

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ АЭРАЦИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ

Канд. техн. наук, доц. ЛЕДЯН Ю. П., асп. СЕЛИВОНЧИК В. В.

Белорусский национальный технический университет

Основным технологическим процессом, применяемым для обогащения полезных ископаемых, является флотация. Флотационный метод обогащения заключается в разделении компонентов измельченной руды, обладающих различной смачиваемостью поверхности. Он основан на разной способности гидрофобных и гидрофильных частиц удерживаться на границе раздела фаз в жидкой среде. Применение флотационных реагентов позволяет искусственно изменять смачиваемость поверхности минералов. Плохо смачиваемые водой (гидрофобные) частицы прилипают к пузырькам воздуха, всплывают на поверхность пульпы и образуют минерализованную пену, а хорошо смачиваемые водой (гидрофильные) частицы остаются в объеме пульпы, оседая на дно флотационной камеры. Пенный продукт представляет собой концентрат извлекаемого минерала.

В настоящее время наиболее широко используются три основных типа флотационных машин: 1 – механические; 2 – пневматические; 3 – флотационные со струйной аэрацией.

Наибольшее распространение получили машины механического типа, в которых пена создается с помощью вращающегося импеллера. Под его воздействием пульпа циркулирует внутри флотационной камеры и насыщается мелкодисперсными пузырьками воздуха, которые всплывают на поверхность, увлекая за собой гидрофобные частицы извлекаемого минерала. Воздух засасывается в машину за счет разрежения, создаваемого импеллером.

В последние годы достаточно широкое распространение получили машины со струйными аэраторами, создающими пену. Струя жидкости при вхождении ее в поверхность пульпы увлекает за собой большое количество воздуха, обеспечивающего осуществление процесса флотации. В большинстве случаев струйная аэрация применяется совместно с механиче-

ским перемешиванием пульпы импеллером. Связано это с тем, что использование только одних струйных аэраторов не позволяет создать пену в емкости флотомашин на глубину более 0,5–0,7 м и в связи с этим требуются большие производственные площади, что экономически нецелесообразно.

При ударе струи о поверхность жидкости образуется каверна, которая является источником аэрации поверхностного слоя жидкости. Различают ламинарный и турбулентный режимы течения струй. При ламинарном течении вокруг струи, входящей в жидкость, образуется тонкая пленка воздуха, которая в зоне каверны разрушается с образованием пузырьков. При турбулентном течении поверхность струи имеет многочисленные завихрения, обеспечивающие захват воздуха из окружающей среды [1].

При входе в поверхность раздела газ – жидкость струя образует воронку аэрируемой жидкости вокруг зоны соударения струи с поверхностью (рис. 1). С целью увеличения газонасыщения жидкости свободной струе сообщают вращательное движение, а вращению жидкости в воронке придают направление, противоположное направлению вращения свободной струи [2]. Во всех известных струйных аэраторах используется цилиндрическая струя, имеющая круглую площадь поперечного сечения.

В БНТУ в течение ряда лет проводились исследования по интенсификации процесса флотации за счет использования струйных аэраторов повышенной эффективности. В результате разработана универсальная форсунка, позволяющая создавать струи различной конфигурации и геометрических размеров. Изменение как наружного, так и внутреннего диаметров струи осуществляется за счет использования сменных головок различного размера. Конструкция форсунки позволяет исследовать струи как круглого, так и кольцевого сечений.

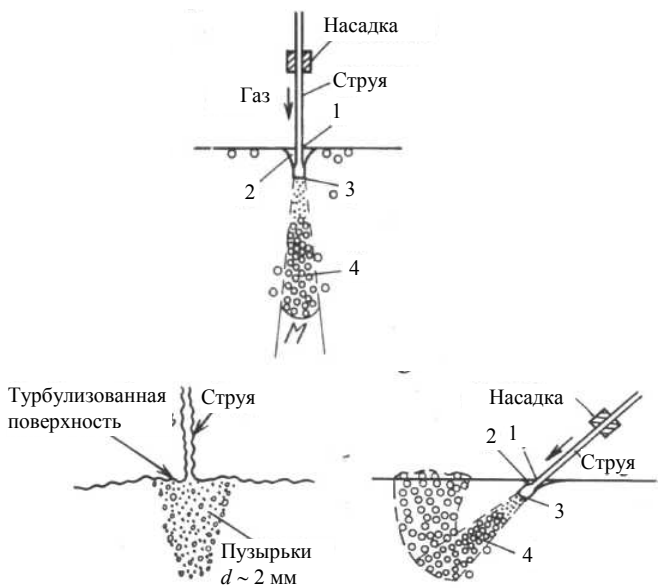


Рис. 1. Схемы падения вертикальной и наклонной струй на поверхность жидкости: 1 – точка входа струи; 2 – кратер; 3 – цилиндрический разрыв; 4 – ядро «факела»

