

К РАСЧЕТУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ

Запорожская государственная инженерная академия

Запропоновано методику розрахунку продуктивності гідроциклонів за умов су-місної роботи ліній зливної та шламової насадок. Зіставлення результатів розрахунків продуктивності гідроциклона ГЦ-360 з використанням даної методики з його дійсною величиною показало достатню збіжність.

Предложена методика расчета производительности гидроциклонов в условиях совместной работы линий сливной и шламовой насадок. Сопоставление результатов расчетов производительности гидроциклона ГЦ-360 с использованием данной методики с его действительной величиной показало достаточную сходимость.

Введение. Гидроциклоны – аппараты, применяемые для выделения взвешенных частиц из жидкого раствора (суспензии), широко используются в промышленности [1-4]. Наряду с решением вопросов по качеству очистки или обогащения продукции важной остается проблема определения производительности гидроциклонов.

Анализ практических данных и достижений. В настоящее время существует множество формул различных авторов для расчета производительности гидроциклонов [1]. Данные формулы имеют эмпирическое происхождение, и расчеты с их использованием показывают, что для одного и того же гидроциклона при одинаковых условиях имеют место разные результаты [5].

Задача исследований. Отсутствие аналитических зависимостей для расчета производительности напорных гидроциклонов требует теоретического изучения и разработки методики расчетов, чему и посвящается настоящая статья.

Основная часть исследований. Массовую производительность гидроциклона по его входному сечению m_0 определяем с использованием формулы

$$m_0 = \rho_0 \cdot W_0 \cdot \Sigma f, \quad (1)$$

где ρ_0 , W_0 – соответственно плотность и скорость суспензии на входе в гидроциклон, $W_0 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi_{\text{а\delta,0}} \cdot \rho_0}}$; Σf – суммарная площадь патрубков подвода суспензии в гидроциклон,

$\Sigma f = 0,25 \pi \cdot z \cdot d_{\text{экв}}^2$, z – число патрубков подвода; $d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр одного патрубка подвода; ΔP – перепад давления в гидроциклоне; $\xi_{\text{а\delta,0}}$ – общий коэффициент сопротивления гидроциклона, отнесенный к его входному сечению, который в соответствии с работой [6] определяют согласно зависимости

$$\xi_{\text{а\delta,0}} = \left(\frac{1}{\sqrt{\xi_{\text{а\delta,1}}} + \sqrt{\xi_{\text{а\delta,2}}}} \right)^2, \quad (2)$$

где $\xi_{\text{а\delta,1}}$ и $\xi_{\text{а\delta,2}}$ – коэффициенты сопротивления гидроциклона по линиям сливной и шламовой насадок соответственно.

Таким образом, задача сводится к определению значений коэффициентов $\xi_{\text{а\delta,1}}$ и $\xi_{\text{а\delta,2}}$.

Согласно работе [7], указанные коэффициенты можно рассчитать как:

– по линии сливной насадки

$$\xi_{ex1} = \frac{2\Delta P_{0-1}}{\rho_0 \cdot W_{01}^2} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \cdot \left[\frac{\frac{R_0}{R_y}}{\frac{\varphi_0 \cdot R_{cl}}{R_y} \cdot \left[1 - \frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{cl}} \cdot \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_1} \right] \cdot \cos \alpha_1} \right]^2 ; \quad (3)$$

– по линии шламовой насадки

$$\xi_{\dot{a}\ddot{o}2} = \frac{2\Delta P_{0-2}}{\rho_0 \cdot W_{02}^2} = \frac{\rho_2}{\rho_0} \cdot \left[\frac{\frac{R_0}{R_{\ddot{o}}}}{\frac{\varphi_0 \cdot R_{\ddot{o}\ddot{e}}}{R_{\ddot{o}}} \cdot \left[1 - \frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{o}\ddot{e}}} \cdot \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha_2} \cdot \frac{1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_2} \right] \cdot \cos \alpha_2} \right]^2 , \quad (4)$$

где W_{01} , W_{02} – скорости суспензии по линиям сливной и шламовой насадок, отнесенные к

