

В.О. ЛОГІНОВ,

Б.В. ГАВРИЛЕНКО, канд. техн. наук

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

МАТЕМАТИЧНЕ ОПИСАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ВІБРАЦІЙНО-ПНЕВМАТИЧНОЮ СЕПАРАЦІЄЮ

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Метою математичного моделювання є визначення характеристик вібраційно-пневматичного сепаратора як об'єкта керування. При цьому вивченню підлягає постіль матеріалу, що перебуває на деці сепаратора. Необхідно оцінити можливість зміни стану постелі матеріалу для керування процесом збагачення на сепараторі. Визначення динамічних властивостей постелі дозволить побудувати систему керування, що забезпечує підтримання на високому рівні ефективності вилучення концентрату з вихідного матеріалу, що надійшов на збагачення.

Аналіз досліджень та публікації. Вирішення задачі керування процесом збагачення на вібраційно-пневматичному сепараторі повністю покладено на оператора. Ефективність збагачення на сепараторі сильно піддана впливу людського фактора. Через відсутність будь-яких технічних рішень, спрямованих на контроль стану постелі матеріалу сепаратора, зростає ймовірність виникнення помилок керування. Застосування керуючої системи дозволить уникнути помилок керування та підвищити якість керування і вихідного продукту.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої цілі необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчення та аналіз технології вібраційно-пневматичного збагачення, огляд відомих способів і методів підвищення ефективності роботи сепаратора;
- розробка математичної моделі з метою вивчення властивостей постелі матеріалу та аналіз отриманих результатів;
- обґрунтування методу й розробка алгоритму керування сепаратором;
- розробка та дослідження системи керування;
- розробка технічних рішень.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі керування вібраційно-пневматичною сепарацією.

Викладення матеріалу та результати. Гідродинамічні процеси на вібраційно-пневматичному сепараторі за своєю природою подібні до процесів, що відбуваються при збагаченні вугілля відсаджуванням, тому звернемося до досліджень в області відсаджування.

Е.Е. Рафалес-Ламарком було отримано наступне рівняння, що враховує взаємодію часток:

Автоматизація та управління процесами збагачення

$$m \frac{dv}{dt} = -G' + R + P_{\Delta} + R_i + R_y, \quad (1)$$

де $G' = g(\rho_m - \rho_{ж})V$ – вага тіла в рідині; V – об'єм частки, m^3 ; $R = \pm C_x f \rho_{ж} \left(\frac{v-u}{2}\right)^2$ – сумарна сила опору, що складається з опору тертя й тиску, Н; f – характерна площа частки; c_x – коефіцієнт опору, у найбільш загальному виді функції критеріїв: Рейнольдса Re , турбулентності N та гомохронності H ; $P_{\Delta} = \rho_{ж} \frac{du}{dt} V$ – додаткова сила, що виштовхує, залежить від прискорення середовища, Н; $R_i = k_i \rho_{ж} \frac{d(u-v)}{dt} V$ – сила інерційного опору, обумовлена прискоренням середовища й частки, Н; k_i – коефіцієнт наведеної маси; $R_y = -c_y \frac{1-m_1}{m_1-m_0} f \rho_{c.sp} (v-u_c)^2$ – сила опору, що виникає через зіткнення між частками, Н; c_y – коефіцієнт пропорційності; m_1 і m_0 – коефіцієнти пористості постелі в розпушеному й стиснутому стані; $\rho_{c.sp}$ – щільність псевдо суспензії, $кг/м^3$; u_c – швидкість середовища перед часткою, $м/с$.

У розгорнутому виді та після перетворень рівняння (1) приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} (\overline{\rho_m} + k_i) \frac{dv}{dt} &= \frac{1+k_i}{m_1} \frac{du}{dt} + \frac{c_x}{m_1^2} \frac{f}{V} \frac{(u-m_1v)^2}{2} - \\ &- c_y \frac{1-m_1}{m_1-m_0} \frac{f}{V} (v-u_c)^2 - g(\overline{\rho_T} - 1), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\overline{\rho_m} = \frac{\overline{\rho_T}}{\rho_{ж}}$ – відносна щільність частки.

Отримане рівняння є досить складним, до того ж всі його коефіцієнти залежать від стану постелі в кожний момент часу й не мають однозначних значень навіть для умов сталого режиму відсаджування. Крім того, як затверджує автор, поведження шару часток у цілому повинне якісно відрізнятися від поведження окремої частки.

Таким чином, необхідний параметр, що дає можливість комплексно оцінити стан процесу збагачення, при цьому повинен надавати оцінку ефективності поділу матеріалу. Таким параметром, як було відзначено раніше, є ступінь розпушеності постелі матеріалу.

