

УДК 622.234.552

РАСЧЕТ НАПОРНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ УСТАНОВОК ОСВЕТЛЕНИЯ ШАХТНЫХ ВОД

Моргунов В.М., канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет

Рассмотрены вопросы расчета и выбора напорных гидроциклонов в условиях их работы при осветлении шахтных вод в подземных условиях.

The problems of calculation and selection of pressure head hydrocyclones in conditions of their activity are reviewed at a clearing of mine waters in underground conditions.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Классификация твердых частиц в гидроциклонах широко применяется в процессах обогатительных фабрик. Имеется положительный опыт использования этих аппаратов для осветления шламовых вод в подземных условиях [1]. Прямой перенос методов определения параметров гидроциклонов при классификации к условиям осветления шламовых вод приводит к существенным погрешностям при расчете эффективности осветления. Поэтому выбор метода определения параметров гидроциклонов для осветления шламовых вод является актуальным.

Анализ исследований и публикаций. Гидродинамика в гидроциклонах является очень сложной. Здесь имеет место непрерывное движение жидкости, т.е. должно быть справедливо уравнение неразрывности жидкой среды [2], а именно

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_t)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial z} = 0,$$

где ρ – плотность текучего; t – время; U , V_t , W – составляющие радиальной, тангенциальной и вертикальной скоростей потоков соответственно в произвольной точке пространства по направлению прямоугольных осей x , y и z координат.

Аналитическое решение этой зависимости для условий $\rho = \text{const}$ получено в [2]. Решение этого уравнения для условий $\rho = \text{var}$ (что имеет место при осветлении шламовых вод после обезвоживания горной массы на гидроучастках) с целью определения параметров

гидроциклона, обеспечивающего заданную эффективность осветления, приводит к весьма сложным и неоднозначным зависимостям.

Сложность гидродинамических условий в гидроциклонах, недостаточная изученность явлений, происходящих в них, и отсутствие достаточно точных зависимостей между основными переменными факторами работы затрудняют технологический расчет гидроциклонов. Имеющиеся представления о характере движения среды, накопленный экспериментальный материал о влиянии основных факторов на процесс разделения позволяет сделать лишь приближенный расчет производительности, крупности разделения и технологических показателей работы гидроциклона.

Постановка задачи. Произвести анализ методов выбора типоразмеров гидроциклонов и предложить уточненный метод выбора аппаратов и мероприятия, повышающие эффективность осветления шламовых вод в подземных условиях.

Изложение материала и результаты. На практике, при проектировании гидроциклонных установок, предназначенных для очистки шахтных вод от механических примесей, используют эмпирические зависимости.

Используя такие зависимости необходимо правильно подобрать типоразмеры гидроциклона, чтобы обеспечить заданную эффективность его работы при минимальных затратах.

Нельзя прямо переносить один типоразмер гидроциклона, положительно показывающих себя в одних условиях, в другие, т.к. результат будет отрицательный.

Из практики известны примеры, когда, из-за неправильного подбора диаметра D или недостаточного давления перед гидроциклоном P , установки не обеспечивали нужного эффекта осветления. В большинстве случаев такие просчеты связаны со стремлением упростить установки, уменьшив число аппаратов за счет использования крупных циклонов.

Кроме того, ошибки в проектировании установок с гидроциклонами нередко связаны с:

- недостаточностью исходных данных о гранулометрическом составе твердых частиц в осветляемых водах (при этом эффективность гидроциклона и его расходные характеристики принимаются ориентировочно, по каким-либо аналогам);

- неточностью принятых расчетных формул, полученных применительно к процессам классификации и условиям, сильно отличающимся от процесса очистки шахтных вод.

Известно, что работу напорного гидроциклона определяют, в основном, следующие факторы:

- седиментационные свойства взвешенных веществ в шахтной воде, определяемые прежде всего гидравлической крупностью выделяемых частиц;

- геометрические размеры гидроциклона – его диаметр и соотношения между основными элементами аппарата;

- производительность гидроциклона, которая зависит от его расходной характеристики, $Q = f(D, P)$;

- затраты энергии на создание центробежного поля, т.е. потери напора в гидроциклоне.

Геометрические размеры гидроциклонов подбираются по данным заводов – изготовителей с учетом диаметров питающего d_n , сливного d_c патрубков. При этом необходимо выполнение соотношений $d_n/d_c = 0,5...1$ и $d_n/D = 0,12...0,4$;

$$d_n \leq \left(\frac{D - d_c}{2} \right) - \delta,$$

где δ - толщина стенки сливного патрубка; диаметр пескового отверстия - Δ назначается из соотношения $\Delta/d_c = 0,2...1,0$ (для предупреждения засорения пескового отверстия его минимальный диаметр должен в 3...6 раз превышать максимальный размер частиц загрязнений); высота цилиндрической части - H_c для гидроциклонов - осветлителей должна приниматься в пределах $(2...4)D$; для гидроциклонов - сгустителей $(1...2)D$; угол конусности - α конической части следует принимать для гидроциклонов - осветлителей - $2...15^\circ$ для гидроциклонов - сгустителей - $20...45^\circ$.

