



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

к.т.н., старший преподаватель
НОЦ им. Кижнера
Богданов Илья Александрович

пятница, 16 мая 2025 г.



ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ



Теплопередача — наука о процессах распространения тепла. Законы теплопередачи лежат в основе тепловых процессов — **нагрева, охлаждения, конденсации паров, выпаривания** — и имеют большое значение для проведения многих массообменных (процессы перегонки, сушки и др.), а также химических процессов, протекающих с подводом или отводом тепла.

- Перенос энергии в форме тепла, происходящий между телами, имеющими различную температуру, называется **теплообменом**.
- **Движущей силой** любого процесса **теплообмена** является **разность температур** более нагретого и менее нагретого тел, при наличии которой тепло самопроизвольно, в соответствии со вторым законом термодинамики, переходит от более нагретого к менее нагретому телу.
- **Теплообмен** между телами **представляет собой обмен энергией** между молекулами, атомами и свободными электронами; в результате теплообмена интенсивность движения частиц более нагретого тела снижается, а менее нагретого - возрастает.
- Тела, участвующие в теплообмене, называются **теплоносителями**.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ СПОСОБЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА

Различают три принципиально различных элементарных способа распространения тепла: **теплопроводность**, **конвекцию** и **тепловое излучение**.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Теплопроводность представляет собой перенос тепла вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом. В твердых телах теплопроводность является обычно основным видом распространения тепла.

Конвекцией называется перенос тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости. Перенос тепла возможен в условиях естественной, или свободной, конвекции, обусловленной разностью плотностей в различных точках объема жидкости (газа), возникающей вследствие разности температур в этих точках или в условиях вынужденной конвекции при принудительном движении всего объема жидкости, например в случае перемешивания ее мешалкой.

Тепловое излучение – это процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Все тела способны излучать энергию, которая поглощается другими телами и снова превращается в тепло.

**В реальных условиях тепло передается не каким-либо одним из указанных выше способов, а комбинированным путем. Например, при теплообмене между твердой стенкой и газовой средой тепло передается одновременно конвекцией, теплопроводностью и излучением.*

ТЕПЛООТДАЧА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Процессы переноса тепла

Теплоотдача – это процесс переноса тепла в пределах одной фазы (например от жидкости/газа к стенке или от стенки к жидкости/газу)

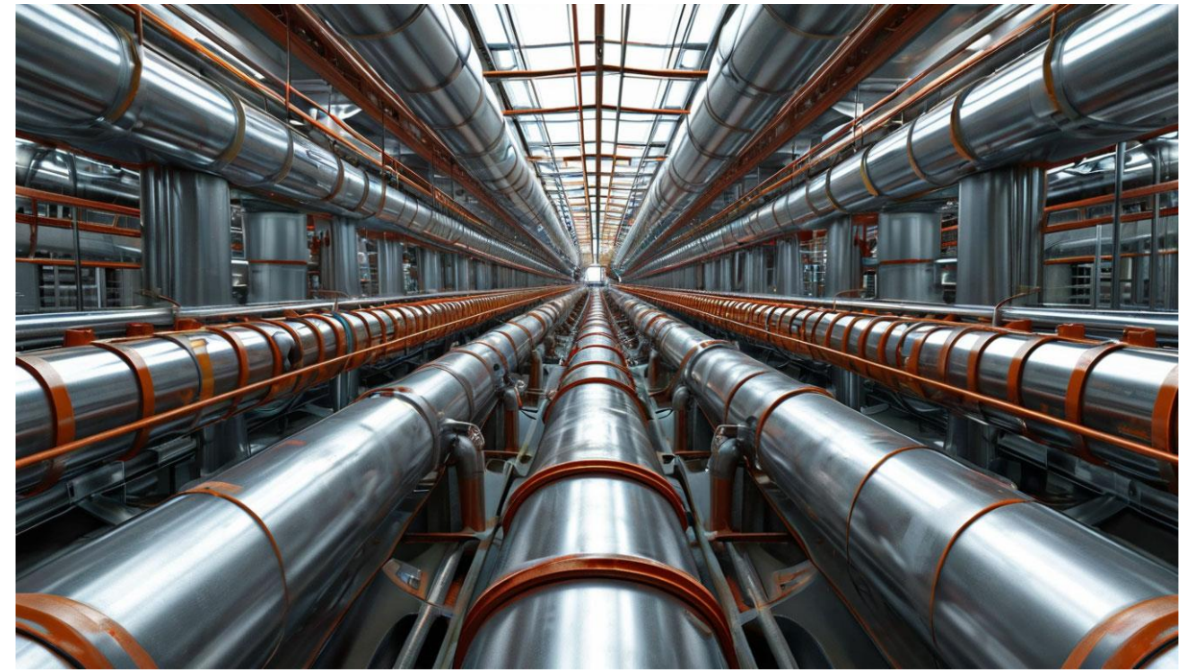
Теплопередача – это процесс переноса тепла через границу раздела фаз (например от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку)