Изучалась эффективность аэрации воздуха струями круглого сечения с диаметром от 5 до 9 мм и кольцевого сечения с наружным диаметром от 5 до 9 мм и внутренним от 4 до 8 мм (рис. 2, 3). Исследования степени аэрации проводились на масштабной гидравлической модели флотокамеры, а в качестве модельной жидкости использовалась техническая вода.

Расход воздуха, аэрированной водяной струей, определялся с помощью водяного колокола, в качестве которого использовался мерный стеклянный стакан. Мерный стакан погружался под уровень, находящийся в масштабной модели флотокамеры воды, и заполнялся ею таким образом, чтобы в объеме стакана отсутствовали пузырьки воздуха. После чего стакан переворачивался кверху дном и устанавливался на опору. На боковой поверхности стакана, объем которого составляет один литр, нанесены деления. Цена одного деления – 20 см³.

В начальный момент измерения стакан внутри заполнен водой, которая удерживается за счет образующегося вакуума. После установки мерного стакана на опору начинают измерение содержания воздуха в струе воды, поступающей в масштабную модель. Для этого открывают шаровой кран, установленный в напорном трубопроводе насоса, подающего воду, и вода поступает через форсунку в модель, увлекающая с собой воздух, который вытесняет находящуюся в стакане воду. Форсунка устанавли-

вается под углом к поверхности воды, находящейся в модели, таким образом, чтобы увлекаемые водой пузырьки двигались по диагонали модели и, развернувшись вдоль передней стенки модели, попадали в объем мерного стакана (рис. 4).

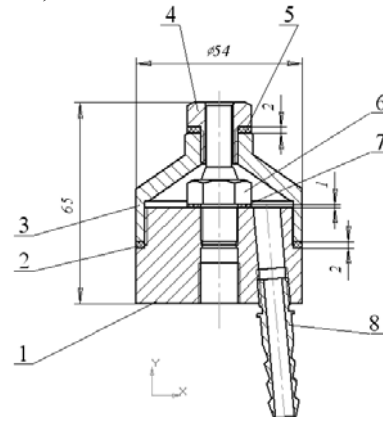


Рис. 2. Схема форсунки: 1 – днище; 2, 5, 7 – прокладки; 3 – корпус; 4 – сменная головка корпуса; 6 – сменная головка днища; 8 – штуцер для подачи воды



Рис. 3. Форсунка для струйной аэрации

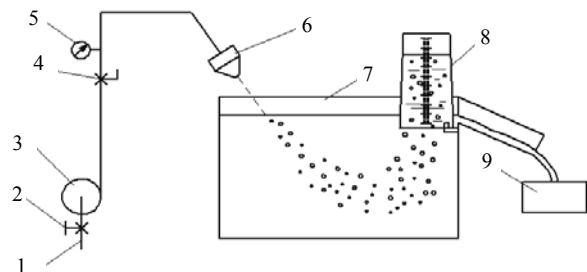


Рис. 4. Схема измерения объема аэрированной струей воздуха: 1 – всасывающий трубопровод насоса; 2 – вентиль для регулировки расхода; 3 – центробежный насос; 4 – шаровой кран; 5 – манометр; 6 – форсунка; 7 – модель флотокамеры; 8 – мерная емкость для определения расхода воздуха; 9 – то же расхода воды

После открытия крана пузырьки воздуха начинают вытеснять воду, заполняющую мерный стакан, и в нем хорошо виден понижающийся уровень. В тот момент, когда уровень воды в стакане опускается до отметки 20 см³ от дна, включается секундомер. В момент времени, когда уровень воды достигает отметки 800 см³, секундомер выключается. Таким образом фиксируется длительность вытеснения из мерного стакана 780 см³ воды воздухом, давление которого практически соответствует атмосферному.

Измерение расхода воды, поступающей через форсунку, осуществлялось объемным способом с помощью предварительно оттарированной мерной емкости. Каждый опыт повторялся не менее трех раз, и определялись среднеарифметические значения расходов воды и воздуха.