Расчет гидроциклонов при их проектировании или выборе, сводится к определению двух основных показателей их работы: крупности наименьших частиц (граничного диаметра частиц $\delta_{гр}$), задерживаемых в гидроциклоне при заданной эффективности очистки воды и производительности (расхода очищаемой воды) – Q .

Производительность гидроциклона зависит от ряда переменных величин, основными из которых являются: давление на входе P , размеры входного отверстия d_n , угол конусности α и диаметры разгрузочного Δ и сливного d_c отверстий.

Существует два основных подхода к определению названных показателей:

- в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.03-85;
- на основании расчетных формул, полученных различными авторами: Келсаллом, Модером и Дальстромом, Брэдли и Пуллингом, Поваровым, Честоном, Тарьяном, Скирдовым и Пономаревым.

Согласно рекомендуемому методу эти два подхода объединяются.

Для проектирования гидроциклонных установок должны быть заданы исходные данные, характеризующие конкретные очищаемые воды и их механические загрязнения, как наиболее значимые, а именно:

- седиментационные свойства взвешенных веществ (гидравлическая крупность частиц, которые необходимо выделить для обеспечения требуемого эффекта очистки). Эти свойства определяются экспериментально в стандартных лабораторных условиях для конкретных шламов при определенной высоте слоя воды, например равном 200мм, в результате которого получают график кинематики осаждения твердых частиц (типичный график показан на рис. 1);

- требуемая степень очистки, $\mathcal{E}=f(t)$;
- температура воды, T ;
- водородный показатель воды, pH ;
- плотность механических загрязнений, ρ .

Кривая кинематики отстаивания загрязненных вод $\mathcal{E}=f(t)$ позволяет определить:

- охватывающую гидравлическую крупность, U_0 , которая характеризует работу отстойных сооружений гравитационного типа;
- граничную минимальную гидравлическую крупность $U_{гр}$, которая характеризует распределение частиц по размерам, используется при оценке различных классификаторов (вертикальных отстойников, гидроциклонов и др.).

Используя график кинематики осаждения твердых частиц конкретных шламовых вод, для определения U_0 на оси ординат графика $\mathcal{E}=f(t)$ откладывается заданная эффективность работы осветлительной установки, например точка А, из которой проводится прямая, параллельная оси абсцисс, до пересечения с кривой в точке Г. Из точки Г на ось абсцисс опускается перпендикуляр, точка D. Отрезок O-D определяет время осаждения t_0 , в течение которого в слое воды H , осе-

ли частицы с охватывающей гидравлической крупностью $U_0 = H/t_0$, мм/с.

Для определения $U_{гр}$ ($U_{мин}$) из той же точки А к кривой $\Xi=f(t)$ проводится касательная (точка Б). Из точки касания опускается перпендикуляр на ось абсцисс (точка В). Отрезок О-В определяет интервал времени $t_{мин}$ (или $t_{гр}$), в течение которого в слое воды Н осели частицы с крупностью $U_{гр}$ (или $U_{мин}$), равной $H/t_{мин}$, мм/с.

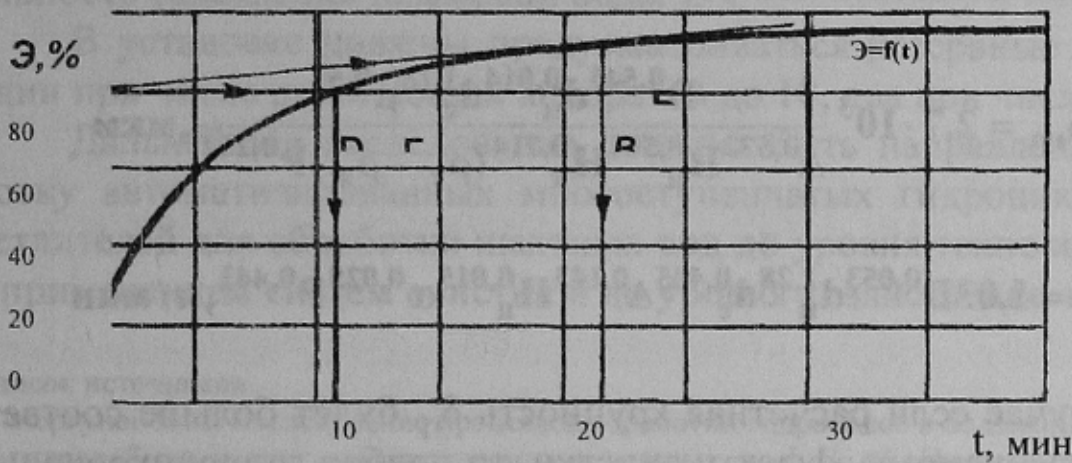


Рисунок 1 - Кинематика отстаивания шахтных вод ($q=3\text{г/л}$; $H=200\text{мм}$)

