



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Классификация массообменных процессов
Статика процессов. Межфазное равновесие

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

вторник, 16 сентября 2025 г.



ПРОГРАММА КУРСА

Лекционные занятия – 32 час (16 пар)

Практические занятия – 24 часов (12 пар)

Лабораторные занятия – 40 часов (20 пар)

Самостоятельная работа – 120 часов (60 пар)!

Разделы дисциплины	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Массообменные процессы и аппараты.	Лекции	26
	Практические занятия	36
	Лабораторные занятия	24
	Самостоятельная работа	110
Раздел 2. Современные проблемы в области процессов и аппаратов в химической и нефтехимической промышленности.	Лекции	6
	Практические занятия	4
	Самостоятельная работа	10

Форма контроля успеваемости – **ЭКЗАМЕН!**

Также в семестре предусмотрено выполнение курсового проекта
(расчет колонны/теплообменника)

Форма контроля – **Дифференцированный зачет!**



РЕЙТИНГ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Мероприятие	Кол-во баллов	Кол-во Мероприятий	Итого
Лекция	1	16	16
Практика	1	20	20
Лабораторная	3	3	9
Коллоквиум	5	3	15
Экзамен	40	1	40
Итого			100



Пересдач не будет!
Работать активно нужно в семестре!
Выучить ПАХТ за ночь не получится!
Диф.зачет влияет на стипендию!

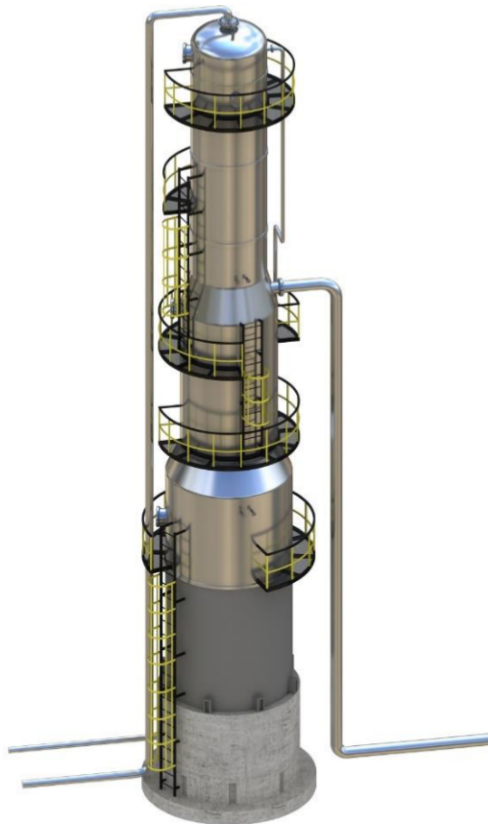
Итоговая оценка	Традиционная оценка	Литерная оценка
96 - 100	Отлично	A
90 - 95		B
80 - 89		C
70 - 79	Хорошо	D
65 - 69		E
55 - 64		F
55 - 100	Удовлетворительно	P
0 - 54		F

МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Массообменные процессы (диффузионные) – процессы переноса вещества (или нескольких веществ) из фазы в фазу.



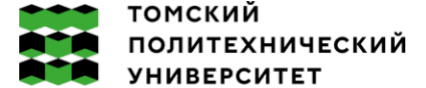
Используют для разделения гомогенных и гетерогенных систем с целью концентрирования содержащихся в фазах веществ. Фаза, переработанная таким образом, может являться **конечным продуктом либо полупродуктом** производства.



*Применяя массообменные процессы, также удаляют вредные примеси из технологических сред, стоков и газовых выбросов, а также извлекают из отходов, стоков и выбросов ценные вещества.

РОЛЬ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Массообменные процессы (в том числе в промышленных условиях) чаще всего протекают между следующими фазами:



- *газовой и жидкой*
- *паровой и жидкой*
- *жидкой и твёрдой*
- *газовой и твёрдой*
- *между двумя жидкими*

При рассмотрении массообменных процессов используют понятия – **массоотдача** и **массопередача**.

Массоотдача – перенос распределяемого вещества из ядра фазы к её границе (или наоборот, от границы фазы в её ядро).

