

# *Химическая технология: что нового?*

## Лекция 3.

Перемешивание, способы, практическая реализация.

Вадим К. Хлесткин, к.х.н.

Новосибирский государственный  
университет

# Перемешивание в жидких средах

Технические способы получения жидких и газовых неоднородных систем. Виды перемешивания. Эффективность и интенсивность перемешивания, методы их оценки. Расчет мощности на механическое перемешивание.

# Перемешивание

Перемешивание состоит в многократном относительном перемещении макрочастиц объема среды под действием импульса (количества движения), передаваемого ей побудителем - струей жидкости или газа, насосом, мешалкой и т.д. Процесс перемешивания используют для получения однородной или неоднородной жидкостной системы.

## Цели перемешивания

- ❑ перемешивание жидкости с жидкостью, жидкости с твёрдым веществом, жидкости с газом;
- ❑ перемешивание с целью сохранения гетерогенной системы и предотвращения расслоения, выпадения осадка или всплывание лёгких фракций;
- ❑ перемешивание с целью интенсификации тепло –и массообменных процессов.

## Оценочные характеристики перемешивания

- интенсивность перемешивания,
- степень перемешивания,
- распределение ключевого компонента в среде.

# Оценочные характеристики перемешивания

- ❑ **Ключевой компонент** - вещество, которое вносят в жидкость для перемешивания.
- ❑ **Степень перемешивания** - взаимное распределение компонентов после перемешивания (формула Хигсона – Тени):

$$I = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

где  $X_i$  - относительная концентрация ключевого компонента во взятых пробах;

$n$  - число проб.

# Относительная концентрация

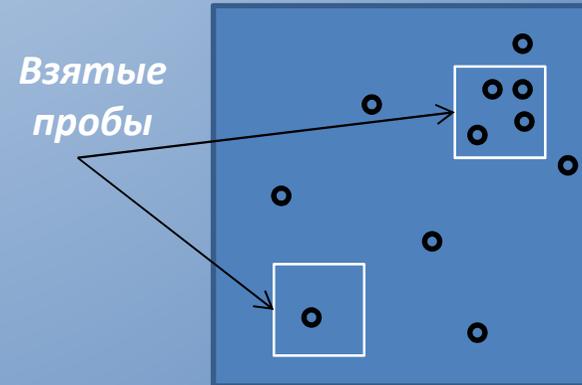
$$X_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{i0}}$$

или

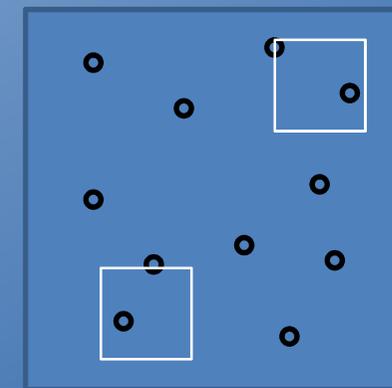
$$X_i = \frac{1 - \Phi_i}{1 - \Phi_{i0}}$$

если  $\Phi_i > \Phi_{i0}$

где  $\Phi_i$  – массовая или  
объемная доля ключевого  
компонента в пробе,  
 $\Phi_0$  - массовая или объемная  
доля ключевого  
компонента во всей  
системе.



перемешивание



Готовится работа по перемешиванию «на лету» многих тонн песка в нескольких тоннах гидрогеля. На снимках – транспорт для перевозки песка.



Наполняются машины для подачи  
песка.



23.07.2013



Песок поступает в устройство дозирования.

23.07.2013



(Песок смешивается с гелем.)

