УДК 66.086.4

В. Н. Тыртыгин, Н. А. Собгайда, В. Л. Потеха, И. Г. Шайхиев

МАГНИТНАЯ ОЧИСТКА СУСПЕНЗИЙ ОТ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ПРИМЕСЕЙ

Ключевые слова: высокоградиентная магнитная сепарация, время фильтрации, зона фильтрации, сорбционная очистка.

Получена замкнутая система уравнений распределения парамагнитных частиц в зоне фильтрации высокоградиентного магнитного сепаратора. Предложена совместная магнитная и сорбционная очистка тонкодисперсных суспензий от ионов тяжелых металлов.

Keywords: high-gradient magnetic separation, filtration, filtration zone time, sorption cleaning.

Obtained closed system of equations of particle distribution in the paramagnetic high-gradient magnetic separator filter. Proposed joint magnetic and sorption cleaning of fine suspensions from ions of heavy metals.

Введение

Одним из перспективных и эффективных способов очистки суспензий от парамагнитных загрязняющих примесей с размером частиц менее 60 мкм (оксиды железа, титана, никеля, хрома и т. д., органические и неорганические взвешенные вещества, бактериальная флора), является высокоградиентная магнитная сепарация (ВГМС) [1]. Эффективность очистки суспензий методом ВГМС, зависит от ряда факторов, и может быть представлен как:

$$Э = f\,(H, \text{grad } H, h, d_ш, \chi, \chi_ч\, \upsilon, d_ч, \eta, \chi_т \ldots..), \quad (1)$$

$$Э = [(C_o\text{-}C)/C_o] \cdot 100\%, \quad (2)$$

где H - напряженность магнитного поля, grad H - градиент напряженности магнитного поля, h - высота зоны фильтрации, $d_ш$, и χ - размер и магнитные свойства рабочих тел матрицы, $\chi_ч$ - магнитная восприимчивость частиц; υ - скорость движения жидкости через рабочие тела матрицы, η - динамическая вязкость среды; $d_ч$ -диаметра частиц фильтруемого материала; δ - плотность вещества частицы, $\chi_т$ - магнитных свойства частицы, C_o и C – начальная и конечная концентрация частиц в очищаемой жидкой среде.

С рядом допущений, условие очистки в высокоградиентном магнитном поле суспензий от частиц размером менее 60 мкм следующее: магнитная сила, действующая на частицу должна быть больше или равна силе гидродинамического сопротивления [1]:

$$f_m = \mu_o \cdot \chi_ч \cdot H \cdot \text{grad}H \geq f_g = 18 \cdot \eta \cdot \upsilon / d^2 \cdot \rho, \quad (3)$$

Существенное значение для нахождения важных технологических параметров ВГМС - оптимальной высоты (длины) зоны фильтрации (h_o)) и оптимального времени фильтрации (t_o) имеет знание закономерности распределения задержанных частиц по высоте зоны фильтрации высокоградиентного магнитного сепаратора.

Результаты исследования и их обсуждение

Для нахождения значения h_o, рассмотрим распределение задержанных парамагнитных частиц по высоте зоны фильтрации магнитного сепаратора. Зададим граничные условия [2,3]: в общей массе частиц с удельной магнитной восприимчивостью $0{,}1 \cdot 10^{-6}$ - $430 \cdot 10^{-6}$ м^3/кг и эквивалентным диаметром меньших 60 мкм, процент частиц с эквивалентным диаметром 1–45 мкм должно быть в диапазоне 40 – 60 %; концентрация твердого в жидкой среде должна быть не более 14 %; индукция магнитного поля и градиент напряженности магнитного поля по всей длине зоны фильтрации ВГМС постоянны и лежат соответственно в диапазоне 0,2–1,6 Тл и $1{,}7 \cdot 10^8$-$6 \cdot 10^8$ А/м^2; вязкость очищаемой жидкой среды не более 5-6 мПа·с; температура жидкой среды не более 200 ^{o}C; скорость потока жидкости на выходе из зоны фильтрации ВГМС 0,006– 0,07м/с, высота (длина) зоны фильтрации магнитного сепаратора - до 0,6 м.

