

УДК 622.778

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук, проф., А.Ю. КРИВЕНКО, ассистент
ГВУЗ "Криворожский национальный университет"

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ УСТРОЙСТВА ИСХОДНОГО ПИТАНИЯ ДЕШЛАМАТОРОВ

Представлены результаты математического моделирования направляющих элементов устройства исходного питания дешламаторов обеспечивающих формирование горизонтально ориентированного потока железорудной пульпы. Определен ряд технологических факторов, от которых зависит гидродинамика движения двухфазного потока, а также процесс разделения его компонентов в процессе перемещения до момента выхода в чан дешламатора.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Повышение эффективности технологии обогащения железорудной руды позволяет снизить себестоимость получения металлургического сырья тем самым повысить экономическую конкурентность продукции на внутреннем и внешнем рынках. Анализ показывает, что в технологической цепи обогатительных аппаратов широко применяемое гидравлическое гравитационного обогащение имеет существенные резервы повышения качественных показателей рудного промпромакта при минимальных затратах энергоносителей. Вместе с тем, гидравлическое гравитационного обогащения относится к тем процессам, при реализации которых на качество получаемого продукта влияют как параметры самих обогатительных аппаратов, так и режимы, и способы подачи исходного питания.

Анализ исследований и публикаций. Анализ публикаций, посвященных закономерностям гидродинамики движения рудных пульп, показывает, что при необходимости разделения компонентов пульпы имеет особое значение пространственная ориентация потока [1]. От пространственной ориентации зависит насколько эффективно произойдет разделение частиц твердой фазы пульпы с учетом их гравитационной крупности.

Задачи исследований. Исходное питание дешламатора при обогащении железорудного сырья представляет собой сложный гидродинамический процесс, на который влияет целый ряд факторов. Поэтому для определения исходных предпосылки и степень влияния этих факторов на реализацию процесса гидравлического обогащения, необходимо выполнить математическое моделирование, посредством которого можно определить основные технологические режимы и параметры конструктивных элементов обогатительного оборудования.

Изложение материала и результаты. В результате проведенных исследований был разработан способ обогащения рудного сырья в дешламаторах позволяющий оптимизация обогатительного эффекта достигается за счет формирования горизонтально-ориентированного потока исходного питания, обеспечивающего создание оптимальных условий для разделения компонентов твердой фазы пульпы [2]. Вместе с тем, для оптимального функционирования устройства исходного питания необходимо достоверное определение параметров конструктивных элементов устройства исходя из гидродинамики движущегося в радиальном направлении потока железорудной пульпы.

Установлено, что прирост показателей сепарационных характеристик может быть достигнут при горизонтальном ориентировании вектора потока, формирование которого осуществляется направляющими дисками радиального питающего устройства (РПУ).

Для оценки ширины направляющих дисков РПУ, при которой возможно нарушение прохождения потока пульпы между горизонтальными дисками РПУ, необходимо провести математическое моделирование рассматриваемого процесса осаждения. С этой целью рассмотрим движение частиц в потоке пульпы в пространстве между направляющими дисками РПУ (рис. 1).

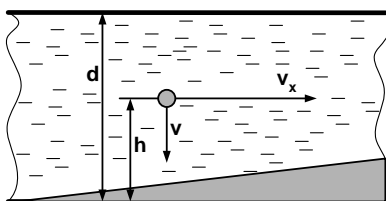


Рис. 1. Схематическое изображение движения частицы при движении пульпы между дисками радиального питающего устройства с образованием слоя осадка: d - расстояние между дисками РПУ, м; v_x - горизонтальная скорость частицы, м/с; v - вертикальная скорость частицы, м/с; h - расстояние от частицы до поверхности нижнего диска РПУ, м

Дифференциальное уравнение, которое в рассматриваемом случае описывает процесс осаждения, может быть

записано в виде

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

где v - вертикальная скорость частицы, м/с; m - масса частицы, кг; Δ - плотность жидкости, кг/м³; δ - плотность твердого, кг/м³; c_o - начальное содержание твердого продукта в пульпе, g - ускорение свободного падения, м/с²; F - сила сопротивления, действующая на частицу, Н.

Учитывая, что процесс осаждения частиц является достаточно медленным, можно принять, что сила сопротивления движению частицы в уравнении (1) описывается формулой Стокса

$$F = kv, \quad (2)$$

где k - коэффициент пропорциональности.