В зазначено, що поділ матеріалу по щільності на пневматичному сепараторі можливий лише в тому випадку, якщо між частками збагачуваного матеріалу є достатній вільний простір для їхнього відносного переміщення, а внутрішні сили тертя порівняно невеликі, щоб перешкодити такому переміщенню. Отже,

Автоматизація та управління процесами збагачення

для ефективного збагачення на сепараторі необхідно, щоб постіль була розпушена настільки, щоб було можливе взаємне переміщення часток. При цьому розпушення постелі досягається головним чином динамічним впливом висхідного потоку повітря на збагачуваний матеріал.

Виходячи з аналізу робіт, присвячених гравітаційному збагаченню, а також із досвіду промислового використання вібраційно-пневматичного сепаратора, постіль матеріалу на сепараторі повинна бути представлена в наступному вигляді (рис. 1)

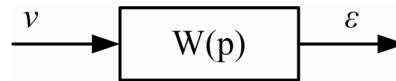


Рис. 1. Представлення постелі матеріалу як ланки системи керування

При цьому вхідним впливом ϵ найбільш значимий фактор, що впливає на стан постелі – швидкість повітряного потоку v . Вихідною величиною є ступінь розпушеності постелі ϵ , величина якої визначає якість вихідного продукту при збагаченні на сепараторі.

Для оцінки характеру впливу на постіль матеріалу різних факторів розроблено комп'ютерну програму, що дозволяє досліджувати постіль матеріалу з необхідною кількістю й властивостями часток. Програма розроблена в середовищі Borland Delphi 7. Модель враховує вплив на постіль матеріалу механічних струшувань із заданими параметрами (частота й амплітуда коливань деки), а також вплив повітряного потоку з можливістю змінювати частоту пульсацій повітря.

При розробці моделі прийняті наступні допущення та обмеження:

- постіль матеріалу складається з часток, що представляють собою однорідні кулі;
- постіль складається із трьох типів часток, що розрізняються по щільності (вугілля, відходи, промпродукт). Щільність часток одного типу постійна;
- на постіль діє рівномірний висхідний повітряний потік, сила впливу якого на частки рівномірно падає з підйомом частки.

Таблиця 1

Масив параметрів об'єктів програми моделювання взаємодії часток

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
table	y	vy	A	T	y_prev	–	–	–	–	–
prod1	x1	y1	vx1	vy1	r1	m1	μ 1	v_loss1	x_prev1	y_prev1
prod2	x2	y2	vx2	vy2	r2	m2	μ 2	v_loss2	x_prev2	y_prev2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
prodi	xi	yi	vxi	vyi	ri	mi	μ i	v_lossi	x_previ	y_previ
prod	x	y	vx	vy	r	m	μ N	v_loss	x_prev	y_prev

Параметри, що зазначені в табл. 1.:

- prod – тип частки (вугілля, відходи, промпродукт);
- x, y – положення частки (стола) на координатній площині, м;
- vx, vy – модулі складових векторів швидкостей часток (стола), м/с;

Автоматизація та управління процесами збагачення

- r – радіус частки, м;
 - m – маса частки, кг;
 - μ – коефіцієнт тертя об поверхню стола (безрозмірний);
 - v_{loss} – характеризує втрату швидкості при ударі, %;
 - x_{prev}, y_{prev} – положення частки в попередньому циклі розрахунку;
- Алгоритм основної програми представлено на рис. 2.

