

# ***Химическая технология: что нового?***

Вадим К. Хлесткин, к.х.н.

Новосибирский государственный  
университет

# Перемешивание в жидких средах

- 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;

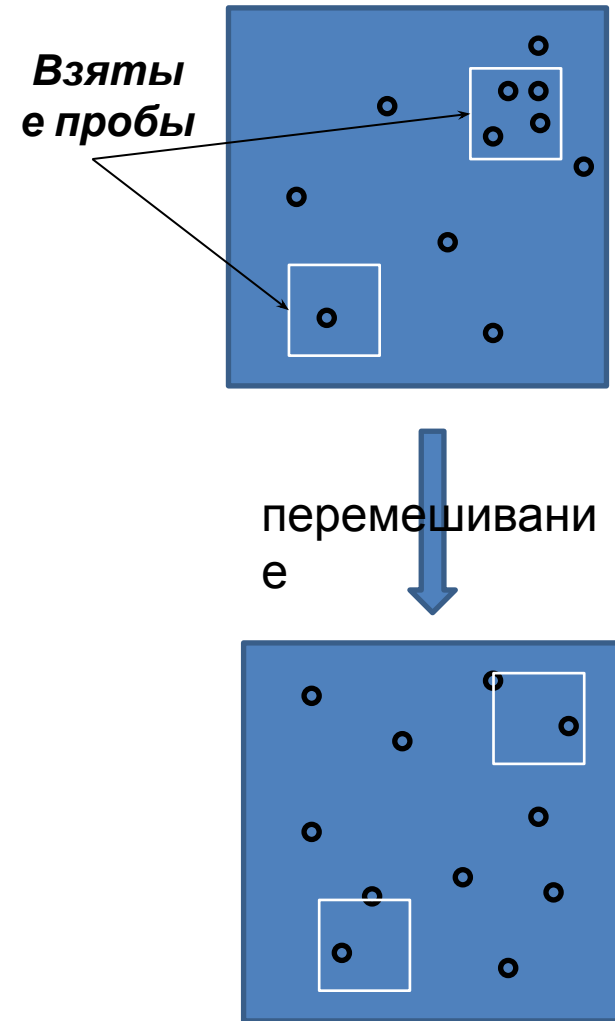
$n$  - число проб.

# Относительная концентрация

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

и  
дл  
я  $\Phi_i > \Phi_{i0}$

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



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





Наполняются машины для  
подачи песка.



10.12.2017



Песок поступает в  
устройство дозирования.

10.12.2017



(Песок  
смешиваетс  
я 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.
- Три вида течения:
  - Тангенциальное;
  - Радиальное;
  - Осевое.

