

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)

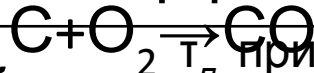
Последовательность выполнения задания

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 ρ_B – плотность графита, привести к размерности моль/см³, варианты концентраций кислорода в газовом потоке преобразовать по формуле $C_{Ai} = (C_{A0}/22400)(273/(273+T))$ моль/см³

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



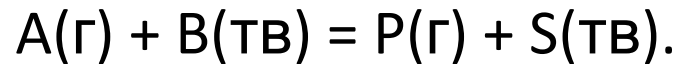
По данным сводной таблицы построить графики и сделать

C_{A0}					
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 τ_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 τ_n останется постоянным при любых опытных значениях τ 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 $\tau_n(R_i)$ (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 $\tau_n(R_i)$, 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 τ , 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}