Решение дифференциального уравнения (1) с учетом формулы (2) при нулевом начальном условии вертикальной скорости ($v(t=0)=0$) имеет вид

$$v = \frac{mg}{k} (1 - c_o) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right). \quad (3)$$

Формула (3) может быть записана в виде

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{mg}{k} (1 - c_o) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right), \quad (4)$$

где h - расстояние частицы до нижнего диска РПУ, м.

Учитывая, что в начальный момент времени частица находится на расстоянии h_o от нижнего диска РПУ, путем интегрирования (4), находим

$$h = h_o - \frac{mg}{k} (1 - c_o) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) \left(t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right)\right). \quad (5)$$

Время падения частицы, до достижения поверхности нижнего диска РПУ, находится путем приравнивания формулы (5) к нулю

$$h_o - \frac{mg}{k} (1 - c_o) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) \left(t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right)\right) = 0. \quad (6)$$

Уравнение (6) является нелинейным относительно времени t , и в этом случае допускает только численное решение. Однако, если время падения частицы достаточно большое, то, пренебрегая малыми величинами, находим время падения частицы

$$t_o = \frac{h_o k}{mg (1 - c_o) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right)} + \frac{m}{k}. \quad (7)$$

При движении частицы между дисками РПУ, ее горизонтальная скорость изменяется, что связано с изменением проходного сечения. Действительно, согласно закону сохранения имеет место равенство

$$v_o \cdot \pi \cdot r_o^2 = v_x \cdot 2\pi \cdot x \cdot d, \quad (r_o \leq x).$$

Откуда находим

$$v_x = \frac{v_o \cdot r_o^2}{2xd}.$$

В результате получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = \frac{v_o \cdot r_o^2}{2xd},$$

интегрируя которое находим расстояние, начиная с которого появится осадок пульпы на поверхности нижнего диска РПУ

$$l_o = r_o \sqrt{\frac{v_o t_o}{d} + 1}. \quad (8)$$

В свою очередь, длина полки РПУ находится по формуле

$$l_o = r_o \left(\sqrt{\frac{v_o t_o}{d} + 1} - 1 \right). \quad (9)$$

Начиная с момента времени, который определяется формулой (6) или (7), на поверхности нижнего диска РПУ начинает образовываться осадок.

Для нахождения высоты осадка воспользуемся формулой прироста массы осадка

$$dM = \delta \cdot v \cdot s \cdot dt, \quad (10)$$

где s - площадь нижнего диска РПУ, на который осаждаются частицы, m^2 ; t - время, с.

Подставив решение (3) в равенство (10), получаем дифференциальное уравнение, которое описывает прирост массы осадка

$$\frac{dM}{dt} = \frac{mgs\delta}{k} (1 - c_o) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right) \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right). \quad (11)$$

Решение уравнения (11) при нулевом начальном условии ($M(t=0) = 0$) имеет вид

$$M = \frac{m \cdot g \cdot s \cdot \delta}{k} (1 - c_o) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right) \left(t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) \right). \quad (12)$$

Учитывая, что пульпа в начальный момент времени имеет концентрацию c_o , а концентрация осадка равна c_1 , высота образованного осадка, согласно (12), запишется так

$$h = \frac{m \cdot g}{k} \cdot \frac{1 - c_o}{c_1 - c_o} \left(t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) \right). \quad (13)$$

Если время осаждения частиц достаточно большое, то, пренебрегая малыми величинами в (13), получим

$$h = \frac{m \cdot g}{k} \cdot \frac{1 - c_o}{c_1 - c_o} \left(t - \frac{m}{k} \right). \quad (14)$$

Таким образом, формула, по которой можно рассчитать высоту осадка на поверхности нижнего диска РПУ, принимает вид

$$h(t) = \frac{m \cdot g}{k} \cdot \frac{1 - c_o}{c_1 - c_o} \left(t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) \right) \cdot \eta(t - t_o), \quad (15)$$

где $\eta(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$ - единичная функция.