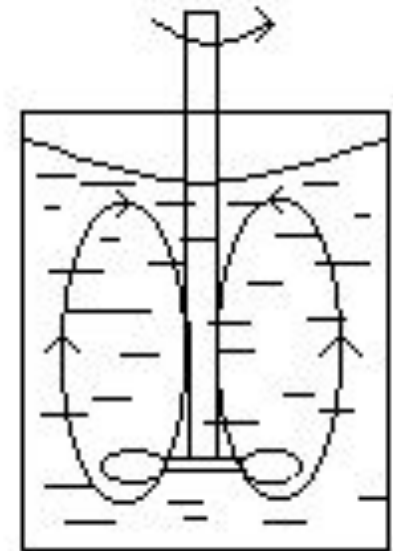
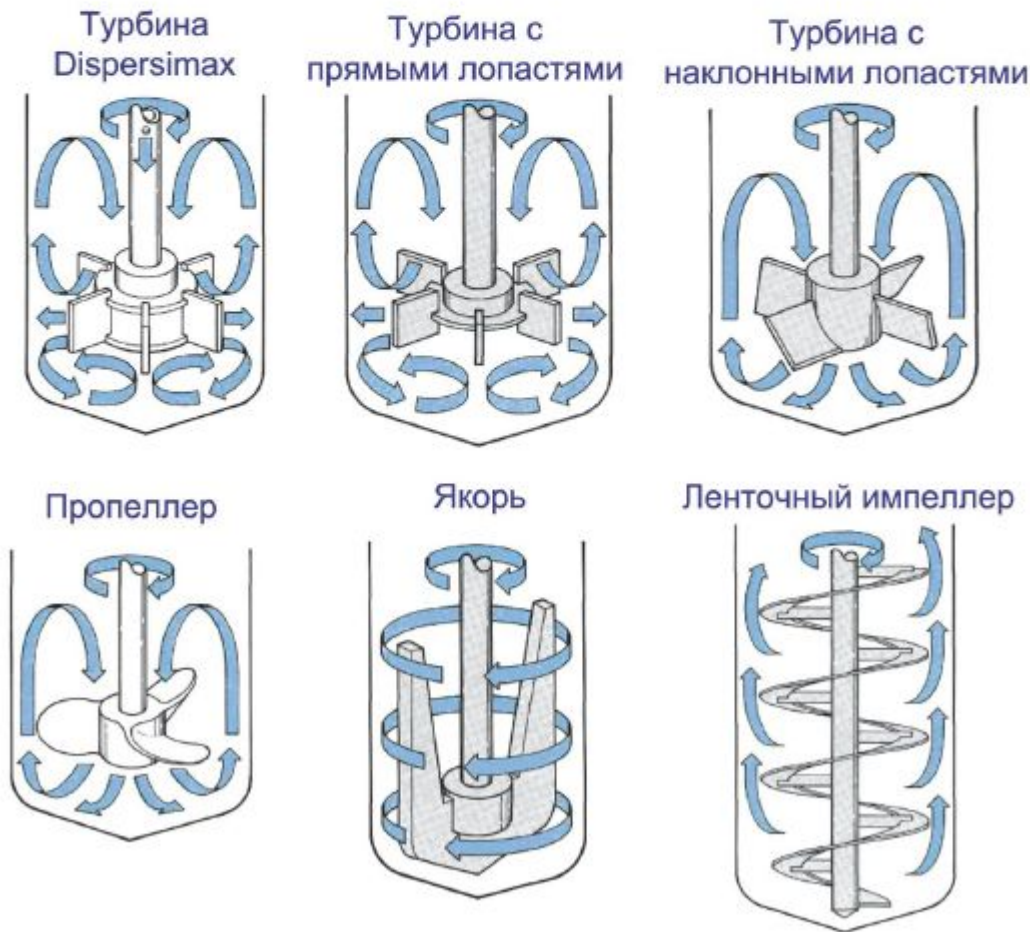


Рис. 1.

# Виды мешалок:

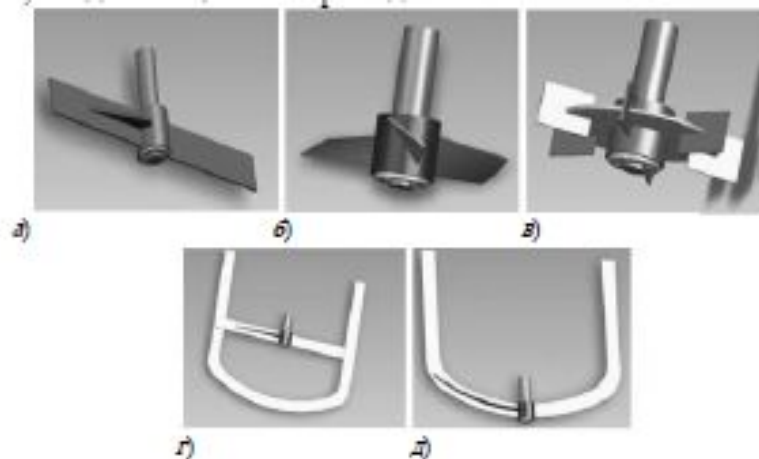
однолопастные; многолопастные; рамные;  
пропеллерные; турбинные; якорные; шнековые

