

Рис. 7. Прогнозні запаси магнезиту

У Словаччині магнезитова руда добувається на декількох родовищах між містами Kosice і Lucenec на сході країни поряд з угорським кордоном. Родовища носять назви Podrečany, Burda, Lubenik, Amag, і Ddbrava-Mikovfi. Найбільше родовище в Словаччині Ddbrava- Mikovfi. Компанія Slovenske Magnezitove Zavody AS Jelsava (SMZ Jelsava) володіє підземною шахтою в Jelsava.

Основне виробництво в Австралії зосереджено навколо родовища Кунварара, розташованого в 37 милях на північний захід від Рокхамптона, Квінсленд. Це родовище розробляється компанією Queensland Magnesia, що є дочірнім підприємством Australian Metals Corporation Ltd. (AMC) і представляє одного з найбільших виробників магнезиту.

Перспективним є розвідування запасів магнезиту у таких країнах, як Індія, Іспанія, Нова Зеландія, та ін.

Вміст MgO у сировинному магнезиті складає в середньому 45 %, далі, залежно від обробки вміст магнезиту можна підвищувати до 97,5 %, від цього залежить вартість магнезитової сировини, яка варіює у межах від 91 до 545\$ 1 т (рис. 9).

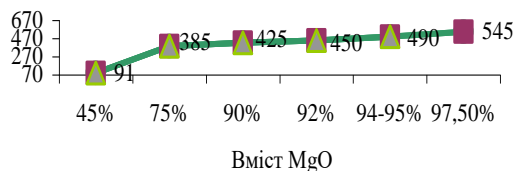


Рис. 9. Ціна (\$) за 1 т магнезиту різної якості

Висновки та напрямок подальших досліджень.

У результаті проведених досліджень встановлено, що основними виробниками тальку в світі є Китай, Корея, Індія та США., видобуток тальку у світі зменшується, у той час, як його вартість зростає. Основними запасами магнезиту володіють такі країни, як Китай, КНДР, Росія, Словаччина та Австралія. Вартість магнезитової

сировини залежить від якості його обробки і вмісту в ній MgO. Подальші дослідження слід продовжити у напрямку встановлення доцільності використання Україною власної сировинної бази тальк-магнезиту.

Список літератури

1. Брагіна, В.И. Технология обогащения и переработки неметаллических полезных ископаемых : учеб. пособие – Красноярск :ИПК СФУ, 2009. – 228 с.
2. Сытай В.А., Евтехов В.Д., Матыс В.Б. Тальк Кривбасса: перспективы промышленного применения // Геолого-мінералогічний вісник.- 2004.-№1.- С.71-75.

Рукопис подано до редакції 25.03.12

УДК 621.926:34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., С.А. ГОНЧАРОВ, аспірант,

Н.С. ПОДГОРОДЕЦКИЙ, канд. техн. наук,

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ РУДЫ В МЕХАНИЧЕСКОМ КЛАССИФИКАТОРЕ В ПАКЕТЕ MATLAB

Моделирование динамической кривой осаждения твердой фазы пульпы и формирования осадка с использованием ультразвуковых измерительных каналов. Изложены основные принципы моделирования процессов движения частиц измельченной руды в механическом классификаторе в пакете MATLAB

Ключевые слова: механический классификатор, моделирование, осаждение частиц.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В механическом классификаторе твердые частицы распределяются по глубине таким образом, что мелкие частицы концентрируются в верхней части и уносятся оттуда потоком в готовый продукт, а крупные осаждаются на дно и специальным механизмом возвращаются на доизмельчение. Распределение твердой фазы пульпы можно объяснить тем, что в сливе оказываются лишь мелкие частицы, не успевшие выпасть ниже уровня порога за время пребывания в классификаторе [1,2]. Пульпа поступает в сильно перемешиваемый поток, при этом возникает динамическое равновесие между гравитационным осаждением зерен и их диффузией; концентрация частиц любых размером максимальна на дне классификатора и уменьшается с высотой тем сильнее, чем больше размер зерен.

Анализ исследований и публикаций. Известная гидравлическая теория механических классификаторов пренебрегает турбулентной диффузией. Количественное определение крупности слива

при этом зависит от выбора расчетной схемы линий тока и характера стесненности падения частиц [2]. В работе [1] сделан вывод о том, что главный механизм классификации - перемешивание, а гидродинамические течения второстепенны и ими можно пренебречь. Задача моделирования в этом случае существенно усложняется вследствие зависимости скорости падения частиц от плотности пульпы, поскольку концентрация твердого переменна по глубине классификатора. Следует отметить, что использованные в рассмотренных работах методы моделирования не позволяют судить о характеристиках (количество, плотность, пористость и т.д.) продукта, сформировавшегося на дне классификатора. Это затрудняет выполнение расчета энергетических характеристик процесса транспортирования осевшего материала на доизмельчение.

