

Т.А. ОЛІЙНИК, В.И. МУЛЯВКО, д-ра техн. наук,
А.Ю. КРИВЕНКО
(Україна, Кривий Ріг, Криворізький технічний університет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЧАСТИЦ ПИТАЮЩЕГО ПОТОКА ПУЛЬПЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ РАДИАЛЬНО-КРУГОВОГО ПИТАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА 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 в загрузочном устройстве 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 гравитационного обогащения с учетом пространственной ориентации исходного потока. 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.

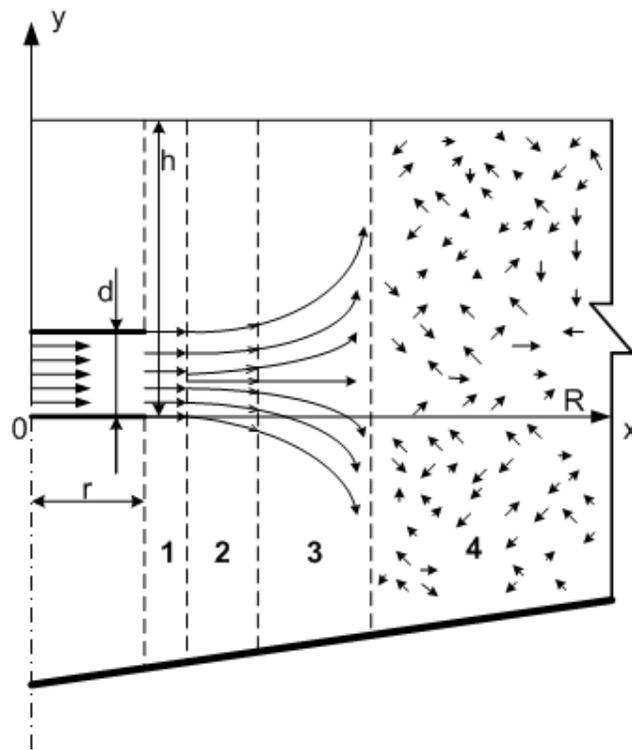
Анализ исследований и публикаций. В настоящее время задачи, связанные с повышением качества концентрата в дешламаторах, решались за счет изменения конструкции самого аппарата или изменения характеристик питающей пульпы (ее температуры, плотности, добавления флокулянтов и т.д.). Внимание же массопереносу внутри чана дешламатора, в частности движение частиц питающей пульпы, уделялось недостаточно [1-3]. В основном рассматривалась картина движения частиц различной плотности и размера под влиянием восходящих и нисходящих потоков, скорость которых может быть больше или меньше скорости витания этих частиц. Вместе с тем, движение частиц твердой фазы пульпы не рассматривалось в пространственных координатах. Считаем, что такой подход к поставленной проблеме позволил бы определить границу

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

ефективного розділення компонентів пульпи і скоростний режим подачі пульпи, а також вибрати оптимальні геометричні параметри дешламатора і заглиблення загрузочного пристрою вихідного живлення.

Постановка задачі. Задачею досліджень виявився розрахунок швидкості частинки пульпи живлення в початковий момент, їх переміщення від загрузочного пристрою вихідного живлення до певної глибини всередині апарату для визначення закономірностей гідравлическої гравітаційної сепарації магнетитових кварцитів в дешламаторах з радіальним способом подачі вихідного живлення.

Изложение материала и результаты. В результаті досліджень, применительно до існуючих конструкцій дешламаторів, був запропонований новий спосіб дешламации магнетитових кварцитів, оснований на радіальному формуванні вихідного потоку пульпи живлення на певній глибині в прийомній ємкості апарату (рисунок).



Модель руху живлення в прийомній ємкості дешламатора при радіальній подачі живлення

Як видно з рисунка, при подачі пульпи живлення на вибрану нами глибину апарату утворюється чотири умовні зони:

- зона 1 – зона руху пульпи живлення. Як правило, вона представлена цілісним потоком, який горизонтально орієнтований, практично не піддається впливу сил гравітації і турбулентних потоків;
- зона 2 – зона розділення потоку. В цій зоні відбувається початок розділення потоку живлення. Спочатку спостерігається розділення потоку на со-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

ставляющие, различные по плотностным характеристикам. В этой зоне наблюдается воздействие гравитационной составляющей и в меньшей мере – воздействие турбулентных потоков, а также инициируется процесс разделения рудных частиц от породных. В какой-то мере в этой зоне происходит некоторое раскрытие и "отмыв" железосодержащих минералов от кварца;

- зона 3 – зона осаждения. В данной зоне происходит ярко выраженное разделение компонентов пульпы под действием гравитационной составляющей и турбулентных потоков, инициируемых исходным питанием. Происходит разделение частиц на сгущенный продукт, который идет в пески дешламации, и шлам, который поднимаясь вверх, удаляется из процесса через зону слива.