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



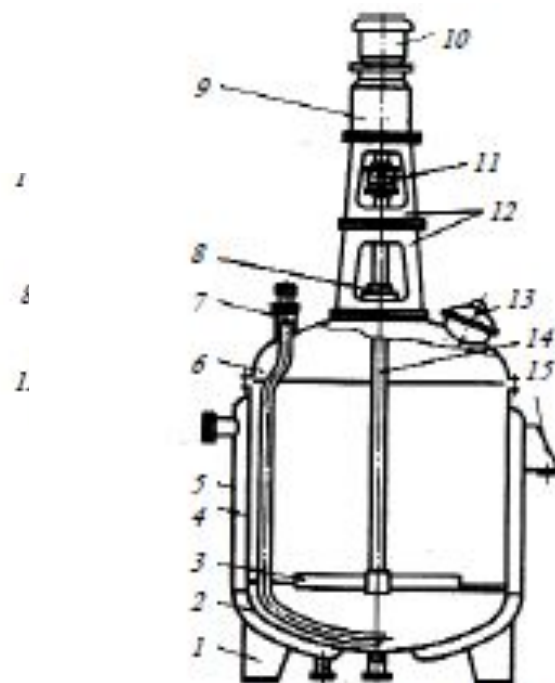
- ✓ Dispersimax с полым валом при вращении захватывает газ из внутреннего объема реактора, и барботирует его через жидкость. Хорошо подходит для реакций газ – жидкость в средах с низкой вязкостью.
- ✓ Турбина с прямыми лопастями подходит, когда требуется большое усилие в радиальном направлении.
- ✓ Турбина с наклонными лопастями создает осевой поток и особенно хороша, когда использование волнорезов не желательно. Поток может быть восходящим или нисходящим, в зависимости от наклона лопастей.
- ✓ Пропеллер также создает осевой поток и хорош для жидкостей с низкой вязкостью.
- ✓ Якорь – для создания радиального потока при невысоких скоростях и хорош для вязких жидкостей (5 – 50 Па\*с).
- ✓ Ленточный – в средах с высокой вязкостью (полимеры и др). Работает на невысоких скоростях. Как и якорь, обеспечивает хорошую теплопередачу в вязких жидкостях.





