

## Материальные расчеты неравновесных ВТП

### Исходные данные:

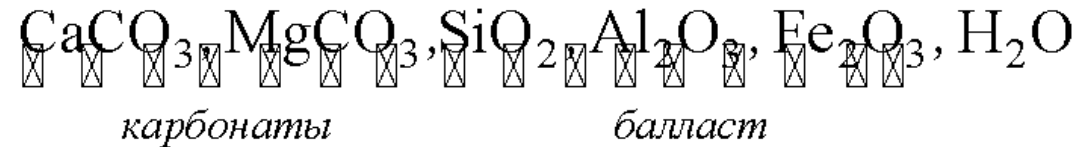
- 1) состав исходных компонентов;
- 2) соотношения расходов отдельных компонентов. То есть задаем ко-эффициенты расходов  $i$ -х компонентов;
- 3) перечень химических реакций;
- 4)  $\sigma_i$  – степень завершения каждой  $i$ -й реакции:  
 $\sigma_i = 1$  – реакция прошла необратимо, до конца;  
 $\sigma_i = 0$  – реакция не идет. Вещества не реагируют.

Искомые величины – те же, что и в МР\_ИВТП.

## Неравновесный процесс обжига известняка

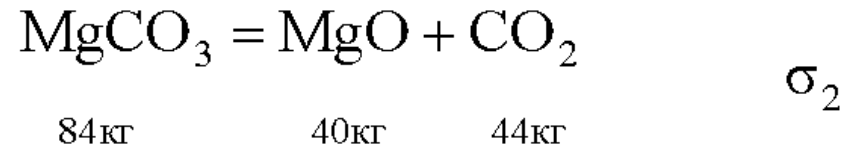
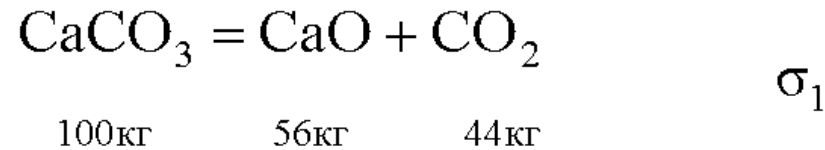
Исходные данные:

1) состав известняка:



(не участвует в хим. реакциях)

2) химические реакции:



3) степени завершения каждой реакции:

$$\sigma_1 < 1; \quad \sigma_2 = 1; \quad \sigma_{\text{балласт}} = 0; \quad \sigma_{\text{H}_2\text{O}} = 0.$$

Искомые величины:

$$m_{\text{CaCO}_3}, m_{\text{CaO}}, m_{\text{MgCO}_3}, m_{\text{MgO}}, m_{\text{бал}}, m_{\text{H}_2\text{O}}, m_{\text{CO}_2}, m_{\text{т.п}}, m_{\text{о.г}}, V_{\text{о.г}}$$

Решение:

$$m_{\text{CaO}} = \frac{56}{100} 0,01\text{CaCO}_3 \sigma_1$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = 0,01\text{CaCO}_3 (1 - \sigma_1)$$

$$m_{\text{MgO}} = \frac{40}{84} 0,01\text{MgCO}_3 \sigma_2$$

$$m_{\text{MgCO}_3} = 0,01\text{MgCO}_3 (1 - \sigma_2) = 0$$

$$m_{\text{баш}} = 0,01(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)(1 - \sigma_3)$$

$$m_{\text{т.п}} = m_{\text{CaO}} + m_{\text{CaCa}_3} + m_{\text{MgO}} + m_{\text{баш}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01\text{H}_2\text{O}$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{44}{100} 0,01\text{CaCO}_3 \sigma_1 + \frac{44}{84} 0,01\text{MgCO}_3 \sigma_2$$

$$m_{\text{о.г}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$V_{\text{о.г}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2}} + \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}; \quad \rho_{\text{CO}_2} = \frac{44}{22,4}; \quad \rho_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{18}{22,4}$$

## Пиролиз газообразного топлива (неравновесный процесс)

Исходные данные:

- 1) состав топлива:  $\text{CH}_4^T = 100\%$
- 2) химическая реакция и степень ее завершения:



Искомые величины:

$$V_{\text{CH}_4}; V_{\text{H}_2}; V_{\Gamma} = V_{\text{CH}_4} + V_{\text{H}_2}, \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \text{ топлива}); m_{\text{C}}, \text{ кг} / (\text{м}^3 \text{ топлива}).$$

Решение:

$$1) \quad V_{\text{CH}_4} = 1 - \sigma; \quad V_{\text{H}_2} = 2\sigma; \quad V_{\Gamma} = 1 - \sigma + 2\sigma = 1 + \sigma;$$

2) Уравнение материального баланса по углероду:

$$\frac{1}{22,4} \cdot 12 = \frac{V_{\text{CH}_4}}{22,4} \cdot 12 + m_{\text{C}}; \quad \frac{1}{22,4} \cdot 12 = \frac{1 - \sigma}{22,4} \cdot 12 + m_{\text{C}}; \quad m_{\text{C}} = \sigma \frac{12}{22,4}.$$

$M_{\text{C}}^{\text{исх}}$

$M_{\text{C}}^{\text{продукты}}$

## Неравновесный процесс паровой конверсии природного газа

Исходные данные:

1. состав топлива:  $\text{CH}_4^T, \text{C}_2\text{H}_6^T, \text{C}_3\text{H}_8^T, \text{CO}_2^T, \text{N}_2^T$ , %, влагосодержание топлива  $d_T$ , г/м<sup>3</sup>;
2. состав окислителя:  $\text{H}_2\text{O}^{\text{ок}} = 100$  %;
3. удельный расход окислителя:  $V_{\text{ок}}$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup> топлива);
4. перечень химических реакций и степени их завершения:

