

Тепловые балансы ВТУ, их разновидности. Тепловой баланс теплотехнологического реактора. Определение слагаемых уравнения теплового баланса ТТР

Тепловой баланс (ТБ) – это аналитическое, графическое или табличное выражение закона сохранения энергии.

Задачи, решаемые на основе ТБ:

- 1) насколько эффективно используется теплота;
- 2) почему неэффективно?
- 3) по какому пути идти для повышения КПД?

Основные разновидности теплового баланса:

Тепловой
баланс
теплотехно-
логического
реактора

Тепловой
баланс
отдельных зон
теплотехноло-
гического
реактора

Тепловой
баланс
других
элементов
тепловой
схемы ВТУ

Для ВТУ непрерывного действия:

| | | | |
|--|------------|--|------------|
| 1. Химическая теплота топлива | $Q_{х.т.}$ | 1. Теплота технологического продукта | $Q_{т.п.}$ |
| 2. Физическая теплота топлива | $Q_{ф.т.}$ | 2. Тепловой эффект эндотермических реакций | $Q_{энд}$ |
| 3. Теплота окислителя | $Q_{ок}$ | 3. Теплота шлаковых отходов | $Q_{ш.о.}$ |
| 4. Теплота исходного материала | $Q_{и.м.}$ | 4. Теплота уноса | $Q_{ун}$ |
| 5. Теплота восстановителя | $Q_{в}$ | 5. Теплота отходящих газов | $Q_{о.г.}$ |
| 6. Тепловой эффект экзотермических реакций | $Q_{экз}$ | 6. Теплота выбивающихся газов | $Q_{в.г.}$ |
| 7. Электроэнергия как источник теплоты | $Q_{эл}$ | 7. Неполнота горения | $Q_{н.г.}$ |
| | | 8. Потери теплоты в окружающую среду | $Q_{о.с.}$ |
| Итого: | $Q_{прих}$ | Итого: | $Q_{расх}$ |

Из УТБ определяется:

- видимый расход топлива \mathbf{B} , $\frac{\text{ед.топл.}}{\text{с}}$;

- видимый удельный расход топлива $\mathbf{b} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{P}}$, $\frac{\text{ед.топл}}{\text{кг т.п.}}$

Речь идет о **расходе топлива**, продукты горения которого выполняют функцию источника теплоты.

Среди статей ТБ можно выделить три группы, различающиеся связью с b :

I. Прямо пропорциональны b :

$$Q_{\text{х.т}} = bQ_{\text{н}}^{\text{р}}; \quad Q_{\text{ф.т}} = bH_{\text{ф.т}}; \quad Q_{\text{н.г}} = bH_{\text{н.г}}$$

II. Не связаны с b : $Q_{\text{и.м}}$; $Q_{\text{в}}$; $Q_{\text{экз}}$; $Q_{\text{т.п}}$; $Q_{\text{энд}}$; $Q_{\text{о.с}}$; $Q_{\text{эл}}$; $Q_{\text{акк}}$.

III. Связаны частично: одно слагаемое прямо пропорционально, другое – нет:

$$Q_{\text{о.г}} = bH_{\text{о.г}}^{\text{топ}} + Q_{\text{о.г}}^{\text{тех}}; \quad Q_{\text{ок}} = bH_{\text{ок}}^{\text{топ}} + Q_{\text{ок}}^{\text{тех}}; \quad Q_{\text{ш.о}}; \quad Q_{\text{ун}}; \quad Q_{\text{в.г}}$$

Уравнение для расчета видимого удельного расхода топлива (при $Q_{\text{акк}} = 0$):

$$b = \frac{Q_{\text{тех}} + Q_{\text{о.с}} - Q_{\text{эл}}}{H_{\text{р}}^{\text{топ}} - H_{\text{пот}}^{\text{топ}}}$$

$$Q_i - \frac{\text{кДж}}{\text{кг т.п.}}, \quad H_i - \frac{\text{кДж}}{\text{ед.топл}}$$