В этих условиях обработка опытных данных [2,3], показала, что распределение концентрации задержанных частиц по высоте зоны фильтрации высокоградиентного магнитного сепаратора достаточно хорошо описывается зависимостью:

$$C = C_o(1\text{-}e^{-(k,h)}), \quad (4)$$

откуда высота зоны фильтрации:

$$h = [\ln(1\text{-}C_o/C)]/k, \quad (5)$$

где C и C_o – концентрация частиц в суспензии на выходе из матрицы и входе в матрицу, мг/л, k – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем, h - высота зоны фильтрации, м.

С рядом допущений t_o для матрицы из шаров диаметром $d_ш$ может быть рассчитано по эмпирической формуле, приведенной в работе [4]:

$$t_o = \frac{(\frac{h_o}{d_ø}) \cdot (\frac{16}{3} \cdot \pi \cdot R^2) \cdot K_n \cdot r_ч \cdot \rho_ч}{m_i \cdot \rho_æ \cdot 60 \cdot S \cdot \upsilon} \quad (6)$$

где, h_o – оптимальная высота зоны фильтрации высокоградиентного магнитного сепаратора, м; R – радиус окружности, в которую заключен один слой, состоящий из шаров размером $d_ш$, м; K_n - коэффициент пористости шаров; $r_ч$ - средневзвешенный радиус частиц, м; $\delta_ч$ - плотность частицы, кг/м^3; C_o – концентрация частиц в очищаемой жидкой среде, кг/кг; $\delta_ж$ – плотность жидкости, кг /м^3; S – площадь сечения рабочей зоны магнитного аппарата, м^2; υ - скорость фильтрации жидкости через рабочую зону магнитного аппарата, м/с.

Задаваясь требуемой эффективностью очистки ВГМС и последовательно решая уравнения

(2), (4), и (6) можно рассчитать h_o и t_o. Например, при очистке оборотных вод сталеплавильного производства от шлама с начальной концентрацией частиц 5200 мг/л, диаметром частиц ≤ 45мкм, $\chi_т$ до $428 \cdot 10^{-6}$ м^3/кг с эффективностью ≈ 98 %, оптимальная высота зоны фильтрации магнитного сепаратора составила $h_o \approx 0{,}15$ м, время фильтрации $t_o \approx 50$ с. Для этого случая уравнение (4) имеет вид: $C=5200 \cdot (1-e^{-(24.h)})$ (рис. 1).

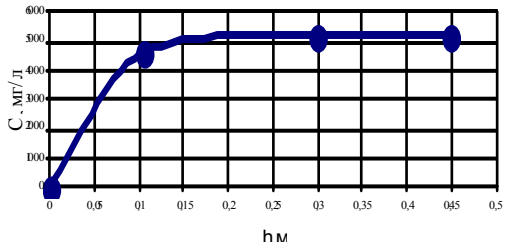

Рис. 1 - Распределение задержанных частиц по высоте зоны фильтрации магнитного сепаратора

По данным гранулометрического анализа [3], в межшаровом пространстве и на поверхности шарового слоя матрицы происходит накопление «подложки» из наиболее крупных и сильномагнитных частиц диаметром d ≥10 мкм (рис.2).

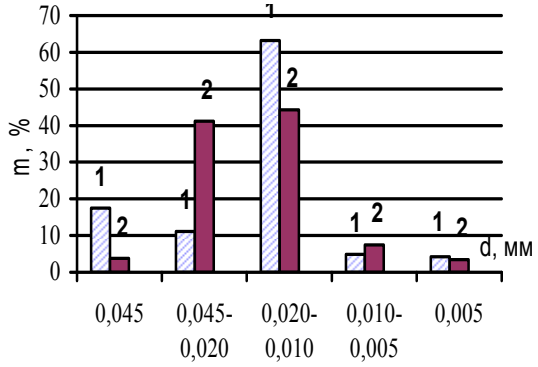

Рис. 2 - Гранулометрический состав шлама сталеплавильного производства: 1 - шлам до очистки, 2 - магнитный шлам; m - массовая доля

