

УДК 66.011

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ
В НИЗКОНАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНАХ**

Л.М. КОЧЕТОВ, Б.С. САЖИН, М.П. ТЮРИН, М.Б. САЖИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности)

E-mail: office@msta.ac.ru, office@roszitlp.ru

Излагается метод расчета эффективности разделения среднedisперсных суспензий в низконапорных гидроциклонах. Расчет проводится с помощью функции нормального логарифмического распределения с учетом функции распределения по скоростям осаждения частиц.

The method of the account of the medium suspension separation effectiveness in the hydraulic cyclones of low pressure. Account is carried out taking into account a distribution function on particles settling rates.

Ключевые слова: открытые гидроциклоны, очистка воды, круглое поперечное сечение, эффективность улавливания взвеси, коаксиальная перегородка, метод расчета.

Низконапорные (открытые) гидроциклоны, получившие широкое распространение в ряде отраслей промышленности, могут с успехом использоваться на текстильных предприятиях для предварительной очистки воды от взвешенных твердых частиц, мелких волокон, а также эмульгированных масел или жиров, в процессах промывки, отделки или крашения волокон или тканей. По технологическим показателям и области применения их можно рассматривать как альтернативу вертикальным отстойникам. При этом, сохраняя преимущества отстойников, заключающиеся в простоте конструкции и высокой надежности работы, открытые гидроци-

клоны имеют более высокую эффективность очистки воды, чем вертикальные отстойники [1], [2].

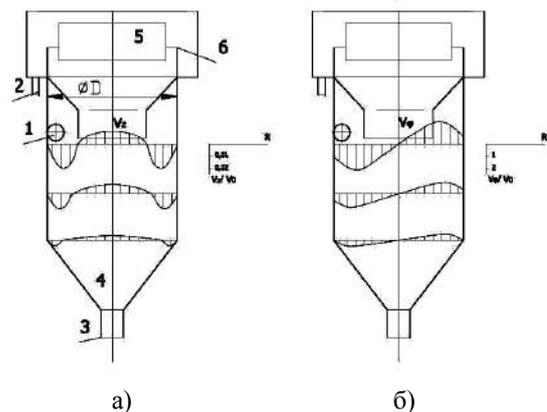


Рис. 1

В низконапорных гидроциклонах, имеющих круглое поперечное сечение и тангенциальный ввод жидкости (рис. 1 – принципиальная схема низконапорного гидроциклона обычного исполнения: 1 – вход воды, 2 – выход воды, 3 – вывод осадка, 4 – шламособорная часть, 5 – маслоуловитель, 6 – переливной порог; а – распределение аксиальных скоростей v_z ; б – распределение окружных скоростей v_ϕ), распределение окружных скоростей v_ϕ определяется зависимостью:

$$v_\phi \approx C / r^n, \quad (1)$$

где r – радиальная координата рассматриваемой точки; C – константа; n – показатель, зависящий от геометрических соотношений циклона и радиальной координаты рассматриваемой точки.

В периферийной зоне гидроциклона обычно имеет место квазипотенциальное течение потока (для воды $n \approx 0,5$), которое в центральной зоне гидроциклона плавно переходит в квазитвердое вращение ($n=-1$). Осевые скорости v_z потока имеют разнонаправленный характер. В периферийной зоне осевые скорости направлены вниз, тогда как в центральной – вверх. Благодаря этому твердые частицы увлекаются нисходящим потоком в шламонакопительную зону аппарата, что повышает эффективность разделения, по сравнению с вертикальным отстойником.

Другой особенностью гидроциклона является вероятностный характер улавливания твердых частиц (то есть частица любого размера имеет какую-то вероятность быть уловленной). Поэтому граница разделения имеет, в отличие от вертикальных отстойников, не резкий, а размытый характер.

Для гидроциклонов, имеющих значительную длину сепарационной зоны $H_C/D > 1,5$, скорость осаждения (мм/с, гидравлическая крупность) частиц, улавливаемых с вероятностью 50%, может быть приблизительно оценена по соотношению:

$$u_{\eta 50} \approx q / 3,6K, \quad (2)$$

где q – средняя гидравлическая нагрузка гидроциклона, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ (отношение расхода жидкости к поперечному сечению о корпуса гидроциклона); K – коэффициент, определяемый по соотношению:

$$K = A \left(\frac{2v_0^2}{gD} \right)^n, \quad (3)$$

где v_0 – скорость жидкости на входе в гидроциклон, м/с.

Значения коэффициента A и показателя n зависят от конструкции гидроциклона.

