© С.И. Саломатова, А.И. Матвеев, 2008

УДК 622.722

С.И. Саломатова, А.И. Матвеев

ФЛОТАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕЛКОГО И ТОНКОГО ЗОЛОТА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ

Семинар № 25

Флотационный метод остается одним из наиболее традиционных методов обогащения золота. Совершенствование гравитационных схем обогащения, в том числе с использованием современных гравитационных центробежных аппаратов не позволяет достаточно полно извлекать мелкое и тонкое золото.

Вместе с тем, при флотационном обогащении золотосодержащих материалов получаются низкокачественные концентраты, содержания золота в них не превышает 200 г/т. Это связано с особенностью запаздывающей кинетики флотации золота по сравнению с сульфидными минералами.

Кроме того, при использовании в операциях флотационной перечистки традиционных флотомашин, перечистка происходит в режиме перефлотации, т.е. пенный концентрат основной флотации переводится в камеру флотационной машины, где процесс перечистной флотации золота вновь производится из объема пульпы, по этой причине существует высокая вероятность потери труднообогатимых фракций золота.

Нами предлагается перечистку флотационных концентратов, содержащих мелкое и тонкое золото проводить в аппаратах центробежного типа, комбинирующих флотационный и гравитационный механизмы разделения минеральных частиц. При этом перечистка пенного чернового концентрата основной флотации проводится переводом его на тонкий поверхностный слой воды, аналогично способу пленочной флотации, с приложением дополнительных отрывающих центробежных сил на частицы. Для реализации данного способа разработаны центробежные флотомашины двух типов: с центральной разгрузкой концентрата и с периферийной разгрузкой концентрата [1, 2].

В центробежной флотомашине с центральной разгрузкой концентрата с точки зрения создания разделительных процессов минералов на поверхности вращающейся жидкости наиболее рациональными моментами являются:

– возможность создания устойчивой динамической проточной системы при тангенциальной подаче воды (пульпы) с разгрузкой поверхностных слоев воды через нижнее отверстие;

– самоподдерживающее вращение жидкости внутри конуса с формированием стабильного профиля образующейся воронки, нивелирующего мгновенные колебания расхода поступающей пульпы;

– дифференцированное воздействие центробежных сил по линии спиралевидной траектории движения гидрофобных минеральных частиц на поверхности вращающейся жидкости, помимо действующих сил гравитации и поверхностно-капиллярных сил.

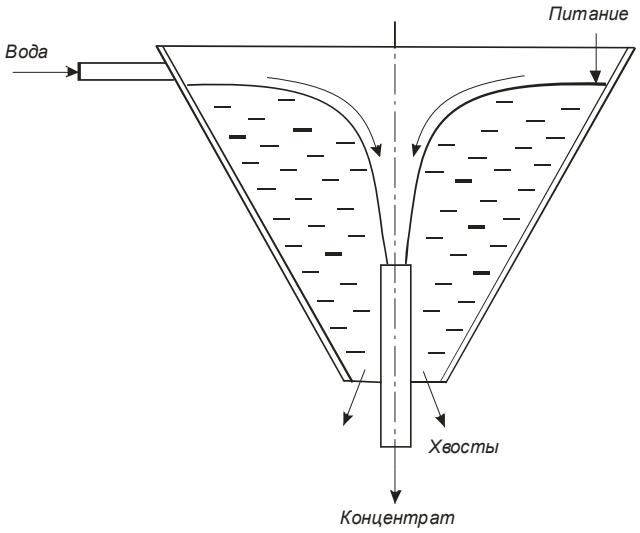


Рис. 1. Схема движения потоков продуктов во флотомашине с центральной разгрузкой концентрата

Схема движения минеральных частиц в центробежной флотомашине представлена на рис. 1.

Гидрофобное зерно, движущееся по поверхности водной воронки, образующейся при истечении жидкости из вершины неподвижного обратного конуса, сопровождающееся вращением воды (вариант центробежной флотомашины с центральной разгрузкой концентрата) разгружается через центральный патрубок, хвосты разгружаются через нижнее разгрузочное отверстие [3].

Разделение минеральных частиц на поверхности вращающейся жидкости будет определяться соотношением действующих сил, где дополнительно участвуют капиллярная и центробежная силы.