Цель исследований. Задачей исследований является моделирование разделительных процессов в механическом классификаторе с учетом характеристик пульпы по глубине и осевшего рудного материала по толщине осадка.

Изложение материала и результаты. Для проведения экспериментов использовалась установка схема которой приведена на рис.1: 1,2 - излучатель и приемник ультразвуковых поверхностных волн Лэмба; 3,4 - излучатель и приемник ультразвуковых высокочастотных объемных волн; 5 - исследуемая пульпа; 6 - измерительный сосуд. Измерительные каналы на базе высокочастотных ультразвуковых колебаний и поверхностных волн Лэмба использовались для измерения концентрации твердой фазы и крупности измельченной руды в пульпе [2]. Их расположение по высоте измерительного сосуда 6 регулируется.

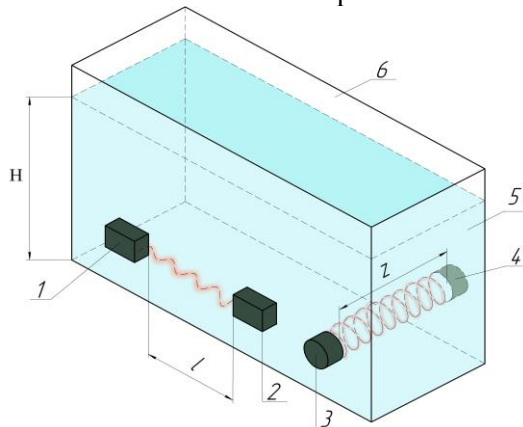


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Скорость осаждения частиц твердой фазы зависит как от их размеров, так и от их плотности, поэтому для описания этих процессов использована двумерная функция плотности распределения $f(r, \rho_T)$, зависящая от двух переменных: r - радиуса частиц и их плотности - ρ_T . Величина $f(r, \rho_T)drd\rho_T$ определяет долю частиц твердой фазы, радиусы которых лежат в пределах от r до $r + dr$, а их плотность изменяется от ρ_T до $\rho_T + d\rho_T$.

Временная зависимость амплитуды высокочастотных объемных ультразвуковых волн определяется выражением

$$A_v(t) = A_{ov} \exp \left\{ -\phi_{so} Z \int_{\rho_{Tmin}}^{\rho_{Tmax}} d\rho_T \int_0^{\tilde{R}(t, \rho_T)} \sigma(v, r) f(r, \rho_T) dr \right\}, \quad (1)$$

где A_{ov} - амплитуда объемной ультразвуковой волны в чистой воде; ϕ_{so} - начальная концентрация частиц твердой фазы; Z - расстояние между приемником и излучателем; ρ_{Tmin}, ρ_{Tmax} - граничные значения плотности частиц; $\sigma(v, r)$ - сечение ослабления ультразвуковой волны частоты v на частице радиуса r .

Временная зависимость амплитуды волн Лэмба определяется выражением

$$A_L(t) = A_{OL} \exp \left\{ -\frac{\phi_{so} C_v l \rho_{Tmax}}{\rho_{cm} \rho_{Tmin}} \int d\rho_T (\rho_T - \rho_o) \int_0^{\tilde{R}(t, \rho_T)} dr f(r, \rho_T) \frac{4}{3} \pi r^3 \right\}, \quad (2)$$

где A_{OL} - амплитуда волн Лэмба, прошедших по стенке сосуда 6, когда в нем находится чистая вода; l - расстояние между излучателем и приемником; ρ_{cm} - плотность материала стенки измерительного сосуда; C_v - величина, зависящая от частоты волны Лэмба.

По результатам измерений амплитуды ультразвуковых колебаний можно сформировать два сигнала, зависящих от времени.