Массопередача – перенос распределяемого вещества из ядра пересыщенной (отдающей) фазы в ядро ненасыщенной (принимающей) фазы через границу их раздела.

Граница раздела фаз может быть фиксированной – присуще большинству случаев массообмена с участием твёрдой фазы и подвижной – присуще системам жидкость – жидкость, газ – жидкость, жидкость – твёрдое

РОЛЬ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

В промышленности применяются в основном следующие процессы массопередачи между газовой (паровой) и жидкой, между газовой и твердой, между твердой и жидкой, а также между двумя жидкими фазами:



Абсорбция — поглощение газа жидкостью, т. е. процесс разделения, характеризующийся переходом вещества из газовой фазы в жидкую. Обратный процесс выделения газа из жидкости называется **десорбцией**.

Адсорбция — поглощение компонента газа, пара или раствора твердым пористым поглотителем, т. е. процесс разделения, характеризующийся переходом вещества из газовой (паровой) или жидкой фазы в твердую. Обратный процесс — **десорбция** — проводится после адсорбции и часто используется для регенерации поглощенного вещества из поглотителя.

Перегонка — разделение гомогенных жидких смесей путем взаимного обмена компонентами между жидкостью и паром, полученным испарением разделяемой жидкой смеси.

**Разновидностью адсорбции является ионный обмен — процесс разделения, основанный на способности некоторых твердых веществ (ионитов) обменивать свои подвижные ионы на ионы растворов электролитов.*

РОЛЬ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

В промышленности применяются в основном следующие процессы массопередачи между газовой (паровой) и жидкой, между газовой и твердой, между твердой и жидкой, а также между двумя жидкими фазами:



Экстракция (в системе жидкость-жидкость) — извлечение вещества, растворенного в жидкости, другой жидкостью, практически не смешивающейся или частично смешивающейся с первой. При этом извлекаемый компонент исходного раствора переходит из одной жидкой фазы в другую.

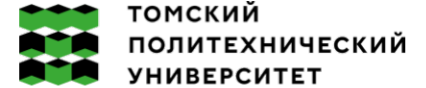
Сушка — удаление влаги из твердых материалов, главным образом путем ее испарения. В этом процессе влага переходит из твердой фазы в газовую или паровую.

Кристаллизация — выделение твердой фазы в виде кристаллов из растворов или расплавов. Кристаллизация осуществляется в результате пересыщения или переохлаждения раствора (расплава) и характеризуется переходом вещества из жидкой фазы в твердую.

Растворение и экстракция (в системе твердое тело-жидкость). Растворение характеризуется переходом твердой фазы в жидкую (растворитель) и представляет собой, таким образом, процесс, обратный кристаллизации. Извлечение на основе избирательной растворимости одного или нескольких компонентов из твердого пористого материала, называется *экстракцией из твердого* или *выщелачиванием*.

РОЛЬ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

По числу минимально участвующих в процессе фаз и компонентов массообменные процессы и аппараты делятся на две группы.



К первой группе относятся процессы, в которых принимают участие два компонента (оба они являются распределяемыми) и две фазы. К числу указанных процессов относятся перегонка, кристаллизация, растворение.

Вторую группу составляют процессы, в которых минимально участвуют три компонента (один из них – распределяемый, два других – компоненты-носители, инертные компоненты) и две 2 фазы. При этом каждый из компонентов-носителей присутствует только в одной из фаз. Процессами второй группы являются абсорбция, жидкостная экстракция, адсорбция, экстрагирование, термическая сушка.

Подобно теплопередаче массопередача представляет собой сложный процесс, включающий перенос вещества (массы) в пределах одной фазы, перенос через поверхность раздела фаз и его перенос в пределах другой фазы. Отличие в том, что при теплопередаче обменивающиеся теплом среды в большинстве случаев разделены твердой стенкой, в то время как массопередача происходит обычно через границу раздела соприкасающихся фаз.

Для массообменных процессов, по аналогии с процессами переноса тепла, принимают, что количество переносимого вещества пропорционально поверхности раздела фаз и движущей силе. В расчетах движущую силу процессов массопереноса выражают приближенно через разность концентраций подобно тому, как в процессах теплопереноса ее выражают разностью температур.

