

Практичне заняття № 4 (модуль 2)

Дисципліна: "Фізико-хімічне та науково - дослідницьке супроводження технології відновлювальних процесів"

(розділ "Кінетичні дослідження відновлювальних процесів")
для студентів напрямку 136 - Металургія

Розрахунок продуктивності шахтного агрегату

Ціль заняття

Навчитися розраховувати продуктивність шахтного агрегату при відновленні залізородного матеріалу воднем

Знання й уміння

У результаті проведення занять студенти повинні:

- вмити розраховувати продуктивність шахтного агрегату в залежності від температури, витрати газу відновнику, діаметру матеріалу.

Для розрахунку продуктивності шахтного агрегату потрібно виявити лімітуючи ланку. З лекційного курсу слідує, що незалежно від температури лімітуючою ланкою завжди є перетворення $\text{FeO} - \text{Fe}$. Тому потрібно визначити швидкість пересування цього перетворення та масу 1 шару, що розташовано у шахтному агрегаті. Для сталої роботи відновлювального агрегату потрібно, щоб розвантаження агрегату відбувалось зі швидкістю пересування $\text{FeO} - \text{Fe}$, це і буде продуктивністю агрегату.

Зразковий розрахунок

Вихідні дані для розрахунку

$d_{\text{ок}}$, мм	$\rho_{\text{ок}}$, кг/м ³	Q , м ³ /час	$D_{\text{р-ра}}$, м	$H_{\text{р-ра}}$, м	T , °С газу	t , °С зовнішнього середовища	Газ-відновлювач	$O_{\Sigma}\%$
10	3682	5	2	7	1000	30	H ₂	28,5

Допущення прийняті в розрахунку:

1. Окаатиші розташовуються в реакторі кубічним укладанням.
2. Окаатиші однакового розміру рівного, що дорівнює $d_{\text{ок}}$.
3. Реакційна зона $\text{FeO}-\text{Fe}$ така, що не перевищує висоту реактора.
4. Температура в реакторі постійна по всій висоті і відповідає $T^{\circ}\text{C}$.
5. Окаатиші мають постійну щільність, що дорівнює $\rho_{\text{ок}} = 3682 \text{ кг/м}^3$.
6. Вихідний окаатиш складається з Fe_2O_3 .

4.1. Визначення фізичних параметрів окаатишів

Приймаємо, що окаатиш, близький за своєю формою до сфери, тому для визначення об'єму використовується формула для визначення об'єму сфери:

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi d^3}{6}.$$

Діаметр окаатишів дорівнює 10мм або $10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, звідси об'єм окаатишів дорівнює

$$V_{\text{оє}} = \frac{3,14 \cdot (10 \cdot 10^{-3})^3}{6} = 523,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Знаючи об'єм окаатиша і його щільність, можна визначити вагу окаатиша, яка дорівнює добутку об'єму окаатиша на його щільність

$$m_{\text{ок}} = V_{\text{ок}} \cdot \rho_{\text{ок}} = 523,3 \cdot 10^{-9} \cdot 3682 = 1926790,6 \cdot 10^{-9} \text{ кг} = 0,1927 \cdot 10^{-2} \text{ кг}.$$

Припускаючи, що залізородна частина окаатишів складається з Fe_2O_3 , можна розрахувати кількість кисню, яка віднімається на тому чи іншому ступені. Відомо, що на ступені $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_3\text{O}_4$ віднімається 11,1% кисню, на ступені $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{FeO}$ віднімається 22,2% кисню і на ступені $\text{FeO} - \text{Fe}$ віднімається 66,7% кисню.

Вміст кисню в окаатиші становить

$$O_{\Sigma, \text{кг}} = O_{\Sigma, \%} \cdot m_{\text{ок}} = 0,285 \cdot 0,1927 \cdot 10^{-2} \text{ кг} = 0,0549 \cdot 10^{-2} \text{ кг}.$$

Кількість кисню, що віднімається на ступені $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_3\text{O}_4$ в г-моль, дорівнює

$$O_{\text{г-м}} = O_{\Sigma, \text{кг}} \cdot 0,111 \left(\frac{1000}{32} \right) = 0,0549 \cdot 10^{-2} \cdot 0,111 \left(\frac{1000}{32} \right) = 0,19 \cdot 10^{-2} \text{ г-моль}.$$

