

© Д.М. Ткачук, В.А. Измалков, 2003

УДК 621.16:621.928.37

Д.М. Ткачук, В.А. Измалков

ГИДРОЦИКЛОН – ОБОГАТИТЕЛЬ

Широко используемым гравитационным методом разделения гетерогенных систем в обогащательной промышленности на фракции является гидроциклонирование [1, 2]. Гидроциклоны просты и дешевы в изготовлении, надежны и удобны в эксплуатации, обладают высокой производительностью. Недостатком конструкции напорного гидроциклона является наличие процесса перемешивания продуктов разделения в рабочей области аппарата, что не обеспечивает получение чистых продуктов разделения. Известны конструкции большого числа гидроциклонов [2, 3], но они относятся к модернизации ввода или разгрузки продукта, не затрагивая физического принципа классификации частиц по их плотности и крупности в пристенной области аппарата. Модернизация конструкции аппарата, за счет дополнительных механизмов центробежной классификации, приводит к улучшению его эксплуатационных характеристик.

Предложен гидроциклон-обогащатель, позволяющий повысить эффективность классификации твердых частиц класса – 0,5 мм, за счет сочетания механизма центробежной классификации и процесса оживления зернистого материала в специальных каналах (обогащательных кольцах).

На рис. 1 изображен общий вид гидроциклона-обогащателя, выполненного из высокоизносостойкого полиуретана, с частичным вырезом в районе обогащательного кольца для схематического изображения поступления оживляющей воды в обогащатель-

ные кольца.

С внешней стороны конической части 1 корпуса гидроциклона установлен герметичный корпус 2 (кожух). Воду в кожух подают под избыточным давлением не ниже 0,4 Мпа, регулируя подачу и расход воды вентилем 3. По периметру конуса гидроциклона-обогащателя размещены обогащательные кольца 4 по винтовой линии к вершине конуса с постоянным мелким шагом. Ширина и глубина обогащательного кольца около 2 мм. В стенке каждого кольца имеются сквозные отверстия 5 диаметром 0,5-1,0 мм., максимальный диаметр отверстий находится в верхней части аппарата, минимальный - в нижней его части. Сквозные отверстия в стенке каждого кольца расположены под углом 45° по касательной к сечению, параллельному плоскости основания конуса корпуса 1 гидроциклона, против вращательного движения 6 частиц около стенки гидроциклона (или навстречу внешнего потока аппарата, где и происходит процесс разделения). Число отверстий на одном кольце, их диаметр и расположение является результатом многолетних исследований и зависит от фракционного состава частиц сепарируемого продукта и гидродинамики закрученного жидкостного потока в рабочей зоне аппарата.

Благодаря тангенциальному вводу исходного продукта вводимой суспензии сообщается враща-

тельное движение по винтовой линии вдоль внутренней поверхности конической части корпуса аппарата. Крупные и тяжелые частицы под действием центробежных сил отбрасываются к стенке аппарата и в обогащательные кольца, оттесняя жидкость и легкую фракцию частиц к центру гидроциклона-обогащателя.

Задача обогащательных колец – сохранение в них гидродинамических условий квазистатического расслоения постели на слои с обеспечением псевдостатического режима обогащения и не препятствие перемешивания образовавшихся слоев тяжелых и легких частиц.

Оживляющая вода подается в обогащательное кольцо под давлением выше, чем в аппарате (с учетом потерь давления в сквозных отверстиях). Подается она тангенциально навстречу внешнего закрученного потока, оказывающего основное влияние на процесс разделения в гидроциклонных аппаратах, которое в процентном отношении составляет 90-95% [2]. Расслоение слоя зернистого материала происходит в том случае, когда удельное давление зернистого материала на поверхность корпуса аппарата уравнивается силой гидравлического давления, создаваемого оживляющей водой (рис. 2). Для граничного зерна обеспечивается равенство всех действующих сил в радиальном направле-

Рис. 1. Схема гидроциклона-обогащателя с изображением поступления оживляющей воды в аппарат: корпус аппарата; 2- герметичный кожух (водяная рубашка); 3-вентиль; 4-обогащательные кольца; 5-сквозные отверстия; 6- вращательное движение частиц