Расчет эффективности улавливания взвеси в гидроциклоне проводится с учетом дисперсного состава взвешенных частиц, характеризуемого функцией распределения. При этом для удобства расчетов целесообразно разбить функцию распределения на узкие фракции и проводить расчеты для каждой из фракций по средним параметрам. Функция распределения определяется экспериментально. На основании полученной функции распределения по размерам частиц строится функция распределения по скоростям осаждения частиц. При этом скорости осаждения рассчитываются по известным формулам (Стокса или Риттингера) с учетом реальной формы частиц.

Фракционная эффективность улавливания для гидроциклона может быть оценена с помощью функции нормального логарифмического распределения, выражаемого уравнением:

$$\eta_i(x) = \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (4)$$

Параметр x , характеризующий верхний предел интегрирования, определяется по формуле:

$$x = \lg \frac{u}{u_{\eta 50}} / (\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_U)^{0,5}, \quad (5)$$

где u – скорость осаждения частиц рассматриваемой фракции в воде, м/с; $u_{\eta 50}$ – скорость осаждения, соответствующая медианной эффективности улавливания гидроциклона, определяемая по формуле (2); σ_{η} – среднеквадратичное отклонение вероятностного распределения фракционной эффективности улавливания; σ_u – среднеквадратичное отклонение функции распределения твердых частиц по скоростям осаждения.

Для нормального логарифмического распределения величина σ_u может быть определена по соотношению:

$$\sigma_u = u_{50} / u_{15,9} = u_{84,1} / u_{50}. \quad (6)$$

Значения u_{50} , $u_{15,9}$, $u_{84,1}$ – скорости осаждения взвешенных частиц, соответствующие значениям функции распределения по скоростям осаждения: 50; 15,9; 84,1%.

Содержание i -фракции взвеси в очищенной воде после гидроциклона:

$$C_{i,2} = C_{i,1}(1 - \eta_i), \quad (7)$$

где $C_{i,1}$ и $C_{i,2}$ – соответственно начальное и конечное содержание i -фракции взвеси в очищаемой воде.

Общая эффективность улавливания гидроциклона:

$$\eta = \frac{\sum C_{i,1} - \sum C_{i,2}}{\sum C_{i,1}}. \quad (8)$$

Главным недостатком открытых гидроциклонов является невысокая эффективность улавливания твердых частиц, которая в гидроциклонах традиционных конструкций обычно не превышает 50%. Эффективность работы открытых гидроциклонов может быть существенно увеличена за счет модернизации их конструкции, в частности, размещения внутри цилиндрического корпуса гидроциклона коаксиальной перегородки, разделяющей сепарационный объем на зоны

нисходящего и восходящего движения потоков воды [3], [4]. Диаметр перегородки составляет примерно 0,8 диаметра корпуса гидроциклона.

Благодаря этому в сепарационной зоне гидроциклона создается циркуляция потока, захватывающего твердые частицы, в основном среднего размера (крупные частицы оседают вниз, не вовлекаясь в рециркуляционное движение, тогда как мелкие частицы выносятся уходящим потоком). При этом увеличивается время пребывания частиц среднего размера и повышается вероятность их улавливания. Схема такого аппарата приведена на рис. 2 – принципиальная схема низконапорного гидроциклона с внутренней перегородкой: 1 – вход воды, 2 – выход воды, 3 – вывод осадка, 4 – шламособорная часть, 5 – маслоуловитель, 6 – переливной порог, 7 – внутренняя перегородка; а – распределение аксиальных скоростей v_z , б – распределение окружных скоростей v_{φ} .

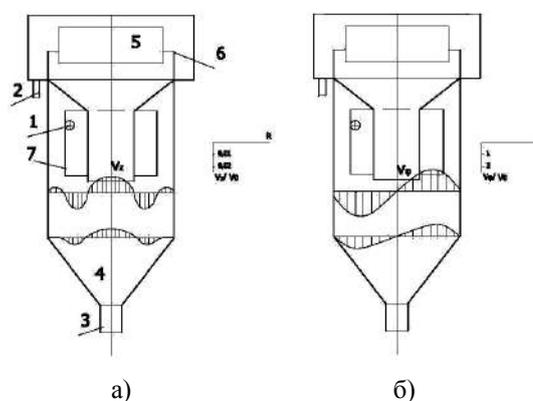


Рис. 2

При расчете эффективности улавливания, ориентировочно можно принять в формуле (3): для гидроциклона без внутренней перегородки $A \approx 1,5$; $n \approx 0,25$; для гидроциклона с внутренней перегородкой $A \approx 2,5-2,8$; $n \approx 0,3$; в формуле (5): для гидроциклона без внутренней перегородки $\lg \sigma_{\eta} \approx 0,4$; для гидроциклона с внутренней перегородкой $\lg \sigma_{\eta} \approx 0,35$.