Если длительность осаждения достаточно велика, то, пренебрегая малыми величинами, формулу (15) можно упростить

$$h(t) = \frac{mg}{k} \cdot \frac{1 - c_o}{c_1 - c_o} \left(t - \frac{m}{k} \right) \cdot \eta(t - t_o). \quad (16)$$

Принимая во внимание (8), получаем параметрическое представление высоты осадка в зависимости от расстояния до начала его осаждения

$$\begin{cases} h = \frac{mg}{k} \cdot \frac{1 - c_o}{c_1 - c_o} \left(t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) \right) \cdot \eta(t - t_o); \\ l = r_o \sqrt{\frac{v_o t}{d} + 1} \cdot \eta(t - t_o). \end{cases} \quad (17)$$

Исключив время как параметр, получаем явное представление зависимости высоты осадка от его длины на поверхности нижнего диска РПУ

$$h(l) = \frac{mg}{k} \cdot \frac{1 - c_o}{c_1 - c_o} \left(\frac{d}{v_o} \left(\frac{l^2}{r_o^2} - 1 \right) - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m v_o} \left(\frac{l^2}{r_o^2} - 1 \right)} \right) \right) \cdot \eta(l - l_o). \quad (18)$$

Если длительность осаждения достаточно велика, то, пренебрегая малыми величинами, формулу (18) можно упростить

$$h(l) = \frac{mg}{k} \frac{1-c_o}{c_1-c_o} \left(\frac{d}{v_o} \left(\frac{l^2}{r_o^2} - 1 \right) - \frac{m}{k} \right) \cdot \eta(l-l_o). \quad (19)$$

Очевидно, что полученные формулы позволяют оценить ширину полки РПУ, при которой высота осадка пульпы не будет препятствовать процессу дешламации.

Полученные формулы для дальнейшего исследования целесообразно представить в безразмерном виде, приняв для упрощения, что частица имеет сферическую форму. В этом случае формула (7), которая определяет время падения частицы, запишется в виде

$$\tau_o = \frac{\hat{h}_o}{1-c_o} + 1, \quad (20)$$

где $\tau_o = t_o/\Delta t$, $\hat{h}_o = h_o/\Delta l$, $\Delta t = \theta/g \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right)$, с., $\Delta l = \theta \Delta t$, м; θ - гидравлическая крупность частицы, м/с.

В свою очередь, расстояние, начиная с которого появится осадок, определяемое формулой (8), представится в виде

$$\hat{l}_o = \hat{r}_o \left(\sqrt{\frac{\hat{v}_o \cdot \tau_o}{\hat{d}} + 1} - 1 \right), \quad (21)$$

где $\hat{l}_o = l_o/\Delta l$, $\hat{r}_o = r_o/\Delta l$, $\hat{d} = d/\Delta l$, $\hat{v}_o = v_o/\theta$.

Зависимость высоты осадка от расстояния, представленная формулой (18), в безразмерном виде запишется в виде

$$\hat{h}(\hat{l}) = \frac{1-c_o}{c_1-c_o} \frac{1}{1-\frac{\Delta}{\delta}} \left(\frac{\hat{d}}{\hat{v}_o} \left(\frac{\hat{l}^2}{\hat{r}_o^2} - 1 \right) - 1 + e^{-\frac{\hat{d}}{\hat{v}_o} \left(\frac{\hat{l}^2}{\hat{r}_o^2} - 1 \right)} \right) \cdot \eta(\hat{l} - \hat{l}_o), \quad (22)$$

где $\hat{h}(\hat{l}) = \frac{h(l)}{\Delta l}$, $\hat{l} = \frac{l}{\Delta l}$.

В свою очередь, формула (19) запишется так

$$\hat{h}(\hat{l}) = \frac{1-c_o}{c_1-c_o} \frac{1}{1-\frac{\Delta}{\delta}} \left(\frac{\hat{d}}{\hat{v}_o} \left(\frac{\hat{l}^2}{\hat{r}_o^2} - 1 \right) - 1 \right) \cdot \eta(\hat{l} - \hat{l}_o). \quad (23)$$

Ниже представлены расчеты зависимости расстояния, на котором начинает выпадать осадок, от гидравлической крупности пульпы при разных входных скоростях пульпы.

Результаты расчетов приведены на рис. 2. Анализ приведенных графиков показывает, что с увеличением гидравлической крупности расстояние, на котором начинает выпадать осадок, уменьшается. Однако при возрастании скорости пульпы при той же гидравлической крупности эта величина возрастает.