входному сечению циклона, соответственно; $\frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{n}\ddot{e}}}$, $\frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{o}\ddot{e}}}$ – па-раметры крутки

по линиям сливной и шламовой насадок соответственно; φ_0 – коэффициент потери скорости во входных патрубках подвода суспензии в гидроциклон; R_y – радиус цилиндрической части гидроциклона; R_0 – радиус крутки суспензии на входе в гидроциклон; R_{cl} – внутренний радиус трубы сливной насадки гидроциклона; $R_{шл}$ – внутренний радиус трубы шламовой насадки гидроциклона; ρ_1 , ρ_2 – плотность суспензии по линиям сливной и шламовой насадок соответственно; ε_1 , ε_2 – коэффициенты потерь начального момента количества движения по линиям сливной и шламовой насадок соответственно; α_1 , α_2 – углы крутки на выходе из сливной и шламовой насадок соответственно.

Как и в работе [7], углы α_1 и α_2 связаны с параметрами крутки по следующим зависимостям:

$$\frac{4\varepsilon_1 \cdot \sin^3 \alpha_1}{(1 + \sin^2 \alpha_1) \cdot \cos \alpha_1} = \frac{\Sigma f_0}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{n}\ddot{e}}} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0} ; \quad (5)$$

$$\frac{4\varepsilon_2 \cdot \sin^3 \alpha_2}{(1 + \sin^2 \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2} = \frac{\Sigma f_0}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{o}\ddot{e}}} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_0} . \quad (6)$$

Для углов крутки $\alpha_i \leq 50^\circ$ выражения (5) и (6) можно записать

$$\alpha_1 = \arcsin \sqrt[3]{\frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{n}\ddot{e}}} \cdot \frac{1}{4\varepsilon_1} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_1}} ; \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \sqrt[3]{\frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_{\ddot{o}\ddot{e}}} \cdot \frac{1}{4\varepsilon_2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_2}} , \quad (8)$$

а зависимости (3) и (4) с учетом уравнений (5) и (6) преобразуются к виду

$$\xi_{ex1} = \frac{2\Delta P_{0-1}}{\rho_0 \cdot W_{01}^2} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \cdot \left[\frac{\frac{R_0}{R_y}}{\frac{\varphi_0 \cdot R_{cl}}{R_y} \cdot \frac{\cos \alpha_1}{1 + \sin^2 \alpha_1}} \right]^2 ; \quad (9)$$

$$\xi_{\dot{a}\delta 2} = \frac{2\Delta P_{0-2}}{\rho_0 \cdot W_{02}^2} = \frac{\rho_2}{\rho_0} \cdot \left[\frac{\frac{R_0}{R_y}}{\frac{\varphi_0 \cdot R_{шл}}{R_y} \cdot \frac{\cos \alpha_2}{1 + \sin^2 \alpha_2}} \right]^2 . \quad (10)$$

Исследования [6] показали, что $\Delta P_{0-2} = \Delta P_{0-1} = \Delta P$ и тогда выражения для определения скорости суспензии по линиям сливной и шламовой насадок, отнесенные к входному сечению гидроциклона, имеют вид:

$$W_{01} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi_{\dot{a}\delta 1} \cdot \rho_0}} ; \quad (11)$$

$$W_{02} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi_{\dot{a}\delta 2} \cdot \rho_0}} . \quad (12)$$

В соответствии с этим расчет объемной производительности гидроциклона по линиям сливной Q_1 и шламовой Q_2 насадок можно выполнить по формулам:

$$Q_1 = Q_{01} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_1} ; \quad (13)$$

$$Q_2 = Q_{02} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_2} , \quad (14)$$

где Q_{01} , Q_{02} – объемная производительность гидроциклона по линиям сливной и шламовой насадок, приведенная ко входу в гидроциклон соответственно, $Q_{01} \cdot = \Sigma f \cdot W_{01}$, $Q_{02} \cdot = \Sigma f \cdot W_{02}$.