# Интенсивность перемешивания

Важна для определения времени, необходимого для достижения технологического результата (определенной степени перемешивания  $I$ ).

$$K = I/t$$

где  $K$  - интенсивность перемешивания,  $\text{с}^{-1}$   
 $t$  - продолжительность перемешивания,  $\text{с}$

# Технологический эффект

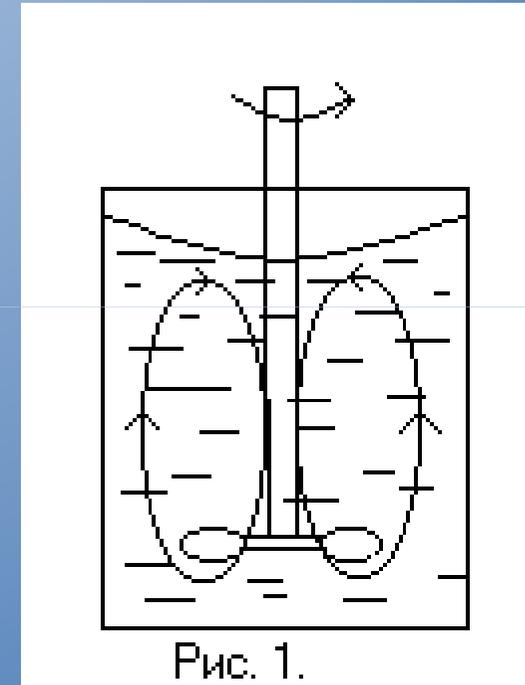
- Отношение скорости процесса при перемешивании и без;
- Равномерность расположения фаз в суспензии или эмульсии

## Наиболее распространенные виды перемешивания

- перемешивание механическое;
- перемешивание пневматическое;
- перемешивание циркуляционное;
- перемешивание в потоке путём создания искусственной турбулизации.

# Механическое перемешивание

- Основано на применении различного рода мешалок, располагаемых в каких-либо емкостях и совершающих вращательное движение, которое и осуществляет перемешивание компонентов, содержащихся в емкости за счет циркуляции жидкости

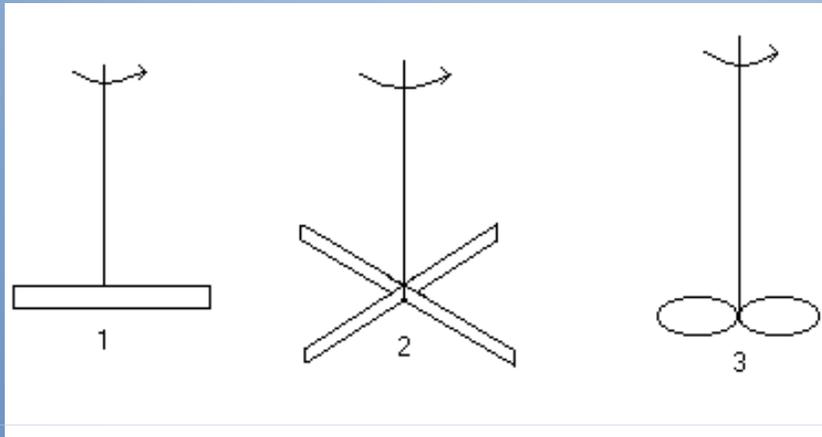


# Виды мешалок:

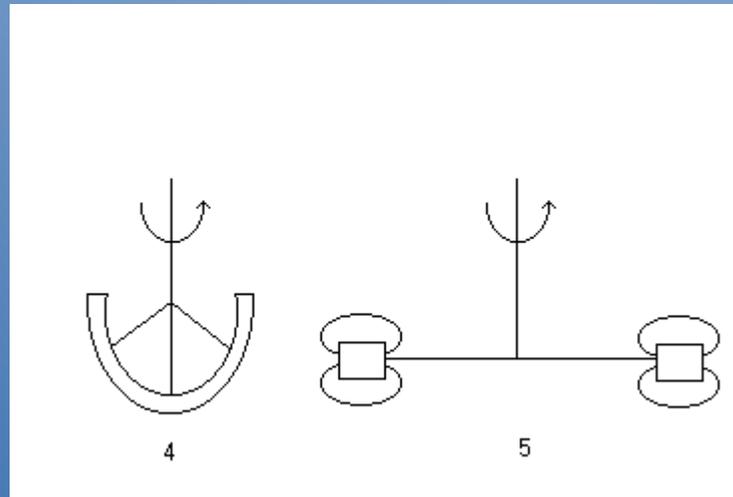
однолопастные; многолопастные; рамные;  
пропеллерные; турбинные; якорные; шнековые

- Лопастные и рамные используются для перемешивания маловязких жидкостей,
- пропеллерные – жидкостей умеренной вязкости,
- турбинные – невязких и вязких систем,
- якорные и шнековые – высоковязких и пластичных систем.