Обогатительные числа	Гладкоконусный гидроциклон						Гидроциклон- обогатитель					
Номер опыта	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N1	N2	N3	N4	N5	N6
α , %	50	52	47	48	50	49	51	48	49	52	48	50
ν , %	40	38	41	39	42	40	37	42	41	37	39	40
β , %	65	67	64	64	67	65	91	93	88	87	89	90
$E_{эфф.}$, % (сред.зн)	24						64					

нии, центробежная сила уравнивается силой давления воды из сквозного отверстия. С другой стороны происходит разрыхление зернистого материала в обогатительном кольце - возрастает среднее расстояние (просветы) между частицами. За счет разрыхленности «кипящего слоя» тяжелые крупные частицы (крупнее граничного зерна) под действием центробежных сил пробивают коридор между соседними частицами и поступают в кольцо, постепенно накапливаясь там (рис.2). Мелкие частицы меньше граничного зерна вымываются оживающей водой из кольца.

Движение суспензии в обогатительном кольце имеет совершенно другой характер, чем в пристенной области гладкостенного стандартного гидроциклона. Расчетная модель дополняется рядом новых положений. Главное из них состоит в том, что при движении в обогатительном кольце частицы и суспензия перемещаются как единое целое с рабочей поверхностью, равной рабочей поверхности обогатительного кольца. Наряду с досто-

инством обогатительных колец, им свойственны некоторые недостатки. Наблюдается дрейф размера и плотности граничного зерна для обогатительного кольца в зависимости от гранулометрического состава, плотности и давления подачи исходной суспензии, угла конусности аппарата. Напорные цилиндрические гидроциклоны работают в развитом турбулентном режиме, характеризующимся турбулентными пульсациями суспензии в радиальном направлении в зоне обогащения.

Поступательное движение внешнего потока от места подачи к вершине конуса обуславливается также уменьшением радиуса вращения и трением о стенки и давления суспензии на стенки в обогатительных кольцах. С уменьшением среднего диаметра сепарируемых частиц высота и размер углубления винтового кольца также уменьшается, как и шаг винтовой линии. Точный учет давления в обогатительных кольцах как со стороны оживающей воды, так и центробежных сил представляет основную трудность в проектировании и эксплуатации этих аппаратов.

В реальных условиях разгрузка обогатительных колец зависит от конструктивных особенностей аппарата. Так, размеры воздушного столба определяют основные технологические показатели разгрузки отсепарированного продукта и слива через сливной и песковый патрубки соответственно. В гидроциклоне-

обогатителе соотношение диаметров сливного и пескового патрубков подбирается таким образом, чтобы размеры воздушного столба (в отличие от стандартного гидроциклона) были предельно максимальны, обеспечивающие захват и унос всей твердой фазы с гладкой поверхности аппарата кроме обогатительных колец. По мере того, как крупные плотные частицы заполняют обогатительные кольца (максимум приходится на нижнюю часть аппарата), поток в обогатительных кольцах идет по спирали к песковой насадке, через которую выходит только та часть внешнего потока, которая находится в обогатительных кольцах.

В зависимости от свойств зернистого материала и скорости подачи оживающей воды в обогатительное кольцо наблюдается несколько стадий процесса. В среднем, содержание тяжелых частиц в кольцах повышается 10 раз по сравнению с исходным. В настоящее время существует две модификации конструкции гидроциклона-обогатителя для обогащения, сепарирования, осветления и концентрации мелкодисперсных суспензий, содержащих частицы класса $-0,25$ мм. Например, обогатительные кольца расположены кольцеобразно.

