

Масштабирование химических реакторов

Отличием реальных химических реакторов от моделей идеальных является **отсутствие в них идеальной структуры движения потока**, приводящее к искажению тех допущений, при которых были составлены математические модели.

Снижение эффективности аппарата (уменьшение производительности, скорости процесса, выхода продуктов и пр.) при переходе от лабораторного к промышленному реактору называется **масштабным эффектом**.

Причины неидеальности реальных реакторов:

1. Вследствие конструктивных недостатков в реальных реакторах могут возникать **застойные зоны**, что приводит к тому, что элементы объёма реакционной смеси **находятся в реакторе разное время, что ведет к различной скорости реакции в различных точках аппарата**.

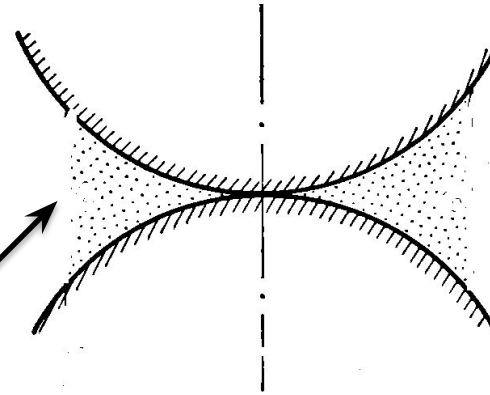
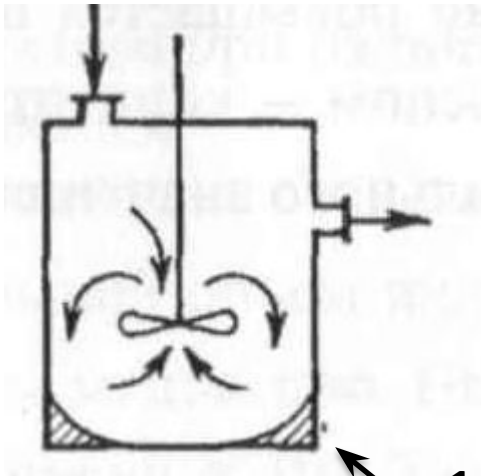
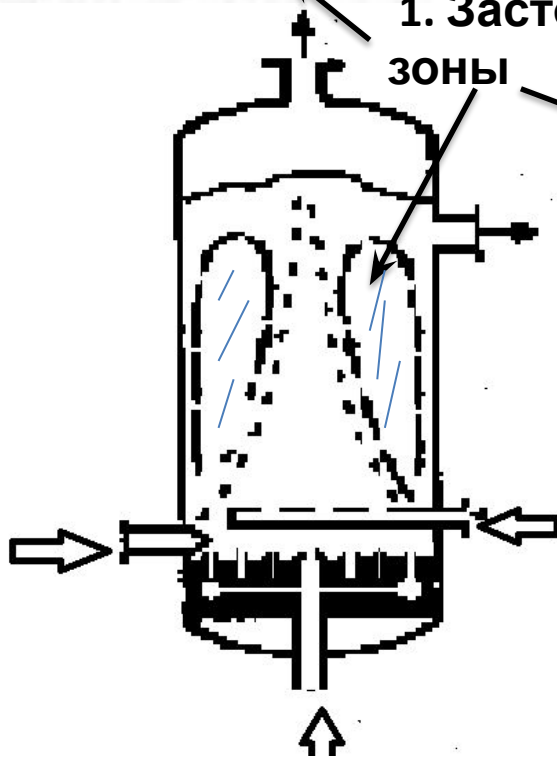


Схема застойной зоны
частиц сферической формы.

