

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЦИКЛОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ



О. А. ТОРОПОВ,
специалист
по гидроциклонам
(ООО «Веир Минералз РФЗ»)

Среди различных типов классифицирующего оборудования гидроциклоны являются наиболее универсальным и простым в эксплуатации оборудованием, требующим относительно небольших капитальных и эксплуатационных затрат, обладающим высокой производительностью, обеспечивающим требуемые экологические и санитарно-гигиенические условия труда. Как показывает практика, гидроциклоны, работающие в цикле «измельчение — классификация», позволяют регулировать ее загрузку и влиять на процесс измельчения. Повышение эффективности работы гидроциклонов и разработка практического метода расчета их параметров является актуальной задачей при повышении требований к качественным показателям выпускаемой конечной продукции обогатительных фабрик и снижении производственных затрат.

В данной статье предложена методика расчета рациональных параметров гидроциклонов с целью повышения эффективности процесса классификации в циклах измельчения железистых кварцитов при использовании новых конструкций гидроциклонов типа CAVEX. Теоретической основой предложенной методики послужили исследования процесса гидроциклонирования, выполненные рядом авторов, и расчеты его параметров с применением метода Эйлера для описания движения жидкости, уравнений неразрывности Бернулли и Навье — Стокса, теорий подобия и сопротивления движению жидкости, а также уравнения классической механики с использованием метода кинестатики. Кроме того, в расчетах использованы стохастические модели с учетом функций распределения частиц по физическим признакам.

В предложенной методике принято, что природа процессов, протекающих в гидроциклоне, обуславливается наличием внешнего нисходящего и внутреннего восходящего потоков, замкнутых циркулирующих вихрей между ними и воздушного столба по оси аппарата. Движение жидкости в гидроциклоне представле-

но как результирующее движение в трех направлениях: тангенциальном (окружном), осевом (вертикальном) и радиальном. При этом наиболее значимой является тангенциальная составляющая скорости жидкости, которая в долевого отношении от суммарной скорости потока составляет почти 95 %.

Используемая в настоящее время теория гидроциклонирования и формулы взаимосвязи между его основными параметрами дают возможность рассчитывать размер граничного зерна твердой фазы, производительность аппарата, расход продуктов через насадки. В силу идеализации процесса в теоретических и экспериментальных исследованиях многих авторов результаты значительно отличаются от рассчитанных теоретически. Причиной тому являются турбулентные пульсации, макроdiffузия частиц в потоке пульпы, эффект Магнуса и наличие сил Сэфмена в пристеночном слое, крупномасштабная турбулентность. Вопросу турбулентности потоков в гидроциклоне до настоящего времени уделялось мало внимания. Некоторые исследователи при решении классических уравнений вводили в них коэффициент турбулентной вязкости, делая попытку приблизить математическое описание процесса к его реальному аналогу, при котором коэффициент вариации значений тангенциальной скорости достигает 30 %.

При расчете параметров гидроциклона следует учитывать, что гидроциклонирование, как и другие процессы разделения мелких классов, имеют стохастическую природу, в основе которой лежат как детерминированные, так и вероятностные (случайные) физические явления. Случайные воздействия на частицу минерала, взвешенную в турбулизованной вязкой среде, можно рассматривать в качестве стационарного случайного процесса типа «белого шума» [1]. Траектория такой частицы динамической системы с «белым шумом» удовлетворяет системе стохастических дифференциальных уравнений движения — уравнений Ланжевена [2].

Указанный подход в совокупности с начальными и граничными условиями дает возможность рассчитывать выход продуктов гидроциклона [3]. Аналитическое решение данной задачи является весьма сложным и осуществляется численными методами на ЭВМ.

Сказанное справедливо для условий идеализированной твердой фазы. Однако при разделении частиц по плотности необходимо учитывать сложный фракционный состав твердой фазы, поэтому одной лишь плотности вероятности или концентрации твердой фазы не достаточно.