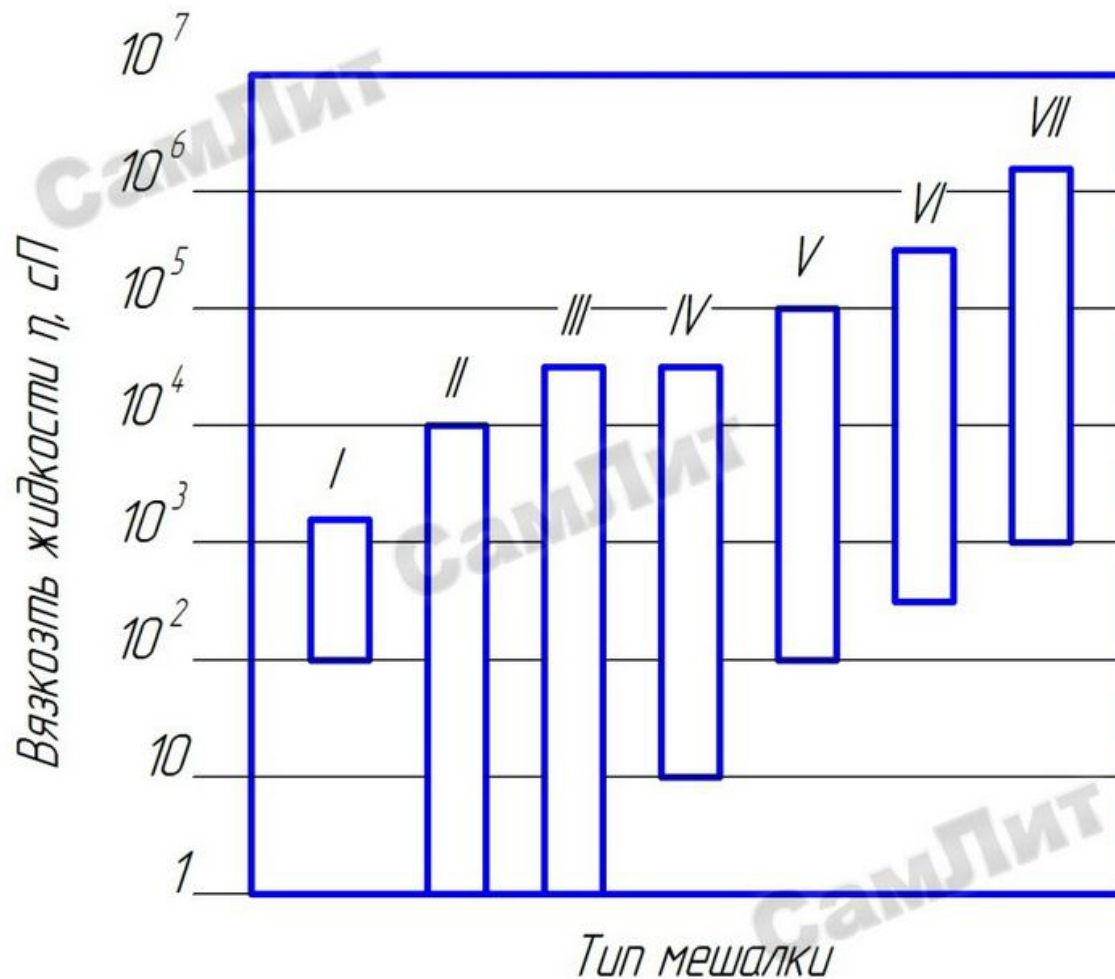
**Механические мешалки:**

*а* – лопастная; *б* – трёхлопастная; *в* – открытая турбинная;  
*г* – рамная; *д* – якорная



**Аппарат с механической мешалкой:**

*1* – опорная стойка; *2* – днище;  
*3* – мешалка; *4* – обечайка;  
*5* – рубашка; *6* – крышка;  
*7* – труба передавливания;  
*8* – уплотнение; *9* – редуктор;  
*10* – электродвигатель;  
*11* – соединительная муфта;  
*12* – стойка привода; *13* – люк;  
*14* – вал; *15* – опорная лапа



I – якорная; II – пропеллерная; III – турбинная с плоскими лопатками; IV – лопастная; V – рамная; VI – шнековая; VII – ленточная

# 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:

- $Re_M < 100$  – ламинарный режим;
- $Re_M$  от 100 до 1000 – переходный режим;
- $Re_M > 1000$  – турбулентный режим.