**1. Застойные
зоны**

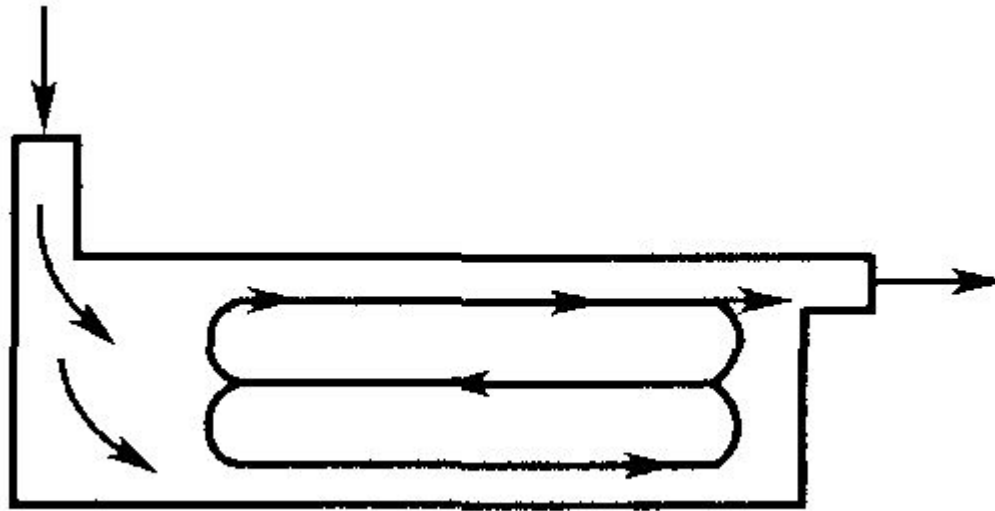


2. Часть реакционной смеси может не принимать участия в реакции из-за наличия внутри реактора **проскоков (байпас).**

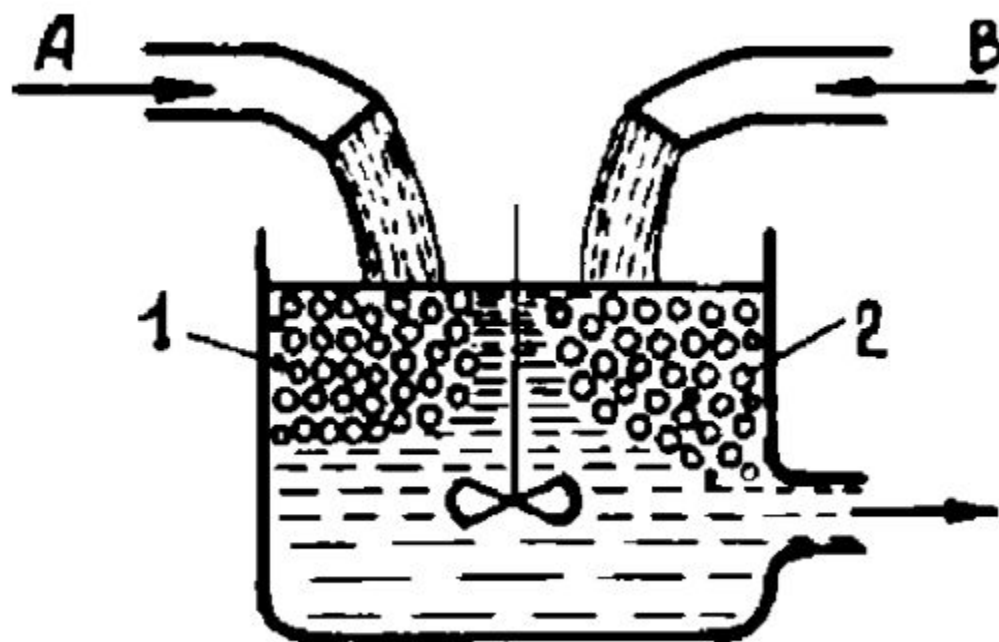
3. Наличие трения при движении реакционной смеси и образования турбулентности разной интенсивности в зависимости от диаметра реактора.

4. В реакторе наряду с застойными зонами могут иметь место **зоны циркуляции.**

5. Наличие **сегрегации.** В сегрегированном состоянии жид-кость состоит из глобул,. Внешняя оболочка глобулы позволяет сохранить ее индивидуальность.



**3.4. Турбулентность и
циркуляция
в реакторе идеального
вытеснения**



Сегрегация реагентов:

1 — зона, богатая A; 2 — зона, богатая B.

