

Тепловой баланс

$$Q = \lambda \cdot m$$

→ **плавления**

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

→ **нагревания**

$$Q = q \cdot m$$

→ **сгорания**

$$Q = L \cdot m$$

→ **кипения**

$$Q = -c \cdot m \cdot \Delta t$$

→ **охлаждения**

$$Q = -L \cdot m$$

→ **конденсации**

Энергетический (тепловой) баланс любого аппарата может быть представлен в виде уравнения, связывающего **приход и расход энергии (тепла) процесса (аппарата)**. Энергетический баланс составляется на основе закона сохранения энергии, в соответствии с которым в замкнутой системе сумма всех видов энергии постоянна. Обычно для химических процессов составляется тепловой баланс. **Уравнение теплового баланса:** $\Sigma Q_{\text{пр}} = \Sigma Q_{\text{расх}}$ (1.1) или $\Sigma Q_{\text{пр}} - \Sigma Q_{\text{расх}} = 0$.

Тепловой баланс рассчитывают по данным материального баланса с учетом тепловых эффектов (экзотермических и эндотермических) химических реакций и физических превращений (испарение, конденсация и т.п.), происходящих в аппарате с учетом подвода теплоты извне и отвода ее с

Тепловой эффект реакции также равен сумме теплот образования исходных веществ за вычетом суммы теплот образования продуктов реакции:

$$\Delta H = \Sigma(\Delta H_{\text{обр}})_{\text{исх}} - \Sigma(\Delta H_{\text{обр}})_{\text{прод}}$$

Подвод теплоты в аппарат $Q_{\text{п}}$ можно учитывать по потере количества теплоты теплоносителя, например, греющей воды ($G_{\text{в}}$ и $C_{\text{в}}$)

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{в}} C_{\text{в}} (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}})$$

$$\text{пара } Q_{\text{п}} = Gr$$

или же по формуле теплопередачи через греющую стенку:

$$Q_{\text{п}} = k_{\text{т}} F (t_{\text{г}} - t_{\text{х}}) \tau$$

где $k_{\text{т}}$ – коэффициент теплопередачи; F – поверхность теплообмена; $t_{\text{г}}$ – средняя температура греющего вещества (воды, пара); $t_{\text{х}}$ – средняя температура нагреваемого вещества в аппарате; r – теплота испарения; τ – время

Тепловой баланс подобно материальному выражают в виде таблиц, диаграмм, а для расчета используют следующее уравнение

$$Q_T + Q_J + Q_G + Q_F + Q_P + Q_{\Pi} = Q'_T + Q'_J + Q'_G + Q'_F + Q'_P + Q'_{\Pi}$$

где Q_T, Q_J, Q_G – количество теплоты, вносимое в аппарат твердыми, жидкими и газообразными веществами соответственно; Q'_T, Q'_J, Q'_G – количество теплоты, уносимое из аппарата выходящими продуктами и полупродуктами реакции и не прореагировавшими исходными веществами в твердом, жидком и газообразном виде; Q_F и Q'_F – теплота физических процессов, происходящих с выделением и поглощением теплоты; Q_P и Q'_P – количество теплоты, выделяющееся в результате экзо- и эндотермических реакций.

Q_p – количество теплоты, подводимое в аппарат извне (в виде дымовых газов, нагретого воздуха, сжигания топлива, электроэнергии и т.п.); Q'_p – потери тепла в окружающую среду, а также отвод тепла через холодильники, помещенные внутри аппарата.

Величины $Q_t, Q_j, Q_g, Q'_t, Q'_j, Q'_g$ рассчитывают для каждого вещества, поступающего в аппарат и выходящего из него по формуле:

$$Q = Gct$$

где G – количество вещества, c – средняя теплоемкость этого вещества; t – температура, отсчитанная от какой-либо точки (обычно от 0°C). Теплоемкости газов в Дж/(кмоль·К), участвующих в процессе, для данной температуры в 0°C (или T, K) можно подсчитать, пользуясь формулой: $C = a_0 + a_1T + a_2T^2$

Коэффициенты **a0, a1, a2** – приведены в справочниках. Чаще всего приходится иметь дело со смесями веществ. Поэтому в формулу подставляют теплоемкость смеси **Cсм**, которая может быть вычислена по закону аддитивности. Так, для смеси трех веществ в количестве **G1, G2 и G3**, имеющих теплоемкости **c1, c2 и c3**,

$$\text{то } C \text{ смеси} = G1c1 + G2 c2 + G3 c3 / (G1 + G2 + G3)$$

Суммарная теплота физических процессов, происходящих в аппаратах, может быть рассчитана

$$\text{по уравнению: } Q_{\phi} = G1r1 + G2 r2 + G3 r3$$

где **r1, r2 и r3** – теплота фазовых переходов; **G1, G2 и G3** – количества компонентов смеси, претерпевших фазовые переходы в данном аппарате.

