

Основные закономерности процесса

Если представить частицу шаром, то ее движение в жидкости описывается законом Стокса, полученным из дифференциальных уравнений гидродинамики

$$F_C = 3 \pi \mu V d,$$

где F_C - сила гидродинамического сопротивления жидкости при перемещении частицы;

μ - коэффициент динамической вязкости воды;

V - скорость движения частицы (при осаждении $V = U_0$);

d - диаметр частицы.

В общем виде зависимость описывается уравнением Рэлея

$$F_c = S \rho V^2 d^2,$$

где S - коэффициент гидравлического сопротивления частицы;
 ρ - плотность жидкости.

Область действия законов Стокса или Рэлея определяется критическим числом Рейнольдса $Re_{кр} = 1$. При седиментации число Рейнольдса определяется по формуле

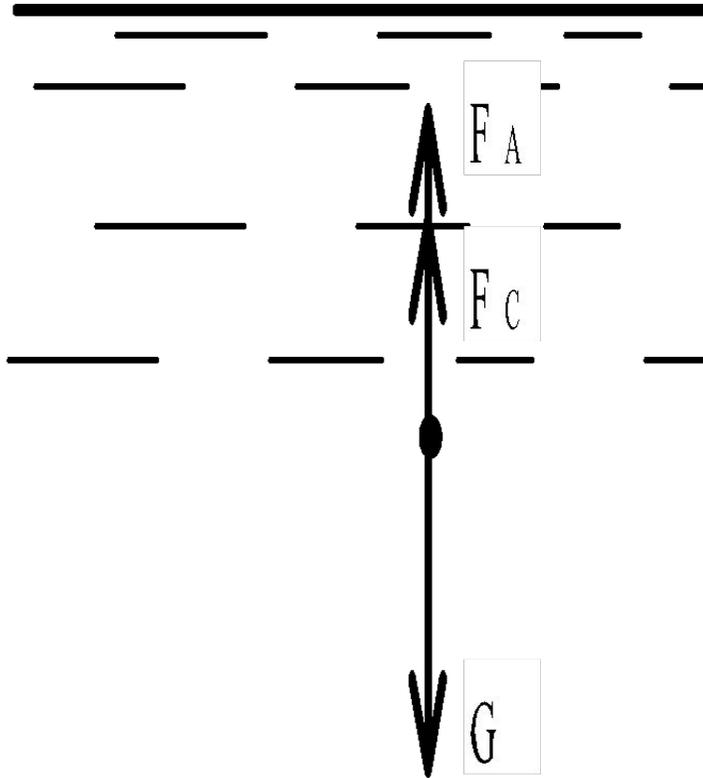
$$Re = \rho V d / \mu.$$

В переходном от ламинарного (закон Стокса) к турбулентному (закон Рэлея) режиме

$$F_c = f(V^n), \text{ где } n = 1 \div 2.$$

Диаграмма сил, действующих на осаждающуюся частицу

Вес шаровой частицы в воде с учетом выталкивающей силы



$$G' = G - F_A = (m_1 - m)g = W (\rho_1 - \rho)g = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_1 - \rho)g,$$

где m_1, ρ_1 - масса и плотность частицы;
 m - масса воды в объеме частицы;
 W - объем частицы;
 g - ускорение свободного падения.

Приравнивая F_c и G' , получим:

$$3 \pi \mu V d = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_1 - \rho) g.$$

Подставляя $V = U_0$, и выразив его через остальные величины, получим формулу Стокса

$$U_0 = \frac{g d^2 (\rho_1 - \rho)}{18 \mu}$$

Размерности величин (в системе СГС): U_0 - см/с, g - см/с², d - см, ρ - г/см³, μ - пуазы (г/см·с).

С помощью формулы Стокса можно рассчитать эквивалентный диаметр частиц взвеси (диаметр шаровой частицы с гидравлической крупностью, равной U_0 данной частицы сложной формы), определив из опыта U_0, μ, ρ_1, ρ ,

$$d_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{18\mu U_0 / g(\rho_1 - \rho)}$$