На рис. 3 приведены значения фракционной эффективности улавливания для частиц различного диаметра в открытых гидроциклонах с внутренней цилиндрической перегородкой (2) и без нее (1). Расчет

ты были выполнены для следующих условий: расход очищаемой воды 10 м³/ч; внешний диаметр гидроциклона 1,6 м; скорость жидкости на входе в гидроциклон 2 м/с; температура воды 20°С; плотность твердых частиц 1700 кг/м³; коэффициент формы частиц 0,8.

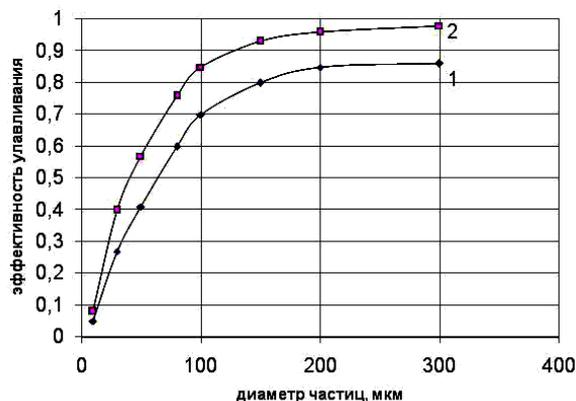


Рис. 3

Потери напора в открытом гидроциклоне определяются по уравнению:

$$\Delta p = \xi \frac{v_1^2}{2g} \rho_{\Gamma}, \quad (9)$$

где ξ —общий коэффициент сопротивления, который является суммой частных коэффициентов (входа $\xi_{\text{ВХ}}$, свободного объема гидроциклона $\xi_{\text{ОБ}}$ и выхода $\xi_{\text{ВЫХ}}$):

$$\xi = \xi_{\text{ВХ}} + \xi_{\text{ОБ}} + \xi_{\text{ВЫХ}}. \quad (10)$$

Для низконапорных гидроциклонов доля потерь напора при входе составляет около 70% от общих потерь напора. Потери в объеме составляют 20...25%; Потери при выходе – не более 10%. Потери напора при входе обусловлены турбулентными завихрениями при расширении струи, выходящей из тангенциального сопла. Эта величина может быть определена по соотношению:

$$\Delta p_{\text{ВХ}} = (1 - \varepsilon^2 + \xi_1) \frac{v_1^2}{2} \rho_{\Gamma} = \xi_{\text{ВХ}} \frac{v_1^2}{2} \rho_{\Gamma}, \quad (11)$$

где $\xi_{\text{ВХ}} = (1 - \varepsilon^2 + \xi_1)$; ξ_1 – коэффициент местного сопротивления тангенциального газохода; ε – коэффициент, учитывающий снижение скорости потока газа непосредственно после выхода из тангенциального канала ($\varepsilon \approx 0,6 \dots 0,8$ и зависит от отношения площади тангенциального канала к площади поперечного сечения гидроциклона $F_{\text{ВХ}}/F_{\text{ГЦ}}$; при уменьшении этого соотношения ε уменьшается).

Потери напора в низконапорных гидроциклонах, как правило, невелики и не превышают 0,5 м. Во входном тангенциальном канале скорость потока составляет 1...3 м/с. Приблизительно можно принять $\xi \approx (1,3 - 1,5) \xi_{\text{ВХ}}$.

Для гидроциклонов с внутренней перегородкой потери напора приблизительно на 50% выше, чем для гидроциклонов обычного исполнения, при одинаковом диаметре корпуса и производительности.

ВЫВОДЫ

1. Представлен метод расчета эффективности разделения суспензий в низконапорных гидроциклонах. Расчет проводили с помощью функции нормального логарифмического распределения с учетом функции распределения по скоростям осаждения частиц.

2. Проведен сравнительный анализ эффективности разделения взвесей в гидроциклонах двух модификаций: с внутренней кольцевой перегородкой и без нее. Установлено, что для частиц песка размером от 30 до 100 мкм наличие внутренней перегородки позволяет увеличить среднюю эффективность гидроциклона с 50 до 70%.

Осуществлена аналитическая оценка потерь напора в гидроциклонах обеих модификаций.

3. Результаты работы могут быть использованы при решении практических задач по очистке сточных вод в текстильной и других отраслях промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Гудим Л.И. Кочетов Л.М. Экологическая безопасность технологических процессов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007.

2. Яковлев С.В. и др. Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 2005.

3. Жуков А.И., Монгайт Л.И., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1997.

4. Пронин А.И., Суханов Д.Е., Иванов А.А. Гидроциклоны для очистки сточных вод автомобильных моек // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004, №5. С.36...38.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 02.06.10.