# Критерий Эйлера (модифицированный)

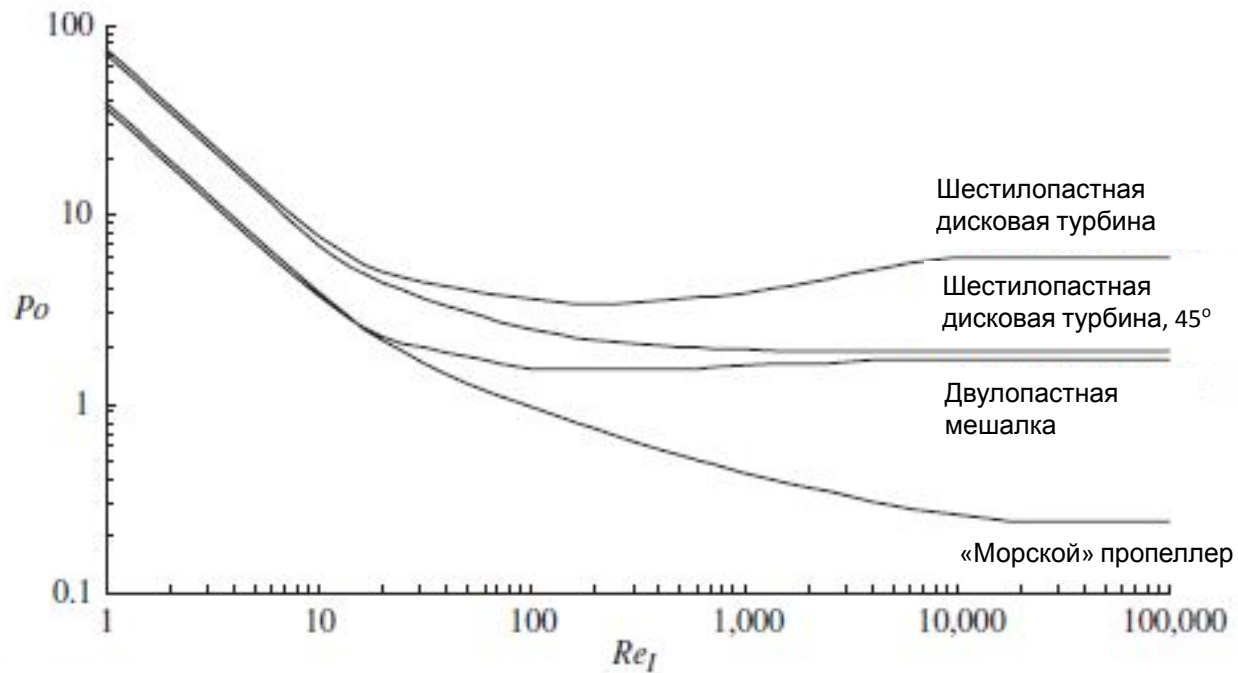
$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2} = \frac{N}{\rho S \omega^3} = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = K_N$$

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

$K_N$ - фактор мощности;

$P$  - плотность перемешиваемой системы,

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

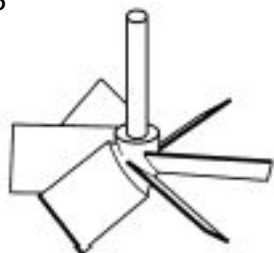
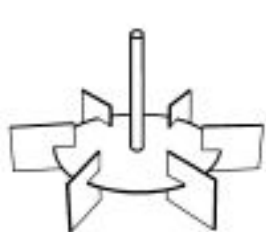