Тепловой эффект химической реакции равен разности сумм теплот образования продуктов реакции и исходных веществ, умноженных на стехиометрические коэффициенты.

Тепловой эффект химической реакции равен разности сумм теплот сгорания исходных веществ и продуктов реакции, умноженных на стехиометрические коэффициенты.

В общем случае **тепловой эффект химической реакции зависит от температуры и давления**, при которых проводится реакция. Влиянием давления на ΔH и ΔU реакции обычно пренебрегают.

Зависимость теплового эффекта от температуры определяется уравнениями Киргофа. Поскольку обычно известны табличные значения стандартных тепловых эффектов ΔH°_{298} и ΔU°_{298} , то оно имеет вид

$$\Delta H^\circ_T = \Delta H^\circ_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT$$

$$\Delta U^\circ_T = \Delta U^\circ_{298} + \int_{298}^T \Delta C_v dT$$

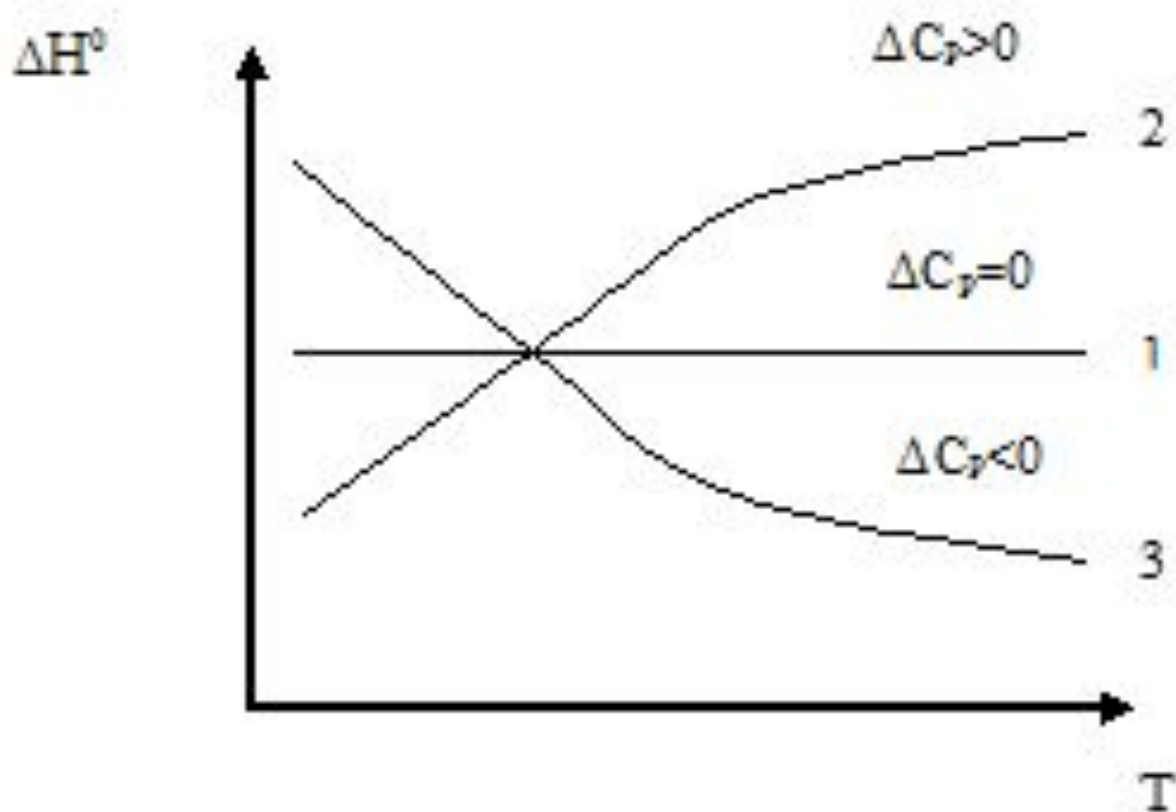
Для химического процесса изменение теплоемкости задается изменением состава системы и рассчитывается следующим образом:

$$\Delta C_p = \sum \nu_i C_{p,i}$$

$$\Delta C_v = \sum \nu_i C_{v,i}$$

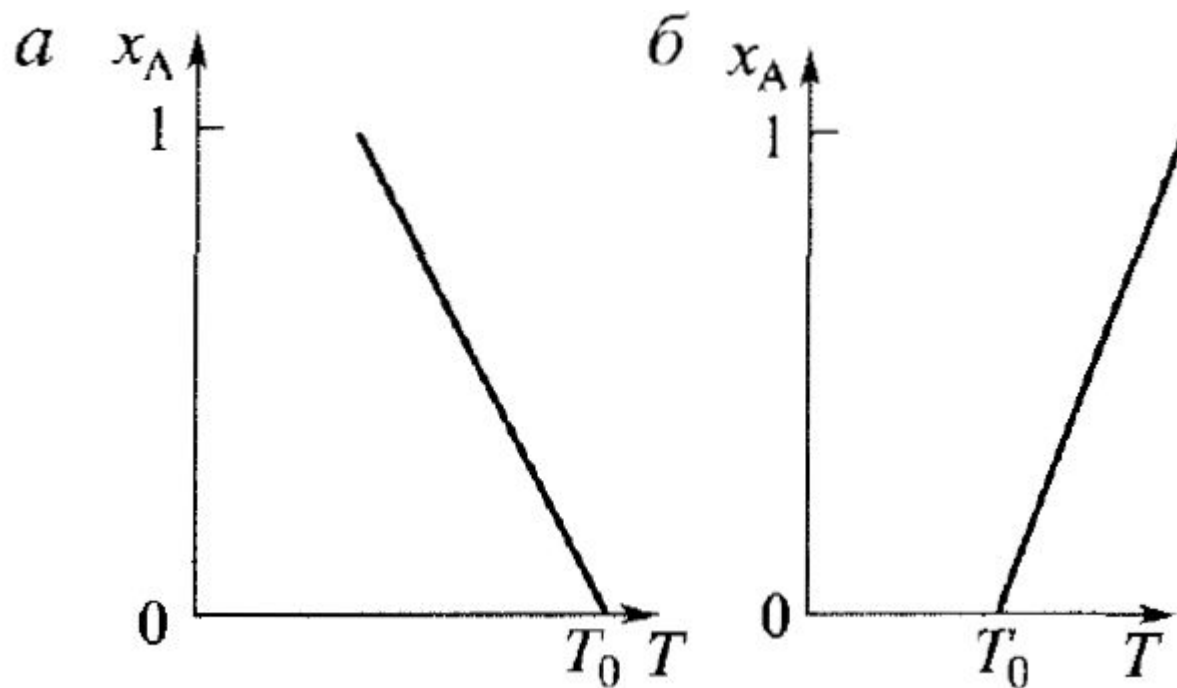
При расчете изменения теплового эффекта реакции в большом интервале температур необходимо учитывать зависимость теплоёмкости от температуры, которая выражается степенным рядом $C_p^\circ = aT + bT^2 + cT^3$; коэффициенты a , b , c приведены в справочниках.

Таким образом зависимость определяется конечным изменением теплоемкости от температуры и может иметь любой вид, например как показано на рисунке:



Особенности теплового баланса химического реактора

Общая схема теплового баланса реактора характеризуется **физическим теплом которое входит с потоком** в виде сырья и **выводится с потоком** в виде продуктов реакции, **тепловым эффектом реакций** +/- (экзотермическим или эндотермическим) и **потоком снятия или подводом тепла** для экзотермического и эндотермического процесса. В стационарном состоянии сумма этих потоков равно нулю. **Особенностью теплового баланса** является учет факта, что **количество тепла выделяемого или потребляемого** в процессе является линейной функцией **от степени превращения** для любых видов реакторов.



T_0 - начальная температура входа сырья в реактор

Уравнение теплового баланса реактора в координатах x_A (степень превращения) -температура реактора T для эндотермической-а и экзотермической реакции б.

