



# **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

доцент, к.т.н. Пирогова  
Ольга Владимировна

# Центробежное осаждение

- Если частицы имеют диаметр  $\leq 10$  мкм, то отстаивание применять не выгодно (очень маленькая скорость и большая поверхность осаждения).
- В этих случаях применяют более мощные **центробежные силы**, которые в технике создают двумя способами:
  - направляют разделяемый поток во вращающийся аппарат – центрифугу;
  - обеспечивают вращение потока жидкости или газа в неподвижном аппарате (циклоне, гидроциклоне).

# Кинетика центробежного осаждения

- Во вращающемся потоке на частицу действуют следующие силы:

- сила тяжести  $G_T = \rho_T g \frac{\pi d^3}{6}$

- сила Архимеда  $A = \rho_{ж} g \frac{\pi d^3}{6}$

- центробежная сила  $G_{ц} = \frac{\pi d^3}{6} \rho_T \omega^2 R$

- центробежная сила  $B = \frac{\pi d^3}{6} \rho_{ж} \omega^2 R$

- сила сопротивления (трения)  $S = \varphi \frac{\rho_{ж} w_r^2}{2} \frac{\pi d^2}{4}$

# Дифференциальное уравнение центробежного осаднения:

$$\frac{\pi d^3}{6} (\rho_T - \rho_{\text{ж}}) \omega^2 R - \varphi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{ж}} w_r^2}{2} = \frac{\pi d^3}{6} \rho_T \frac{dw}{d\tau}$$

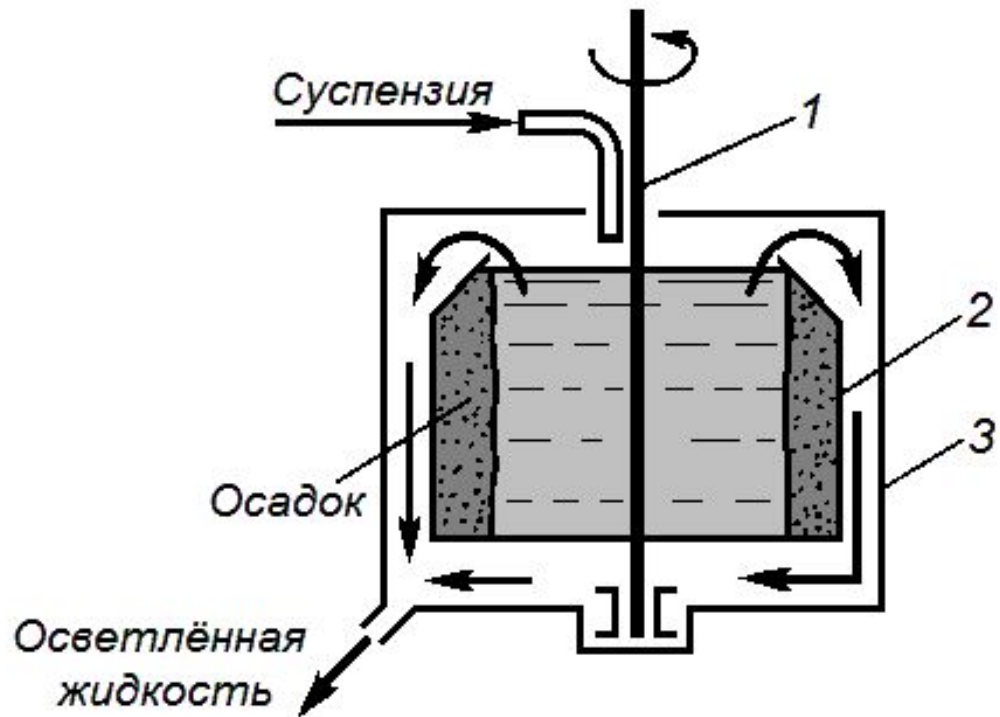
Для установившегося движения:  $m \frac{dw}{d\tau} = 0$

$$\frac{\pi d^3}{6} (\rho_T - \rho_{\text{ж}}) \omega^2 R = \varphi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{ж}} w_r^2}{2}$$