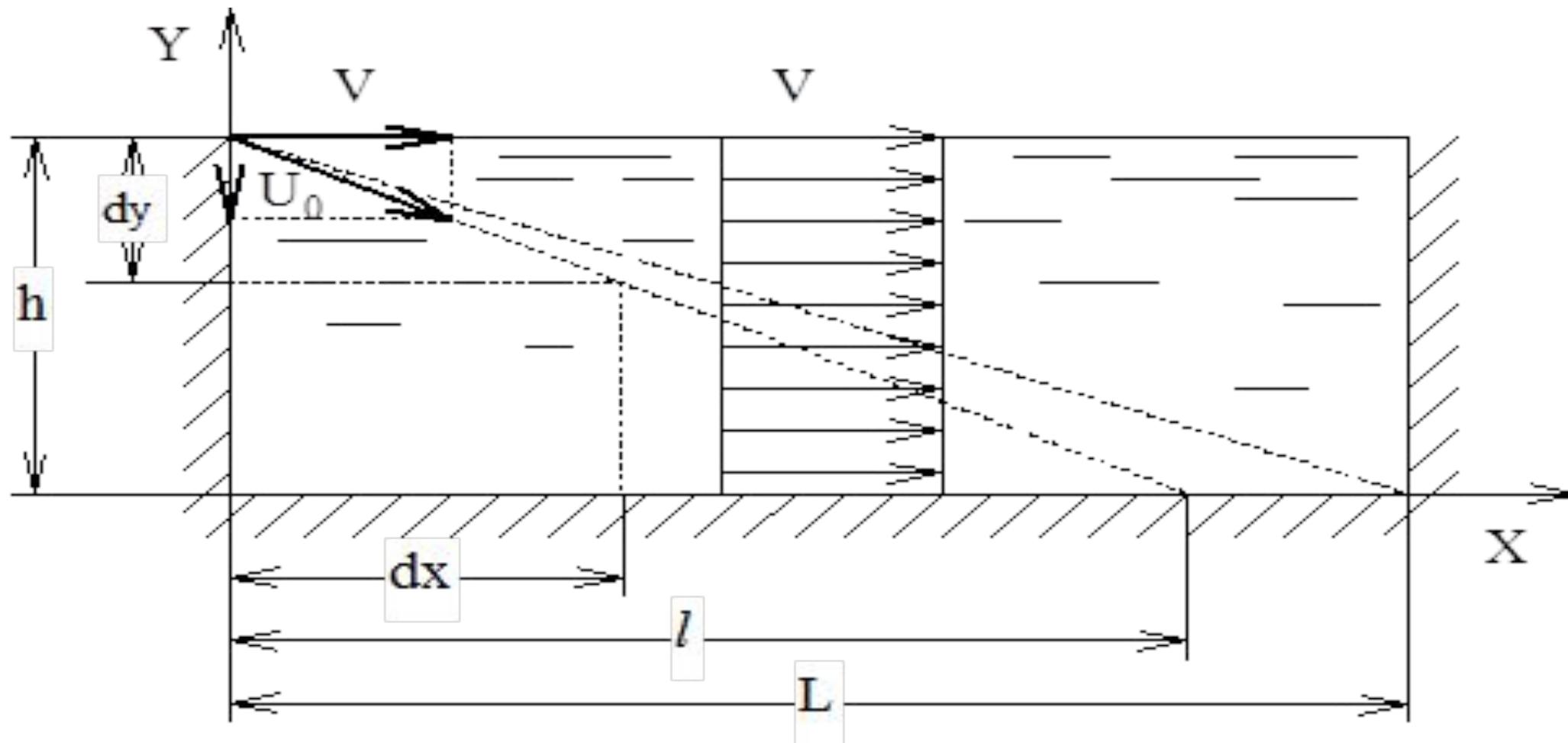
При турбулентном режиме осаждения ($Re_{\text{кр}} > 1$) формула Стокса преобразуется в вид:

$$U_0 = \sqrt{\frac{\pi d}{6} \left(\frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \right) \frac{d}{S}}$$

Ограничения закона Стокса

- Частицы осаждаются независимо друг от друга. Это условие накладывает особенность на концентрацию суспензии – она не должна быть более 1.5-2%.
- Частицы должны быть сферической формы. Поэтому в этом анализе определяем не реальный размер частиц, а так называемый «эффективный радиус».
- Плотность твердой фазы всех частиц одинакова и равна средневзвешенной.
- Закон Стокса применим для определенного диапазона диаметров частиц: >0.0001 мм и <0.25 мм.
- Используется понятие «динамического трения» -это трение внутри жидкой фазы, а не на границе твердая частица-жидкость. Поэтому используется вязкость раствора пирофосфата с поправкой на температуру, при которой происходило определение.

Отстаивание в движущейся воде



Свободное осаждение частицы в движущейся воде

Опускаясь на дно под действием силы тяжести со скоростью U_0 , частица проходит путь dy за время

$$dt = -dy/U_0.$$

Одновременно с потоком воды, движущимся со скоростью V , частица пройдет путь dx за то же время

$$dt = dx/V.$$

Приравнивая правые части полученных выражений, получаем дифуравнение

или

$$-dy/U_0 = dx/V$$

$$-Vdy = U_0dx.$$

Возьмем интеграл от обеих частей уравнения

$$-\int V dy = \int U_0 dx.$$

Считая, что скорость V равномерно распределена по сечению отстойника (см. эпюру на рис.3.7), а гидравлическая крупность частицы в процессе осаждения неизменна, т.е. величины V и U_0 константы, получим

$$\begin{aligned} -V \int dy &= U_0 \int dx \\ -V(y+C) &= U_0 x, \end{aligned}$$

где C - постоянная интегрирования, которую определим из граничных условий. При $x=0$ $y=h$ (h - глубина отстойника). Тогда $-V(h+C) = U_0 \cdot 0$, $h+C = 0$; $C=-h$

Подставляя C в решение дифуравнения, получим

$$\begin{aligned} -V(y-h) &= U_0 X \\ U_0 X - V(h-y) &= 0 \end{aligned}$$

Уравнение траектории частицы в движущейся воде. Это уравнение прямой, отсекающей на осях координат отрезки

$$x=0; y=h$$

$$y=0; x=hV/U_0=l,$$

где l - путь, пройденный частицей по длине отстойника.

Считая, что в отстойнике задерживаются только те частицы, траектория которых пересекается с дном, можем определить длину отстойника, задерживающего частицы с гидравлической крупностью не менее $U_{0\min}$,

$$L=hV/U_{0\min}$$

Можно также определить минимальную гидравлическую крупность частиц, которые будут задерживаться в отстойнике данной длины

$$U_{0\min} = hV/L$$

Реальные факторы учитываются коэффициентом объемного использования отстойников α (для различных типов отстойников $\alpha=1,3-2,0$), при вводе которого формула для определения длины отстойника приобретает вид

$$L = \alpha hV/U_0$$

Спасибо за внимание!