Проведенные испытания гидроциклона-концентратора с обогатительными кольцами по спирали сопоставлялись с экспериментальными данными сепарирования водных суспензий в длинноконусном 30-мм гидроциклоне одинаковых геометрических размеров с концентратором. В качестве исходной суспензии использовалась водная смесь минералов магнетита и кварца ($\rho_{\text{кварц}} = 2650$ кг/м³, $\rho_{\text{магн.}} = 4500-5300$ кг/м³) с концентрацией твердой фазы от 50 до 200 кг/м³. Размер частиц менее 100 мкм. Результаты серии испытаний концентратора показали, что песковый продукт гидроциклона-обогатителя содержит 90% тяжелых частиц (магнетита) и 10% (кварца) легких частиц суспензии (по массе сухих

Рис. 2. Концентрационное кольцо со сквозными отверстиями для подачи оживающей воды

веществ) при исходном содержании твердых частиц к легким равном 1:1. При сепарировании суспензии в гидроциклоне песковый продукт содержит 65% тяжелых частиц и 35% легких частиц (по массе сухих веществ) при том же исходном содержании твердых частиц к легким равном 1:1.

Для сравнения эффективности процесса в гидроциклоне и концентрате воспользуемся формулой [4]

$$E_{эфф} = 100 \nu(\beta - \alpha)[\alpha(100 - \alpha)]^{-1},$$

где $E_{эфф}$ – эффективность обогащения, %; ν – выход концентрата, %; β – содержание ценного компонента (магнетита) в концентрате, %; α – содержание ценного компонента (магнетита) в исходном продукте, %.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице N1, согласно которой эффективность обогащения в

концентрате в 2,5 раз выше, чем в стандартном гидроциклоне.

Гидроциклон-обоганитель использовали для исследований по обогащению первичного концентрата, содержащего золото. Испытания проводились в лабораторных условиях для определения оптимального числа отверстий на одном кольце, их диаметра и расположения в зависимости от фракционного состава суспензии и давления в обогащательных кольцах со стороны оживающей воды равной 1,0 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 МПа. Наибольший эффект обогатимости наблюдался при давлении 3,0 МПа. По сравнению со стандартной конструкцией гидроциклона выход золота класса –0,5 мм в пески увеличился в 3 раза (в стандартном длинноконусном гидроциклоне содержание золота в песках примерно в три раза больше чем в

исходном продукте). Применение концентратов в технологических циклах может быть рекомендовано после осуществления предварительных испытаний золотосодержащих проб руды и концентрата в лабораторных условиях.

С целью обеспечения более эффективного разделения и классификации твердой фазы в технологических процессах рекомендуется использовать ступенчатые схемы (последовательные, параллельные и комбинированные) соединений мультициклонов, состоящих их батарей гидроциклонов-обогащателей небольшого диаметра. Станция может дать увеличение содержания золота в концентрате не менее чем от 200 до 1000 раз в зависимости от числа ступеней обработки продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОСТ 26-01-116-79 разработанный Дзержинским НИИХиммаш.
2. Терновский И.Г. Кутепов А.М. Гидроциклонирование. – М.: Наука, 1994. – 350с.

3. Поваров А.И. Гидроциклона на обогащательных фабриках. – М.: Недра, 1978. – 186 с.
4. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения: Учеб. Для вузов. – М.:Недра, 1993.-

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ткачук Д.М. – кандидат технических наук, Институт биохимической физики РАН им. Н.М. Эмануэля.
Измалков В.А. – Московский государственный горный университет.

РУКОПИСИ. ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. Филиппова А.А. Ввод графической информации в ГИС для создания АС экологического мониторинга угольной шахты – 7 с. (27/9-269).
2. Филиппова А.А. Географический анализ данных в АС экологического мониторинга угольной шахты на базе Arc View – 6 с. (27/9-270).
3. Рыжов А.М., Карпов А.В. Исследование работы элементов армополимерной анкерной крепи на шахте «Распадская» – 7 с. (27/9-271).
4. Чаплыгин В.В. Расчет параметров порога перелива секционного зумпфа забойной гидротранспортной установки – 5 с. (27/9-272).
5. Стеценко В.Я., Семилетов В.А. О свойстве резонансной монотонности решения системы линейных алгебраических уравнений – 11 с. (27/9-273).
6. Семилетов В.А., Костенко Т.А., Стеценко В.Я. О решении операторных уравнений второго рода вида $x = Ax + f$ в случае, когда спектральный радиус оператора A больше 1 – 23 с/ (27/9-274)/