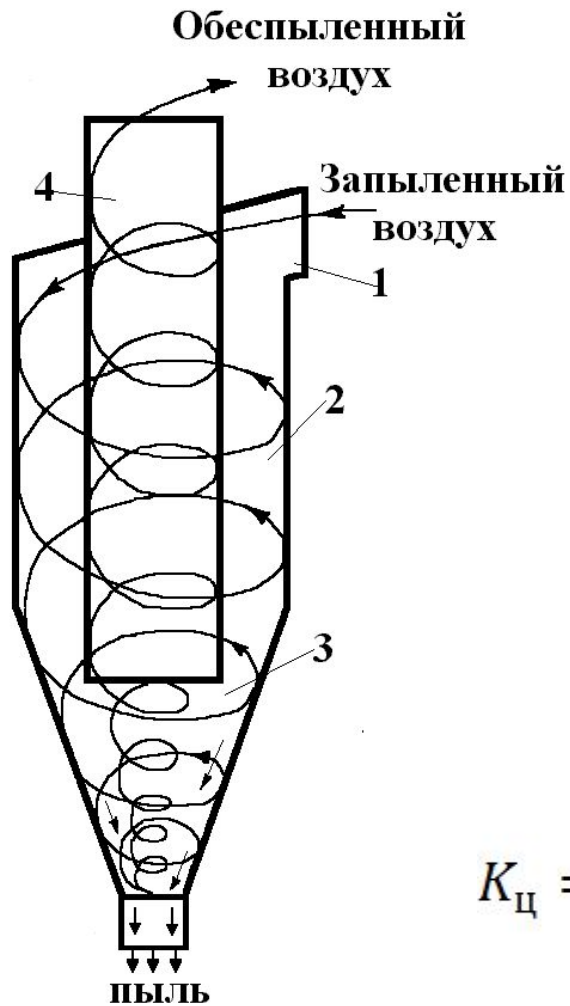
$$w_r = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{\rho_T - \rho_{\text{ж}}}{\rho_T} \cdot \frac{d}{\varphi} \cdot \omega^2 R} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{\rho_T - \rho_{\text{ж}}}{\rho_T} \cdot \frac{d}{\varphi} \cdot g \cdot K_{\text{ц}}}$$

$$Re = f(\psi; Ar_M)$$

# Отстойная центрифуга периодического действия



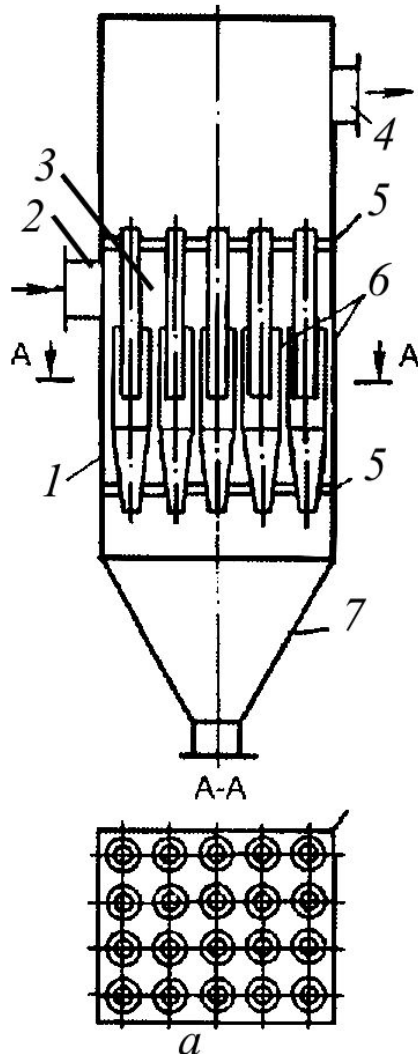
# Циклонный процесс



$$K_{\text{ц}} = \frac{w_r^2}{gR}$$



# Батарейный циклон



- ▶ Аппарат представляет собой циклонные элементы 6, которые включены параллельно и имеют общий корпус 1, сборный бункер 7, а также общий подвод 2 и отвод 4 газа.
- ▶ Запыленный газ подается в газораспределительную камеру 3, которая ограничена трубными решетками 5. В трубных решетках герметично крепятся циклонные элементы 6. После того, как газ очищен, он выводится через выпускные трубы элементов в общую камеру. Отделенные частицы пыли накапливаются в коническом дне циклона 7. Циклонные элементы такой конструкции имеют малый диаметр. Газ в них поступает сверху, а не по касательной. Вращательное движение потоку газа передается посредством специального винта или розеток, оснащенных наклонными лопатками.

