

Определение рациональных параметров центрифугирующего устройства для осветления воды

С.М.Эпоян, А.С.Карагяур, А.Л.Скорик, Н.Ю.Гаврилова, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

Разработка компактных очистных сооружений, которые могут быть использованы для очистки природной воды от взвешенных веществ, является весьма актуальной задачей. К таким сооружениям следует отнести центрифугирующие устройства. Повысить эффект осветления центрифуг можно с помощью секционирования пространства ротора с помощью цилиндрических вставок.

Важной задачей является определение рациональных конструктивных и технологических параметров устройства, т.е. параметров, при которых достигается необходимой эффект очистки при минимальной удельной мощности.

Под конструктивными параметрами подразумеваются размеры центрифугирующего устройства: внешний радиус R , рабочая высота H , количество секций, расстояние между секциями Δr , конструктивные условия подвода и отвода очищаемой воды; под технологическими - производительность устройства Q , угловая скорость ω (или частота вращения), организация (распределение) потока в секциях.

Как показали проведенные экспериментальные исследования, при критических значениях конструктивных и технологических параметров центрифуги начинается смыв осевших частиц взвеси с поверхности осаждения в роторе, что значительно влияет на эффект осветления.

Кроме того, проведенные исследования позволили сформулировать следующее: энергетически выгодно применять для осветления воды центрифугирующие устройства с параметрами, значения которых близки к критическим, т.к., например, при заниженной, в сравнении с критической, частоте вращения ротора центрифуги резко уменьшается эффект очистки за счет смыва уже осевших частиц, а при завышенной – резко растет удельная мощность и, соответственно, энергетические затраты. Поэтому критические параметры являются рациональными.

Таким образом, целью исследований является разработка методики определения рациональных значений частоты вращения (угловой скорости) и внешнего радиуса центрифуги при заданной производительности устройства, то есть значений указанных параметров близких к критическим.

Для этого рассмотрим силы, действующие на осевшую частицу взвеси (рис. 1): где d – диаметр частицы взвеси; $\Delta \rho$ – разность плотностей частицы и жидкости; μ – динамическая вязкость; $V_{d/2} = f(Q)$ – скорость потока на расстоянии $d/2$ от стенки ротора; α – коэффициент пропорциональности; k – коэффициент адгезии; f – коэффициент трения частицы о стенку;

$N = C + A - W$ – сила реакции.

- сила инерции – $C = \frac{\pi d^3}{6} \Delta \rho \omega^2 \left(R - \frac{d}{2} \right)$;

- сила тяжести – $G = \frac{\pi d^3}{6} \Delta \rho g$;

- сила стоксового сопротивления
 $P = 3\pi \mu V_{d/2} d$;

- подъемная сила $W = \alpha \cdot P$;

- сила адгезии $A = k \cdot d$;

- сила трения $F = f \cdot N$;

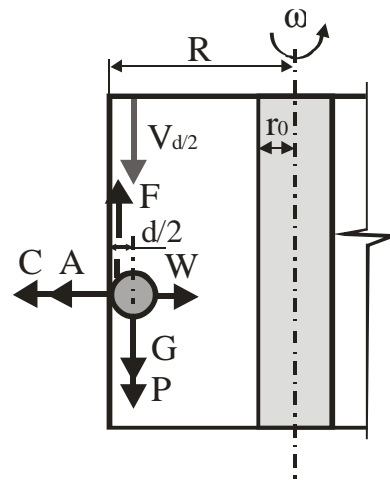


Рис. 1 - Силы, действующие на осевшую частицу взвеси

На рис. 2 представлены два типа зависимости баланса сил $F - P - G$ от диаметра частицы d . Когда $F > P + G$ смыв осевших частиц не происходит (зависимость 1). Если $F < P + G$, осевшие частицы диаметром $d_{кр1} \leq d \leq d_{кр2}$ возвращаются обратно в поток, ухудшая при этом качество очищенной воды.