При решении этой задачи предложенная автором методика расчета учитывает результаты исследований, проведенных О. Н. Тихоновым, который ввел по-

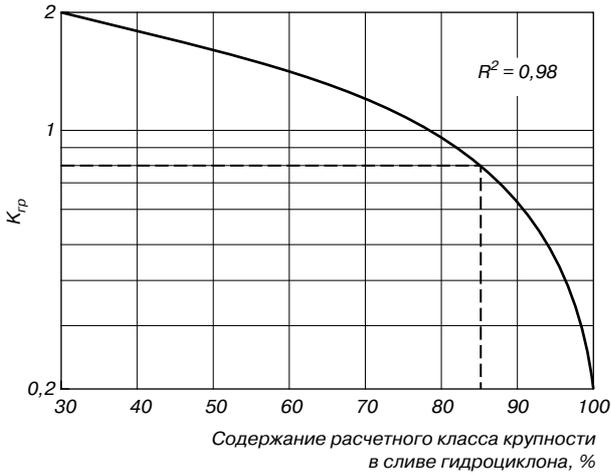


Рис. 1. Зависимость корректировочного коэффициента k_{gp} от содержания расчетного класса крупности в сливе

нятие гамма-функции (функции распределения выходов по крупности и плотности частиц).

Предложенный ниже вариант методики расчета параметров гидроциклона основан на результатах указанного выше теоретического анализа и предназначен для узкоотраслевого применения в циклах измельчения железорудных фабрик при следующих заданных (и в ходе расчета неизменных) исходных данных: плотность твердого в питании гидроциклона $\rho_{ТВ}$; производительность по твердому Q ; содержание β_c расчетного класса крупности d_c в сливе; определенный гранулометрический состав питания гидроциклонов. В расчете примем: $\rho_{ТВ} = 3,8 \text{ т/м}^3$; $Q = 279 \text{ т/ч}$; $d_c = 71 \text{ мкм}$; $\beta_c = 85 \%$.

Первый этап расчета по предложенной методике можно охарактеризовать как определение базовых параметров гидроциклона. Он представляет собой циклическую операцию повторных расчетов, осуществляемых с применением ЭВМ до получения равенства между заданными и расчетными параметрами.

Расчет граничной крупности частиц d_c , исходя из требуемого содержания расчетного класса в сливе β_c : $d_c = k_{gp} \cdot d_c$; k_{gp} определяют по рис. 1.

$$d_c = 0,871 = 57,1 \text{ мкм.}$$

Диаметр гидроциклона $d_{ГЦ}$ рассчитывают по формуле

$$d_{ГЦ} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,85 \cdot d_c}{k_{ТВ} \cdot k_{УВ} \cdot k_{Д}}\right)^{4,38}},$$

коэффициенты $k_{ТВ}$, $k_{УВ}$, $k_{Д}$ определяют по графикам рис. 2,

$$d_{ГЦ} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,85 \cdot 57,1}{1,78 \cdot 0,79 \cdot 0,89}\right)^{4,38}} = 650 \text{ мм.}$$

Для расчета распределения классов крупности в пески следует учитывать условие, при котором $d_{ср} > 10 \text{ мкм}$ либо $d_{ср} \leq 10 \text{ мкм}$, где $d_{ср} = n \cdot (n + 1)$, а n — номер сита в ситовом наборе по порядку, начиная с меньшего значения.

При $d_{ср} \leq 10 \text{ мкм}$

$$\epsilon_n = \epsilon_{исх} \cdot \left(\frac{\left(\exp\left(\alpha \cdot \frac{d_{ср}}{d_c}\right) - 1 \right) \cdot (1 - \epsilon_B)}{\exp\left(\alpha \cdot \frac{d_{ср}}{d_c}\right) + \exp \alpha - 2} + \epsilon_B \right),$$

где ϵ_n — извлечение n -ого класса крупности в пески, д. е.; α — коэффициент, учитывающий эффективность разделения по кривым Тромпа—Терра ($\alpha = 0,1 \div 5$); ϵ_B — извлечение воды в пески ($\epsilon_B = 0,1 \div 0,3$), д. е.