# Основные расчетные параметры циклона

- Важным параметром, характеризующим работу циклона, является коэффициент очистки газа, который выражается формулой:

$$\phi = G_{от} / G_{ст},$$

где  $G_{ос}$  – массовое количество осажденных частиц,

$G_{исх}$  – массовое количество частиц в исходной газозвеси.

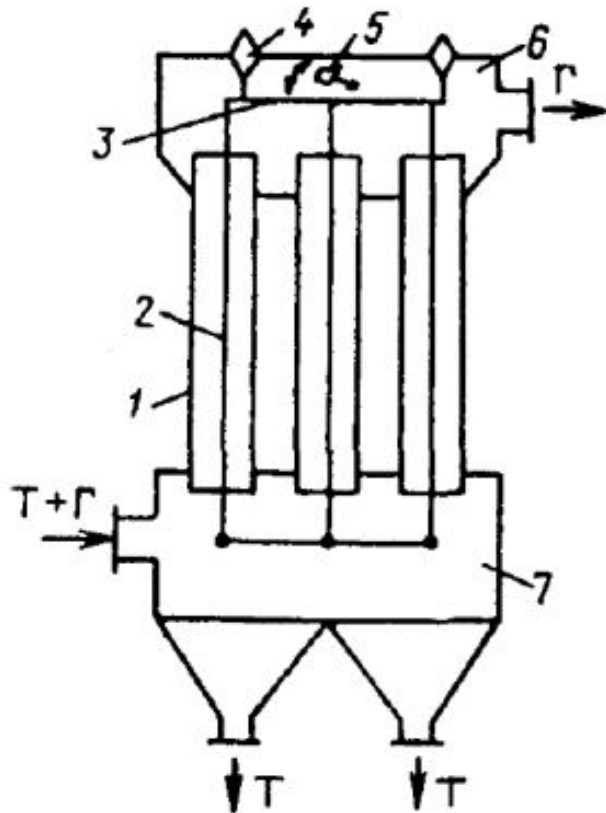
- Гидравлическое сопротивление циклона  $\Delta p$  (разность давлений на входе и выходе газа) определяют по формуле:

$$\Delta p = \zeta(\rho_g w_{усл}^2 / 2)$$

где  $\zeta$  – коэффициент гидравлического сопротивления, определяется опытным путем.