Граничный диаметр частиц, задерживаемых при заданном эффекте, определяется по формуле Стокса:

$$\delta_{гр} = \sqrt{\frac{18 \mu U_{гр}}{100(\rho_{т} - \rho_{ж})g}}$$

После определения граничной крупности частиц, по таблицам или по данным заводов-изготовителей, подбирается диаметр гидроциклона D в соответствии с требуемым δ . Затем назначаются размеры его основных узлов $d_{п}$, $d_{с}$, Δ , α , $H_{ц}$, $H_{к}$, а также давление $P_{п}$, под которым подается вода на вход гидроциклона.

Таблица 1 - К выбору диаметра гидроциклона

D, мм	25	40	60	80	100	125	160	200	250	360	400	500
δ , мкм	8-20	10-30	15-35	18-40	20-50	25-60	30-70	35-85	40-110	45-150	50-170	55-200

Давление на входе в напорный гидроциклон принимается:

- при одноступенчатых схемах осветления и сгущения осадков и многоступенчатых установках, работающих с разрывом струи-0,15...0,4 МПа;

- при многоступенчатых схемах, работающих без разрыва струи-0,35...0,6 МПа. Далее выполняется проверочный расчет граничной крупности частиц и производительности гидроциклона по зависимостям [3] или СНиП 2.04.03-85:

$$\delta_{гр} = 2,7 \cdot 10^3 \frac{D^{0,543} d_n^{0,014} d_c^{1,13} \mu^{0,5}}{\Delta^{0,572} H_{ц}^{0,507} H_{к}^{0,714} (\rho_r - \rho_{ж}) P^{0,222}}, \text{ мкм}$$

$$Q = 1,03 D^{0,053} d_n^{1,28} d_c^{0,405} \Delta^{0,143} H_{ц}^{0,015} \alpha^{0,025} P^{0,443}, \text{ л/мин}$$

В случае если расчетная крупность $\delta_{гр}$ будет больше соответствующей требуемому эффекту очистки, то подбор гидроциклона необходимо повторить. После определения производительности одного аппарата, определяют число рабочих гидроциклонов, исходя из общего количества очищаемых вод.

Выводы и направление дальнейших исследований. Малые габариты гидроциклонных установок позволяют их использование в системах обработки шламовой воды на гидроучастках шахт с обычной технологией.

Для достижения требуемой эффективности очистки вод их обработка в напорных гидроциклонах может осуществляться в одну, две или три ступени путем последовательного соединения аппаратов, как с разрывом струи, так и без разрыва. На первой ступени следует использовать аппараты больших размеров для задержания основной массы взвешенных веществ и крупных частиц.

Для сокращения потерь воды с удаляемым осадком шламовый патрубок гидроциклона первой ступени следует герметично присоединить к шламонакопителю.

Для обеспечения заданной эффективности осветления воды необходимо регулирование работы гидроциклона. Наибольшее применение имеет способ регулирования сечения шламового патрубка (пескового отверстия) [2, 4]. Применение пустотелого резинового кольца в качестве исполнительного органа для изменения плотности

сгущенного продукта требует одновременной их замены (из-за значительного неравномерного износа) во всей батарее гидроциклонов. Использование гидравлического регулируемого затвора устраняет недостатки резинового дросселя. Принцип действия такого затвора основан на погружении песковой насадки в неглубокий тарельчатый диск, который автоматически перемещается вверх-вниз, изменяя сопротивление насадка (плотность сгущенного продукта, т.е. эффективность осветления шламовой воды).

В установке должны предусматриваться резервные аппараты: - один при числе работающих аппаратов до 10, два при числе до 15.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку автоматизированных многоступенчатых гидроциклонных осветлителей для обработки шахтных вод до уровня технологических, а с применением систем очистки и до уровня хозяйственно-питьевых.

Список источников.

1. Моргунов В.М. Исследование процессов обработки гидросмеси в подземных условиях при гидродобыче и при очистке производственных вод. В сб. Научные труды ДонГТУ. Вып.16,серия горно-электромеханическая. - Донецк: ДонГТУ,2000,-С 213-221.
2. Акопов М.Г., Классен В.И. Применение гидроциклонов при обогащении углей. М.: Госгортехиздат, 1960. - 128 с.
3. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: Недра, 1984. - 232 с.
4. Гудима В.И. Основы автоматизации обогатительных фабрик. М.: Недра, 1979. - 213 с.