$Q_{\text{тех}}$ – потребление теплоты технологическим материалом

$$Q_{\text{тех}} = Q_{\text{т.п}} + Q_{\text{энд}} + Q_{\text{пот}}^{\text{тех}} - Q_{\text{р}}^{\text{тех}}.$$

Здесь $Q_{\text{р}}^{\text{тех}}$ – располагаемая теплота технологического процесса

$$Q_{\text{р}}^{\text{тех}} = Q_{\text{и.м}} + Q_{\text{экз}} + Q_{\text{ок}}^{\text{тех}} \quad (\text{или } Q_{\text{в}}).$$

$Q_{\text{пот}}^{\text{тех}}$ – теплота потерь в технологическом процессе:

$$Q_{\text{пот}}^{\text{тех}} = Q_{\text{о.г}}^{\text{тех}} + Q_{\text{в.г}}^{\text{тех}} + Q_{\text{ш.о}}^{\text{тех}} + Q_{\text{ун}}^{\text{тех}};$$

$H_{\text{р}}^{\text{топ}}$ – располагаемая энтальпия топочного процесса:

$$H_{\text{р}}^{\text{топ}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + H_{\text{ф.т}} + H_{\text{ок}}^{\text{топ}}.$$

$H_{\text{пот}}^{\text{топ}}$ – энтальпия потерь в топочном процессе:

$$H_{\text{пот}}^{\text{топ}} = H_{\text{о.г}}^{\text{топ}} + H_{\text{в.г}}^{\text{топ}} + H_{\text{ш.о}}^{\text{топ}} + H_{\text{ун}}^{\text{топ}} + H_{\text{н.г}}; \quad (\text{«н.г» – неполнота горения})$$

Коэффициент использования топлива (КИТ)

$$\eta_{\text{КИТ}} = \frac{H_p^{\text{ТОП}} - H_{\text{ПОТ}}^{\text{ТОП}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}} = 1 + \frac{H_{\text{ф.т}} + H_{\text{ОК}}^{\text{ТОП}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}} - \frac{H_{\text{ПОТ}}^{\text{ТОП}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}}.$$

Соответственно формула для b принимает вид

$$b = \frac{Q_{\text{тех}} + Q_{\text{о.с}} - Q_{\text{эл}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \eta_{\text{КИТ}}}.$$

Топливные ВТУ:

$$Q_{\text{эл}} = 0; Q_{\text{тех}} + Q_{\text{о.с}} > 0 \Rightarrow b > 0$$

Топливо-электрические ВТУ:

$$Q_{\text{эл}} > 0; Q_{\text{тех}} + Q_{\text{о.с}} > Q_{\text{эл}} \Rightarrow b > 0$$

Электротермические ВТУ:

$$Q_{\text{эл}} > 0; Q_{\text{тех}} + Q_{\text{о.с}} = Q_{\text{эл}} \Rightarrow b = 0$$

Автотермические ВТУ:

$$Q_{\text{эл}} = 0; Q_{\text{тех}} + Q_{\text{о.с}} = 0 \Rightarrow b = 0$$

1. Расчет $Q_{\text{тех}}$.

Для i -го слагаемого из числа входящих в $Q_{\text{тех}}$, за исключением $Q_{\text{энд}}$ и $Q_{\text{экз}}$, используется формула

$$Q_i = m_i c_i t_i \quad \text{при } t_i < t_{\phi.i};$$

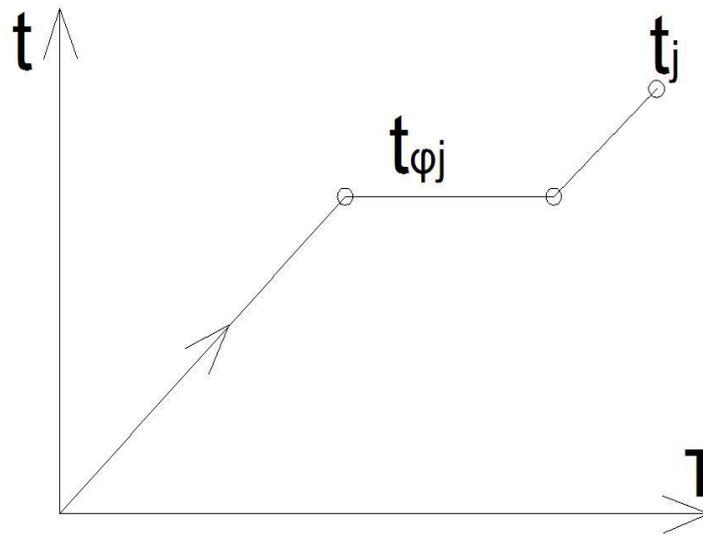
$$Q_i = m_i \left(c'_i t_{\phi.i} + r_i + c''_i (t_i - t_{\phi.i}) \right) \quad \text{при } t_i \geq t_{\phi.i};$$