Кількість кисню, що віднімається на ступені $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{FeO}$ в г-моль, дорівнює

$$O_{\text{м-в}} = O_{\Sigma, \text{кг}} \cdot 0,222 \left(\frac{1000}{32} \right) = 0,0549 \cdot 10^{-2} \cdot 0,222 \left(\frac{1000}{32} \right) = 0,38 \cdot 10^{-2} \text{ г-моль}.$$

Кількість кисню, що віднімається на ступені $\text{FeO} - \text{Fe}$ в г-моль, дорівнює

$$O_{B-Fe} = O_{\Sigma, \text{кг}} \cdot 0,667 \left(\frac{1000}{32} \right) = 0,0549 \cdot 10^{-2} \cdot 0,667 \left(\frac{1000}{32} \right) = 1,144 \cdot 10^{-2} \text{ г-моль.}$$

Отримані дані заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для розрахунку швидкості руху реакційних зон	
Щільність окатиша, кг/м ³	3682
Діаметр окатиша, м	0,01
Вміст O ₂ , %	28,5
Об'єм окатиша, м ³	523,3 · 10 ⁻⁹
Вага окатиша, кг	0,1927 · 10 ⁻²
Вміст O ₂ , кг	0,0549 · 10 ⁻²
Кількість O ₂ , що віднімається на ступені вюстит-залізо, г-моль	1,144 · 10 ⁻²

4.2. Визначення місткості шахтного агрегату

Розглянемо шахтну піч діаметром (D) 2м, висотою (H) 7м.

Перетин такого реактора визначається за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2.$$

Зробимо припущення про те, що окатиші розташовуються в печі кубічним укладанням, при цьому порізність такого шару становить 47,64%, що близько до порізності шару окатишів в промислових агрегатах, в яких вона становить 51%. Діаметр окатиша (d) дорівнює 10мм, а його вага (m) 0,1927 · 10⁻²кг. Об'єм реактора (V) дорівнює добутку перетину реактора (S) на його висоту (H) і для нашого розрахунку становить 21,98 м³. При кубічному укладанні об'єм матеріалу в реакторі (V_{м,к}) займе:

$$V_{\text{м,к}} = V \cdot 0,4764 = 21,98 \cdot 0,4764 = 11,51 \text{ м}^3.$$

Знаючи об'єм одного окатиша (V_{ок}), можна визначити кількість окатишів в реакторі, воно дорівнюватиме:

$$N_{\Sigma} = V_{\text{м,к}} / V_{\text{ок}} = 11,51 / 0,1927 \cdot 10^{-2} = 21995041.$$

Оскільки при кубічному укладанні кулі розташовуються паралельними шарами з відстанню між центрами сусідніх шарів, що дорівнюють діаметру кулі, то можна визначити кількість шарів (N_к) в реакторі і кількість окатишів в одному шарі (n_к).

$$N_{\text{к}} = H/d = 7/0,01 = 700.$$

$$n_{\text{к}} = N_{\Sigma} / N_{\text{к}} = 21995041 / 700 = 31421,487$$

(приймаємо таким, що дорівнює 31421).

Таким чином, маса одного шару (M_{1,к}) складе:

$$M_{1,к} = n_{\text{к}} \cdot m_{\text{ок}} = 31421 \cdot 0,1927 \cdot 10^{-2} = 60,55 \text{ кг.}$$

Дані розрахунків представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Розрахункові дані по визначенню маси одного шару

d _{ок, мм}	m _{ок, кг}	n _к	M _{1, кг}	N _к
10	0,1927 · 10 ⁻²	31421	60,55	700

Позначення, прийняті в таблиці 4.2:

d_{ок} – діаметр окатиша m_{ок} – маса окатиша; M₁ – маса одного шару;

n – кількість окатишів в одному шарі; N – кількість шарів.

4.3. Визначення швидкості руху реакційної зони вюстит-залізо

Спочатку необхідно перевести витрату газу з м³/год. в моль/сек. з урахуванням температури зовнішнього середовища. Для цього скористаємося об'єднаним законом Бойля-Маріота та Гей-Люссака

$$pV = \frac{p_0 V_0 T}{T_0},$$

де p, V і T – відповідно тиск, об'єм та температура газу в реальних умовах;

p₀, V₀ і T₀ – відповідно тиск, об'єм та температура газу в нормальних умовах.