В непрерывно действующих аппаратах температуры в различных точках не изменяются во времени и протекающие процессы теплообмена являются **установившимися (стационарными)**.

В периодически действующих аппаратах, где температуры меняются во времени (при нагревании или охлаждении), осуществляются **неустановившиеся, или нестационарные**, процессы теплообмена.

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

1. Определение теплового потока (тепловой нагрузки аппарата), т. е. количества тепла Q которое должно быть передано за определенное время (в непрерывно действующих аппаратах за 1 сек или за 1 ч, в периодически действующих — за одну операцию) от одного теплоносителя к другому. Тепловой поток вычисляется путем составления и решения тепловых балансов.



2. Определение поверхности теплообмена F аппарата обеспечивающей передачу требуемого количества тепла в заданное время. Величина поверхности теплообмена определяется скоростью теплопередачи, зависящей от механизма передачи тепла — теплопроводностью, конвекцией, излучением и их сочетанием друг с другом. Поверхность теплообмена находят из основного уравнения теплопередачи.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Тепловой баланс в общем виде



$$Q_0 = Q_{\Pi} + Q_{\text{потерь}}$$

Тепло, отдаваемое более нагретым теплоносителем (Q_0), затрачивается на нагрев более холодного теплоносителя (Q_{Π}), и некоторая относительно небольшая часть тепла расходуется на компенсацию потерь тепла аппаратом в окружающую среду ($Q_{\text{потерь}}$).

Величина $Q_{\text{потерь}}$ в теплообменных аппаратах, покрытых тепловой изоляцией, не превышает — 3—5% полезно используемого тепла. Поэтому в расчетах ее можно пренебречь.

$$Q = Q_0 = Q_{\Pi}$$

где Q - тепловая нагрузка аппарата.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Пусть массовый расход более нагретого теплоносителя составляет G_1 , его энтальпия на входе в аппарат $I_{1Н}$ и на выходе из аппарата $I_{1К}$. Соответственно расход более холодного теплоносителя — G_2 , его начальная энтальпия $I_{2Н}$ и конечная энтальпия $I_{2К}$. Тогда уравнение теплового баланса:

$$Q = G_1(I_{1Н} - I_{1К}) = G_2(I_{2Н} - I_{2К})$$

Если теплообмен протекает без изменения агрегатного состояния теплоносителей, то их энтальпии равны произведению теплоемкости на температуру:

$$I_{1Н} = c_{1Н}t_{1Н} \qquad I_{1К} = c_{1К}t_{1К}$$

$$I_{2Н} = c_{2Н}t_{2Н} \qquad I_{2К} = c_{2К}t_{2К}$$

В первом приближении вместо средних удельных теплоемкостей в выражения энтальпий могут быть подставлены истинные удельные теплоемкости, отвечающие среднеарифметической температуре, например $t/2$, при изменении температур от 0 до t .



ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Если теплообмен протекает при изменении агрегатного состояния теплоносителя (конденсация пара, испарение жидкости и др.) или в процессе теплообмена протекают химические реакции, сопровождаемые тепловыми эффектами, то в тепловом балансе должно быть учтено тепло, выделяющееся при физическом или химическом превращении.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Произведение расхода теплоносителя G_1 на его среднюю удельную теплоемкость c условно называется водяным эквивалентом W . Численное значение W определяет массу воды, которая по своей тепловой емкости эквивалентно количеству тепла, необходимому для нагревания данного теплоносителя на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, при заданном его расходе. Поэтому если теплоемкости обменивающихся теплом жидкостей можно считать не зависящими от температуры, то уравнение теплового баланса принимает вид:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1\text{H}} - t_{1\text{K}}) = G_2 c_2 (t_{2\text{H}} - t_{2\text{K}})$$