# Виды мешалок

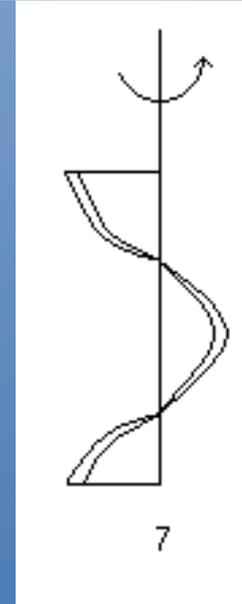


лопастные



якорная

турбинная



шнековая

# Критерий Рейнольдса

Критерий Рейнольдса в случае процессов перемешивания имеет следующий вид:

$$Re = \frac{nd^2}{\gamma}$$

где  $n$  - частота вращения мешалки,  $s^{-1}$ ;

$d$  - диаметр мешалки, м;

$\gamma$  - коэффициент кинематической вязкости перемешиваемой жидкости.

# Модифицированные критерии

Значение критерия Рейнольдса позволяет определить режим перемешивания:

- $Re_m < 50$  – ламинарный режим;
- $Re_m$  от 50 до 100 – переходный режим;
- $Re_m > 100$  – турбулентный режим.

## Критерий Эйлера (модифицированный)

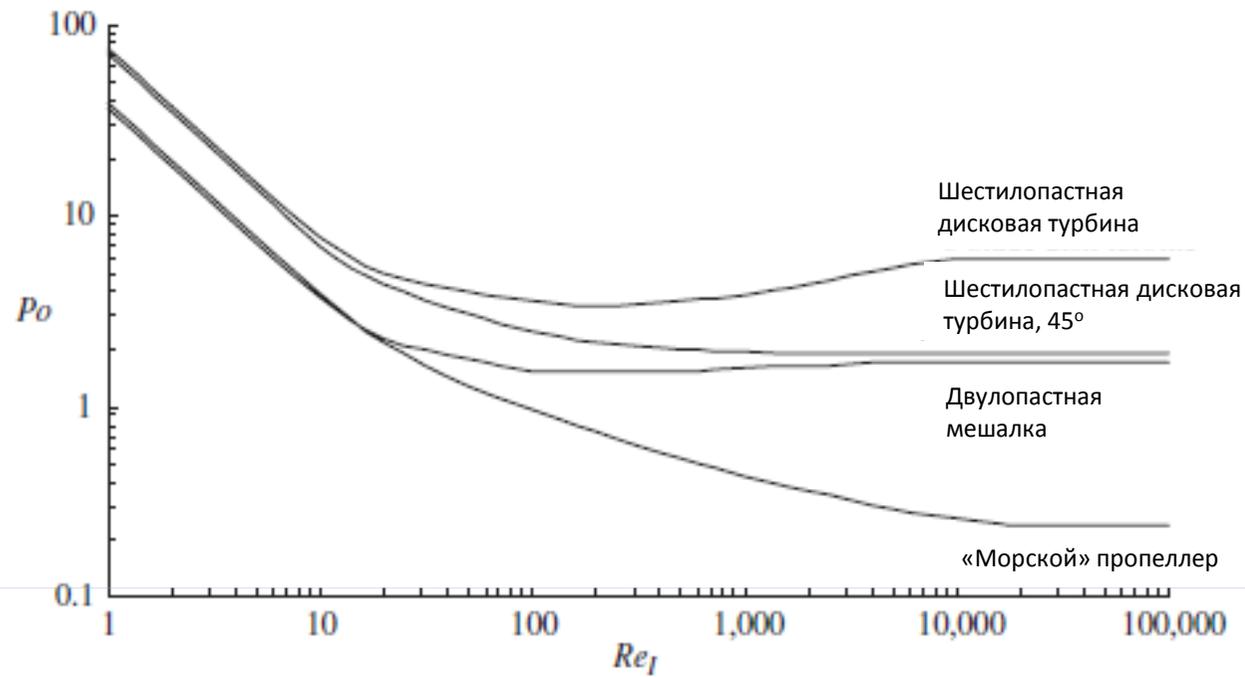
$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2} = \frac{N}{\rho S \omega^3} = \frac{N}{\rho n^3 d^2} = K_N$$