Приймаємо, що p і p₀ рівні, а T дорівнює температурі зовнішнього середовища (t), тоді V для наших умов дорівнює:

$$V = \frac{22,4 \cdot 303}{273} = 24,86 \text{ л.}$$

Звідси витрата газу у перерахунку на моль за секунду дорівнює:

$$5000 \text{ л/год.} = 1,388 \text{ л/сек.} = 0,05586 \text{ моль/сек.}$$

Δx_i для T = 1000°C визначаємо з таблиці 3.4. Воно дорівнює 0,411. Потім визначаємо кількість кисню в грамах для одного шару окатишів, для чого множимо кількість г-молей кисню в одному окатиші, що видаляється на ступені FeO-Fe (див. табл. 4.1) на кількість окатишів в одному шарі. (див. табл. 4.2.)

$$m_{\Sigma,1} = 1,144 \cdot 10^{-2} \cdot 31421 = 359,45 \text{ моль.}$$

Підставляючи отримані дані в формулу 3.8, одержимо значення швидкості руху реакційної зони FeO–Fe

$$V_{\Sigma} = \frac{\Delta x_i \cdot Q}{2m_{\Sigma 1}} = \frac{0,411 \cdot 0,05586}{2 \cdot 359,45} = 0,0000319 \text{ шар/сек.} = 0,001914 \text{ шар/хв.}$$

4.4. Визначення продуктивності шахтного агрегату

Використовуючи дані, отримані в розділах 4.2 і 4.3, за визначенням швидкості руху реакційної зони і підставляючи масу одного шару визначаємо продуктивність шахтного агрегату за формулою:

$$\Pi = V \cdot M_1,$$

отримаємо

$$\Pi = V \cdot M_1 = 0,001914 \cdot 60,55 = 0,1159 \text{ кг/хв.} = 6,95 \text{ кг/год.}$$

4.5. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Варі-ант	d, мм	ρ , кг/м ³	Q, м ³ /час	Газ-відновлювач	Dp, м	Hp, м	T, °C	t, °C	O Σ , %
1	10	3682	5	H ₂	2	7	1000	30	28,5
2	15	3682	100	H ₂	2,5	8	900	25	28,5
3	20	3682	500	H ₂	3	9	1100	20	28,5
4	25	3682	1000	H ₂	1,5	10	800	15	28,5
5	30	3682	1500	H ₂	1	15	700	10	28,5
6	10	3682	5	CO	2	7	1000	5	28,5
7	15	3682	100	CO	2,5	8	900	30	28,5
8	20	3682	500	CO	3	9	1100	25	28,5
9	25	3682	1000	CO	1,5	10	800	20	28,5
10	30	3682	1500	CO	1	15	700	15	28,5
11	10	3682	5	H ₂	2	7	1000	10	28,5
12	15	3682	100	H ₂	2,5	8	900	5	28,5
13	20	3682	500	H ₂	3	9	1100	30	28,5
14	25	3682	1000	H ₂	1,5	10	800	25	28,5
15	30	3682	1500	H ₂	1	15	700	20	28,5
16	10	3682	5	CO	2	7	1000	15	28,5
17	15	3682	100	CO	2,5	8	900	10	28,5
18	20	3682	500	CO	3	9	1100	5	28,5
19	25	3682	1000	CO	1,5	10	800	30	28,5
20	30	3682	1500	CO	1	15	700	25	28,5
21	10	3682	5	H ₂	2	7	1000	20	28,5
22	15	3682	100	H ₂	2,5	8	900	15	28,5
23	20	3682	500	H ₂	3	9	1100	10	28,5
24	25	3682	1000	H ₂	1,5	10	800	5	28,5
25	30	3682	1500	H ₂	1	15	700	30	28,5
26	10	3682	5	CO	2	7	1000	25	28,5
27	15	3682	100	CO	2,5	8	900	20	28,5
28	20	3682	500	CO	3	9	1100	15	28,5
29	25	3682	1000	CO	1,5	10	800	10	28,5
30	30	3682	1500	CO	1	15	700	5	28,5