Для измерительного канала на основе волн Лэмба

$$S_L(t) = \ln [A_{OL} / A_L(t)] = \frac{\phi_{so} C_v l \rho_{Tmax}}{\rho_{cm} \rho_{Tmin}} \int d\rho_T (\rho_T - \rho_o) \int_0^{\tilde{R}(t, \rho_T)} dr f(r, \rho_T) \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (3)$$

и для измерительного канала на основе высокочастотных объемных ультразвуковых волн

$$S_v(t) = \ln[A_{Ov} / A_v(t)] = \phi_{so} Z \int_{\rho_T \min}^{\rho_T \max} d\rho_T \int_{\circ}^{\tilde{R}(t, \rho_T)} \sigma(v, r) f(r, \rho_T) dr. \quad (4)$$

Оба сигнала зависят от начальной концентрации твердых частиц исследуемой суспензии ϕ_{so} и закона их распределения по размерам и плотности $f(r, \rho_T)$. Для построения экспериментальной динамической кривой осаждения частиц твердой фазы пульпы определялись дифференциальные значения величин (3) и (4), т.е.

$$S(t) = \frac{\Delta S_v(t)}{\Delta S_L(t)}, \quad (5)$$

где $\Delta S_v(t) = S_v(t + \Delta t) - S_v(t)$; $\Delta S_L(t) = S_L(t + \Delta t) - S_L(t)$.

С учетом того, что Δt и $\Delta \tilde{R}(t, \rho_T) = \tilde{R}(t + \Delta t, \rho_T) - \tilde{R}(t, \rho_T)$ - малые величины

$$S(t) = \frac{C\alpha(v, \tilde{R}(t, \rho_T^*)) \int_{\rho_T \min}^{\rho_T \max} d\rho_T F(t, \rho_T) f(\tilde{R}(t, \rho_T), \rho_T) \tilde{R}^3(t, \rho_T)}{(\rho_T^{**} - \rho_{\circ}) \int_{\rho_T \min}^{\rho_T \max} d\rho_T F(t, \rho_T) f(\tilde{R}(t, \rho_T), \rho_T) \tilde{R}^3(t, \rho_T)} = \frac{C\alpha(v, \tilde{R}(t, \rho_T^*))}{(\rho_T^{**} - \rho_{\circ})}, \quad (6)$$

где ρ_{\square}^* и $\rho_{\square}^{**} \in [\rho_1, \rho_2]$.

Использование такого подхода позволило определить экспериментальные зависимости между скоростью осаждения u_s частиц руды различной крупности и объемной концентрацией ϕ_s твердой фазы

$$u_s = b_o + b_1 \phi_s + b_1 \phi_s^2 \quad (7)$$

Как показано в работах [3,4] при осаждении частиц твердой фазы пульпы можно выделить три зоны (рис. 2): 1 - осаждение частиц с постоянной скоростью, 2 - переменная скорость осаждения, седиментация частиц, 3 - формирование и уплотнение осадка.

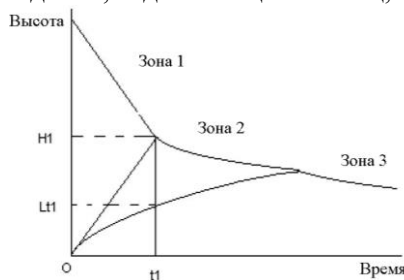


Рис. 2. Процесс осаждения частиц твердой фазы пульпы

Измерения изменения концентрации твердого в процессе осаждения его частиц позволяет записать

$$\frac{d(u_s \phi_s)}{d\phi_s} = \frac{u_s \phi_s - \varepsilon_{so} u_{so}}{\varepsilon_{so} \phi_s}. \quad (8)$$

Тогда с учетом (7)

$$4b_2 \phi_s^3 + (3b_1 - 3b_2 \varepsilon_{so}) \phi_s^2 + (2b_o - 2b_1 \varepsilon_{so}) \phi_s - \varepsilon_{so} (b_o - u_{so}) = 0. \quad (9)$$

Уравнение (9) решается численным методом, в результате чего определяется концентрация твердого в пульпе.

Для аналитического описания динамической кривой осаждения частиц в пульпе рассмотрим уравнение массового баланса в момент времени t_1 . Оно может быть представлено в следующем виде

$$\phi_{so} H_o = \int_o^{L_1} \varepsilon_s dx + \int_{L_1}^{H_1} \phi_s dx, \quad (10)$$

где ϕ_{so} - начальная концентрация, H_o - начальная высота, ε_s и ϕ_s - концентрация твердого в области осадка и суспензии соответственно. Таким образом, объем твердого в выделенной области суспензии определяется выражением $\int_{L_1}^{H_1} \phi_s dx$.

Выделим единичную секцию пульпы в рассматриваемом сосуде и рассмотрим ее движение (v_{s1}) в период времени $t_2 - t_1$. Объем твердого в выделенной секции определяется выражением [3]

$$\phi_{s1}(v_{s1} + u_{s1})(t_{n1} + t_1) + \phi_{s1}(v_{s1} + u_{s1})(t_{n2} + t_{n1}) + \dots + \phi_{s1}(v_{s1} + u_{s1})(t_2 + t_{m1})$$

$$= \phi_{s1}(v_{s1} + u_{s1})(t_2 - t_1), \quad (11)$$

где u_{s1} – скорость осаждения твердого в момент времени t_1 .

