

# Характеристические уравнения реакторов

Одной из важнейших задач, возникающих при изучении процессов, протекающих в реакторах, является установление функциональной зависимости времени пребывания реагентов в реакторе от различных факторов. Данную зависимость выражают в виде уравнения, которое называют характеристическим уравнением реактора:

$$\tau = f(x, C_0, r).$$

Характеристическое уравнение составляется на основании материального баланса по одному из компонентов реакционной смеси, например, уравнение

$$-\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -\omega_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - \omega_y \frac{\partial C_A}{\partial y} - \omega_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + D \left( \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) + r_A,$$

где  $C_A$  – концентрация реагента А в реакционной смеси,

$\tau$  – время пребывания реагента в реакционном объеме,

$D$  – коэффициент диффузии,

$\omega$  – линейная скорость движения реакционной смеси,

$r_A$  – скорость химической реакции.

**Первый член уравнения** , характеризует общее изменение концентрации исходного реагента во времени (**это скорость процесса, не реакции!**).

Выражение *после знака равно* - сумма произведений составляющих скорости потока вдоль осей координат на градиенты концентраций. По сути данное выражение отражает изменение концентрации реагента  $A$  вследствие его переноса реакционной массой в направлении, совпадающем с направлением всего потока.

**Второе слагаемое** в правой части это произведение коэффициента диффузии на сумму вторых производных от концентрации по осям координат - отражает изменение концентрации реагента в элементарном объеме в результате его переноса за счет диффузии.

**Последний член уравнения** - скорость химической

**Следует отметить, что указанное уравнение не учитывает характер теплового режима реактора и влияние температуры на кинетику химической реакции, поэтому для выбора оптимального режима работы реактора уравнение материального баланса решается совместно с уравнением теплового баланса.**

**Рассмотрим характеристические уравнения реакторов различных типов на примере простой необратимой реакции  $A \rightarrow R$ . Для более сложных химических превращений уравнения составляются аналогичным образом с учетом вида кинетического уравнения в каждом конкретном случае.**

В реакторе идеального вытеснения (РИВ) реакционная смесь движется только в одном направлении - по длине реактора. Выберем направление движения потока реагентов за направление оси  $x$ . Тогда можно записать следующие выражения:

$$-\omega_x \frac{\partial C_A}{\partial x} = -\omega \frac{\partial C_A}{\partial l},$$

где  $l$  – длина пути, пройденного элементом реакционной смеси,

$$-\omega_y \frac{\partial C_A}{\partial y} = 0, \quad -\omega_x \frac{\partial C_A}{\partial x} = 0.$$

В РИВ отсутствует продольная и радиальная диффузия, поэтому сумма вторых производных концентрации А по координатам равна нулю. Тогда уравнение примет вид:

$$-\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = -\omega \frac{\partial C_A}{\partial l} + r_A$$

Уравнение это математическое описание потока реагентов в РИВ при нестационарном режиме. В стационарном режиме параметры процесса не меняются во времени ( $-\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = 0$ ), и уравнение преобразуется к следующему виду:

$$\omega \frac{\partial C_A}{\partial l} = r_A$$



После преобразования для кинетического уравнения вида

$$r_A = -kC_A^n.$$

Получим

$$\tau = \frac{1}{kC_{A0}^{n-1}} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1 - X_A)^n}$$

где  $X_A$ -степень превращения вещества.

**Итак, имея концентрацию исходного вещества константу реакции и задавшись степенью превращения можно получить расчетное время нахождения реакционной смеси в реакторе.**

Можно показать, что реактор идеального смешения периодического действия описывается тем же уравнением.

### Характеристическое уравнение РИС-Н

При стационарном режиме работы реактора идеального смешения непрерывного действия (РИС-Н) скорость химического превращения

реагента  $-r_A = \frac{v}{V} (C_{A0} - C_A) = \frac{1}{\tau} (C_{A0} - C_A)$ ,  $\tau$  - времени переноса

где  $v$  - объемный расход реакционной смеси,

$V$  - объем реакционной смеси,

$C_{A0}$  - концентрация реагента А на входе в реактор.

После преобразования для кинетического уравнения вида

$$r_A = -kC_A^n.$$

получи

М

$$\tau = \frac{1}{kC_{A0}^{n-1}} \cdot \frac{X_A}{(1 - X_A)^n}$$

Используя полученные уравнения можно сравнить эффективность реакторов .  
Очевидно, что РИВ выгоднее РИС.



