

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 B , $\frac{\text{ед.топл.}}{с}$;

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

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 :

$$Q_{x.T} = bQ_N^p; \quad Q_{ф.Т} = bH_{ф.Т}; \quad Q_{н.Г} = bH_{н.Г}.$$

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

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

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

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

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

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

$Q_{\text{тех}}$ – 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:

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

Коэффициент использования топлива (КИТ)

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

Соответственно формула для b принимает вид

$$b = \frac{Q_{\text{тех}} + Q_{\text{o.c}} - Q_{\text{эл}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{р}} \eta_{\text{КИТ}}}.$$

Топливные ВТУ:

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

Топливо-электрические ВТУ:

$$Q_{\text{эл}} > 0; Q_{\text{тех}} + Q_{\text{o.c}} > Q_{\text{эл}} \Rightarrow b > 0$$

Электротермические ВТУ:

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

Автотермические ВТУ:

$$Q_{\text{эл}} = 0; Q_{\text{тех}} + Q_{\text{o.c}} = 0 \Rightarrow b = 0$$

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

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

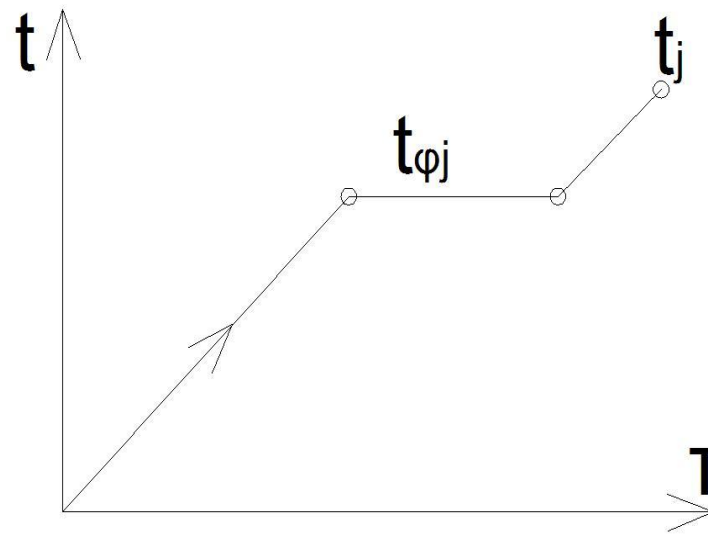
$$Q_i = m_i \left(c'_i t_{\phi.i} + r_i + c''_i (t_i - t_{\phi.i}) \right) \quad \text{при } t_i \geq t_{\phi.i};$$

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

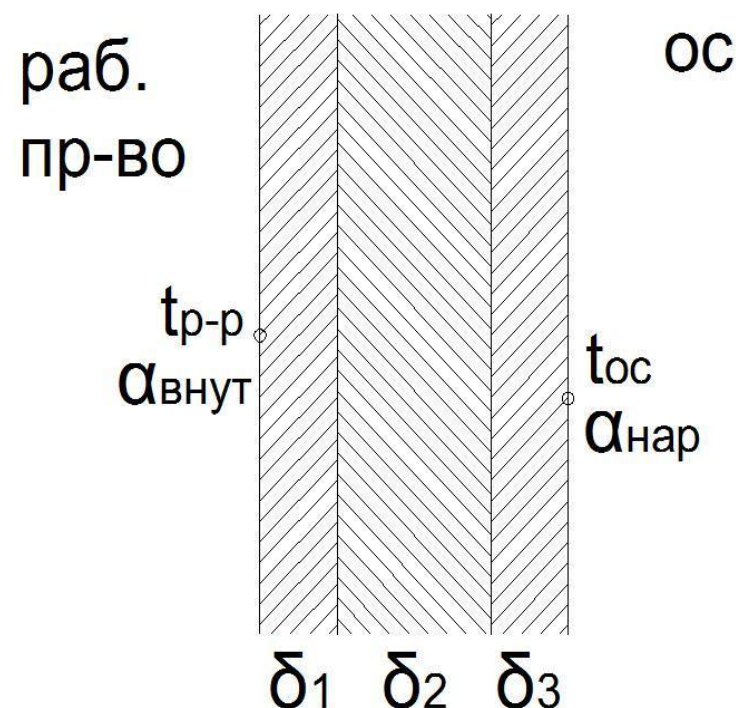
с транспортными
устройствами

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

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

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

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

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

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

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

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