Из приведенного выражения следует, что

$$t_2 - t_1 = \frac{\phi_{so} - \int_0^{L_{t1}} \varepsilon_s dx}{\phi_{s1}(v_{s1} + u_{s1})}. \quad (12)$$

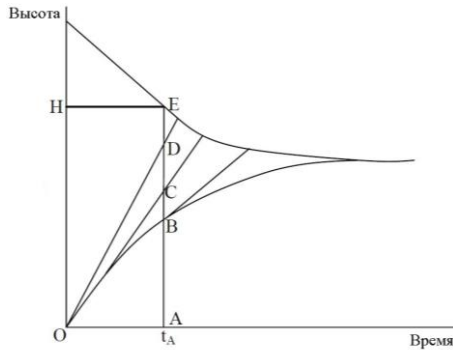


Рис. 3. Определение динамической кривой осаждения частиц твердой фазы пульпы

На рис. 3 показаны принципы формирования динамической кривой осаждения частиц твердой фазы пульпы. С учетом обозначений, приведенных на рис. 3, уравнение массового баланса для любой точки (например, A) можно записать в следующем виде [3,4]

$$\phi_{so} H_o = \int_0^{AB} \varepsilon_s dx + (DC)(\phi_{s2} + \phi_{s3})/2 + (CD) \times (\phi_{s1} + \phi_{s2})/2 + (H - AB - DC - CD)(\phi_{sj} + \phi_{s1})/2 \quad (13)$$

откуда

$$H = \frac{2\phi_{so} H_o - 2 \int_0^{AB} \varepsilon_s dx - (BC)(\phi_{s2} + \phi_{s3}) - (CD)(\phi_{s1} + \phi_{s2}) + (AB + BC + CD)(\phi_{s0} + \phi_{s1})}{\phi_{s0} + \phi_{s1}}. \quad (14)$$

Таким образом в любой момент времени t_A для суспензии имеют место три составляющие, определяющие ее концентрацию (рис. 2): отрезок DC – первая и вторая зоны; отрезок CB – вторая и третья зоны; отрезок ED – определяется начальной концентрацией и первой зоной. Отрезок BA характеризует концентрацию твердого в осадке.

С учетом рассуждений, приведенных в работе [4], процесс формирования осадка описывается следующим выражением

$$\frac{d\varepsilon_x}{dP_s} \frac{\partial P_s}{\partial t} + \frac{K\varepsilon_s}{\mu} \frac{\partial^2 P_s}{\partial t} + \frac{1}{\mu} \frac{d[K\varepsilon_s]}{dP_s} \left(\frac{\partial P_s}{\partial x} \right)^2 + \frac{g\Delta\rho}{\mu} \frac{d[K\varepsilon_s^2]}{dP_s} \frac{\partial P_s}{\partial x} = 0, \quad (15)$$

где P_s – вертикальное эффективное давление; K – проницаемость; ε_s – концентрация твердого в осадке; μ – вязкость; x – высота (толщина); t – время; g – гравитационная постоянная; $\Delta\rho = \rho_s - \rho$; ρ_s, ρ – плотность твердого и воды.

Ряд величин в выражении (15) определяется на основании экспериментальных данных

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{so}(1 + aP_s)^\beta. \quad (16)$$

$$K = K_o(1 + aP_s)^{-\delta}. \quad (17)$$

$$\beta = 3,08(0,65 - \varepsilon_{so})^{4,0}. \quad (18)$$

$$\delta = 5,19(0,65 - \varepsilon_{so})^{2,68}. \quad (19)$$

С учетом (16-19) выражение (15) можно преобразовать к следующему виду

$$\frac{\partial P_s}{\partial t} - \frac{K_o(1 + aP_s)^{1-\delta}}{a\mu\beta} \frac{\partial^2 P_s}{\partial t} - \frac{g\Delta\rho\varepsilon_{so}K_o(2\beta - \delta)(1 + aP_s)^{\beta-\delta}}{\mu\beta} - \frac{K_o(\beta - \delta) + (1 + aP_s)^{-\delta}}{\mu\beta} \left(\frac{\partial P_s}{\partial x} \right)^2 = 0 \quad (20)$$

При сформулированных граничных условиях: эффективное давление на поверхности пульпы в измерительном сосуде P_s и скорость жидкой и твердой фаз на его дне равны нулю, полученное уравнение решается методом Ньютона-Рафсона. На рис. 4 показаны результаты моде-

лирования в пакете Matlab 7 [5] динамической кривой осаждения пульпы в измерительном сосуде, а на рис. 5 - зависимости эффективного давления в осадке в различные моменты времени.

