

Список литературы

1. Потапов В.Д. Применение дешламации при обогащении железных руд. – М.: "Черметинформация", 1980. – 37 с.
2. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. – 359 с.
3. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. – Л.: Машиностроение, 1969. – 524 с.

© Грицан Р.И., Кривенко А.Ю., Кривенко Ю.Ю., 2017

*Надійшла до редколегії 25.11.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*

УДК 622.7

А.Ю. КРИВЕНКО, Ю.Ю. КРИВЕНКО, кандидати техн. наук,
(Україна, Кривий Ріг, Державний ВНЗ "Криворізький національний університет")

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В ВАННЕ МАГНИТНОГО ДЕШЛАМАТОРА

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Процесс разделения компонентов рудного сырья в дешламаторах достаточно сложен и его эффективность зависит от многих факторов, которые определяют, как качество сгущенного продукта, так и слива. Одним из основных факторов, определяющих эффективность дешламации, является процесс распределения частиц твердой фазы железорудной пульпы на выходе из загрузочного устройства аппарата, который реализуется за счет гидродинамического взаимодействия двух сред: потока исходного питания в виде "затопленной струи" и пульпы, находящейся в чане дешламатора.

Взаимодействие указанных сред предопределяет возникновение турбулентных потоков, благодаря которым происходит осаждения частиц высокой плотности, формирующих сгущенный продукт, а также вынос частиц низкой плотности в слив.

Определение параметров потоков, формирующихся в чане дешламатора, позволяет прогнозировать эффективность процесса в зависимости от физико-механических свойств исходного сырья и его гранулометрического состава.

В частности, определяя скорость частиц твердой фазы пульпы исходного сырья, становится возможным выяснить их поведение и соответственно определить прогнозные показатели такие как: масса песков, высота слоя песков, плотность сгущенного и осветленного продукта. Это позволит выбрать технологические параметры, на основании которых будут обеспечены как максимальное содержание полезного компонента в сгущенном продукте, так и минимальное содержание его в сливе.

Гравітаційна сепарація

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время массопереносу внутри чана дещламатора разных конструкций, в частности движение частиц питающей пульпы, уделяется недостаточно [1-3]. В основном рассматривается картина движения частиц различной плотности и размера под влиянием восходящих и нисходящих потоков, скорость которых может быть больше или меньше скорости витания этих частиц. Образованию же песков, в частности их массы, высоты, плотности, а также плотности слива вниманию уделено не было.

Считаем, что такой подход к поставленной проблеме позволил бы прогнозировать сепарационные характеристики дещламатора с учетом образования песков и слива аппарата.

Постановка задачи. Задачей исследований явился расчет массы, высоты, плотности песков и слива дещламатора при радиально направленном исходном питании, что позволит прогнозировать работу аппарата при различных технологических нагрузках на него.

Изложение материала и результаты. С использованием радиальной подачи исходного материала при достижении некоторой минимальной скорости пульпы в струе, начинает ощущаться действие на частицы железорудного сырья сил гравитации, что приводит к его разделению. Вместе с тем, частицы, которые покидают струю пульпы, и оказываются ниже этой струи, могут только осаждаться. Частицы, покинувшие струю, и оказавшиеся выше, могут только подниматься. В противном случае, частицы вновь попадают в струю пульпы, где происходит их перемешивание. За пределами дальнобойности струи наблюдается обычное гравитационное разделение железорудного сырья в ванне дещламатора.

Скорость прироста массы осаждаемых частиц под действием сил гравитации записывается в виде

$$\frac{dM}{dt} = 2\pi \cdot \delta \cdot \int_R^{R_0} v(x) x dx, \quad (1)$$

где δ – плотность частиц, кг/м³; $v(x)$ – скорость осаждения частиц в ванне дещламатора, м/с; R – радиус диска РКУ, м; R_0 – радиус ванны дещламатора, м.

Скорость осаждения частиц в ванне дещламатора подчиняется дифференциальному уравнению

$$m \frac{dv(x)}{dt} = m(1 - c_n(x)) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right) \cdot g - F(x), \quad (2)$$

где m – масса частицы, кг; $c_n(x)$ – начальное содержание твердого в пульпе, дол. ед.; Δ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $F(x)$ – сила сопротивления среды, в которой осаждается частица, Н.

Принимая во внимание, что осаждение частиц в ванне дешламатора происходит достаточно медленно, сила сопротивления среды определяется законом Стокса, который при условии, что осаждаемая частица имеет шарообразную форму, запишется так

$$F(x) = 3\pi \cdot \mu \cdot d_0 \cdot v(x), \quad (3)$$

где μ – динамическая вязкость, Па·сек; d_0 – диаметр частицы, м.

Учитывая, что в начальный момент времени скорость осаждения частиц была нулевой ($v(t=0) = 0$), решение дифференциального уравнения (2), с учетом (3), имеет вид

$$v(x) = \frac{m \cdot g}{3\pi \cdot \mu \cdot d_0} (1 - c_n(x)) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{3\pi \cdot \mu \cdot d_0 \cdot t}{m}}\right). \quad (4)$$

В рассматриваемом случае гидравлическая крупность частицы вычисляется по формуле

$$\theta = \frac{1}{18} \frac{(\delta - \Delta) \cdot g \cdot d_0^2}{\mu}. \quad (5)$$

С учетом (5), скорость (4) представится так

$$v(x) = (1 - c_n(x)) \cdot \theta \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (6)$$

где $\tau = \frac{d_0^2 \cdot \delta}{18\mu}$ – гидравлическая единица времени, с.