Массовая производительность гидроциклона в целом определяется суммой производительностей по вышеуказанным линиям, то есть

$$\rho_0 \cdot Q_0 = \rho_1 \cdot Q_{01} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_1} + \rho_2 \cdot Q_{02} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_2} \quad (15)$$

или

$$Q_0 = Q_{01} + Q_{02} = \Sigma f \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi_{\dot{a}\delta 0} \cdot \rho_0}} . \quad (16)$$

В работе [3] для гидроциклона производительностью по входному сечению, равной 85,8 м³/ч, рекомендован гидроциклон ГЦ-360 со следующими конструктивными размерами:

- диаметр цилиндрической части $D = 360$ мм;
- диаметр питающей трубы $d_n = d_{э\kappa\theta} = 90$ мм;
- диаметр трубы сливной насадки $d_{cl} = 115$ мм;
- диаметр трубы шламовой насадки $d_{шл} = 50$ мм;

– радиус крутки суспензии на входе в гидроциклон $R_0 = 150$ мм.

Таблица 1 – Результаты расчетов параметров гидроциклона и его производительности

Наименование параметров	Размерность	Линия сливной насадки	Линия шламовой насадки	Гидроциклон
Суммарная площадь патрубков подвода суспензии при $z = 1$	м ²			0,00635
Внутренний радиус трубы	м	0,0575	0,025	
Параметр крутки	-	0,234	0,539	
Угол крутки	град.	29,30	40,25	
Коэффициент сопротивления		17,0	153,0	9,56
Скорость на входе	м/с	2,836	0,946	3,78
Производительность по входу	м ³ /ч	64,86	21,62	86,48

При этом отмечено [3], что вышеуказанная производительность (85,8 м³/ч) достигается при давлении на входе гидроциклона равном 0,0684 МПа.

Для указанного гидроциклона выполнен расчет его производительности при плотности суспензии 1000 кг/м³, а также значении параметров $\varepsilon_1 = 0,5$, $\varepsilon_2 = 0,5$ и $\varphi_0 = 0,9$. Результаты проведенных расчетов представлены в табл. 1.

Установлено, что при перепаде давления 0,068 МПа производительность гидроциклона по входному сечению составляет 86,48 м³/ч, что практически совпадает с его действительным значением, приведенным в работе [3] и равным 85,80 м³/ч.

Заключение

1. Разработана аналитическая зависимость для расчета производительности напорных гидроциклонов, которая учитывает параметры крутки и потери крутки по линиям сливной и шламовой насадок, плотность суспензии на входе в гидроциклон и плотности пульпы на указанных линиях, потери давления на входе в гидроциклон.

2. Достаточная сходимость результатов расчета производительности гидроциклона с данными работы [3] показывает, что разработанная аналитическая зависимость может быть применена для расчета производительности существующих гидроциклонов, а также при конструировании новых;

3. Вопросы расчетного определения диаметра трубы шламовой насадки и влияния разгрузочного отношения на параметры гидроциклонов, а также расчетного определения коэффициентов потери крутки по линиям сливной и шламовой насадок требуют дальнейшей разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках / А. И. Поваров. – М.: Недра, 1978. – 232 с.
2. Скирдов И. В. Очистка сточных вод / И. В. Скирдов, В. Г. Пономарев. – М.: Обогащение руд, 1960. – 249 с.
3. Богданов О. С. Справочник по обогащению руд: подготовительные процессы / О. С. Богданов. – М.: Недра, 1982. – 225 с.
4. Шестов Р. Н. Гидроциклоны / Р. Н. Шестов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 95 с.
5. Голубцов В. М. К расчету производительности гидроциклона глиноземного производства Запорожского алюминиевого комбината / В. М. Голубцов, М. Л. Олейник, Д. Ю. Кравченко // Металургія: наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2009. – Вип. 20. – С. 147-153.
6. Голубцов В. М. К расчету гидравлического сопротивления напорных гидроциклонов / В. М. Голубцов // Металургія: наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2010. – Вип. 22. – С. 191-197.

7. *Голубцов В. М.* К расчету коэффициентов сопротивления пылевых циклонов / В. М. Голубцов, С. В. Михайличенко // Теплоэнергетика. – 1985. – № 4. – С. 41-44.

Стаття надійшла до редакції 10.06.2010 р.
Рецензент, проф. Є.М. Крючков