*Скорость процессов массопереноса лимитируется молекулярной диффузией распределяемого вещества у границы раздела фаз. Поэтому эти процессы называют также **диффузионными**.

РАВНОВЕСИЕ ПРИ МАССОПЕРЕДАЧЕ. ПРАВИЛО ФАЗ

В основе равновесия лежит правило фаз (Гиббса): $\Phi + C = K + 2$  ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

где Φ — число фаз; C — число степеней свободы, т. е. число независимых переменных, значения которых можно произвольно изменять без нарушения числа или вида (состава) фаз в системе; K — число компонентов системы.

Правило фаз указывает число параметров, которое можно менять произвольно (в известных пределах) при расчете равновесия в процессах массообмена. Применим это правило к двум группам процессов массопередачи:

В первом случае система, состоящая из двух фаз и трех компонентов — распределяемого вещества и двух веществ — носителей, согласно правилу фаз, имеет три степени свободы:

$$C = K + 2 - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3$$

Число степеней свободы равно общему числу компонентов, включая компоненты-носители. В этом случае можно произвольно изменять общее давление, температуру и концентрацию одной из фаз по распределяемому компоненту. Следовательно, при данных температуре и давлении некоторой концентрации одной из фаз соответствует строго определенная концентрация другой фазы.

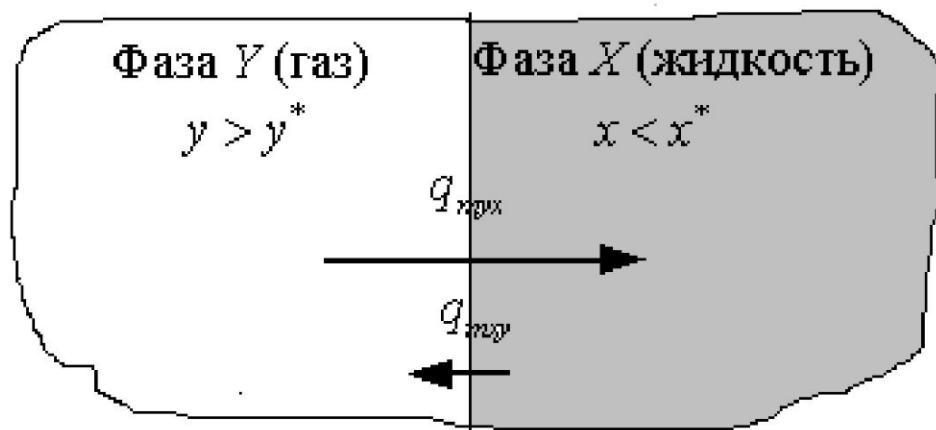
Во втором случае система, состоящая из двух фаз и двух распределяемых компонентов, имеет только две степени свободы:

$$C = K + 2 - \Phi = 2 + 2 - 2 = 2$$

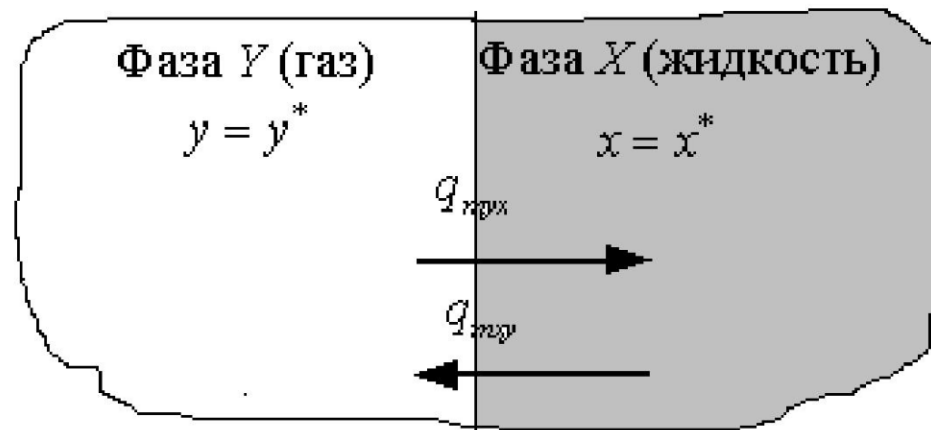
Принимая во внимание, что процессы массопередачи осуществляются обычно при постоянном давлении, можно заключить, что в данном случае с изменением концентрации фазы должна меняться температура. Вместе с тем, если бы такой процесс проводился при постоянной температуре, то различным концентрациям фазы отвечали бы разные давления.