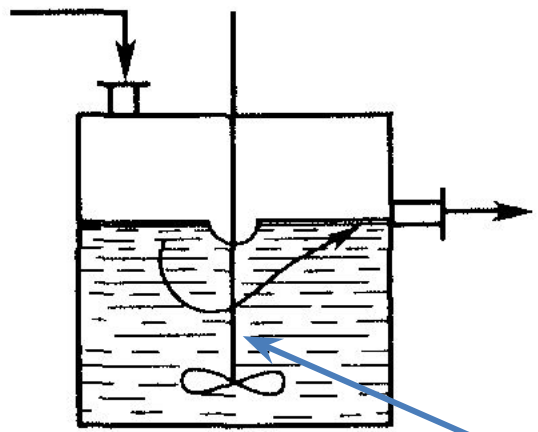
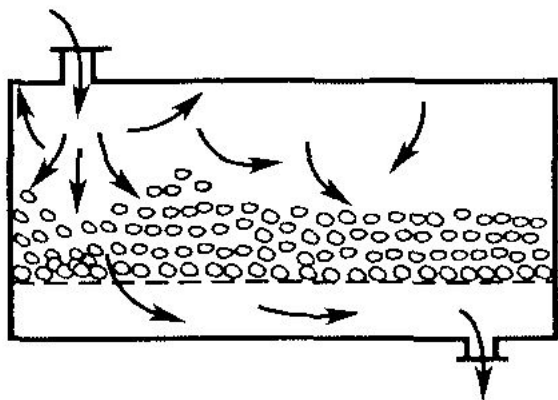
5. Продольное перемешивание может быть следствием неравномерности поля скоростей, например, при ламинарном течении жидкости. В этом случае элементы потока, движущиеся в центре канала, имеют линейную скорость превышающую скорость остальных элементов потока. Если в момент времени t_1 пометить частицы, находящиеся в каком-то сечении, то в более поздние моменты t_2 , t_3 . Помеченные частицы окажутся на поверхности параболоида. Те из них, которые движутся по оси трубы, уйдут дальше всех. Те же, которые попали на самую периферию потока, не сдвинутся, - их скорость равна нулю.

6. При протекании экзотермической реакции увеличение объема пропорционально радиусу в кубе, а площади радиусу в квадрате. В результате теплосъем реактора осложнен.

Последнее утверждение можно проиллюстрировать примером. Пусть радиус реактора равен $R=1$ и экзотермический эффект $Q_1=1$ дж, тогда площадь теплообмена $S_1=k_1 \cdot 1$, объем реактора $V_1=k_2 \cdot 1$. Увеличим радиус $R=2$. Так как тепловой эффект реакции пропорционален массе, которая пропорциональна радиусу, то $Q_2=8$ дж при площади теплообмена $S_2=k_1 \cdot 4$. Таким образом количество тепла реакции на единицу площади составляет

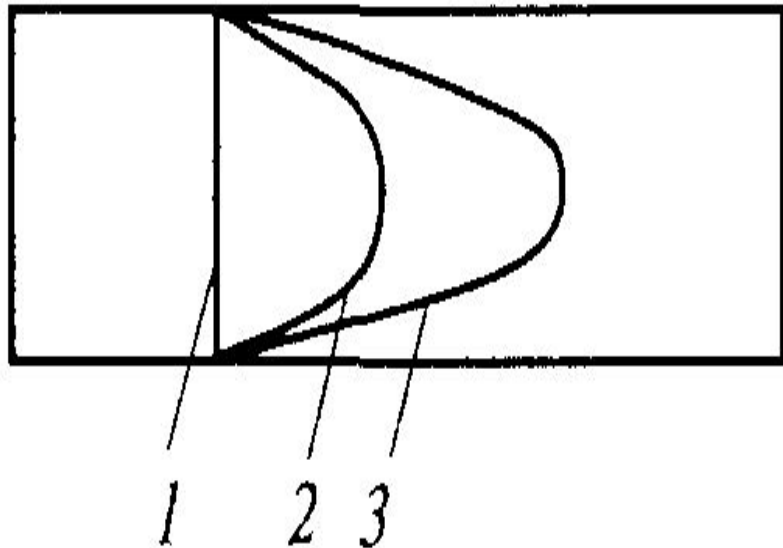
$1/S_1=k_1 \cdot 1$, во втором $8/k_1 \cdot 4$, т.е во втором случае на единицу площади придется $= 2$ дж.

байпас
(проско
к)



байпас

2 Схемы образования внутренних байпасных линий



5. Схема размывания
<<поршневого>>
потока при ламинарном
течении

1 - первоначальное
положение части в
произвольном сечении в
момент времени t_1 ; 2, 3 в
моменты времени
соответственно t_2 и t_3