При условии равновесия частицы на поверхности вращающейся жидкости в центробежном флотационном конусе на частицу действуют: флотационная сила ($F_ф$), гидростатическая сила выталкивания (Архимедова сила), ($F_г$), капиллярная сила Лапласа ($F_л$), сила гравитации ($F_т$), центробежная сила ($F_ц$).

Величина силы Кориолиса не учитывается, так как, в нашем случае принимается условие, при котором относительная скорость перемещения частицы относительно вращающейся поверхности воды считается много меньшим чем скорость потока.

Расклад сил, действующих на частицу, на поверхности вращающейся жидкости приведен на рис. 2.

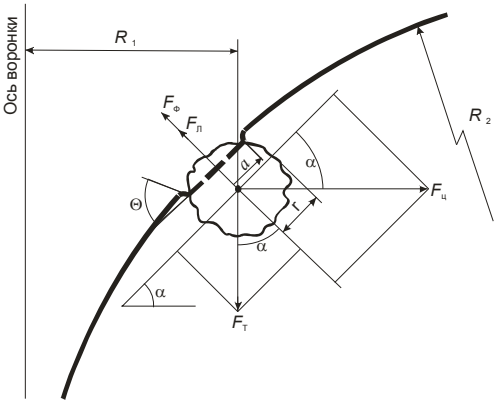


Рис. 2. Расклад сил, действующих на частицу на поверхности вращающейся водной воронки: R_1 – радиус круга (от вертикальной оси конуса до центра тяжести частицы на поверхности жидкости), м; R_2 – радиус поверхности жидкости (водной воронки), м; r – радиус частицы, м; a – радиус контура прилипания, м; θ – угол наклона поверхности жидкости к горизонту у периметра трехфазного контакта, град.; α – угол смещения нормали кривой профиля воды в конусе в точке нахождения частицы от вертикальной оси конуса, град.

С учетом всех сил условие равнове-

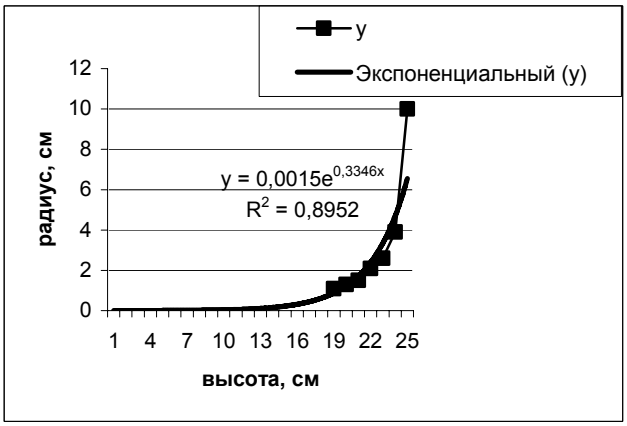


Рис. 3. Профиль образующейся водной воронки

сия примет вид:

$$\overline{F}_{ф} + \overline{F}_{г} + \overline{F}_{л} = \overline{F}_{T} + \overline{F}_{ц}$$

При соблюдении баланса сил условие отрыва частицы с поверхности газ-жидкость при постоянных значениях поверхностного натяжения жидкость-газ, крупности и плотности частиц определится:

$$F_{ц} \sin\alpha = 2\pi \quad a\sigma_{ж-г} \sin\theta +$$

$$+\pi a^2 \sigma_{ж-г} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) -$$

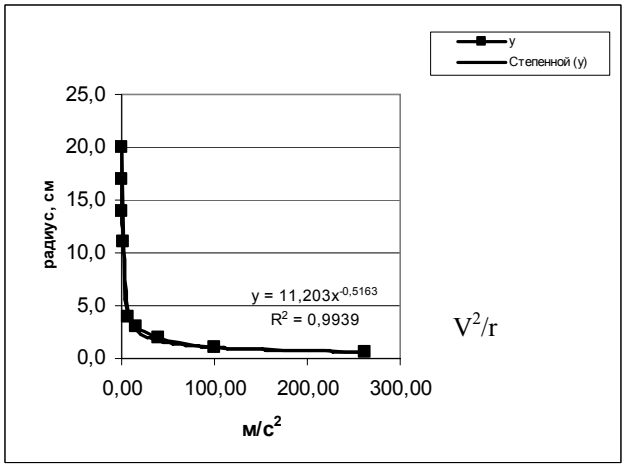
$$-\pi r^3 (\rho_{м} - \rho_{в}) g \cos\alpha, \qquad (1)$$

где $\rho_{м}$ и $\rho_{в}$ – плотности частиц и жидкости, кг/м^3; $\sigma_{ж-г}$ – поверхностное натяжение на границе жидкость-газ, мН·м$^{-1}$.