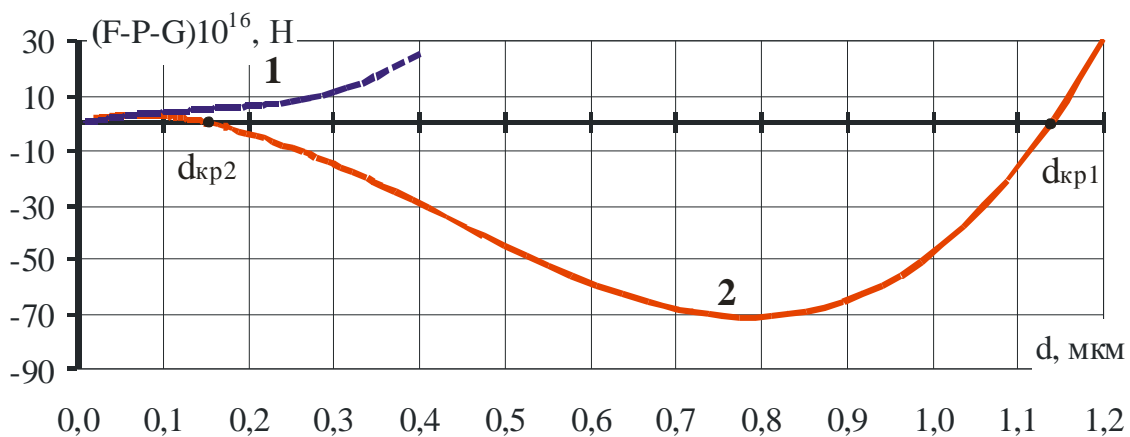


Рис. 2 - Зависимость баланса действующих на осевшую частицу сил от диаметра частицы:

1 – $F - P - G = f(d)$, когда смыв осевших частиц отсутствует;

2 – $F - P - G = f(d)$, когда смыв осевших частиц происходит

Унос частиц начинается, когда $F = P + G$ или

$$\left[\frac{\pi d^3}{6} \Delta \rho \omega^2 \left(R - \frac{d}{2} \right) + kd - 3\pi \alpha \mu V_{d/2} d \right] \cdot f = \frac{\pi d^3}{6} \Delta \rho g + 3\pi \mu V_{d/2} d, \quad (1).$$

то есть критерием начала смыва осевших частиц является такая комбинация конструктивных и технологических параметров, при которой уравнение (1) имеет один корень.

Для определения критических значений параметров центрифугирующего устройства преобразуем уравнение (1) и приведем его к безразмерному виду. Для этого

1) примем, что $R - \frac{d}{2} \approx R$;

2) скорость потока на расстоянии $d/2$ от стенки ротора $V_{d/2}$ определим с помощью линейной интерполяции $V_{d/2} = V_{\text{пов}} \frac{d}{2} \cdot \frac{n-1}{\Delta r} = a \cdot V_{\text{пов}} \cdot d$, где $V_{\text{пов}}$ – скорость у поверхности осаждения. Под скоростью у поверхности осаждения подразумевается среднее по координате z значение продольной скорости v_z на расстоянии $\frac{\Delta r}{n-1}$ от внешней стенки секции, где n – количество узлов по r в конечно-разностной сетке. $V_{\text{пов}}$ определялась путем численного решения уравнений переноса количества движения в поле центробежных сил и уравнения неразрывности, записанных в цилиндрической системе координат. Для упрощения скорость у поверхности осаждения удобно представить в виде эмпирической зависимости $V_{\text{пов}} = f(V_{\text{ср}})$, где $V_{\text{ср}} = \frac{Q_i}{\pi(r_i^2 - r_{i+1}^2)}$ – средняя скорость потока в

секции центрифуги, Q_i – производительность i -ой секции, r_i, r_{i+1} – соответственно внешний и внутренний радиус i -ой секции;

3) поделим каждое слагаемое уравнения (1) на $g \cdot \Delta r \cdot \Delta^2 r$.

С учетом этого, уравнение (1) примет вид

$$\left(\frac{d}{\Delta r}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{6} \cdot (f \cdot Fr_{\text{кр}} - 1) - \left(\frac{d}{\Delta r}\right) \cdot \frac{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot V_{\text{пов}}(Q) \cdot a \cdot (\alpha \cdot f + 1)}{g \cdot \Delta r \cdot \Delta \rho} + \frac{k \cdot f}{g \cdot \Delta r^2 \cdot \Delta \rho} = 0, \quad (2)$$

где $Fr_{\text{кр}} = \frac{\omega^2 R}{g}$ – число Фруда или фактор разделения.

Нашей задачей является определение параметра $Fr_{\text{кр}}$, при котором уравнение (2) относительно величины $\left(\frac{d}{\Delta r}\right)$ имеет один корень. Условием этого является равенство нулю дискриминанта квадратного уравнения (2).

Следовательно, для определения $Fr_{\text{кр}}$ получим следующую зависимость

$$Fr_{\text{кр}} = \frac{27}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \mu^2 \cdot V_{\text{пов}}^2(Q) \cdot a^2 \cdot (\alpha \cdot f + 1)^2}{k \cdot f^2 \cdot g \cdot \Delta \rho}.$$

Таким образом, данная методика позволяет рассчитать критические значения конструктивных и технологических параметров центрифугирующего устройства, применяемого для осветления воды, и, следовательно, обосновано подобрать рациональную конструкцию устройства и выбрать эффективный технологический режим.