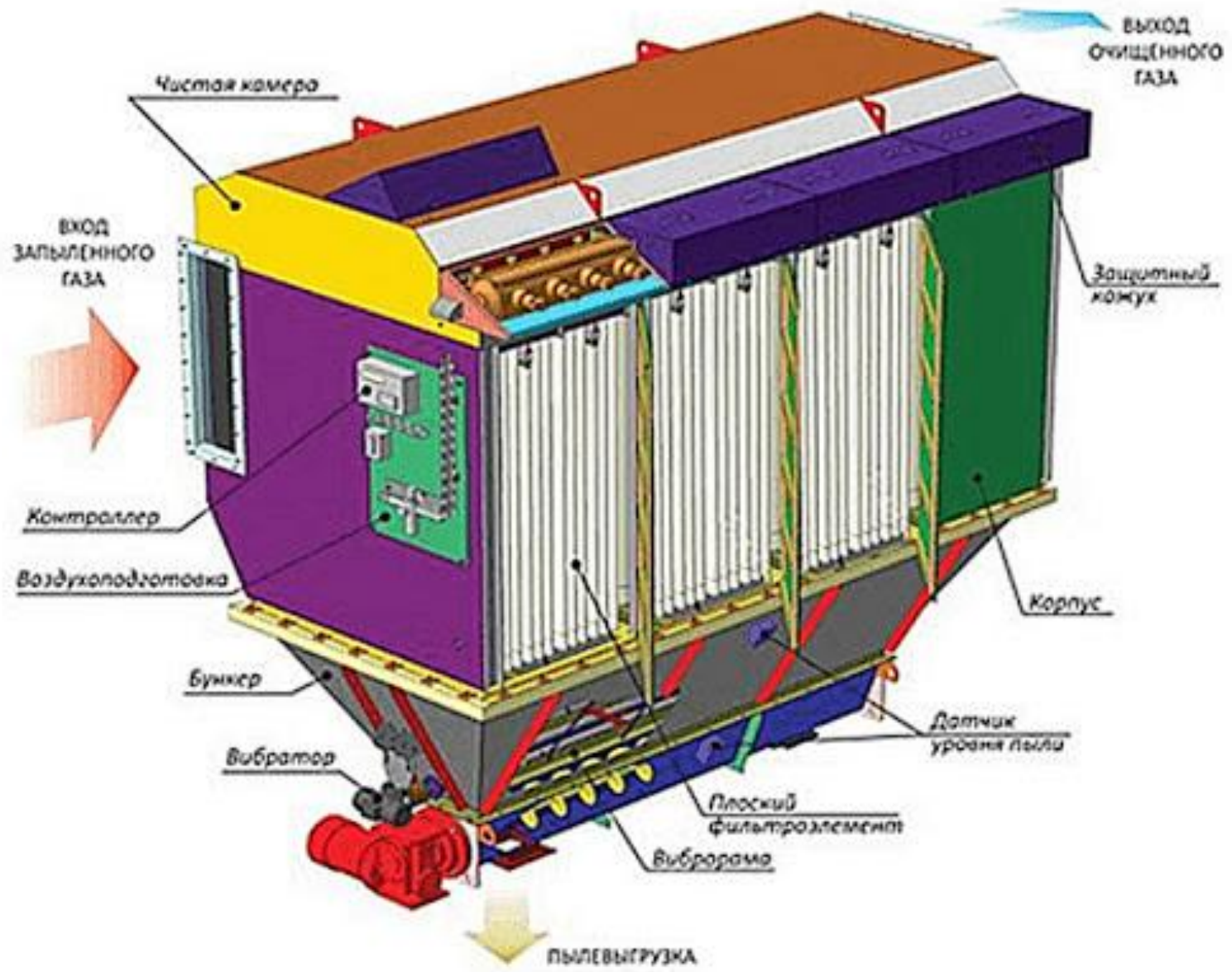


# Осаждение под действием сил электрического поля



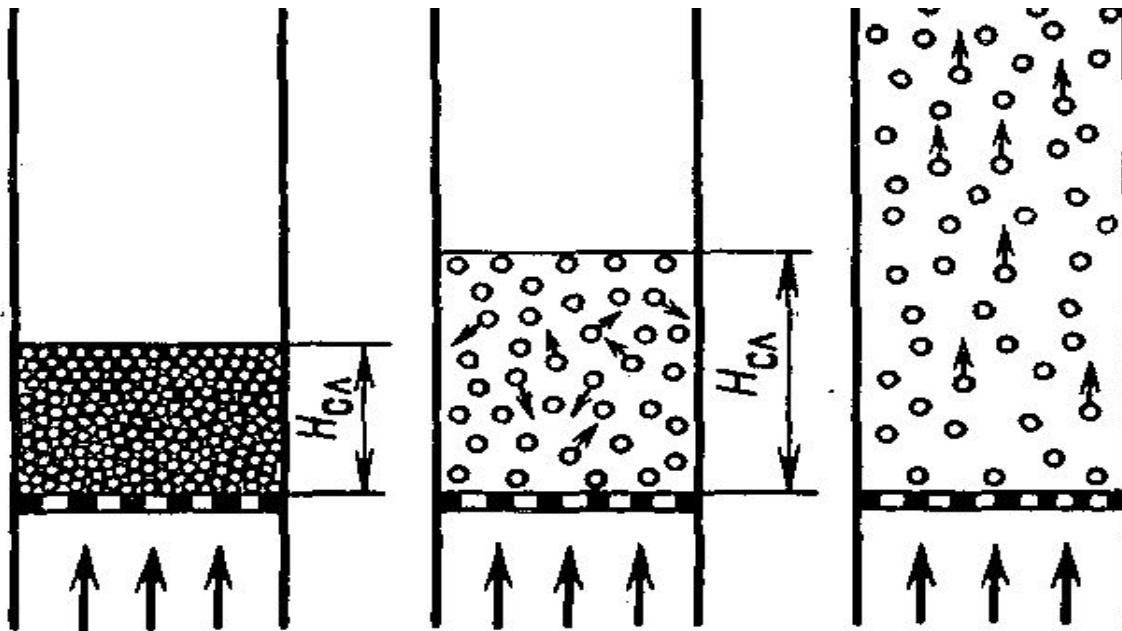
Применяется для выделения из **газовых** потоков мелких частиц, которые трудно осадить предыдущими методами.