где  $\Delta P$ - разность давлений между передней (со стороны набегающего потока) и задней плоскостями мешалки, Па;

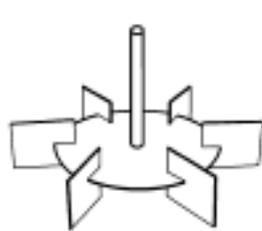
$K_N$ - фактор мощности;

$\rho$  - плотность перемешиваемой системы,

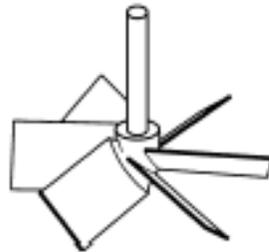
$N$  - мощность двигателя (рассчитывается, а  $K_N$  определяется по таблице по числу Рейнольдса)



Шестилопастная  
дисковая турбина



Шестилопастная  
дисковая турбина, 45°



Двулопастная  
мешалка



«Морской»  
пропеллер

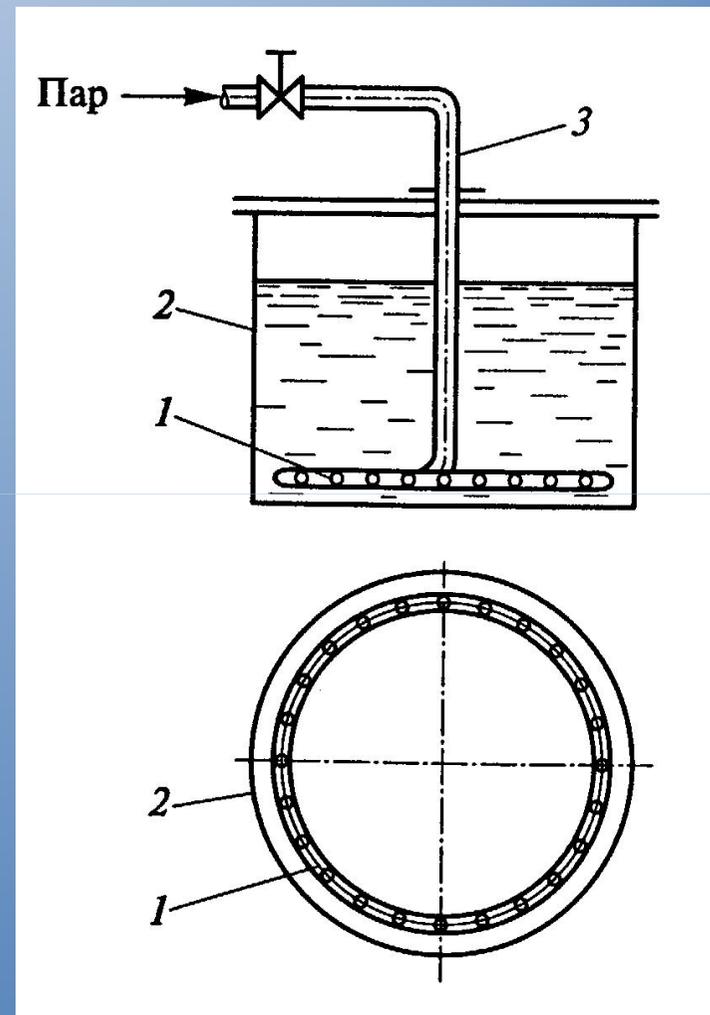
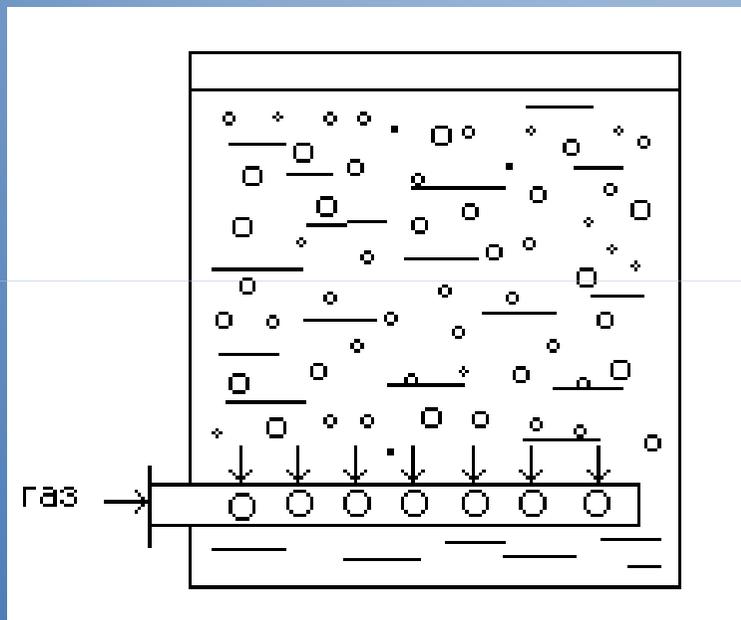