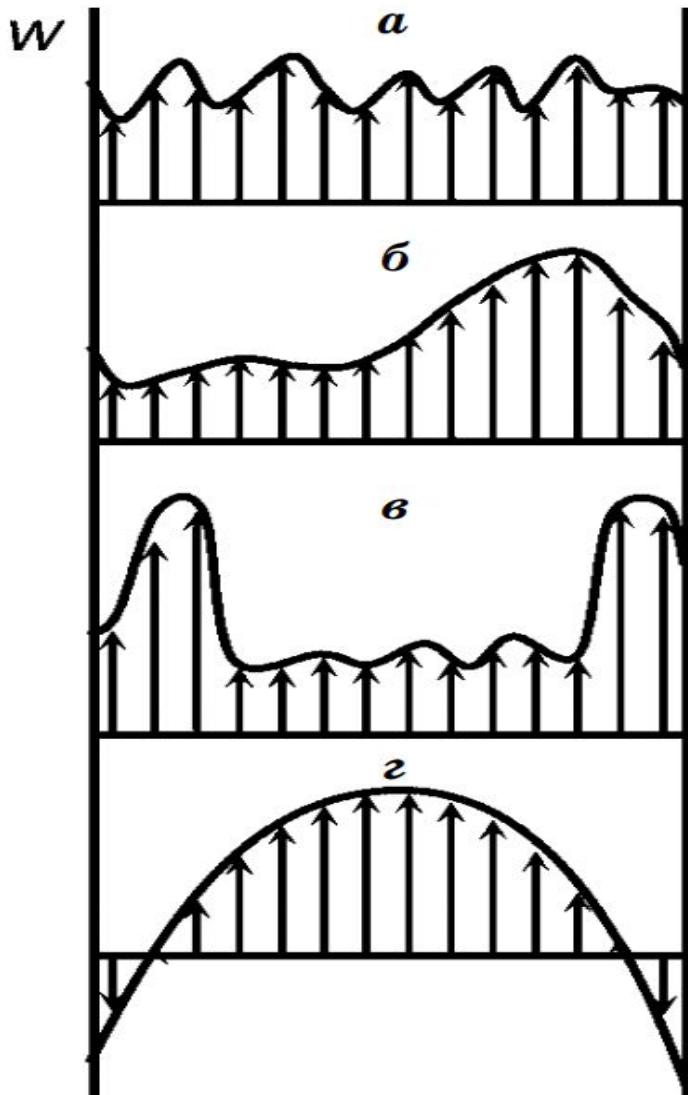
Роль каждого фактора во многом зависит от типа аппарата.

Так, для аппаратов с кипящим слоем существенно **каналообразование** (проскок реагента через аппарат без реакции).

В барботажных реакторах возникает крупномасштабная **циркуляция** жидкости, приводящая к режиму полного смешения.

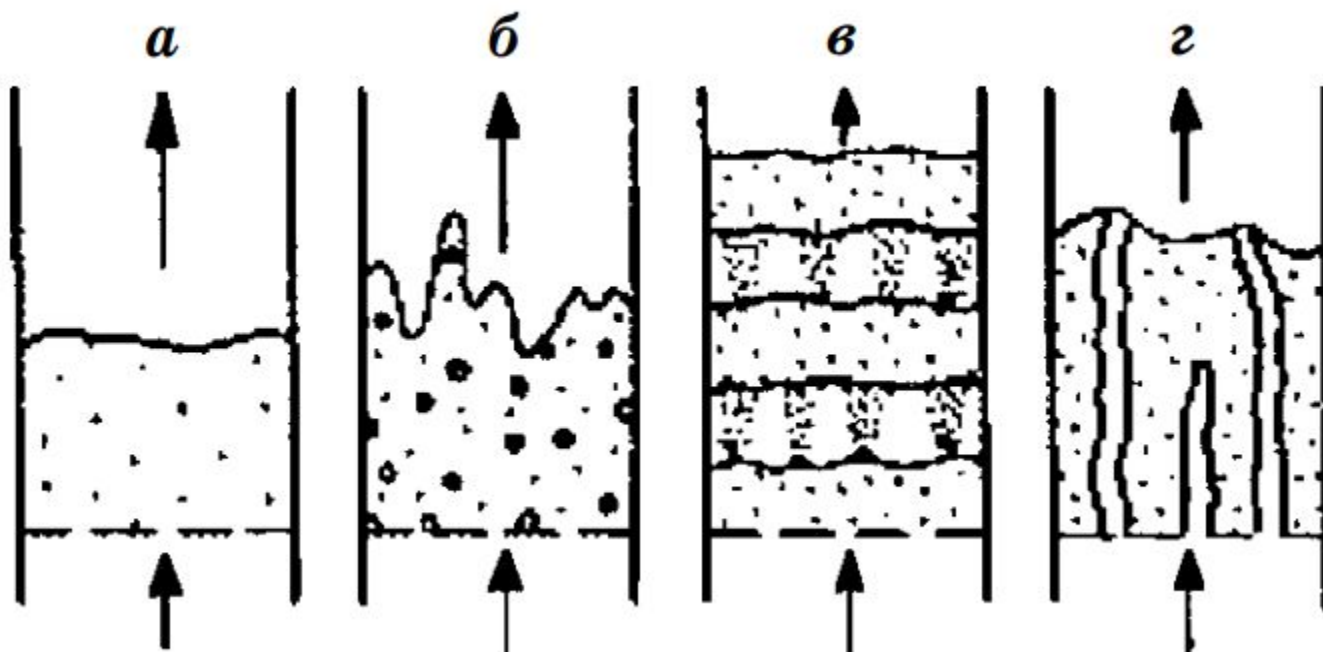
В аппаратах с неподвижным слоем катализатора основной причиной масштабного эффекта является **неравномерное начальное распределение** газового потока,