Центробежная сила, отрывающая частицы с поверхности газ-жидкость во флотомашине с центральной разгрузкой концентрата зависит от профиля кривизны поверхности образующейся водной воронки и изменения скорости вращения жидкости по ее высоте. На рис. 3 представлен профиль поверхности образующейся водной воронки, экспоненциальная функция наиболее соответствует характеру кривой.

Проведена оценка характера и динамики движения частиц по закручивающейся поверхности, для определения скорости вращения поверхностного слоя воды на определенном участке водной воронки и степени воздействия центробежной силы на частицу.

Как видно из графика рис. 4, величина центробежного ускорения частицы по мере перемещения частиц вниз по водной воронке, увеличивается. Степенная функция наиболее соответствует характеру кривой. Следовательно, в соответствии с общим уравнением (1), частицы, обладающие разными гидрофобными свойствами (разны-



V^2/r

Рис. 4. Зависимость величины центробежного ускорения на частицу от радиуса водной воронки

Рис. 5. Образование водной воронки в конусе

ми краевыми углами θ), при прочих равных условиях (плотности и крупности), на разных участках траектории движения в результате воздействия центробежных сил должны отрываться и переходить в водную фазу. При этом селективность процесса разделения минералов регулируется высотой разделительных патрубков, устанавливаемых соосно через нижнее разгрузочное отверстие.

Наиболее устойчивый уровень и стабильный профиль воронки наблюдается на конусе с углом 60 град, который в данном случае принят как базовый вариант разделительного конуса для дальнейших исследований (рис. 5). При этом за основу критерия выбора конфигурации разделительного конуса принята стабильность нижнего воздушного столба, так как в разделительном процессе отсекание продуктов разделения производится установкой соосно устанавливаемых круглых патрубков разного диаметра для улавливания приповерхностных слоев и камерного продукта, выделяемого по периферийной зоне разгрузочного нижнего отверстия. Верхний диаметр участка перегиба составляет 2,5 см, высота воздушного столба 20 см.

При выборе диаметра и высоты установки отсекающего патрубка толщина водного слоя жидкости, снимаемая отсекающим патрубком должна составлять не менее трех максимальных размеров частиц. Экспериментально установлено, что такой слой воды отсекается патрубком диаметром 8 мм, при расположении верхнего его края на высоте 140 мм от нижнего основания конуса.

На реальных технологических продуктах обогащения исследована селективность разделения частиц с разными гидрофобными свойствами по высоте водной воронки, установкой отсекающего патрубка диаметром 8 мм на высоту 15; 80 и 140 мм. Максимальное содержание золота в концентрате получено при высоте 80 мм, с увеличением или уменьшением высоты патрубка содержание золота в концентрате снижается.

Для исследования возможности повышения качества золотосодержа-щего концентрата флотоколонны, в промышленных условиях проведена серия опытов по перечистке концентрата флотоколонны на центробежной флотомашине с центральной разгрузкой концентрата в режиме пленочной флотации. Концентрат флотоколонны отбирался непосредственно из процесса и направлялся на перечистку в центробежную флотомашину. В табл. 1 приведены наиболее характерные результаты флотационной перечистки. В результате проведенной перечистки получен концентрат с содержанием 46,02 г/т золота, при извлечение золота в концентрат 65,65 %, степень концентрации составила 2,36.