Шестилопастная дисковая турбина

Шестилопастная дисковая турбина, 45°

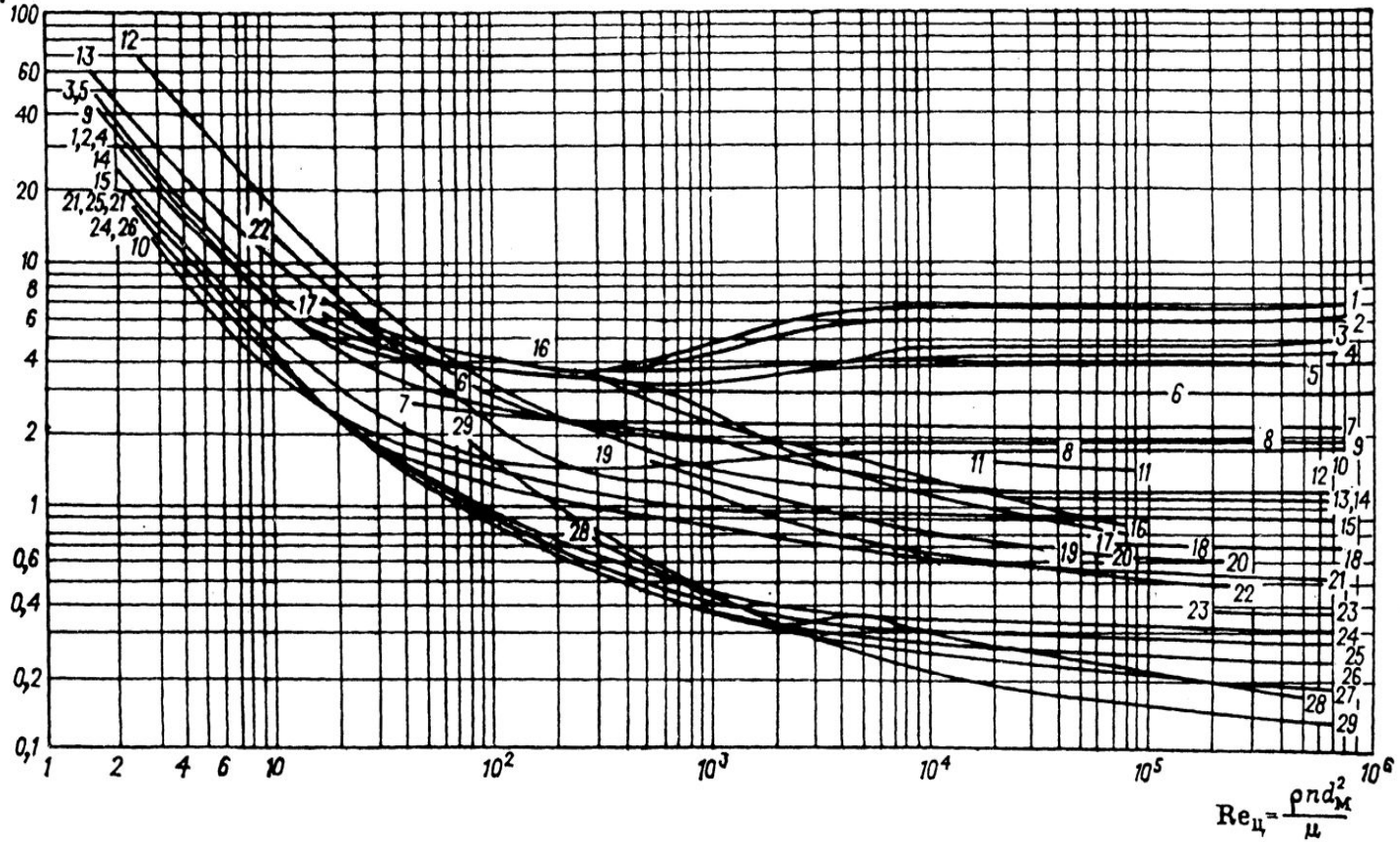
Двулопастная мешалка

«Морской» пропеллер



Зависимость мощности от  $Re$  для разных мешалок.