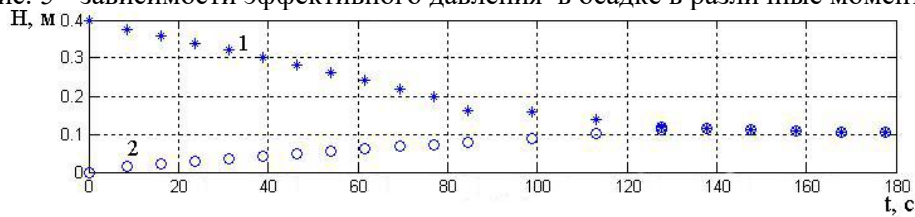


Рис. 4. Результаты моделирования динамической кривой осаждения пульпы в измерительном сосуде: 1- уровень твердой фазы в пульпе; 2 - уровень осадка

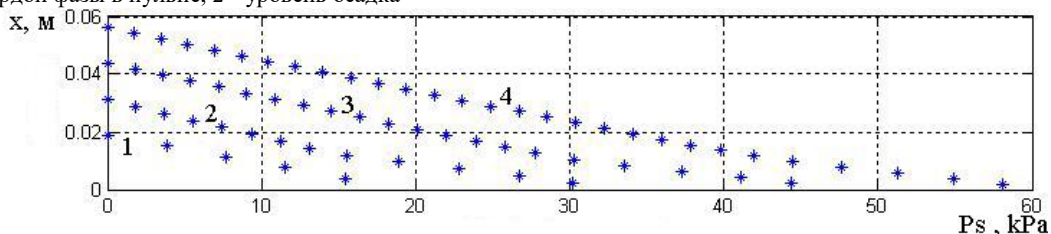


Рис. 5. Зависимости эффективного давления в осадке в различные моменты времени его формирования: 1- 10 с; 2 - 30 с; 3 - 60 с; 4 - 90 с

Вывод. Усовершенствована модель классификации руды в механическом гидравлическом классификаторе путем представления динамической кривой осаждения твердой фазы пульпы и формирования осадка на основе двумерной функции распределения частиц измельченной руды по крупности и плотности с учетом их объемной концентрации, что позволяет повысить качество и энергоэффективность процессов классификации и возврата песков на доизмельчение.

Список литературы

1. Гринман И.Г., Блях Г.И. Контроль и регулирование гранулометрического состава продуктов измельчения. - Алма-Ата: Наука, 1967. - 115 с.
2. Моркун В.С., Потанов В.Н., Моркун Н.В., Подгородецкий Н.С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогатительного производства. - Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2007. - 283 с.
3. Brajesh Tiwari. Simulation of Batch Thickening Phenomenon for Young Sediments /MS thesis at Virginia Polytechnic Institute & State University. - Blacksburg, Virginia, 2004.
4. Papanicolaou AN., Diplas P. Numerical solution of a non-linear model for self-weight solids settlement. - App. Math. Model 23(5), 1999, p. 345-362.
5. Потемкин В. Система MATLAB: справочное пособие / В. Потемкин. - М.: Диалог. - МИФИ, 1997. - 448 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.02.12

УДК 622.331

В.О. ГНСУШЕВ, канд. тех. наук, доц., О.С. СТАДНИК, аспірант

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТОРФОВИХ ГРАНУЛ ТА БРИКЕТІВ З НЕКОНДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ

Запропонована технологічна схема виготовлення кондиційних торфових гранул та брикетів з некондиційної торфової сировини. Схема включає сушіння, подрібнення, знепилення, пневматичну сепарацію та пресування. Легка високозольна фракція пневматичної сепарації направляється на спалювання до теплогенератора, а важка – на пресування. Це дозволяє збільшити вилучення горючої маси по технології до 95,5 %.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Геологічні запаси торфу в Україні становлять близько 2,17 млрд т. Унікальною рисою цієї корисної копалини є здатність до відновлення. Щорічно на торфових родовищах, збережених у природному стані, та заболочених землях утворюється близько 1,6 млн т торфу, або 0,65 млн т умовного палива.

Нормативними документами, що регламентують якість торфових паливних брикетів та фрезерного торфу є ДСТУ 2042-92 та ДСТУ 2043-92, за якими зольність цих продуктів не повинна перевищувати 23 та 20 %, відповідно. Якість торфових пелет не регламентується загальнодержавними нормативними документами, а обмежується лише рядом технічних умов, розро-