

Выводы и направления дальнейших исследований. Применение на практике разработанного нами метода позволяет решить задачу формального описания структуры сложных технологических систем абстрактными символами и задачу обратного преобразования полученных уравнений с целью построения структурных схем систем, обеспечивает оценку иерархического уровня структуры и упрощение обработки информации о системе на ЭВМ.

Список литературы

1. dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/274430 [Электронный ресурс].
2. Рудь Ю.С. Повышение надежности и производительности систем оборудования для окускования железных руд [Текст] / Ю.С. Рудь. - Диссертация доктора техн. наук. - М.: МГИ, 1986. - 329 с.
3. ideafix.name/wp-content/uploads/stuff/SYSAN/2.pdf [Электронный ресурс].
4. www.intuit.ru/studies/courses/83/83/lecture/20470?page=2 [Электронный ресурс].
5. Понятие технической системы, её элементов, комплекса . ek-ek.jimdo.com [Электронный ресурс].
6. Бусленко Н.П. О формальном описании связей между элементами сложной системы // Кибернетика. - 1972. - №6. - С. 45-53.
7. Бусленко Н.П.. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. - Ленинград: Советское радио, 1973. - 440 с.
8. Scorchet.ru/adaptologiya/minimization_efforts/minimization_efforts7.php [Электронный ресурс].
9. Рудь Ю.С. Надежность и эффективность оборудования фабрик окускования [Текст] / Ю.С. Рудь. - М.: Недра, 1977. - 200 с.
10. Рудь Ю.С. Эксплуатационная надежность оборудования обжиговой машины ОК-306 [Текст] / Ю.С. Рудь, Н.В. Кияновский, Н.М. Флак, В.И. Бессараб, В.П. Шевченко, А.С. Якименко. - М.: Институт «Черметинформация», 1975 (Экспресс-информ. Сер. 17. Служба и ремонт механического оборудования на металлургических заводах. - Вып. 7). - 14 с.
11. Рудь Ю.С. Оборудование для окомкования и обжига железорудных окатышей [Текст] / Ю.С. Рудь, В.И. Бессараб, В.М. Палагута, Г.Х. Бойко, М.Е. Фастовский. - М.: ЦНИИТЯЖМАШ, 1982. (Обзорн. информ. Сер. Металлургическое оборудование. - Вып. 36). - 33 с.].
12. Проников А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.
13. Холл А.Д.. Определение понятия системы [Текст] / А.Д. Холл, Р.Е. Фейджин. - В кн.: Исследования по общей теории систем. - М., 1969. - С. 252-285.
14. Коваленко И.Н. Исследования по анализу надежности сложных систем [Текст] / И.Н. Коваленко. - К.: Наукова думка, 1975. - 211 с.
15. Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/Декомпозиция> [Электронный ресурс].
16. Рудь Ю.С. Современное оборудование для обогащения железных руд [Текст] / Ю.С. Рудь, В.И. Бессараб, Л.З. Ортенберг. - ЦНИИТЭИТЯЖМАШ. - М., 1982. - Обзор информ. Сер. Горное оборудование. - Вып. 33). - 36 с.

УДК 622.7

А.Ю. КРИВЕНКО, Ю.Ю. КРИВЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В АППАРАТАХ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО ТИПА

Актуальность. Определение параметров потоков, формирующихся в чане дешламатора, позволяет прогнозировать эффективность процесса в зависимости от физико-механических свойств исходного сырья и его гранулометрического состава. Определяя скорость частиц твердой фазы пульпы исходного сырья, становится возможным выявить 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.

Постановка задач. Целью данной работы является усовершенствование методики моделирование разделения железорудного сырья в аппаратах седиментационного типа, что позволяет прогнозировать сепарационные характеристики аппарата и изменять их в зависимости от технологических нагрузок на дешламатор.

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 дальнотойности струи наблюдается обычное гравитационное разделение железорудного сырья в ванне дешламатора.

Выводы. 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 дешламатор.

Ключевые слова: дешламатор, исходное питание дешламатора, поток пульпы, гравитационное разделение, сгущенный продукт.

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 массопереносу внутри чана дешламатора разных конструкций, в частности движение частиц питающей пульпы, уделяется недостаточно [1,2,3]. 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 дешламатора с учетом образования песков и слива аппарата.

Постановка задачи. Задачей исследований явился расчет массы, высоты, плотности песков и слива дешламатора 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 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 - 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

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

где μ - динамическая вязкость; Па/с; d_o - 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

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

В рассматриваемом случае гидравлическая крупность частицы вычисляется по формуле

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

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 $\tau = d_o^2 \cdot \delta / 18\mu$ - гидравлическая единица времени, с.

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

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

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

$$(1 - c_n(x)) \cdot \theta \int_0^{t_o} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) dt = H - h_o - y_n(x),$$

или

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

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

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

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 дещлааматора, что определяется фиксацией высоты слоя песков, производится выгрузка загущенного продукта.