Зависимость мощности от  $Re$  для разных мешалок.

# Пневматическое перемешивание

- Через жидкую систему барботируют газ (воздух или пар).
- Не рекомендуется использовать при перемешивании вязких жидкостей,
- при перемешивании систем, содержащих жир и вещества, способные к окислению

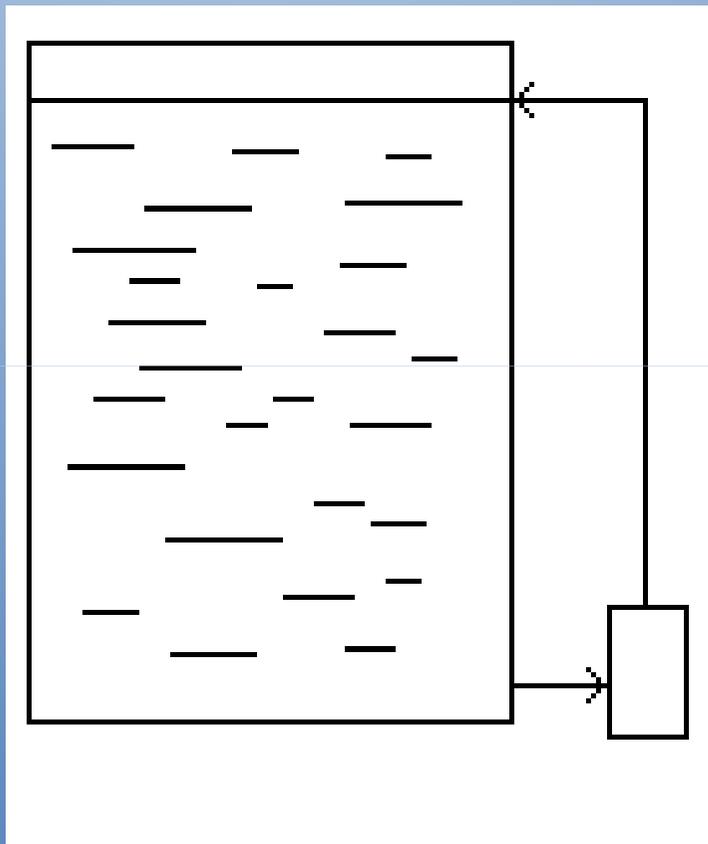
# Пневматическое перемешивание



1 – барботер; 2 – корпус; 3 - паропровод

# Циркуляционное перемешивание

- Жидкостную систему многократно пропускают через насос по замкнутому циклу «насос-емкость». Используют для получения устойчивых эмульсий или суспензий
- Насосы центробежные или струйные;





23.07.2013

## Перемешивание в потоке путем создания искусственной турбулизации

- За счет многократного изменения направления движения потока, приводящее к возникновению интенсивной турбулизации, или за счет движения жидкости то в радиально расширяющемся, то в радиально сходящемся потоке.
- Жидкости не вязкие, взаиморастворимые