Из рис. 2 видно, что размер основной массы частиц магнитного шлама (более 80 %) лежит в диапазоне 0,010-0,045 мм. Очевидно, что в этом диапазоне $f_m \geq f_g$. Дальнейшее увеличение высоты зоны фильтрации > 0,15 м, дает лишь незначительный прирост эффективности очистки суспензии от шлама по причине наличия в ней частиц диаметром d ≤10 мкм. Для этого случая $f_m \leq f_g$. С ростом начальной концентрации шлама в очищаемой суспензии, например, для С = 7200 мг/л при индукции магнитного поля 0,21 Тл, решение системы уравнений (2), (4), (6) при эффективности магнитной очистки 99 %, дает оптимальное время фильтрации t_o ≈ 44 сек, (по опытным данным примерно 30 сек) и оптимальную высоту зоны фильтрации $h_o \approx 0.2$ м. Для получения концентрации шлама в воде, например, 180 мг/л, при начальной концентрации 7200 мг/л, оптимальное время фильтрации составит примерно 1,9 мин (по опытным данным 2 мин) [2].

Несмотря на ряд преимуществ перед другими методами, метод высокоградиентной магнитной сепарации малоэффективен при очистке слабоконцентрированных суспензий от ионов металлов. Это связано в первую очередь с технической сложностью и дороговизной изготовления мощных магнитных систем, создающих большую магнитную силу $|\mathbf{B}\mathrm{grad}\mathbf{B}|$ [1], позволившую бы извлечь из воды ионы металлов, имеющих радиус порядка $0{,}2 \cdot 10^{-9}$ м. С целью доочистки таких суспензий от ионов тяжелых металлов целесообразно дополнить метод ВГМС сорбционной очисткой с помощью отходов промышленного и сельскохозяйственного производства, предложенные в работах [4-6], что позволит существенно повысить эффективность очистки суспензий, в том числе от ионов тяжелых металлов.

Выводы

Таким образом, полученная система уравнений

$$\begin{cases} Э = [(C_o - C)/C_o] \cdot 100\%, \\ C = C_o(1-e^{-k.h}), \\ t_o = \dfrac{(\dfrac{h_o}{d_ø}) \cdot (\dfrac{16}{3} \cdot \pi \cdot R^2) \cdot K_n \cdot r_÷ \cdot \rho_÷}{m_i \cdot \rho_æ \cdot 60 \cdot S \cdot \upsilon} \end{cases}$$

в граничных условиях позволяет рассчитать важнейшие технологические параметры магнитной сепарации - оптимальную высоту зоны фильтрации h_o и оптимальное временя фильтрации t_o,

Литература

1. Кармазин В.И., В.В.Кармазин. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых, М.: МГУ, 2004. - 672 с.
2. Тыртыгин, В.Н., Секачев Ю.Н., Сб. трудов всероссийской научно-практической конференции «Промышленная и экологическая безопасность как условие обеспечения качества продукции и услуг», Тольятти:ТГУ, 167-172 (2002).
3. Тыртыгин, В.Н. Каплан А.Л., Химическая технология, 8, 33-35 (2006).
4. Собгайда, Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А., Химическое и нефтегазовое машиностроение, 9, 36-39 (2009).
5. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Фетисов Р.О., Шамшуров А.В., Шайхиев И.Г., Вестник Казанского технологического университета, 7, 137-139 (2012).
6. Малахатка Ю.Н., Свергузова С.В., Шамшуров А.В., Шайхиев И.Г. Вестник Казанского технологического университета, 12, 137-139 (2012).

© **В. Н. Тыртыгин –** к.т.н., доц. каф. технической механики материаловедения Гродненского госуд. аграрного ун-та; **Н. А. Собгайда** – д.т.н., доц. каф. экологии и охраны окружающей среды Энгельского технол. ун-та (филиал) Саратовского госуд. технол. ун-та; **В. Л. Потеха** – д.т.н., зав. каф. технической механики и материаловедения Гродненского госуд. аграрного ун-та; **И. Г. Шайхиев** – д.т.н., зав. каф. инженерной экологии КНИТУ, ildars@inbox.ru.