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

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

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

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

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

Для дещлааматора имеют место такие балансовые соотношения

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

$$\rho_o \cdot Q_o = \rho_1 \cdot Q_1 + G_2, \quad (13)$$

где ρ_o - плотность пульпы на выходе из РКУ, кг/м³; ρ_1 - плотность осветленного продукта, кг/м³; Q_o - расход пульпы, поступающей в дещлааматор, м³/с; Q_1 - расход осветленного продукта, поступающего в слив, м³/с; Q_2 - расход сгущенного продукта, м³/с.

Принимая во внимание, что

$$Q_2 = G_2 / \rho_2, \quad (14)$$

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

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

Поскольку

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

то, с учетом (15), получаем

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

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 дещлааматора к циклической. Таким способом будет обеспечено заданное содержание твердого в загущенном продукте.

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

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

В свою очередь, находим плотность осветленного продукта

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

Как видно из уравнений, сепарационные характеристики дещлааматора 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 дещлааматора 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 дещлааматор.

Список литературы

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

Рукопись поступила в редакцию 12.03.17

УДК 622.273.22

І.П. КУШНЕРЬОВ, Ю.Ю. КРИВЕНКО, кандидати техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОТУЖНИХ КРУТОСПАДНИХ РУДНИХ ПОКЛАДІВ

Актуальність. Найбільш перспективними системами розробки рудних покладів в Криворізькому басейні є системи з відкритим очисним простором, які на перевагу від систем з обваленням дозволяють зменшити втрати та засмічення руди за рахунок того, що більш ніж 30% балансових запасів виймальної одиниці випускаються практично чистими. Чим більше об'єм камери, тим кращі показники добування по системі розробці. Обов'язковою умовою застосування камерних систем - це природна стійкість руди та оточуючих порід, або ж технологічне штучне виконання ряду заходів по підвищенню стійкості оголень конструктивних елементів системи розробки. Аналіз робіт показує, що мало досліджень виконано щодо можливості застосування камерних систем і в подальшому на глибоких горизонтах ряду рудних шахт. Недостатньо нових заходів по підвищенню стійкості оголень в камерах та ціликах, зниженню тривалості існування підземних конструкцій за рахунок інтенсифікації випуску та доставки рудної маси і покращенню показників вилучення її при цьому. Практика показує, що на досягнутих глибинах на шахтах за умов незабезпечення стійкості конструктивних елементів існує відмова від ефективних камерних систем розробки на користь систем з обваленням, які гірші за показниками вилучення рудної маси.

Результати. Спосіб розробки родовищ дозволяє знизити витрати на проведення підготовчо-нарізних робіт за рахунок ефективних схем розбурювання масиву, оригінальних конструкцій днища блоку та компенсаційного простору. Оптимальна технологія відпрацювання міжкамерного цілика дає можливість знизити втрати та розубоження руди. Технологічна схема відпрацювання запасів блоку розширює область застосування камерних систем розробки.

Висновки. З глибиною на шахтах Криворізького басейну спостерігається відмова від ефективних у порівнянні з системами з обваленням камерних систем розробки. Це пов'язано з активними негативними проявами гірського тиску та вимушеним прийняттям збільшених розмірів ціликів та зменшенням камерних запасів, які відпрацьовуються з незначними втратами і засміченням у порівнянні з ціликами. Запропонована технологічна схема відпрацювання запасів блоку розширює область застосування камерних систем розробки. Впровадження цієї технології дозволяє знизити витрати на проведення підготовчо-нарізних робіт за рахунок ефективних схем розбурювання масиву, оригінальних конструкцій днища блоку та компенсаційного простору. Оптимальна технологія відпрацювання міжкамерного цілика дає можливість знизити втрати та розубоження руди.

Ключові слова: Системи з відкритим очисним простором, міжкамерні цілики, обвалення руди, випуск та доставки рудної маси.

Проблема та зв'язок з науковими та практичними задачами. Виймання запасів корисних копалин на глибоких горизонтах ряду шахт спряжене з активними проявами гірського тиску, що тягне за собою зменшення розмірів камер паралельно зі збільшенням параметрів різного роду ціликів, втрату контурів вибухових свердловин, гірничих виробок технологічного напрямку. При цьому погіршуються умови безпеки виконання гірничих робіт, значно зростають матеріальні та трудові витрати на їх проведення, а також показники вилучення рудної маси і, в цілому, ефективність видобутку корисних копалин. Найбільш перспективними системами розробки рудних покладів в Криворізькому басейні є системи з відкритим очисним простором, які на перевагу від систем з обваленням дозволяють зменшити втрати та засмічення руди за рахунок того, що більш ніж 30% балансових запасів виймальної одиниці випускаються практично чистими. Чим більше об'єм камери, тим кращі показники добування по системі розробці. Обов'язковою умовою застосування камерних систем - це природна стійкість руди та оточуючих порід, або ж технологічне штучне виконання ряду заходів по підвищенню стійкості оголень конструктивних елементів системи розробки.

Аналіз досліджень та публікацій. З метою удосконалення систем з відкритим очисним простором виконана значна кількість досліджень. Вони, як правило, направлені на розробку нових варіантів систем, удосконалення існуючих, визначення ефективних параметрів очисного