

О ВЛИЯНИИ ПЛОТНОСТИ ПУЛЬПЫ НА ОБЪЕМНУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ НАПОРНОГО ГИДРОЦИКЛОНА

Запорожская государственная инженерная академия

Наведено залежності для розрахунків щільності пульпи на вході до напірного гідроциклону і в лініях зливної та шламової насадок даного апарату, за умов сумісної роботи зазначених ліній. Подано результати розрахунків параметрів і продуктивності гідроциклону типу ГЦ-360 та виконано порівняння їх з існуючими.

Приведены зависимости для расчета плотности пульпы на входе в напорный гидроциклон и в линиях сливной и шламовой насадок данного аппарата в условиях совместной работы указанных линий. Представлены результаты расчета параметров и производительности гидроциклона типа ГЦ-360 и выполнено сравнение их с существующими.

Введение. Напорные гидроциклоны – аппараты, применяемые для выделения взвешенных частиц из пульпы, широко используются в различных отраслях промышленности. Наряду с решением вопросов повышения качества очистки или степени обогащения продукции, важной остается задача определения производительности данных аппаратов.

Наряду с существующим многообразием эмпирических формул [1-4] для определения объемной производительности гидроциклона, в работе [5] разработаны аналитические зависимости, которые позволяют рассчитывать объемные производительности по входу в гидроциклон, а также линий сливной и шламовой насадок при известном отношении плотностей пульпы указанных линий к плотности пульпы на входе аппарата.

Постановка задачи. В связи с отсутствием аналитических зависимостей для расчета отношения плотностей пульпы линий сливной и шламовой насадок к плотности пульпы на входе в гидроциклон имеют место трудности при определении производительности данного аппарата. В связи с этим необходимо разработать зависимости для определения основных показателей пульпы и использовать их при расчете объемной производительности напорных гидроциклонов, чему и посвящается настоящая статья.

Изложение материалов исследований. Плотность пульпы на входе в гидроциклон можно рассчитать в соответствии с существующими представлениями [6] с использованием формулы

$$\rho = \frac{\rho_{ж} \cdot (1 + R) \rho_{тв}}{1 + \rho_{тв} \cdot R}, \quad (1)$$

где ρ – плотность пульпы, кг/м³; $\rho_{ж}$, $\rho_{тв}$ – плотность жидкой и твердой фаз пульпы, кг/м³, соответственно; R – степень разжижения пульпы, кг/кг: $R = \frac{W}{G}$, W , G – массовая производительность жидкой и твердой фаз пульпы, кг/ч, соответственно.

Исходя из того, что массу пульпы определяют как сумму масс твердой и жидкой фаз, которые содержатся в ней, в процентном выражении ее можно записать как

$$100(\%) = T(\%) + \mathcal{Ж}(\%), \quad (2)$$

где $T(\%)$, $\mathcal{Ж}(\%)$ – процентное содержание твердой и жидкой фазы в пульпе, соответственно.

Откуда процентное содержание жидкой фазы $\mathcal{Ж}(\%)$ в пульпе составит

$$\mathcal{Ж}(\%) = 100(\%) - T(\%). \quad (3)$$

Тогда выражение для определения степени разжижения R имеет вид:

$$R = \frac{W}{G} = \frac{\mathcal{Ж}}{T} = \frac{100 - T}{T}, \quad (4)$$

Процентное содержание твердой фазы $T(\%)$ в пульпе определяют из уравнения (4):

$$T = \frac{100}{1 + R}. \quad (5)$$

Степень разжижения пульпы на входе в гидроциклон R_0 задают или определяют при расчете линии шламовой насадки, а количество жидкой фазы в пульпе определяют по формуле [3]:

$$W = R \cdot G, \quad (6)$$

Количество твердой фазы в пульпе на входе в гидроциклон задают исходя из технологических соображений, а его объемную производительность Q рассчитывают с использованием выражения

$$Q = \frac{G \cdot (1 + R \cdot \rho_{мс})}{\rho_{мс}}. \quad (7)$$

Массовую производительность твердой фазы в пульпе (G , т/ч) линий сливной и шламовой насадок определяют по формуле:

$$G = \frac{Q \cdot \rho_{мс}}{1 + R \cdot \rho_{мс}}, \quad (8)$$

Выход твердой фазы (γ , %) в пульпе линий сливной и шламовой насадок определяют в процентном отношении к исходной твердой фазе как

$$\gamma = \frac{G \cdot 100}{G_0}, \quad (9)$$

где Q_0 – массовая исходная производительность гидроциклона по твердой фазе, т/ч.