При $d_{ср} > 10 \text{ мкм}$ $\epsilon_n = \epsilon_{исх}$.

Результаты расчета, исходя из заданного распределения частиц различной крупности в питании гидроциклона, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели гидроциклонирования

Класс крупности частиц, мкм	-71	-140+71	-280+140	-560+280	-1600+560	-2000+1600	-3000+2000	Всего
Содержание в питании, %	19,7	28,3	26,3	15,9	8,5	1,3	0	100
Извлечение в пески, %	3,2	25,4	26,2	15,9	8,5	1,3	0	80,5

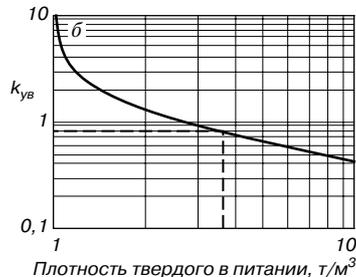
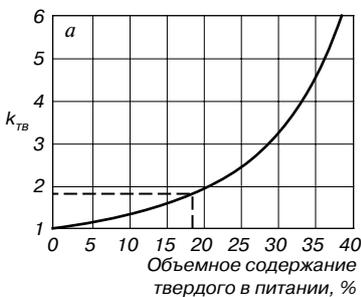


Рис. 2. Зависимость расчетных поправочных коэффициентов $k_{ТВ}$ (а), $k_{УВ}$ (б), $k_{Д}$ (в) от параметров пульпы в питании гидроциклона

С учетом данных табл. 1 извлечение расчетного класса –71 мкм в слив составит 84 %.

Затем сопоставляют заданное извлечение расчетного класса в слив ε_c с расчетным ε'_c . Если они совпадают, то диаметр (тип) гидроциклона выбран правильно, если не совпадают — необходимо провести перерасчет параметров, изменяя давление на входе в гидроциклон и объемное содержание твердого в питании.

Далее рассматривают число гидроциклонов и их конструктивные параметры:

требуемое число гидроциклонов N :

$$N = \frac{5000 \cdot Q}{3,6 \cdot \rho_{ТВ} \cdot C_{ТВ} \cdot d_{ГЦ}^{1,38}},$$

где $C_{ТВ}$ — объемное содержание твердого в питании, %;

$$N = \frac{5000 \cdot 279}{3,6 \cdot 3,8 \cdot 18,1 \cdot 650^{1,38}} = 0,74 \Rightarrow 1;$$

параметры насадок гидроциклона; исходя из принятых выше данных, определяем производительность гидроциклона по пескам $W_{п}$, л/с:

$$W_{п} = Q \cdot \left[\frac{\gamma_{п} \cdot C_{ТВ} + 100 \cdot \varepsilon_{в} \cdot C_{в}}{360 \cdot N \cdot \rho_{ТВ} \cdot C_{ТВ}} \right] = 31,$$

где $C_{в}$ — объемное содержание воды в питании, %; $\gamma_{п}$ — выход песков, %;

определяем диаметр песковой насадки $d_{п}$ по графику рис. 3 ($d_{п} = 120$ мм);

зная диаметр гидроциклона, определяем диаметр входного отверстия $d_{вх}$ по графику рис. 4 ($d_{вх} = 200$ мм);

диаметр сливной насадки рассчитывают по формуле

$$d_c = 10^5 \cdot 0,9 \sqrt{\frac{W}{k_c \cdot d_{вх}^{0,87} \cdot P^{0,5}}} = 232 \text{ мм},$$

где W — объем пульпы в питании гидроциклона, л/с; P — давление на входе в гидроциклон, кПа (коэффициент k_c определяют по графику рис. 5 ($k_c = 211$)).

Более точное значение диаметров насадок выбирают из имеющихся в комплекте к конкретному типу гидроциклона, близкие к расчетным.

