\text{п}}(R_i)$ , с
50	30	300
100	40	600
200	30	1200

## Последовательность выполнения задания

1) Определяют среднее время пребывания твердого вещества в псевдооживленном слое в минутах  $\bar{\tau} = \frac{W}{F}$  секундах:

$$\bar{\tau} = \frac{W}{F}$$

2) Определяют скорости подачи в реактор частиц  $F_i(R_i)$  разного размера, в кг/мин и кг/с

3) Для условий гетерогенного процесса лимитируемого химической реакцией в РИС, куда подают различные частицы, но постоянных размеров, применимо выражение:

$$1 - \bar{x} = \sum_{R_n} \left( \frac{1}{4} \frac{\tau_n(R_n)}{\bar{\tau}} - \frac{1}{20} \left( \frac{\tau_n(R_n)}{\bar{\tau}} \right)^2 + \dots \right) \cdot \left( \frac{F(R_n)}{F} \right)$$

и решают его относительно искомой величины  $\bar{x}$