где m_i – удельный расход i -го слагаемого материального баланса теплотехнологического процесса, кг/кг;

c_i, c'_i, c''_i – удельные теплоемкости i -го слагаемого, средние в соответствующем температурном интервале;

$t_{\phi.i}, t_i$ – температуры фазового превращения и i -го слагаемого на входе в рабочую камеру и на выходе из нее;

r_i – температура фазового превращения i -го слагаемого.



Формулы для $Q_{\text{энд}}$ и $Q_{\text{экз}}$ для i -го слагаемого имеют вид

$$Q_{j, \text{энд}} = \sigma_{j, \text{энд}} m_{j, \text{энд}} q_{j, \text{энд}} ; \quad Q_{j, \text{экз}} = \sigma_{j, \text{экз}} m_{j, \text{экз}} q_{j, \text{экз}} ;$$

$\sigma_{j, \text{энд}}$, $\sigma_{j, \text{экз}}$ – степени завершения j -й эндотермической или экзотермической реакции;

$q_{j, \text{энд}}$, $q_{j, \text{экз}}$ – тепловые эффекты j -й эндотермической или экзотермической реакции;

$m_{j, \text{энд}}$, $m_{j, \text{экз}}$ – удельные расходы j -х веществ, участвующих в эндо- или экзотермических реакциях.

Расчет слагаемых $Q_{\text{о.с.}}$ $Q_{\text{о.с.}} = Q_{\text{о.с.}}^{\text{тепл}} + Q_{\text{о.с.}}^{\text{тр}} + Q_{\text{о.с.}}^{\text{л}} + Q_{\text{о.с.}}^{\text{охл}}$

← тепловые потери теплопроводностью через ограждение рабочего пространства

← излучением через открытые окна

← через принудительно охлаждаемые поверхности

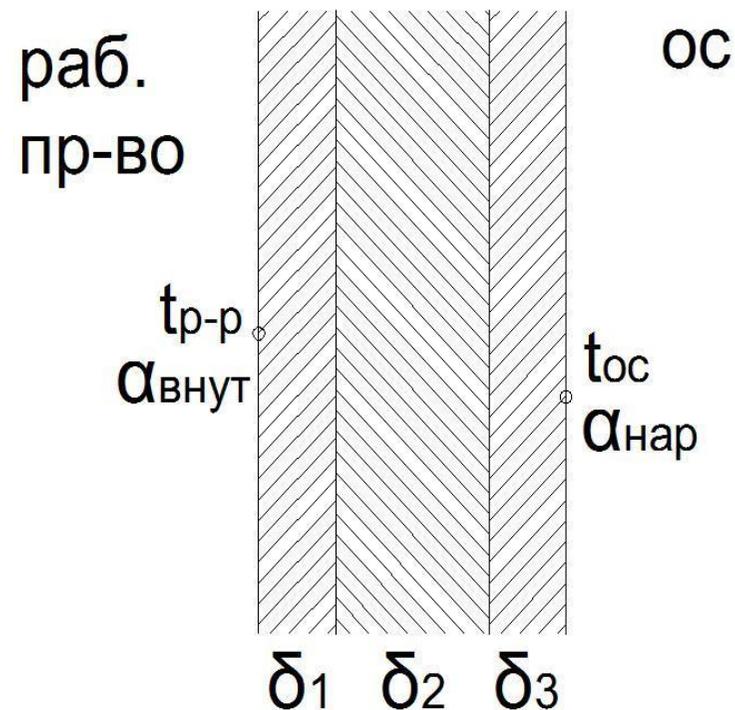
← с транспортными устройствами

а) расчет $Q_{o.c}^{тепл}$

$$Q_{o.c}^{тепл} = q_{o.c}^{тепл} F / P; \quad q_{o.c}^{тепл} = \frac{t_{p.п} - t_{o.c}}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{нар}}}$$

$t_{p.п}$ – температура рабочего пространства;

F – площадь поверхности ограждения.