Данный метод позволяет рассчитывать параметры современных гидроциклонов типа CAVEX при условии, что их диаметр более 250 мм, классификация происходит в водной среде при средней температуре 15 °С, а содержание твердого в пульпе не превышает 45 %.

Предложенная методика расчета и выбора гидроциклонов в настоящее время уже прекрасно зарекомендовала себя в России. Внедрение современных гидроциклонов CAVEX, дающих возможность изменять их конструктивные параметры на основе программного моделирования процессов классификации, позволило повысить технологические показатели цикла измельчения. Данные о работе гидроциклонных установок по сравнению с ранее установленными типами гидроциклонов приведены в табл. 2.

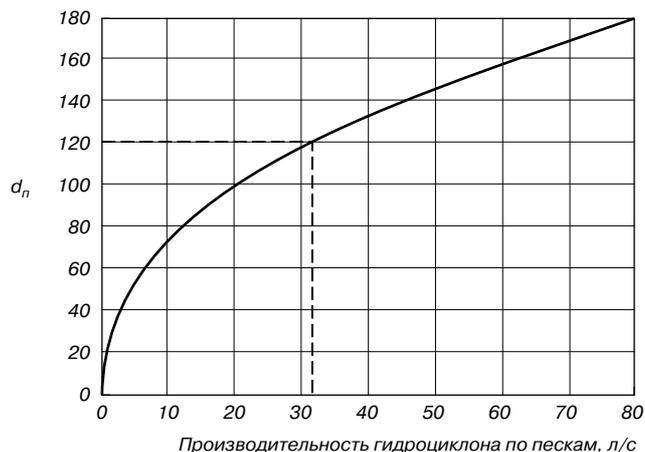


Рис. 3. Зависимость диаметра песковой насадки от диаметра гидроциклона

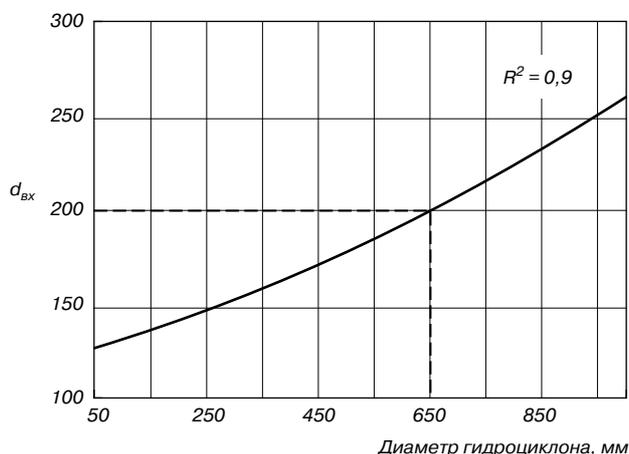


Рис. 4. Зависимость диаметра входного патрубка от диаметра гидроциклона

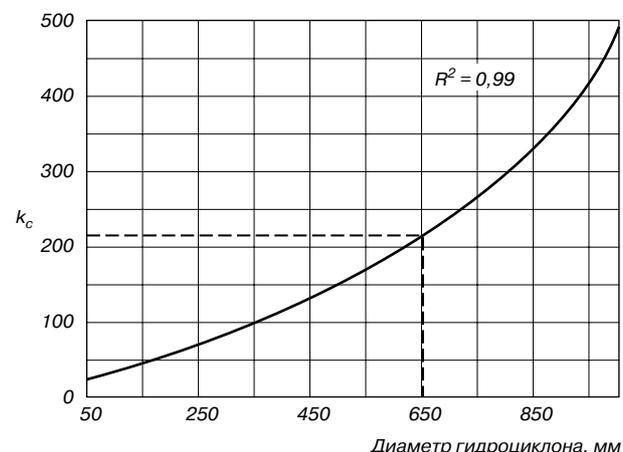


Рис. 5. Зависимость коэффициента k_c от диаметра гидроциклона

Таблица 2. Сравнительные показатели работы гидроциклонов типа CAVEX

Показатель	Горно-обогатительные комбинаты			
	Костомукшский	КМА-руда	Качканарский	Стойленский
Уменьшение диаметра гидроциклона, мм	60	100	60	60
Сокращение числа установленных гидроциклонов, ед.	1	0	1	2
Повышение производительности цикла измельчения при неизменном качестве концентрата, %	0	3	8	8
Снижение рабочего давления в питании гидроциклона, кПа	90	70	0	100
Снижение циркулирующей нагрузки, %	80	70	20	0
Увеличение эффективности классификации по расчетному классу крупности, %	0,3	11	15	1
Увеличение общей эффективности классификации, %	11	11	18	5

Список литературы

1. Гардинер К. В. Стохастические методы в естественных науках. — М.: Мир, 1986.
2. Кутепов И. Г., Терновский А. М. Гидроциклонирование. — М.: Наука, 1994.
3. Поваров А. И. Гидроциклоны. — М.: Госгортехиздат, 1961. ГЖ

CALCULATION OF PARAMETERS OF HYDROCYCLONES OF NEW GENERATION
Торопов О. А.

The technique of technological calculation of CAVEX hydrocyclones is proposed. Concrete example of calculation for conditions of classification of comminuted iron-containing ore is presented. Advantages of hydrocyclones of new type during their operation in industrial conditions are shown.

Key words: hydrocyclones, calculation technique, choosing parameters, efficiency of hydro-classification.

Ярмарка Marble-2008