1)	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ ,	$0 < \sigma_1 < 1$
2)	$\text{C}_2\text{H}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO} + 5\text{H}_2$ ,	$\sigma_2 = 1$
3)	$\text{C}_3\text{H}_8 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CO} + 7\text{H}_2$ ,	$\sigma_3 = 1$
4)	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ;	$0 < \sigma_4 < 1$
5)	$\text{CO}_2^T, \text{N}_2^T, \text{H}_2\text{O}^T$	$\sigma_5 = 0$

Искомые величины:

$$V_{\text{CH}_4}; V_{\text{CO}}; V_{\text{CO}_2}; V_{\text{H}_2}; V_{\text{H}_2\text{O}}; V_{\text{N}_2}; V_{\text{п.к}}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ топлива})$$

## Решение

$$V_{\text{CH}_4} = 0,01 \text{CH}_4^T (1 - \sigma_1)$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_6} = V_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0, \text{ т.к. } \sigma_2 = \sigma_3 = 1;$$

Суммарный выход CO по реакциям 1, 2, 3

$$V_{\text{CO}}^{(1,2,3)} = 0,01 \left( \text{CH}_4^T \sigma_1 + \text{C}_2\text{H}_6^T \sigma_2 + \text{C}_3\text{H}_8^T \sigma_3 \right).$$

Расход CO по реакции 4

$$V_{\text{CO}}^{(4)} = V_{\text{CO}}^{(1,2,3)} \sigma_4.$$

Итоговый выход CO по реакциям 1–4

$$V_{\text{CO}} = V_{\text{CO}}^{(1,2,3)} - V_{\text{CO}}^{(4)} = V_{\text{CO}}^{(1,2,3)} (1 - \sigma_4).$$

Суммарный выход H<sub>2</sub> по реакциям 1, 2, 3

$$V_{\text{H}_2}^{(1,2,3)} = 0,01 \left( 3\text{CH}_4^T \sigma_1 + 5\text{C}_2\text{H}_6^T \sigma_2 + 7\text{C}_3\text{H}_8^T \sigma_3 \right).$$

Выход  $H_2$  по реакции 4

$$V_{H_2}^{(4)} = V_{CO}^{(4)}.$$

Итоговый выход  $H_2$  по реакциям 1–4

$$V_{H_2} = V_{H_2}^{(1,2,3)} + V_{H_2}^{(4)}.$$

Выходы прочих компонентов

$$V_{H_2O} = \frac{d_T}{804} + V_{ок} - V_{CO}^{(1,2,3)} - V_{CO}^{(4)} = \frac{d_T}{804} + V_{ок} - V_{CO}^{(1,2,3)}(1 + \sigma_4);$$

$$V_{CO_2} = 0,01CO_2^T + V_{CO}^{(4)};$$

$$V_{N_2} = 0,01N_2^T.$$

Выход продуктов конверсии

$$V_{п.к} = V_{CH_4} + V_{CO} + V_{CO_2} + V_{H_2} + V_{H_2O} + V_{N_2}.$$

Выход сухих продуктов конверсии

$$V_{с.п.к} = V_{CH_4} + V_{CO} + V_{CO_2} + V_{H_2} + V_{N_2}.$$

## Кислородная газификация углерода (неравновесный процесс)

Исходные данные:

1. Состав исходных компонентов:  $C^P = 100\%$ ,  $O_2^{OK} = 100\%$ .
2. Состав технологического продукта – генераторного газа:  
 $CO^{Г.Г}, CO_2^{Г.Г}, \%$ ;  $(CO^{Г.Г} + CO_2^{Г.Г} = 100)$ .
3. химические реакции, определяющие состав продукта:  
 $2C + O_2 \rightarrow 2CO, \quad C + O_2 \rightarrow CO_2.$

Искомые величины:

- удельный расход окислителя  $V_{OK}, m^3/(кг \text{ топлива})$ ;
- удельный расход генераторного газа  $V_{Г.Г}$  и его компонентов  $V_{CO}, V_{CO_2}, m^3/(кг \text{ топлива})$ .



## Решение

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2}}{22,4} \cdot 12 = 0,01 C^p \\ \frac{V_{\text{CO}} + 2V_{\text{CO}_2}}{22,4} \cdot 16 = V_{\text{OK}} \cdot 0,01 \text{O}_2^{\text{OK}} \cdot 2 \frac{16}{22,4}, \\ V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} = V_{\text{Г.Г}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{\text{Г.Г}} = 0,01 C^p \frac{22,4}{12} \\ V_{\text{Г.Г}} (\text{CO}^{\text{Г.Г}} + 2\text{CO}_2^{\text{Г.Г}}) = 2V_{\text{OK}} \text{O}_2^{\text{OK}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\text{Г.Г}} = 0,01 C^p \frac{22,4}{12} \\ V_{\text{Г.Г}} (100 + \text{CO}_2^{\text{Г.Г}}) = 2V_{\text{OK}} \text{O}_2^{\text{OK}} \end{array} \right.$$

Вычисляем  $V_{\text{Г.Г}}$ ,  $V_{\text{OK}}$ . Затем находим удельные выходы компонентов

генераторного газа:  $V_{\text{CO}} = 0,01 V_{\text{Г.Г}} \text{CO}^{\text{Г.Г}}$ ;  $V_{\text{CO}_2} = V_{\text{Г.Г}} - V_{\text{CO}}$ .