

Материальные расчеты равновесных ВТП

ПЕРВАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ МР РВТП

Исходные данные:

- 1) состав исходных компонентов;
- 2) соотношения расходов отдельных компонентов;
- 3) перечень химических реакций, равновесием которых определяется равновесный состав продуктов;
- 4) термодинамические параметры продуктов: p_p , T_p .

Искомые величины – те же, что и в МР_ИВТП.

Равновесная паровая конверсия природного газа

Формулировка задачи сводится к трем группам уравнений:

1. УМБ химических элементов;
2. Уравнение нормировки;
3. Уравнения равновесия.

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 $d_T = 0, \text{г/м}^3$;
2. состав окислителя: $\text{H}_2\text{O}^{\text{OK}} = 100 \%$;
3. удельный расход окислителя: $V_{\text{OK}}, \text{м}^3/(\text{м}^3 \text{ топлива})$;
4. перечень химических реакций, равновесием которых определяется равновесный состав продуктов:
 - 1) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$,
 - 2) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$;
5. давление и температура продуктов конверсии: $p_{\text{п.к}}, T_{\text{п.к}}$.

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

Уравнение материального баланса по углероду

$$\frac{V_{\text{CH}_4} + V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2}}{22,4} \cdot 12 = \frac{0,01(\text{CH}_4^{\text{T}} + 2\text{C}_2\text{H}_6^{\text{T}} + 3\text{C}_3\text{H}_8^{\text{T}} + \text{CO}_2^{\text{T}})}{22,4} \cdot 12, \text{ кг С}/(\text{м}^3 \text{ топлива});$$

или после преобразований в размерности $\text{м}^3 \text{ С}/(\text{м}^3 \text{ топлива})$

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

Уравнение материального баланса по кислороду ($\text{м}^3 \text{ О}/(\text{м}^3 \text{ топлива})$)

$$V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{CO}} + 2V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot 2\text{CO}_2^{\text{T}} + V_{\text{ок}}. \quad (2)$$

Уравнение материального баланса по водороду ($\text{м}^3 \text{ H}_2/(\text{м}^3 \text{ топлива})$)

$$2V_{\text{CH}_4} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{H}_2} = 0,01(2\text{CH}_4^{\text{T}} + 3\text{C}_2\text{H}_6^{\text{T}} + 4\text{C}_3\text{H}_8^{\text{T}}) + V_{\text{ок}}. \quad (3)$$

Уравнение материального баланса по азоту ($\text{м}^3 \text{ N}_2/(\text{м}^3 \text{ топлива})$)

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot \text{N}_2^{\text{T}}. \quad (4)$$

Уравнение закона действующих масс для реакции 1 (см. выше п.4 исходных данных)

$$\frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}^3}{p_{\text{CH}_4} p_{\text{H}_2\text{O}}} = K_{p1}(T_{\text{п.к}}) \quad \text{или} \quad \frac{V_{\text{CO}} V_{\text{H}_2}^3}{V_{\text{CH}_4} V_{\text{H}_2\text{O}}} \left(\frac{p_{\text{п.к}}}{V_{\text{п.к}}} \right)^2 = K_{p1}(T_{\text{п.к}}). \quad (5)$$

Уравнение закона действующих масс для реакции 2 (см. выше п.4 исходных данных)

$$\frac{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}} = K_{p2}(T_{\text{п.к}}) \quad \text{или} \quad \frac{V_{\text{CO}_2} V_{\text{H}_2}}{V_{\text{CO}} V_{\text{H}_2\text{O}}} = K_{p2}(T_{\text{п.к}}). \quad (6)$$

Уравнение нормировки

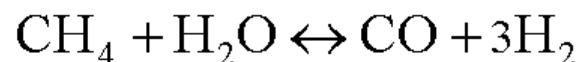
$$V_{\text{п.к}} = V_{\text{CH}_4} + V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2}. \quad (7)$$

Семь уравнений (1) – (7) и семь неизвестных. Система замкнута.

Случай I

Продукты процесса – смесь идеальных газов (например, паровая конверсия метана). Здесь уравнения равновесия – это уравнения закона действующих масс или уравнения констант равновесия.

В примере 3.6 для уравнения паровой конверсии метана



уравнение закона действующих масс имеет вид

$$\frac{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2}^3}{P_{\text{CH}_4} P_{\text{H}_2\text{O}}} = K_p(T_{\text{п.к}}). \quad (8)$$

Парциальные давления и удельные выходы компонентов связаны равенством

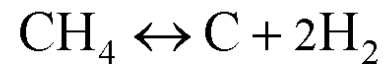
$$p_j = \frac{V_j}{V_{\text{п.к}}} p_{\text{п.к}},$$

с учетом которого уравнение (8) приводится к виду

$$\frac{V_{\text{CO}} V_{\text{H}_2}^3}{V_{\text{CH}_4} V_{\text{H}_2\text{O}}} \left(\frac{p_{\text{п.к}}}{V_{\text{п.к}}} \right)^2 = K_p(T_{\text{п.к}}). \quad (9)$$

Случай II

В продуктах процесса – смесь веществ в различных агрегатных состояниях (в твердом или жидком виде: CH_4 , C), но каждое вещество – в чистом виде, не растворяет и не растворяется в других.



$$K_p = \frac{p_{\text{H}_2}^2}{p_{\text{CH}_4}}$$

Подходы к рассмотрению других случаев изложены в [1].

Постановка	I	II	III	IV
1. Состав исходных компонентов	+	+	+	+
2. Соотношения между компонентами	+	?	+	+
3. Список химических реакций	+	+	+	+
4. Термодинамические параметры T_p, p_p	+	+	$T_p - ?$	$p_p - ?$

ЛИТЕРАТУРА

1. Рузинов Л.П., Гуляницкий Б.С. Равновесные превращения металлургических реакций. – М.: Металлургия, 1975. – 416 с.
2. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания / Под ред. В.П. Глушко. – М.: АН СССР, 1972.
3. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах / Карп И.Н., Сорока Б.С., Дашевский Л.Н., Семернина С.Д. – Киев: Техніка, 1967. – 362 с.