Разновидности уравнений материальных балансов ВТП. Материальные расчеты идеальных ВТП

Материальный баланс (МБ) – аналитическое, табличное или графическое выражение закона сохранения массы в ВТП.

Разновидности МБ ВТП:

1) МБ компонентов;
2) МБ веществ;
3) МБ химических элементов.

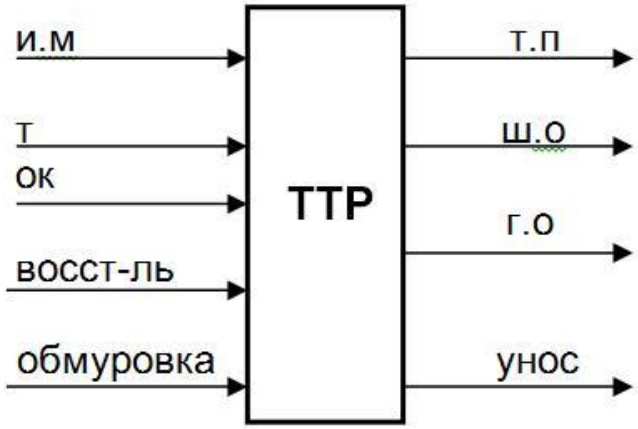
Размерность – обычно кг (компонентов, веществ, элементов) на кг технологического продукта (технологического сырья).

$m_{им}+m_{т}+m_{ок}+m_{в}+m_{об}=1+m_{шо}+m_{ун}+m_{го}$ (3.1)

$m_{об} = m_{ун} = 0$

$m_{в}$ – удельный расход восстановителя

$m_{об}$ - удельный расход обмуровки ТТР



В общем случае ВТП состоит из топочного и технологического процессов.

$$1 + m_{ок}^{топ} = m_{г.о}^{топ} + m_{ш.о}^{топ} + m_{ун}^{топ}; \quad (3.2)$$

$$m_{и.м} + m_{ок}^{тех} \text{ (или } m_{в}) + m_{об} = 1 + m_{г.о}^{тех} + m_{ш.о}^{тех} + m_{ун}^{тех}; \quad (3.3)$$

Термическое разложение: $m_{в} = 0;\ m_{ок} = m_{ок}^{топ}$ – только окислитель для топочного процесса.

Окислительные процессы: $m_{в} = 0;\ m_{ок} = m_{ок}^{топ} + m_{ок}^{тех}$.

Восстановительные процессы: $m_{в} > 0;\ m_{ок} = m_{ок}^{топ}$.

Общее УМБ:

$$\sum_{j=1}^{N_{\text{п}}} m_j = \sum_{i=1}^{N_{\text{и}}} m_i \,, \qquad (3.4)$$

m_j – удельный выход j-го вещества с продуктами топочного и технологического процессов, кг/кг тп;

m_i – удельный расход i-го вещества, вводимого в топочный и технологический процессы, кг/кг тп;

$N_{\text{п}}$ – число веществ, присутствующих в продуктах;

$N_{\text{и}}$ – число веществ, присутствующих в исходных (вводимых) компонентах.

УМБ по веществам, входящим в состав компонентов топочного и технологического процессов:

для технологического процесса

$$\sum_{j=1}^{N_{\text{п}}^{\text{тех}}} m_j^{\text{тех}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{и}}^{\text{тех}}} m_i^{\text{тех}}, \quad \text{кг/кг т.п.} \qquad (3.5)$$

для топочного процесса

$$\sum_{j=1}^{N_{\text{п}}^{\text{топ}}} m_j^{\text{топ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{и}}^{\text{топ}}} m_i^{\text{топ}}, \quad \text{кг/кг (м3) топлива} \qquad (3.6)$$

В (3.6) величина $m_{\text{т}} = 1$.

Для *k*-го химического элемента составляем УМБ по технологическому процессу

$$\sum_{j=1}^{N_{\text{п}}^{\text{тех}}} m_{k,j}^{\text{тех}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{и}}^{\text{тех}}} m_{k,i}^{\text{тех}}, \qquad \frac{\text{кг к} - \text{го элемента}}{\text{кг тп}} \qquad (3.7)$$

$$m_{k,j}^{\text{тех}} = m_j^{\text{тех}} \frac{M_k}{M_j} a_{k,j}, \qquad (3.8)$$

M_k – атомная масса (масса 1 кг-атома) *k*-го элемента, кг;

M_j – молярная масса (масса 1 кмоля) *j*-го вещества, кг/кмоль;

$a_{k,j}$ – количество атомов *k*-го элемента в молекуле *j*-го вещества.

Замечание 1. Выражение $\frac{M_k}{M_j} a_{k,j}$ – это массовая доля *k*-го химического элемента в *j*-м веществе. Это соображение помогает лучше понять формулу (3.8).

Замечание 2. Отметим, что $m_j^{\text{тех}} / M_j$ – количество молей *j*-го вещества, поэтому для газообразных веществ удобнее использовать $V_j^{\text{тех}} / 22{,}4$, где $V_j^{\text{тех}}$ – удельный расход *j*-го газа, м^3/кг т.п. В этом случае

$$m_{k,j}^{\text{тех}} = \frac{V_j^{\text{тех}}}{22{,}4} M_k a_{k,j}.$$

ПРИМЕР. В УМБ по кислороду $m_{\text{O, CO}_2}^{\text{тех}} = m_{\text{CO}_2}^{\text{тех}} \frac{16}{44} 2.$

Две характерные постановки задач материальных расчетов:

- первая постановка: задан состав только исходных материалов;
- вторая постановка: и исходных материалов, и продуктов процесса.

Выделяют материальные расчеты:

- идеальных ВТП;
- неравновесных ВТП;
- равновесных ВТП.

Исходные данные:
1) состав исходных компонентов;
2) перечень химических реакций.

Искомые величины:
1) удельные расходы исходных компонентов;
2) удельный выход продуктов ВТП;
3) состав продуктов ВТП.

Пример 3.1. Термическое разложение известняка

Исходные данные:

1) состав исходных компонентов: $CaCO_3 = 100\%$
2) перечень химических реакций:

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$
$$\frac{40+12+48}{100} \quad \frac{40+16}{56} \quad \frac{12+32}{44}$$

Решение:

1) удельный расход исходного материала (на кг технологического продукта):

$$m_{CaCO_3} = \frac{100}{56} \frac{\text{кг}\,CaCO_3}{\text{кг}\,CaO}$$

2) удельный выход углекислого газа:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{56} \frac{\text{кг}\,CO_2}{\text{кг}\,CaO} \quad \text{или} \quad V_{CO_2} = \frac{22{,}4}{56} \frac{\text{м}^3\,CO_2}{\text{кг}\,CaO}$$