Тогда, с учетом (6), формула (1) принимает вид

$$\frac{dM}{dt} = 2\pi \cdot \delta \cdot \theta \cdot \int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) \left(1 - e^{-\frac{t(x)}{\tau}}\right) x dx. \quad (7)$$

Гравітаційна сепарація

Принимая во внимание, что осаждаемая частица достигает дна ванны дешламатора, необходимо для использования (7) найти время осаждения частицы. Согласно (6), это время t_0 может быть найдено путем решения уравнения

$$(1 - c_n(x)) \cdot \theta \int_0^{t_0} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) dt = H - h_0 - y_n(x),$$

или

$$(1 - c_n(x)) \cdot \theta \cdot (t_0 - \tau \cdot (1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}})) = H - h_0 - y_n(x). \quad (8)$$

Уравнение (8) является нелинейным и допускает только численное решение.

С учетом найденной величины времени осаждения частиц согласно (8), формула (7) определяет величину весового расхода загущенного продукта, то есть

$$G_2 = 2\pi \cdot \delta \cdot \theta \cdot \int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) (1 - e^{-\frac{t_0(x)}{\tau}}) x dx, \quad (9)$$

где G_2 – весовой расход загущенного продукта, кг/с.

Полученное решение (9) предполагает непрерывную разгрузку загущенного продукта. Вместе с тем, при такой разгрузке загущенного продукта вследствие достаточно быстрого осаждения частиц возможна ситуация, когда не будет достигнуто заданное содержание твердого. В этом случае естественно применение циклической разгрузки загущенного продукта из ванны дешламатора. С этой целью на дне ванны дешламатора накапливается без разгрузки загущенный продукт, содержание твердого в котором определяется особенностями осаждения частиц. Затем после достижения определенной массы песков на дне ванны дешламатора, что определяется фиксацией высоты слоя песков, производится выгрузка загущенного продукта.

Масса песков на дне ванны дешламатора находится путем решения уравнения (7) при нулевом начальном условии ($M(t=0) = 0$)

$$M = 2\pi \cdot \delta \cdot \theta \int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) \cdot (t(x) - \tau \cdot (1 - e^{-\frac{t(x)}{\tau}})) x dx. \quad (10)$$

Согласно (10), высота слоя песков на дне ванны дешламатора находится по формуле

$$h_2 = \theta \frac{\int_R^{R_0} (1 - c_n(x))(t(x) - \tau \cdot (1 - e^{-\frac{t(x)}{\tau}})) dx}{\int_R^{R_0} (c_2 - c_n(x)) dx}, \quad (11)$$

где c_2 – содержание твердого в загущенном продукте, кг/кг.

Для дешламатора имеют место такие балансовые соотношения

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad (12)$$

$$\rho_0 \cdot Q_0 = \rho_1 \cdot Q_1 + G_2, \quad (13)$$

где ρ_0 – плотность пульпы на выходе из РКУ, кг/м³; ρ_1 – плотность осветленного продукта, кг/м³; Q_0 – расход пульпы, поступающей в дешламатор, м³/с; Q_1 – расход осветленного продукта, поступающего в слив, м³/с; Q_2 – расход сгущенного продукта, м³/с.

Принимая во внимание, что

$$Q_2 = \frac{G_2}{\rho_2}, \quad (14)$$

ρ_2 – плотность загущенного продукта, кг/м³, находим, пользуясь (12) и (13),

$$\rho_2 = \frac{1}{\frac{1}{\rho_1} - \frac{Q_0}{G_2} \left(\frac{\Delta}{\rho_1} - 1 \right)}. \quad (15)$$

Так как

$$c_2 = \frac{\rho_2 - \Delta}{\delta - \Delta},$$

то, с учетом (15), получаем

$$c_2 = \frac{1}{\delta - \Delta} \left(\frac{1}{\frac{1}{\rho_1} - \frac{Q_0}{G_2} \left(\frac{\rho_0}{\rho_1} - 1 \right)} - \Delta \right). \quad (16)$$

Гравітаційна сепарація

Задавая плотность осветленного продукта, например, в пределе, равной плотности воды, можно по формуле (16) рассчитать максимально возможное содержание твердого в загущенном продукте. Если вычисленное содержание твердого окажется меньше заданной величины, то необходимо перейти от непрерывной работы дешламатора к циклической. Таким способом будет обеспечено заданное содержание твердого в загущенном продукте.

Из уравнения (12), с учетом (14), находим расход осветленного продукта

$$Q_1 = Q_0 - Q_2, \quad (17)$$

В свою очередь, пользуясь (3.42), находим плотность осветленного продукта

$$\rho_1 = \frac{\rho_0 \cdot Q_0 - G_2}{Q_1}. \quad (18)$$

Как видно из уравнений, сепарационные характеристики дешламатора напрямую зависят как от конструктивных параметров аппарата, так и от высоты слоя песков на его дне, их плотности, а так же плотности осветленного продукта (слива).

Выводы и направление дальнейших исследований. Изучая массоперенос внутри дешламатора и, как следствие, образование сгущенного продукта и слива с определёнными характеристиками, возможно прогнозировать сепарационные характеристики аппарата и изменять их в зависимости от технологических нагрузок на аппарат.

Список литературы

1. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. – М.: Недра, 1980. – 400 с.
2. Потапов В.Д. Применение дешламации при обогащении железных руд. – М.: "Черметинформация", 1980. – 37с.
3. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. – Л.: Машиностроение, 1969. – 524 с.

© Кривенко А.Ю., Кривенко Ю.Ю., 2017

*Надійшла до редколегії 25.11.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*