- зона 4 – зона свободного витания. Как правило, в этой зоне сосредоточены частицы средней плотности и крупности, поведение которых сложно прогнозировать. Массовая доля этих частиц составляет 15-25%. Эти частицы перемещаются в основном под воздействием турбулентных потоков, динамическая составляющая которых превышает силы гравитации. Это предопределяет в определенной мере спонтанность процесса их движения и сложно прогнозируемое поведение в процессе перемещения в чане дешламатора. В зависимости от пространственного положения этих частиц, часть их уносится вместе со сливом, а часть осаждается вместе с частицами, высокой плотности на дно дешламатора в сформированном слое сгущенного продукта.

Установлено, что эффективность процесса обогащения обеспечивается за счет более длительного взаимодействия частиц исходного сырья с двухфазной средой в приемной емкости дешламатора, в отличие от нисходящего потока питания, где данное взаимодействие гораздо меньше. Изменение траектории движения частиц, увеличение степени "отмыва" и сведение к минимуму вероятность захвата частиц с низкой плотностью в сторону донной (разгрузочной) части дешламатора – и есть те факторы, отличающие радиальную подачу исходного питания от традиционно принятой нисходящей.

После выхода питающей струи из радиально-кругового питающего устройства происходит ее движение к периферии дешламатора. Струя суспензии, имеющая некий импульс, вносит в окружающее пространство ванны дешламатора поток твердой фазы. Процесс распространения струи сопровождается рассеянием этого импульса в окружающей среде, т.е. распространением твердой фазы по объему дешламатора, и приданием ее компонентам определенного ускорения.

Данный импульс разбивает струю потока пульпы об окружающую двухфазную среду и, как следствие, образуется затопленная струя. Образовавшаяся затопленная струя распространяется по боковой части дешламатора, захватывая при этом гораздо большую площадь, чем образовавшаяся струя питания при стандартном питателе – вертикальном с нисходящим питанием. Частицы при радиальном потоке исходного питания, в отличие от вертикального питания дешламатора, имеют больше времени на витание по всей площади дешламатора, что приводит к улучшению "отмыва" частиц и, как следствие, влияет на качество сгущенного продукта. Максимальное время нахождения во взвешенном

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

состоянии осаждающего продукта почти в 1,3-1,5 раза больше, по сравнению с нисходящей подачей исходного питания, применяемой в дешламаторах.

Радиальная подача исходного питания позволяет:

– максимально использовать пространство дешламатора для осуществления процесса осаждения частиц, содержащих полезный компонент, и удаление в слив частиц пустой породы;

– оптимизировать процесс обогащения за счет изменения глубины формирования радиального потока относительно зеркала пульпы в приемной емкости дешламатора.

Вполне логично, что использование модели поведения частиц пульпы питания на выходе из радиального питающего устройства, позволит спрогнозировать поведение всего потока, его характеристики, а именно: скорость движения и целостность потока (затопленной струи), путь его распространения.

Одним из возможных путей исследования поведения частиц в дешламаторе, является построение математической модели, на основании которой можно будет изучить поведение отдельной частицы питающего потока пульпы на выходе из радиально-кругового питающего устройства.

Данный метод математического моделирования позволит путем организации вычислительного эксперимента на синтезированных математических моделях исследовать особенности поведения частиц внутри дешламатора. Кроме того, математическая модель может быть включена как составной элемент в алгоритм управления операцией дешламации.

Рассмотрим движение частиц массой m , вышедших в свободное пространство аппарата вместе с поступающим в него гидродисперсным материалом (рисунк), скорость которого v_0 .