Расходы воздуха и воды рассчитывали по формуле

$$Q = \frac{W}{\tau}, \quad (1)$$

где W – объем воздуха или воды; τ – длительность вытеснения воды из мерного стакана или заполнения водой мерной емкости.

Так исследовалась аэрация воды, находящейся в гидравлической модели струями различных диаметров круглого и кольцевого сечений.

В качестве основного гидродинамического параметра, позволяющего сравнивать эффективность струй различных геометрических размеров и конфигураций, использовалось число Рейнольдса [3]

$$Re = \frac{Rrv}{\nu}, \quad (2)$$

где Rr – гидравлический радиус струи; v – скорость движения жидкости на выходе из форсунки; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Гидравлический радиус определяли по формуле

$$Rr = \frac{S}{\chi}, \quad (3)$$

где S – площадь живого сечения струи; χ – смоченный периметр.

Для струй кольцевого сечения смоченный периметр находили по формуле [4]

$$\chi = \chi_1 + \chi_2, \quad (4)$$

где χ_1 – наружный периметр окружности струи; χ_2 – то же внутренний.

Степень эжекции струи рассчитывали следующим образом:

$$\Xi = \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (5)$$

где Q_1 – расход воздуха; Q_2 – то же воды.

Анализ экспериментальных данных показывает, что максимальную эффективность аэрации струи обеспечивает высота установки форсунки над уровнем жидкости, равная $H = 14$ см. Форсунка устанавливалась под углом 45° к поверхности жидкости.

В результате проведенных исследований установлено, что на эффективность аэрации жидкости влияет целый ряд факторов, и в первую очередь геометрические размеры струи, ее конфигурация, величина числа Рейнольдса, определяемая расходом жидкости, и высота расположения форсунки над уровнем поверхности жидкости во флотокамере.

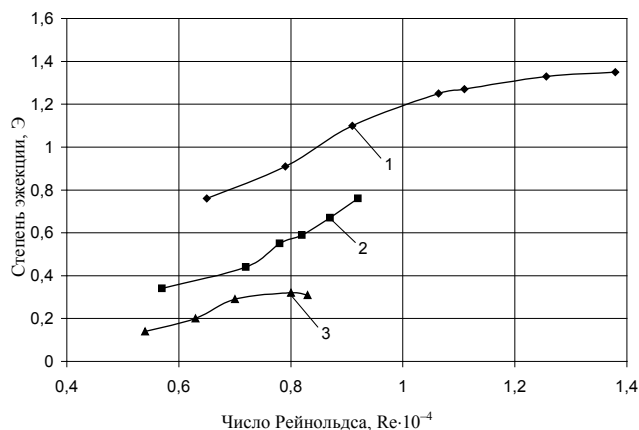


Рис. 5. Влияние числа Рейнольдса и диаметра на степень эжекции для водяной струи круглого сечения: 1 – $D = 5$ мм; 2 – 7; 3 – 8 мм

Анализ экспериментальных данных, полученных для струй круглого сечения различных диаметров (рис. 5), показывает, что максимальную степень эжекции обеспечивает струя с диаметром $D = 5$ мм (кривая 1) и минимальную с диаметром $D = 8$ мм (кривая 3).

Анализ экспериментальных данных, полученных для струи кольцевого сечения, показывает, что максимальную степень эжекции обеспечивает струя с внутренним диаметром $d = 7$ мм и наружным $D = 8$ мм (рис. 6, кривая 1). Толщина стенки этой струи составляет $\delta = 0,5$ мм. Увеличение толщины стенки струи от $\delta = 1$ мм (кривая 2) и до $\delta = 2$ мм (кривая 3) приводит к снижению степени эжекции даже при увеличении числа Рейнольдса.

Сравнение результатов, полученных для струй кольцевого сечения с наружным диаметром $D = 8$ мм (рис. 5, кривые 1, 2, 3), с результатами, полученными для струи круглого сечения с $D = 8$ мм, показывает, что степень эжекции струй кольцевого сечения в 5–6 раз выше, чем для струй круглого сечения. При этом число Рейнольдса в 2,0–2,5 раза ниже, что позволяет резко уменьшать расход воды, подаваемой через форсунки.