$$K_M = \frac{N}{\rho n^3 d_M^5}$$

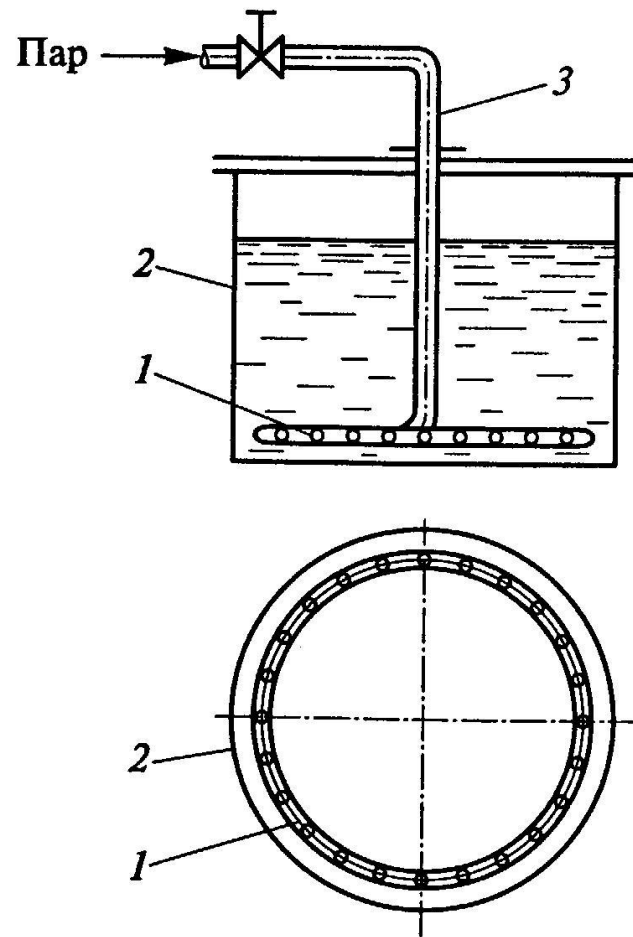
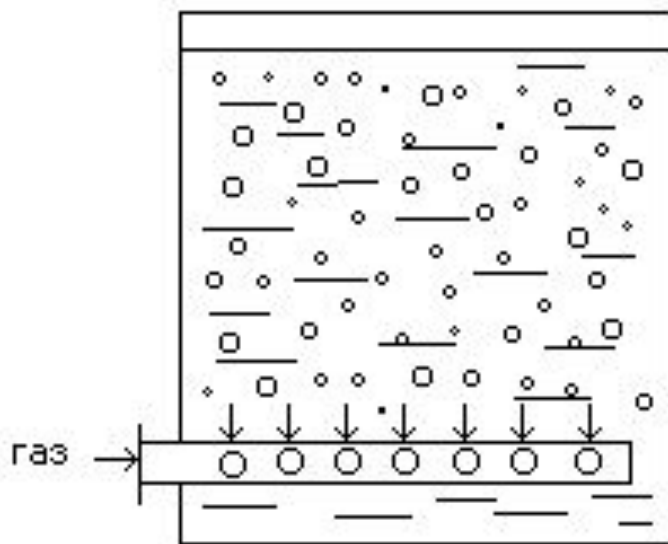


# Пневматическое перемешивание

- 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



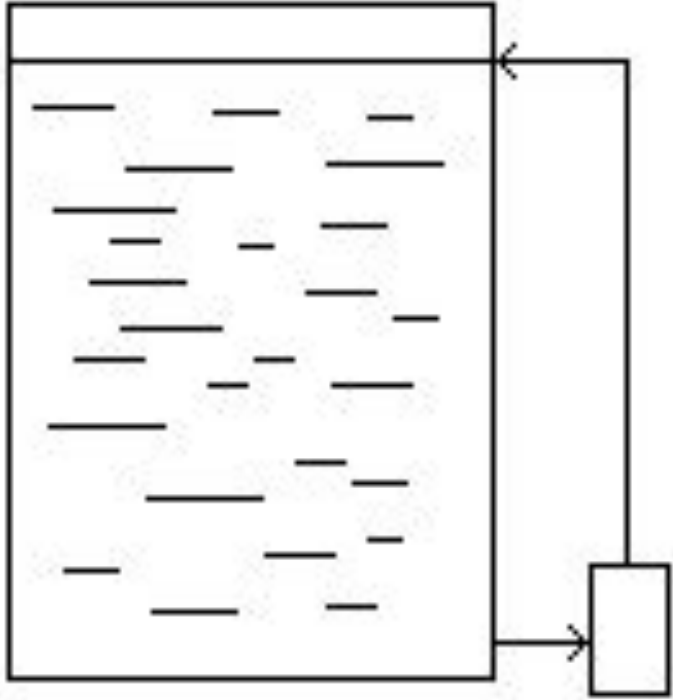
1 – барботер; 2 – корпус; 3 –

10.12.2017

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;





10.12.2017

# 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