в насадочных колоннах — **неравномерное распределение** жидкой и газовой фаз.



Некоторые виды
неравномерностей
распределения
скоростей:

- а — случайная
неоднородность;**
- б — существенная
поперечная неравно-
мерность;**
- в — каналообразование;**
- г — провал.**



**Схемы основных типов структур
псевдооживления:**

***a* — однородный слой; *б* — с барботажем
газовых пузырей; *в* — с поршнеобразованием; *г***

**—
с каналообразованием.**

Принято считать, что наиболее сложным моментом в масштабировании реакторов является определение истинного времени пребывания реагента-Т.

Из показанного выше очевидно, что τ , определенное как

$\tau = \text{Объем реактора} / \text{Объемная скорость}$

является величиной очень грубым приближением.

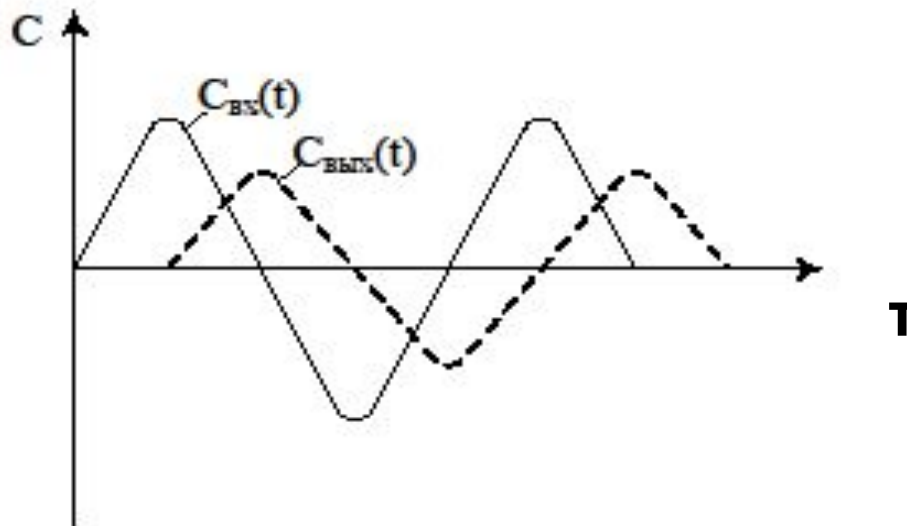
Степень отклонения реального реактора от идеального может быть определена экспериментально. Для этого в реакционную смесь, поступающую в реактор, вводят **«индикатор»**, (инертное вещество), затем измеряют его концентрацию на выходе через определенные промежутки времени. По полученным данным

По импульсному методу небольшой объем индикатора вводят по всему сечению реактора вытеснения мгновенно. На выходе получают размытую кривую 3.