- 1 – осадительный электрод (анод)
- 2 – коронирующий электрод (катод)
- 3- рама
- 4 – изоляторы
- 5 – встряхивающее устройство
- 6 – камера отвода очищенного газа
- 7- камера подачи запыленного газа

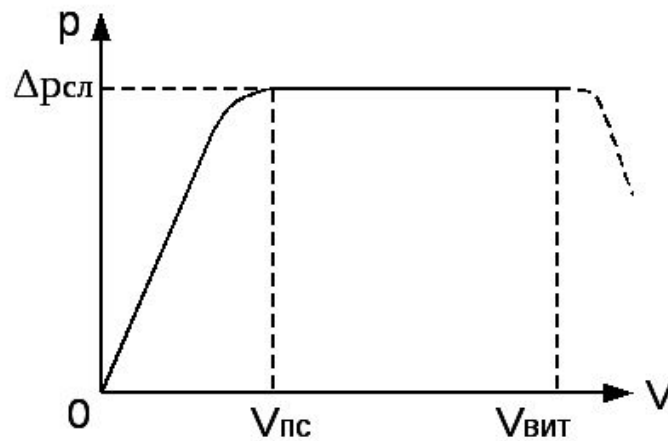


# Псевдооживление

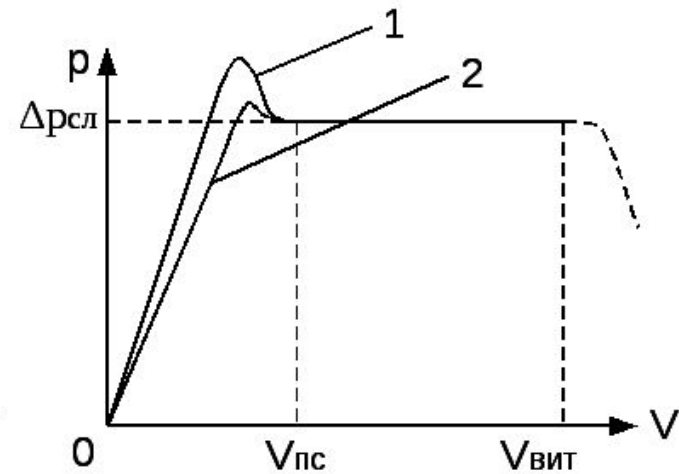
- процесс гидродинамического взаимодействия потока газа или жидкости с твердыми зернистыми материалами, в результате которого твердые частицы приобретают подвижность друг относительно друга за счёт обмена энергией с псевдооживающим потоком.