По приведенным выше формулам выполняли расчет параметров гидроциклона ГЦ-360 примера «а» работы [3] и проводили сравнение с его необходимыми возможностями.

1. По входу в гидроциклон

Для входной производительности гидроциклона по твердой фазе пульпы $Q_0 = 52,7$ т/ч плотностью $\rho_{мс} = 2,8$ т/м³ и степенью разжижения $R_0 = 1,27$ (содержание твердой фазы $T_0 = 44$ %) получают:

– объемную производительность аппарата

$$Q_0 = \frac{G_0 \cdot (1 + R_0 \cdot \rho_{мс})}{\rho_{мс}} = 85,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

– расход жидкой фазы в пульпе

$$W_0 = R_0 \cdot G_0 = 67 \text{ т/ч};$$

– плотность исходной пульпы

$$\rho_0 = \frac{\rho_{ж} (1 + R_u) \cdot \rho_{мс}}{1 + \rho_{мс} \cdot R_u} = 1,395 \text{ т/м}^3,$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы (воды), $\rho_{ж} = 1,0 \text{ т/м}^3$.

2. По линии сливной насадки.

Для объемной производительности линии сливной насадки $Q_c = 57,95 \text{ м}^3/\text{ч}$ и содержания твердой фазы в пульпе $T_c = 25,3 \%$ получают:

– степень разжижения

$$R_c = \frac{100 - T_c}{T_c} = 2,96;$$

– массовую производительность твердой фазы

$$G_c = \frac{Q_c \cdot \rho_{мс}}{1 + R_c \cdot \rho_{мс}} = 17,5 \text{ т/ч};$$

– массовую производительность жидкой фазы

$$W_c = R_c \cdot G_c = 51,7 \text{ т/ч};$$

– выход твердой фазы в пульпе

$$\gamma_c = \frac{G_c \cdot 100}{G_0} = 33,2 \%;$$

– плотность пульпы линии сливной насадки

$$\rho_c = \frac{\rho_{ж} (1 + R_c) \cdot \rho_{мс}}{1 + \rho_{мс} \cdot R_c} = 1,193 \text{ т/м}^3.$$

3. По линии шламовой насадки.

Для объемной производительности данной линии $Q_{ш} = 27,85 \text{ м}^3/\text{ч}$ и содержания твердой фазы в пульпе $T = 70 \%$ получают:

– степень разжижения

$$R_{ш} = \frac{100 - T_{ш}}{T_{ш}} = 0,43;$$

– массовую производительность твердой фазы пульпы

$$G_{ш} = \frac{Q_{ш} \cdot \rho_{мс}}{1 + R_{ш} \cdot \rho_{мс}} = 35,38 \text{ т/ч};$$

– массовую производительность жидкой фазы пульпы

$$W_{ш} = R_{ш} \cdot G_{ш} = 15,2 \text{ т/ч};$$

– выход твердой фазы в пульпе

$$\gamma_{ш} = \frac{G_{ш} \cdot 100}{G_0} = 67,13 \%;$$

– плотность пульпы линии шламовой насадки

$$\rho_{ш} = \frac{\rho \cdot (1 + R_{ш}) \cdot \rho_{мс}}{1 + \rho_{мс} \cdot R_{ш}} = 1,816 \text{ т/м}^3.$$

Проверкой установлена сходимость материального баланса гидроциклона

$$Q_0 \cdot \rho_0 = Q_c \cdot \rho_c + Q_{ш} \cdot \rho_{ш} = 119,69 \text{ т/ч.}$$

4. Определение отношения плотностей пульпы:

– плотности пульпы линии сливной насадки к ее плотности на входе в гидроциклон

$$\frac{\rho_c}{\rho_0} = 0,855 ;$$

– плотности пульпы линии шламовой насадки к ее плотности на входе в гидроциклон

$$\frac{\rho_{ш}}{\rho_0} = 1,3 ;$$

– плотности пульпы линии сливной насадки к плотности пульпы линии шламовой насадки

$$\frac{\rho_c}{\rho_{ш}} = 0,657 .$$

Используя полученные значения отношения плотностей пульпы и формулы из работы [5], выполнили расчет параметров гидроциклона ГЦ-360 и его объемной производительности, а также провели сравнение результатов расчета с данными работы [3]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры гидроциклона ГЦ-360, рассчитанные при постоянной и действительной плотности пульпы на входе и в линиях сливной и шламовой насадок

Величина	Линия сливной насадки		Линия шламовой насадки	
	при $\rho = \text{const}$	при $\rho_c = 1,193$, $\rho_0 = 1,395$	при $\rho = \text{const}$	при $\rho_{ш} = 1,816$, $\rho_0 = 1,395$
Угол крутки, α_1^0	29,3	31,045	40,25	36,287
Коэффициент Сопротивления, ξ_{ex}	17	15,67	153	162
Скорость по входу, м/с	2,836	2,954	0,946	0,919
Производительность, м ³ /ч	64,84	67,54	21,623	21,00
Производительность, м ³ /ч [3]	57,95		27,85	
Общие расчетные показатели гидроциклона по работе [5]				
Величина	при $\rho = \text{const}$	при $\rho_0 = 1,395$; $\rho_c = 1,193$; $\rho_{ш} = 1,816$		
Коэффициент сопротивления по входу в циклон, $\xi_{ex,0}$	9,56	9,11		
Производительность по входу, м ³ /ч	86,48	88,54		
Производительность по входу, м ³ /ч [3]	85,8			

Из табл. 1 следует, что общие расчетные величины параметров гидроциклона, полученные с учетом изменения плотностей и их отношений, незначительно отличаются от параметров гидроциклона, полученных без учета изменения плотностей ($\rho = \text{const}$). Объясняется это тем, что при учете их изменения коэффициент сопротивления линии сливной насадки уменьшается, коэффициент сопротивления линии шламовой насадки увеличивается, а величина общего коэффициента сопротивления по входу уменьшается незначительно, что приводит к некоторому увеличению общей производительности гидроциклона.

Объемные производительности линий сливной и шламовой насадок, рассчитанные с учетом изменения плотностей и без него, практически совпадают, но их величина меньше, чем в работе [3], что можно объяснить неправильным выбором в указанной работе разгрузочного отношения.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующее заключение:

– сходимость результатов расчета производительности напорного гидроциклона примера «а» работы [3], выполненного с учетом отношения плотностей и без него, свидетельствует о том, что разработанные аналитические зависимости [5] могут быть применены для практических расчетов производительности существующих гидроциклонов при условии отношения плотностей, равного единице;

– разгрузочное отношение гидроциклона следует рассчитывать по методике работы [7], а не назначать произвольно, как это показано в работе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поваров, А. И.* Гидроциклоны на обогатительных фабриках [Текст] / А. И. Поваров. – М. : Недра, 1978. – 231 с. – Библиогр. : с. 197-203.
2. *Скирдов, И. В.* Очистка сточных вод [Текст] / И. В. Скирдов, В. Г. Пономарев. – М. : Обогащение руд, 1960. – 176 с. – Библиогр. : с. 173-175.
3. *Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы* [Текст] : под ред. О. С. Богданова, В.А.Овевского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 366 с. – Библиогр. : с. 362-364.
4. *Шестов, Р. Н.* Гидроциклоны [Текст] / Р. Н. Шестов. – Л. : Машиностроение, 1967. – 79 с. – Библиогр. : с. 77-78.
5. *Голубцов, В. М.* К расчету производительности напорных гидроциклонов [Текст] / В. М. Голубцов // *Металургія : Наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2011. – Вип. 23. – С. 175-179.
6. *Павлов, К. Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М. : ; Л. : Химия, 1987. – 576 с. – Библиография в конце каждого раздела.
7. *Голубцов, В. М.* К расчету разгрузочного отношения и внутреннего диаметра шламовой насадки в напорных гидроциклонах [Текст] / В. М. Голубцов // *Металургія : Наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2011. – Вип. 24. – С. 138-144.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2012 р.
Рецензент, проф. М.О. Українець