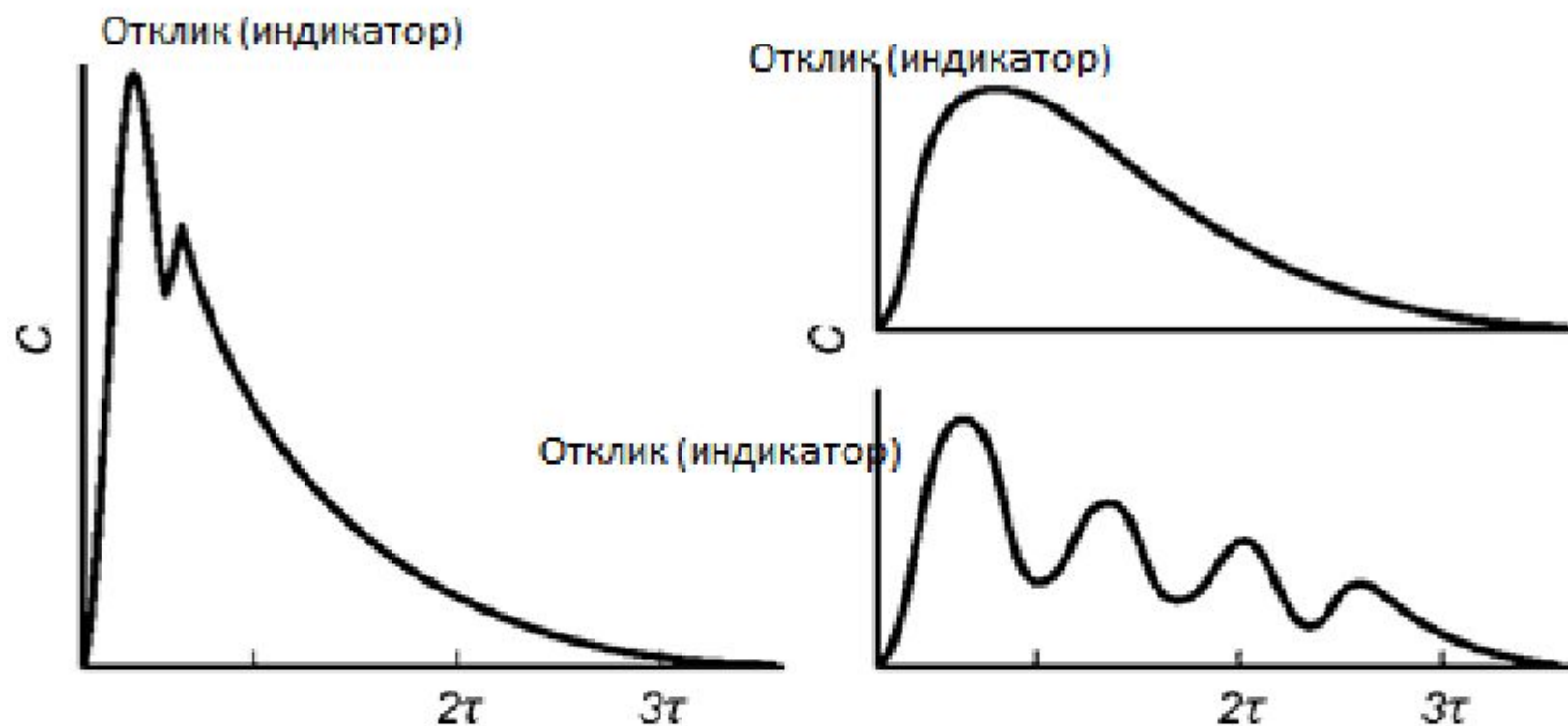


1 – на входе в реактор, 2 – на выходе из идеального реактора, 3 – на выходе из реального реактора

Метод синусоидального (импульсного) возмущения. При наложении синусоидального возмущения на входящий поток получают на выходе функцию отклика, также представляющую собой синусоиду, но имеющую другую амплитуду и сдвинутую по фазе. Типичная форма отклика на стандартный ИМ



Вид входного и выходного сигналов при синусоидальной подаче трассера



Типичные кривые отклика реактора при наличии байпасных потоков (а), застойных зон (б), циркуляции (в).

Поэтому для достижения полного подобия модели и природы необходимо соблюдать следующее:

геометрическое подобие. Геометрическое подобие отношение длины аппарата к характерному линейному размеру - l/d ;

гидродинамическое подобие. - критерии **Рейнольдса, Эйлера, Грасгофа,**

подобие процессов теплопереноса. В данном случае чаще всего используют критерий

Нуссельта,

подобие процессов массопереноса. Критерием

является также **диффузионный Нуссельт,**

химическое подобие- критерий находят из

общих уравнений **массовых и тепловых**

балансов системы, в которой дополнительно

осуществляется ещё и **химическая реакция**

Для достижения полного подобия физических и химических процессов, происходящих в модели и в натуре, **формально** необходимо и достаточно равенства величин критериев физического и химического подобия, в сходных точках пространства.

Опыт показывает, что даже полное соответствие по критериям не позволяет гарантировать удовлетворительное масштабирование.