На движущуюся частицу одновременно действуют сила тяжести mg , сила Архимеда F_A и сила сопротивления среды F_C . Последнюю определяем по Стоксу. Тогда формула второго закона Ньютона для частицы имеет вид

$$m \vec{a} = m \vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_C . \quad (1)$$

Векторное уравнение (1) можно заменить системой скалярных уравнений, описывающих движение частиц по осям x и y :

$$\begin{cases} ma_x = 6\pi\eta R_q (v_{xq} - u_x) \\ ma_y = g \frac{4}{3} \pi R_q^3 (\rho_q - \rho_{ж}) - 6\pi\eta R_q (v_{yq} - u_y) , \end{cases} \quad (2)$$

где $\eta, \rho_{ж}$ – динамическая вязкость и плотность жидкого носителя; R_q и ρ_q – радиус и плотность частицы; v_{xq}, v_{yq} – проекции скорости частицы на соответствующие оси; u_x, u_y – проекции скорости жидкого носителя (пульпы) на те же оси координат.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Заменяя ускорения a_x и a_y на соответствующие им производные по времени от скоростей v_x и v_y , получаем систему дифференциальных уравнений первого порядка для компонентов скорости частицы:

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = 6\pi\eta R_q (v_{xq} - u_x) \\ m \frac{dv_y}{dt} = g \frac{4}{3} \pi R_q^3 (\rho_q - \rho_{жс}) - 6\pi\eta R_q (v_{yq} - u_y) \end{cases} \quad (3)$$

Задача, таким образом, сводится к интегрированию уравнений, результатом которого будут зависимости скоростей от времени. Последующим интегрированием устанавливаются значения координат частицы в любой момент времени:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_x(t) \\ \frac{dy}{dt} = v_y(t) \end{cases} \quad (4)$$

Для решения применяем численное интегрирование.

Для численного решения задачи вместо функций $v_x(t)$, $v_y(t)$ применяем их значения v_{xi} , v_{yi} в момент времени t_i . Систему дифференциальных уравнений (3) и (4) заменяем в этом случае системой дифференциальных уравнений в конечных разностях для сеточных функций v_{xi} , v_{yi} , x_i , y_i , t_i :

$$\begin{cases} m \frac{v_{x(i+1)} - v_{xi}}{\Delta t} = 6\pi\eta R_q (v_{xq} - u_x) \\ m \frac{v_{y(i+1)} - v_{yi}}{\Delta t} = g \frac{4}{3} \pi R_q^3 (\rho_q - \rho_{жс}) - 6\pi\eta R_q (v_{yq} - u_y) \end{cases} ; \quad (5)$$

$$\begin{cases} \frac{x_{(i+1)} - x_i}{\Delta t} = v_{x(i+1)} \\ \frac{y_{(i+1)} - y_i}{\Delta t} = v_{y(i+1)} \end{cases} \quad (6)$$

Решая полученные системы уравнения относительно $v_{x(i+1)}$, $v_{y(i+1)}$, $x_{(i+1)}$, $y_{(i+1)}$ получим:

$$\begin{cases} v_{x(i+1)} = v_{xi} + \frac{1}{m} 6\pi\eta R_{\text{ч}}(v_{x\text{ч}} - u_x)\Delta t \\ v_{y(i+1)} = v_{yi} + \frac{1}{m} \left[g \frac{4}{3} \pi R_{\text{ч}}^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) - 6\pi\eta R_{\text{ч}}(v_{y\text{ч}} - u_y) \right] \Delta t \end{cases}; \quad (7)$$

$$\begin{cases} x_{(i+1)} = x_i + v_{x(i+1)}\Delta t \\ y_{(i+1)} = y_i + v_{y(i+1)}\Delta t \end{cases}. \quad (8)$$

Далее, находим скорость частицы в единицу времени.

$$x_0 = r; v_{0x} = \frac{Q}{2\pi r d}; u_x = \frac{Q}{2\pi r d} \cdot \frac{R}{x}, \text{ или } u_x = \frac{Q}{2\pi r d} \cdot \frac{r}{x^2};$$

$$v_{0y} = 0; y_0 = \frac{Q}{\pi(R^2 - r^2)}; y_{01} = 0; y_{02} = d.$$

Как видно из вывода уравнений, начальная скорость частицы при выходе из радиально-кругового питающего устройства напрямую зависит от самой конструкции разгрузочного аппарата: радиуса его дисков, расстояния между ними и глубины его погружения.

Выводы и направление дальнейших исследований. Изучая поведение единичной частицы в момент времени, можно прогнозировать поведение всего питающего потока. Это позволит с точностью предопределить качество функционирования дешламатора, а именно – уменьшить потери полезного компонента в сливе и загрязнение сгущенного продукта пустыми породными шламами.

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., Мулякко В.И., Кривенко А.Ю., 2012

*Надійшла до редколегії 01.02.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*