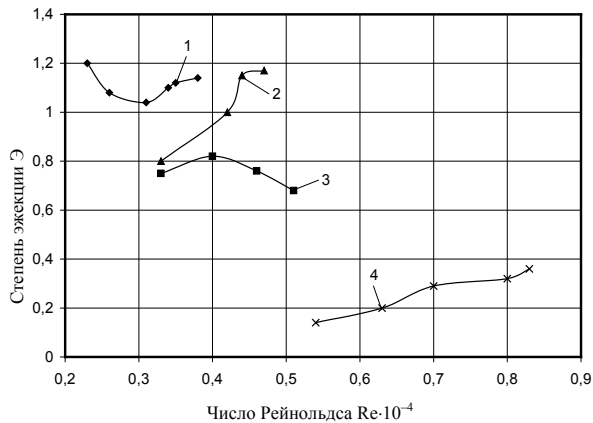


Рис. 6. Влияние числа Рейнольдса и диаметра на степень эжекции для водяных струй круглого и кольцевого сечений с наружным диаметром $D = 8$ мм: 1 – $d = 7$ мм; 2 – 6; 3 – 4; 4 – круглое сечение $D = 8$ мм

Анализ экспериментальных данных, полученных для струй круглого и кольцевого сечений с наружным диаметром $D = 9$ мм (рис. 7), показывает, что максимальную степень эжекции при минимальном значении числа Рейнольдса обеспечивает кольцевая струя с минимальной толщиной стенки, т. е. при $d = 8$ мм (кривая 1). По мере увеличения толщины стенки (уменьшения внутреннего диаметра) степень эжекции выше только при более высоких числах Рейнольдса (кривые 2, 3, 4). Для струи круглого сечения степень эжекции существенно ниже (кривая 5).

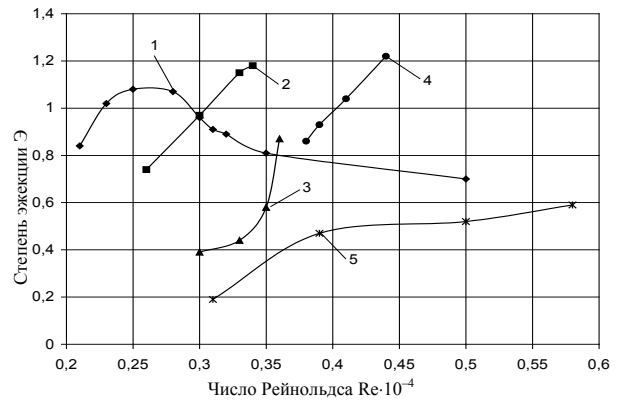


Рис. 7. Влияние числа Рейнольдса и диаметра на степень эжекции для водяных струй круглого и кольцевого сечений с наружным диаметром $D = 9$ мм: 1 – $d = 8$ мм; 2 – 7; 3 – 6; 4 – 4; 5 – круглое сечение $D = 9$ мм

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенных исследований разработана методика, позволяющая определять степень эжекции воздуха водяной струей, используемый в качестве струйного аэратора в процессе флотации минералов.
2. Разработана конструкция универсальной форсунки, позволяющей формировать струю кольцевого сечения за счет использования сменных головок различного диаметра.
3. Исследована аэрирующая способность струй круглого и кольцевого сечений с наружным диаметром от 5 до 9 мм и внутренним от 4 до 8 мм (для струй кольцевого сечения).
4. Установлено, что для струй круглого сечения степень эжекции повышается с уменьшением диаметра, а для струй кольцевого сечения – со снижением толщины стенки струи.

Сравнение экспериментальных данных для струй круглого и кольцевого сечений показывает, что струи кольцевого сечения обеспечивают существенно более высокую степень эжекции при более низких числах Рейнольдса, а следовательно, и расходах жидкости, чем струи круглого сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков, Н. Ф. Кондиционирующие и флотационные аппараты и машины / Н. Ф. Мещеряков. – М.: Недра, 1990. – 237 с.
2. Способ аэрации жидкости при флотации: пат. 1260026 Россия, МКИ6 В 03 D 1/00 / Н. Ф. Мещеряков; – № 3887361/22-03; заявл. 12.03.85; опубл. 30.09.86 // Бюл. – 1986. – № 36.
3. Леви, И. И. Моделирование гидравлических явлений / И. И. Леви. – 2-е изд. – Л.: Энергия, 1967. – 236 с.
4. Некрасов, Б. Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Б. Б. Некрасов; под ред. Б. Б. Некрасова. – Минск: Вышэйш. шк., 1976. – 416 с.

Поступила 9.09.2008