# Кривая псевдооживления



Идеальная кривая псевдооживления



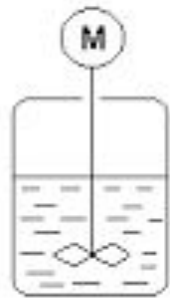
Реальная кривая псевдооживления

$$\Delta p_{сл} \cdot f = G_T - A$$

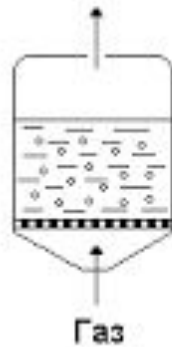
# Перемешивание в жидких средах

## Способы перемешивания:

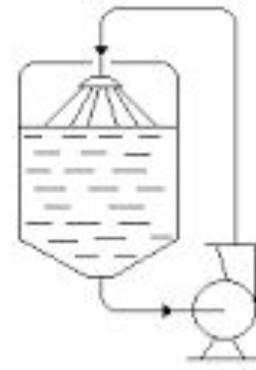
- 1. **Механический** – с помощью различных вращающихся устройств – мешалок.
- 2. **Пневматический** (барботажный) – осуществляется за счёт пропускания газа через слой жидкости.
- 3. **Циркуляционный** – осуществляется с помощью перекачивающего насоса.



Механическое  
перемешивание



Барботажное  
перемешивание

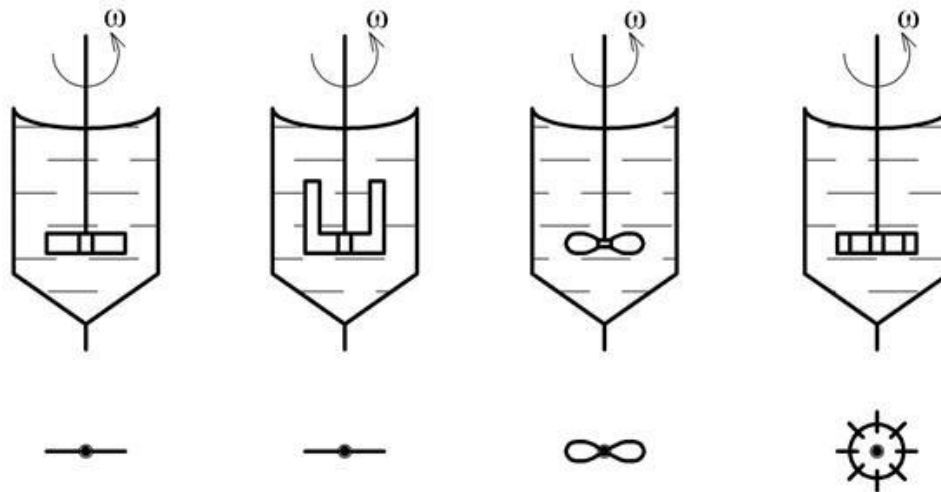


Циркуляционное  
перемешивание

# Классификация мешалок

- Мешалки представляют собой комбинацию лопастей определённой геометрической формы, укрепленных с помощью ступицы на валу.

- **по конструкции лопастей:**



- лопастная;
- якорная;
- пропеллерная;
- турбинная.

**- По скорости вращения мешалки:**

- тихоходные (лопастные, якорные);
- быстроходные (пропеллерные, турбинные).

**- По структуре создаваемых потоков:**

- радиальные;
- тангенциальные;
- осевые;
- смешанные.



# Основные характеристики процесса

- Потребляемая мощности –  $N$ , Вт.

$$N = K_N \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot n^3 \cdot d_M^5$$

- Интенсивность перемешивания

$$I = \frac{N}{V_p \cdot \tau}$$

- Эффективность перемешивания

$$\varepsilon = \frac{\tau_{\text{без перемешивания}}}{\tau_{\text{с перемешиванием}}}$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha_{\text{с перемешиванием}}}{\alpha_{\text{без перемешивания}}}$$



- Модифицированный критерий Эйлера

$$K_N = A \cdot Re_M^a \cdot Fr_M^b$$

- Модифицированный критерий Рейнольдса

$$Re_M = \frac{n \cdot d_M^2 \cdot \rho_{cp}}{\mu}$$

- Модифицированный критерий Фруда

$$Fr_M = \frac{n^2 \cdot d_M}{g}$$