или

$$Q = W_1 (t_{1\text{H}} - t_{1\text{K}}) = W_2 (t_{2\text{H}} - t_{2\text{K}})$$

где W_1 и W_2 — водяные эквиваленты нагретого и холодного теплоносителя соответственно

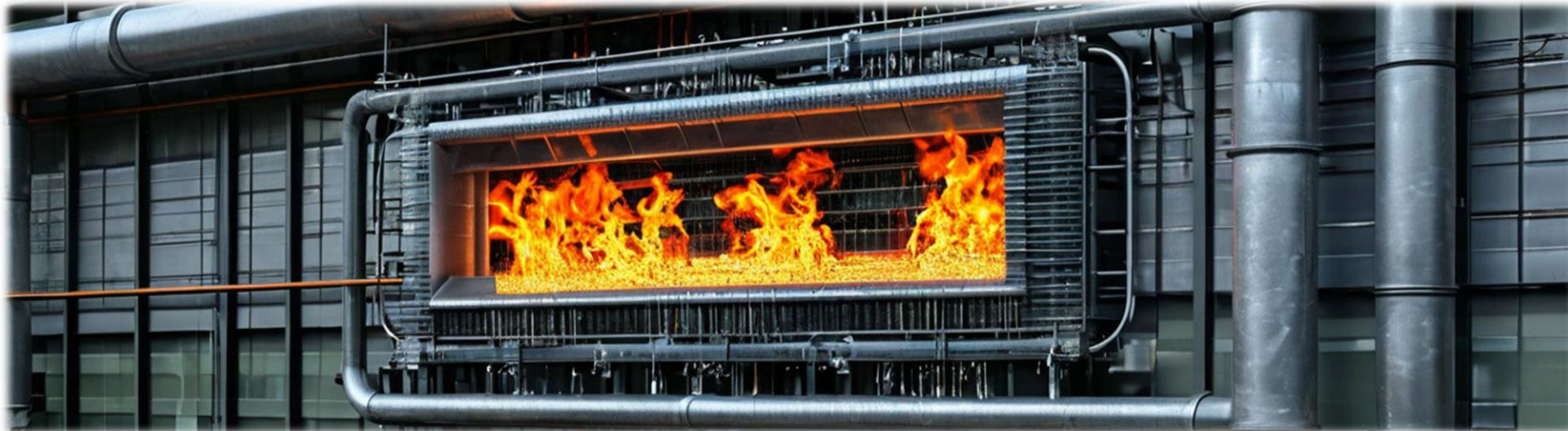
ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Общая кинетическая зависимость для процессов теплопередачи, выражающая связь между тепловым потоком Q' и поверхностью теплообмена F , представляет собой основное уравнение теплопередачи:



$$Q' = KF\Delta t_{\text{ср}}\tau$$

где K — коэффициент теплопередачи, определяющий среднюю скорость передачи тепла вдоль всей поверхности теплообмена; $\Delta t_{\text{ср}}$ — средняя разность температур между теплоносителями, определяющая среднюю движущую силу процесса теплопередачи, или температурный напор; τ — время.



Таким образом согласно основному уравнению теплопередачи, количество тепла, передаваемое от более нагретого к более холодному теплоносителю, пропорционально поверхности теплообмена F , среднему температурному напору $\Delta t_{\text{ср}}$ и времени τ .

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Для непрерывных процессов теплообмена уравнение теплопередачи имеет вид:



$$Q = Q' / \tau = KF \Delta t_{\text{ср}}$$

Из уравнения теплопередачи вытекают единица измерения и физический смысл коэффициента теплопередачи. Так, при $F = 1 \text{ м}^2$, $\Delta t_{\text{ср}} = 1 \text{ град}$ и $\tau = 1 \text{ сек}$

$$[K] = \left[\frac{Q'}{F \tau \Delta t} \right] = \left[\frac{\text{дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}} \right] = \left[\frac{\text{вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}} \right]$$

Таким образом, коэффициент теплопередачи показывает, какое количество тепла (в дж) переходит в 1 сек от более нагретого к более холодному теплоносителю через поверхность теплообмена 1 м^2 при средней разности температур между теплоносителями, равной 1 град.