Международная ярмарка Marble-2008 по природному камню и технологии его обработки завершилась с большим успехом. Ее посетили представители 86 стран, что является рекордным показателем. Она оказала благотворное влияние на турецкую промышленность по обработке природного камня, испытывавшую определенные финансовые затруднения.

Проведение 14-й международной ярмарки в Измире, пользующемся в мире высокой репутацией, гарантировало ее успех. Она стала крупнейшей экспортной ярмаркой в Турции.

В ярмарке, проходившей с 26 по 29 марта 2008 г. и расположившейся на площади 42, 5 тыс. м², приняли участие почти 1,1 тыс. фирм из Турции и других стран. На ярмарке побывали свыше 51 тыс. посетителей со всего мира, в том числе из 71 города Турции.

В экспозиции предыдущей ярмарки Marble-2007 были представлены 1038 участников из 34 стран. Ее посетили около 50 тыс. человек, представлявших 77 стран мира.

Для продвижения экспорта природного камня из Турции на новые рынки, укрепления своих позиций на мировом рынке и привлечения новых покупателей на ярмарку были приглашены более 3 тыс. зарубежных торговых представителей. Особенно широко были представлены торговые организации Китая (200 человек) и Индии. Специальные гостевые программы были предложены представителям Азербайджана, Канады, Израиля, Кыргызстана, Пакистана и Российской Федерации. Интерес к заключению контрактов проявили представители американского континента — Аргентины, Колумбии, Коста-Рики, Пуэрто-Рико и Венесуэлы.

В экспозиции были представлены 8500 т обработанных, частично обработанных и необработанных камней; 400 блоков общей массой 20 т были проданы. Многие экспоненты за четыре дня достигли объема продаж, соответствующего годовой добыче камня в их карьерах. Объем продаж отдельных крупных фирм, ориентированных на экспорт, составил 250–300 тыс. долл. США.

Запасы природного камня в Турции оцениваются в 14 млрд т, а годовой доход от экспорта природного камня достигает 1,5 млрд долл. США. Специалисты полагают, что торговые связи, установленные в ходе ярмарки, позволяют увеличить эти показатели.

Большое внимание участников выставки привлекло оборудование для обработки крупнотоннажных блоков и камней. Покупателями такого оборудования явились не только турецкие, но и зарубежные фирмы.

Вклад ярмарки в экономику Измира и Турции оказался весьма значительным: общие отчисления составили почти 75 млн долл. США.