

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук,**А.Ю. КРИВЕНКО, Ю.Ю. КРИВЕНКО**, кандидаты техн. наук

(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В ВАННЕ 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.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время процессу массопереноса внутри чана дешламатора уделяется недостаточно внимания [1-3]. В известных публикациях, основном, рассматривается картина движения частиц различной плотности и геометрических параметров под влиянием восходящих и нисходящих потоков, но без учета образования закономерностей образования сгущенного продукта и характеристик слива.

Такой подход затрудняет возможность прогноза показателей гидравлического обогащения с учетом параметров аппаратов седиментационного типа и их сепарационных характеристик.

Постановка задачи. Задачей исследований явился расчет рациональной массы, высоты, плотности песков дешламатора, а также его слива при радиально направленном исходном питании, что позволит прогнозировать работу ап-

Гравітаційна сепарація

парата при различных технологических нагрузках на него.

Изложение материала и результаты. С использованием радиальной подачи исходного материала при достижении некоторой минимальной скорости пульпы в потоке, начинает ощущаться действие на частицы железорудного сырья сил гравитации, что приводит к его разделению. Вместе с тем, частицы, которые покидают исходящий поток пульпы и оказываются ниже этого потока, осаждаются. Частицы, покинувшие поток и оказавшиеся выше него, поднимаются к сливному порогу. За пределами интенсивного движения потока наблюдается обычное гравитационное разделение железорудного сырья в ванне дешламатора.

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 дешламатора, м/с; R – радиус диска РКУ, м; R_0 – радиус ванны дешламатора, м.

Скорость осаждения частиц в ванне дешламатора 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, доли 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·с, 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

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

В рассматриваемом случае гидравлическая крупность частицы вычисляется

Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 56(97)

ся 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

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

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

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

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

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

$$(1 - c_H(x)) \cdot \theta \int_0^{t_0} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) dt = H - h_0 - y_H(x),$$

или

$$(1 - c_H(x)) \cdot \theta \cdot \left(t_0 - \tau \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}} \right) \right) = H - h_0 - y_H(x). \quad (8)$$

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

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

Гравітаційна сепарація

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

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

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

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

где ρ_2 – плотность загущенного продукта, кг/м³, находим ее, пользуясь формулами (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

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

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 (13), 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 определенными характеристиками, возможно прогнозировать сепарационные характеристики аппарата и изменять их в зависимости от технологических нагрузок на аппарат.

Гравітаційна сепарація

Список литературы

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

© Олейник Т.А., Кривенко А.Ю., Кривенко Ю.Ю., 2014

*Надійшла до редколегії 17.02.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*