РАВНОВЕСИЕ ПРИ МАССОПЕРЕДАЧЕ

В тесное соприкосновение приведены неравновесные фазы **Y (газовая)** и **X (жидкая)**. В начальный момент времени газовая фаза является пересыщенной неким распределяемым компонентом, а жидкая – ненасыщенной.



а) $q_{mxy} > q_{myx}$



б) $q_{mxy} = q_{myx}$

В описываемом случае распределяемый компонент с большей скоростью переносится из газовой фазы в жидкую (плотность потока переносимого вещества q_{mxy}), чем из жидкой в газовую (плотность потока переносимого вещества q_{myx}).

При установлении межфазного равновесия, действующие концентрации распределяемого компонента в обеих фазах становятся равными равновесным: $y = y^*$; $x = x^*$. Установившееся равновесие является динамическим.

**Индекс «*» обозначает равновесную концентрацию.*

РАВНОВЕСИЕ ПРИ МАССОПЕРЕДАЧЕ

Зависимости между переменными, влияющими на условия равновесия, изображаются в виде фазовых диаграмм. Одной из таких диаграмм является x - y диаграмма.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На данной диаграмме отображается взаимосвязь концентраций распределяемого компонента в условиях равновесия при постоянных давлении или температуре.

Таким образом некоторому значению действующей концентрации x в одной фазе соответствует строго определенная равновесная концентрация y^* в другой контактирующей фазе.

Эту связь ввиду обратимости процесса массообмена можно выразить зависимостями:

$$y^* = f(x)$$

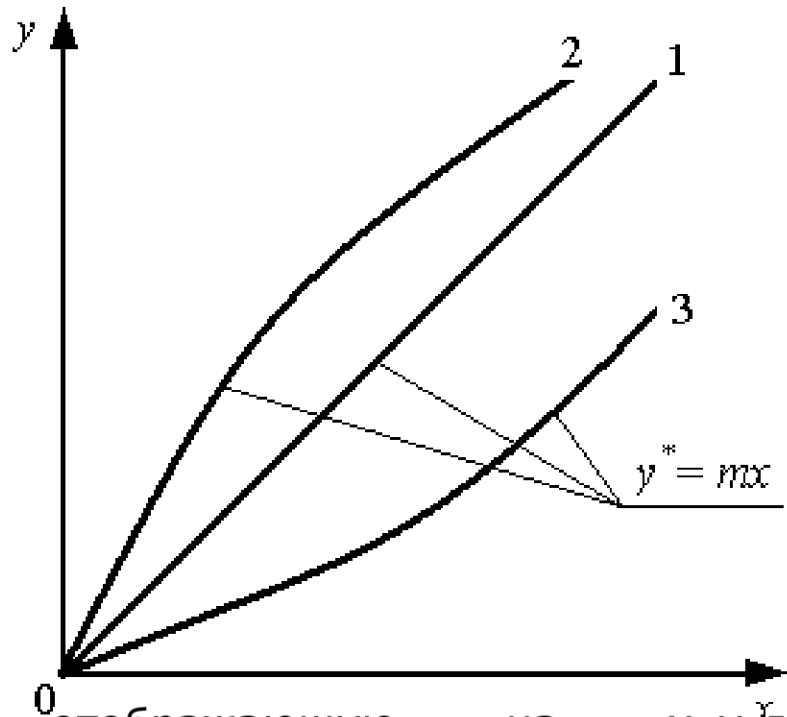
$$x^* = f(y)$$

или

$$y^* = mx$$

где m – коэффициент распределения вещества по фазам (он показывает соотношение концентраций распределяемого компонента в фазах в условиях равновесия).

В общем случае $m = f(P, t, x)$. Поэтому при отображении на x - y -диаграмме график функции представляет собой выпуклую 2 или вогнутую 3 кривую, хотя в частных случаях может быть и прямой 1.



Кривую, отображающую на x - y -диаграмме взаимосвязь концентраций распределяемого компонента в условиях равновесия, называют линией равновесия.