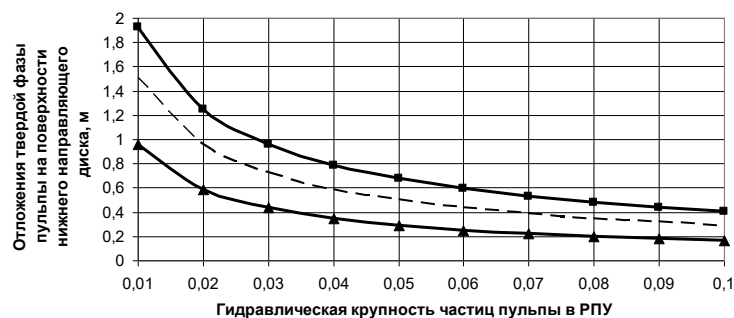


Рис. 2. Зависимость начала отложения твердой фазы пульпы на поверхности нижнего направляющего диска радиального питающего устройства от гидравлической крупности частиц пульпы:
 - ▲ - при $v_o = 0,1$ м/с; - - - при $v_o = 0,2$ м/с; - ■ - при $v_o = 0,3$ м/с

Анализ рис. 2, позволяет сделать вывод о том, что отложение твердого осадка на поверхности нижнего диска при скорости подачи исходного питания 0,3 м/с произойдет на расстоянии 2 м. Следовательно, применительно к действующим конструкциям радиальных гравитационных аппаратов полка питающего устройства дешламатора не будет засоряться осаждающимися частицами твердой фазы пульпы.

Выводы и направление дальнейших исследований. Применение устройств исходного питания в гравитационных обогатительных аппаратах радиального типа позволяет формировать поток пульпы, геометрические параметры которого определяют создание оптимальных условий для осаждения частиц твердой фазы. Горизонтального ориентирование потока исходного питания позволяет увеличить время перемещения рудных частиц в жидкой среде и тем самым увеличивает качественные показатели обогащения сгущенного продукта. Результаты исследований могут быть использованы для разработки устройств исходного питания для всех применяемых в горнорудной промышленности сгустителей радиального типа.

Список литературы

1. Барский М.Д. Гравитационная классификация зернистых материалов / М.Д. Барский, В.И. Ревнивцев, Ю.В. Соколин. – М.: Недра, 1974. – 232 с.

2. Спосіб дешламації рудної сировини: Деклараційний патент на корисну модель № 53598 / Кривенко А.Ю.; Заявлено 19.04.2010; Опубл. 11.10.2011. Бюл № 19. – 4 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.12

УДК 629.4.027

К.А. ЗІБОРОВ, канд. техн. наук, С.О. ФЕДОРЯЧЕНКО, аспірант

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ШАХТНОЇ ВАГОНЕТКИ З ДОДАТКОВОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ РУХЛИВІСТЮ ЛАНОК ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ

Викладено важливість шахтного транспорту в сучасних виробничих умовах та проблеми експлуатації шахтних вагонеток. Авторами приведено шляхи підвищення безпеки та довговічності експлуатації вагонеток шляхом модернізування ходової частини. В матеріалах викладено математичну модель руху шахтної вагонетки у взаємодії із рейковим шляхом та аналіз основних динамічних характеристик вагонетки із модернізованою ходовою частиною.

Гірничо-геологічні особливості залягання кам'яного вугілля на шахтах Західного і Центрального Донбасу зумовлюють використання як конвеєрного, так і локомотивного транспорту для відвантаження добичі. Найбільш часто застосованою є локомотивна відкатка, до того ж вимоги до безпеки її використання є вищими за конвеєрний транспорт.

Основною технологічною ланкою такої схеми є рейкова вагонетка. Цілком зрозуміло, що підтримання вагонеток у відповідному стані є необхідною умовою безпечного та ефективного виробництва. Проте морально застарілі та зношені вагонетки з кожним роком потребують все більших обсягів робіт із відновлення та обслуговування транспортного парку.

Згідно [1], найбільшого зносу та пошкоджень зазнає ходова частина. Основними причинами виходу з ладу вагонеток є руйнування підшипників буксових вузлів, знос бандажів коліс, руйнування елементів кріплення колісних вісей (рис. 1).



Рис. 1. Руйнування провусини кріплення колісної вісі

Причиною низької довговічності є динамічні навантаження, викликані незадовільним станом рейкової колії і безпосередньо пов'язані із гірничо-геологічною будовою виробки, станом системи водовідливу, умовами проходки тощо. Перелічені фактори також підвищують небезпеку сходу вагонеток з рейкової колії внаслідок вповзання колеса на головку рейки як на прямолінійних ділянках колії (витиснення вагонів, рискання), так і у кривих. За результатами дослідження [3] виявлено, що параметри рейкового шляху в реальних умовах відмінні від нормативних більш, ніж на 20%. Наслідком є недостатнє навантаження коліс вагонетки. За підрахунками [3] 10-15% часу одне з коліс є повністю розванта-