б) расчет $Q_{o.c}^{тр}$

$$Q_{o.c}^{тр} = (H''_{тр} - H'_{тр}) P_{тр} / P;$$

$P_{тр}$ – массовый расход транспортных устройств;

P – производительность установки;

$H'_{тр}, H''_{тр}$ – энтальпия транспортных устройств на входе и выходе рабочего пространства.

в) расчет $Q_{o.c}^{охл}$

$$Q_{o.c}^{охл} = (H''_{охл} - H'_{охл})P_{охл} / P \quad \text{или} \quad Q_{o.c}^{охл} = q_{o.c}^{охл} F_{охл} / P;$$

(см. в учебнике схему методической печи).

В общем случае для обобщения эмпирических данных применяется формула

$$q_{o.c}^{охл} = A(T_{г} / 100)^n; \quad A, n - \text{эмпирические коэффициенты.}$$

Для методической печи эта формула принимает вид (кВт/м²)

$$q_{o.c, \text{метод.зона}}^{охл} = 1,28 \cdot 10^{-3} (T_{г} / 100)^{3,54};$$

$$q_{o.c, \text{свар.зона}}^{охл} = 2,80 \cdot 10^{-3} (T_{г} / 100)^4.$$

г) расчет $Q_{o.c}^{л}$

$$Q_{o.c}^{л} = q_{o.c}^{л} F_{отв} / P; \quad q_{o.c}^{л} = \sigma_0 \Phi \psi_{\tau} T_{эф}^4 10^{-3};$$

$F_{отв}$ – площадь поверхности отверстий, окон;

σ_0 – коэффициент теплового излучения а.ч.т.;

Φ – угловой коэффициент (коэффициент диафрагмирования);

ψ_{τ} – коэффициент, учитывающий время, в течение которого окно открыто.

Φ зависит:

- от формы;
- от конкретных размеров отверстия.

3. Располагаемая энтальпия топочного процесса

$$H_p^{\text{топ}} = Q_H^p + H_{\text{ф.т}} + H_{\text{ок}}^{\text{топ}}; \quad H_{\text{ф.т}} = c_T t_T; \quad H_{\text{ок}}^{\text{топ}} = V_{\text{ок}}^{\text{топ}} c_{\text{ок}} t_{\text{ок}};$$

t_T – температура топлива, при которой оно входит в горелки ТТР;

c_T – средняя удельная теплоемкость топлива;

$V_{\text{ок}}^{\text{топ}}$ – удельный расход окислителя.

4. Энтальпия потерь топочного процесса

$$H_{\text{пот}}^{\text{топ}} = H_{\text{о.г}}^{\text{топ}} + H_{\text{в.г}}^{\text{топ}} + H_{\text{ш.о}}^{\text{топ}} + H_{\text{ун}}^{\text{топ}} + H_{\text{н.г}}.$$

Здесь $H_{\text{о.г}}^{\text{топ}} = (1 - \varphi_V) V_{\text{п.г}} c_{\text{о.г}} t_{\text{о.г}}; \quad H_{\text{в.г}}^{\text{топ}} = \varphi_V V_{\text{п.г}} c_{\text{в.г}} t_{\text{в.г}};$

$H_{\text{ш.о}}^{\text{топ}} = m_{\text{ш.о}}^{\text{топ}} c_{\text{ш.о}} t_{\text{ш.о}}; \quad H_{\text{ун}}^{\text{топ}} = m_{\text{ун}}^{\text{топ}} c_{\text{ун}} t_{\text{ун}};$

$H_{\text{н.г}} = H_{\text{х.н}} + H_{\text{м.н}}$ (с. 156 учебника).