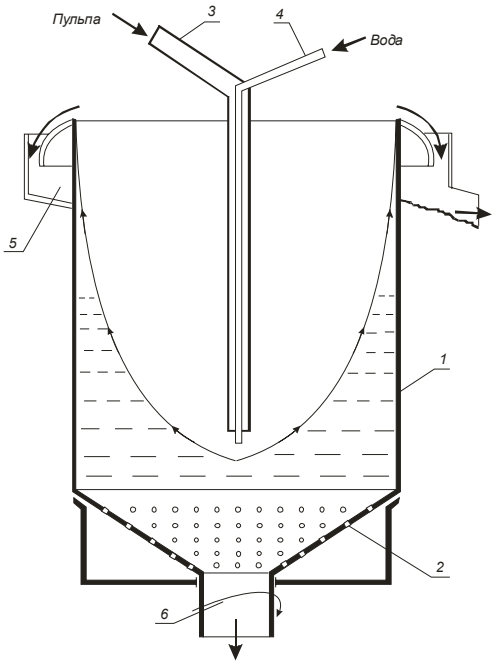


Рис. 6. Схема центробежной флотомашины с периферийной разгрузкой концентрата: *1* - цилиндрическая часть корпуса флотомашины; *2* - перфорированная коническая часть корпуса флотомашины; *3* - патрубок для подачи пульпы; *4* - патрубок для подачи воды; *5* - желоб для пенного продукта; *6* - патрубок для вывода хвостов

Второй тип центробежной флотомашины – вращающаяся флотомашина с периферийной разгрузкой концентрата. Схема флотомашины представлена на рис. 6.

Образование профиля водной поверхности внутри камеры происходит за счет вращения камеры флотомашины. Профиль образующейся поверхности воды в камере подчиняется закону $y = b + ax^2$ и представляет собой параболу. Условия отрыва минеральных частиц с поверхности вращающейся жидкости соответствуют формуле (1). При этом в отличие от центробежной флотомашины первого типа, в данном случае значение отрывающей силы одинаково в любой точке на поверхности воды.

Серией экспериментов, проведенных в условиях фабрики, исследовалась возможность флотационной перечистки концентрата флотоколонны на центробежной флотомашине с периферийной разгрузкой концентрата в режиме пленочной флотации. Концентрат флотоколонны отбирался непосредственно из процесса и направлялся на перечистку в центробежную флотомашину. В табл. 2 приведен наиболее характерный результат по флотационной перечистке концентрата флотоколонны, полученный концентрат перечистки содержит 43,42 г/т золота, при извлечении в концентрат 61,32 %, степень кон-центрации составила 2,22.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что в центробежной флотомашине первого типа селективность процесса разделения минералов регулируется высотой разделительных патрубков, устанавливаемых соосно через нижнее разгрузочное отверстие, а в центробежной флотомашине второго типа разделение минеральных частиц регулируется скоростью вращения камеры флотомаши-

Таблица 1

Результаты флотационной перечистки концентрата флотоколонны на центробежной флотомашине

Исходный продукт	Выход Концентрата перечистки, %	Содержание в исходном, г/т	Содержание золота в концентрате перечистки, г/т	Извлечение в концентрат, %
Концентрат флотоколонны	27,82	19,5	46,02	65,65

Таблица 2

Результаты флотационной перечистки концентрата флотоколонны на центробежной флотомашине с периферийной разгрузкой концентрата

Исходный продукт	Выход концентрата, %	Содержание в исходном, г/т	Содержание в концентрате, г/т	Извлечение в концентрат, %
Концентрат флотоколонны	27,54	19,5	43,42	61,32

ны.

Экспериментальными работами по использованию центробежных аппаратов пленочной флотации в целом подтверждена возможность повышения качества концентратов по содержанию золота, проведением перечистки золотосодержащих сурьмяных флотационных концентратов Сарылахской обогатительной фабрики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Патент* РФ №2183998 7В03Д 1/02 1/24 /Способ флотации и центробежная флотационная машина/ А.И. Матвеев, С.И .Саломатова, В.Б. Яковлев, А.М. Монастырев, Н.Г. Еремеева, Е.С. Слепцова; Заявл.25.05.2000; Опубл. 27.06.2002 // Изобретения. Полезные модели. – 2002. – №18(ч.2). – с.170.

2. *Патент* РФ № 2248849 В 03 D1/24 Способ флотации и центробежная флотационная машина/ А.И. Матвеев, С.И. Саломатова, А.И. Чикидов, А.М. Монастырев, В.Б. Яковлев; Заявл.05.08.2002; Опубл. 27.03.05// Изобретения. Полезные модели. - 2005. - №9. - ч.4. - С. 949.

3. *Саломатова С.И., Матвеев А.И.* Центробежная флотация во флотомашине конусного типа. //Горный информационно-аналитический бюллетень №10. – М.: МГГУ, 2001. - С. 228-230. ГИАБ

Коротко об авторах

Саломатова С.И., Матвеев А.И. – Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.А. Абрамов.*