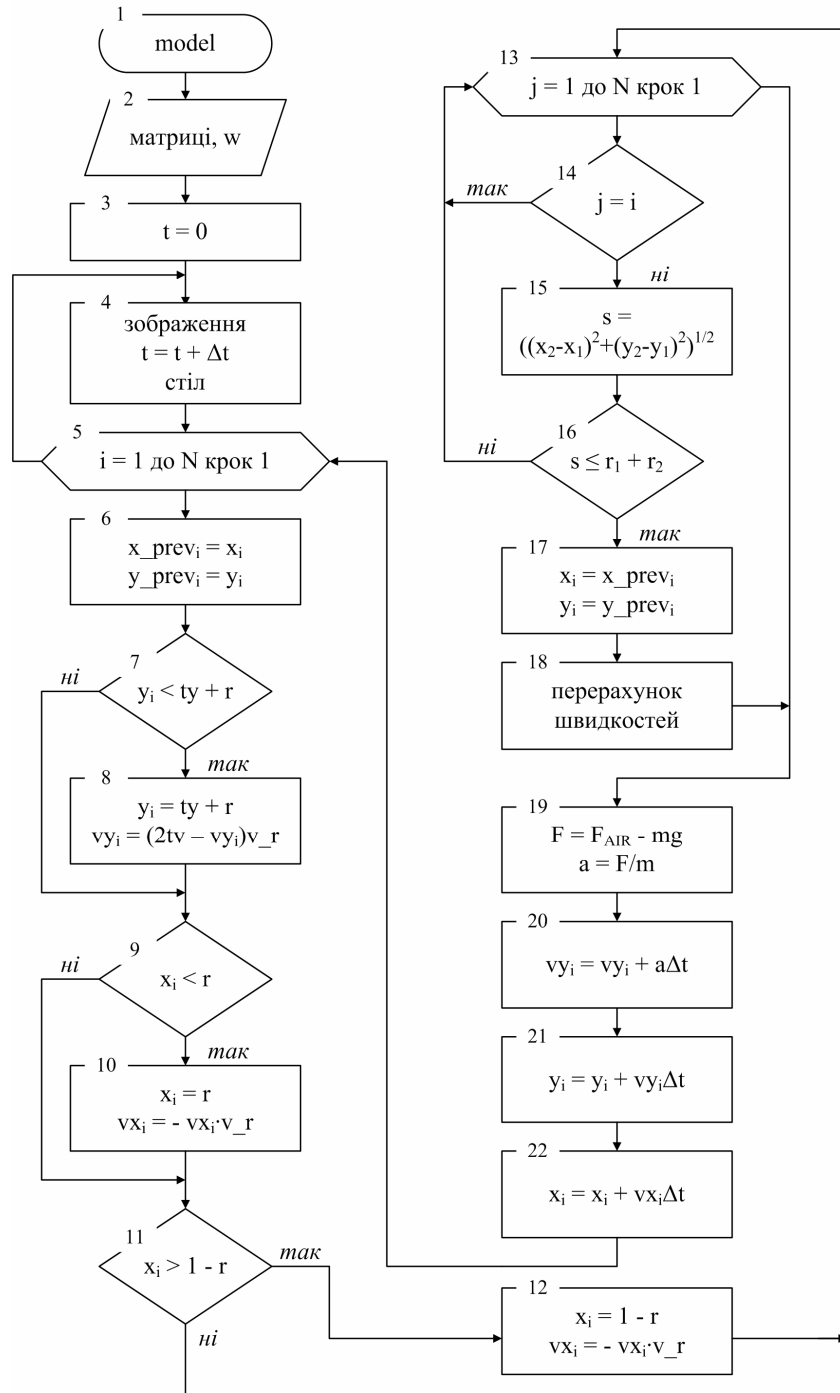


Рис. 2. Основний алгоритм програми моделювання взаємодії часток постелі матеріалу сепаратора

Автоматизація та управління процесами збагачення

Апроксимуємо отриману залежність рішенням диференціального рівняння із простими дійсними коренями. Цей метод може бути застосований для апроксимації гладких не коливальних перехідних функцій, що відповідає вихідній залежності. Апроксимацію виконаємо з використанням математичного пакета Mathcad.

Вихідні дані:

$$t = (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8)^T;$$

$$h = (0,1 \ 0,35 \ 0,5 \ 0,6 \ 0,75 \ 0,77 \ 0,8 \ 0,85 \ 0,88)^T.$$

Стале значення перехідного процесу: $h_{\text{inf}} = 0,9$

Коефіцієнт підсилення аперіодичної ланки, що характеризує постіль матеріалу дорівнює:

$$k = \frac{0,9}{0,8} = 1,125.$$

Відповідно до методу апроксимації побудуємо графік залежності $h_2(t) = h_{\text{inf}} - h(t)$ у напівлогарифмічному масштабі. Для цього визначимо коефіцієнти, що визначають вираз прямої дотичної до досліджуваної кривої:

$$C_{n1} = 1,5, \quad A_n = 8, \quad C_{n2} = -1,675.$$

Рівняння дотичної:

$$\text{lin}(t) = (C_{n2} - C_{n1}) \frac{t}{A_n} + C_{n1}.$$

Відповідні криві представлені на рис. 3.

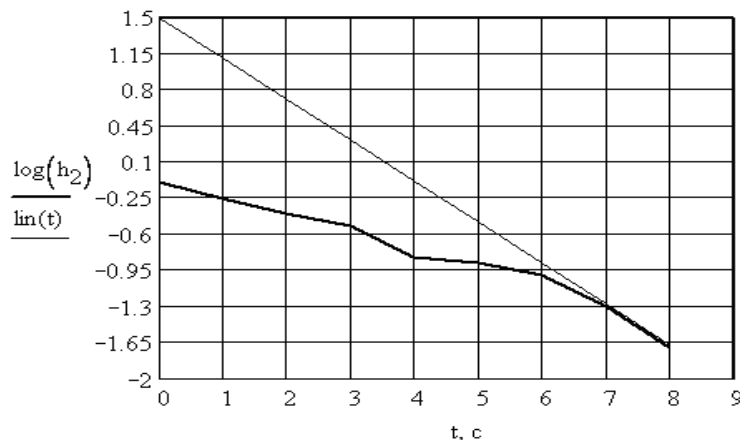


Рис. 3. Графік досліджуваної кривої та дотична до неї

Автоматизація та управління процесами збагачення

Таким чином, вихідні точки можуть бути апроксимовані кривою виду:

$$h_m(t) = h_{inf} - 10^{\frac{C_{n1}}{100}} \exp\left(\frac{-C_{n1}}{0,5A_n} t - 0,24\right).$$

Вихідні дані та отримана апроксимація зображені на рис. 4.

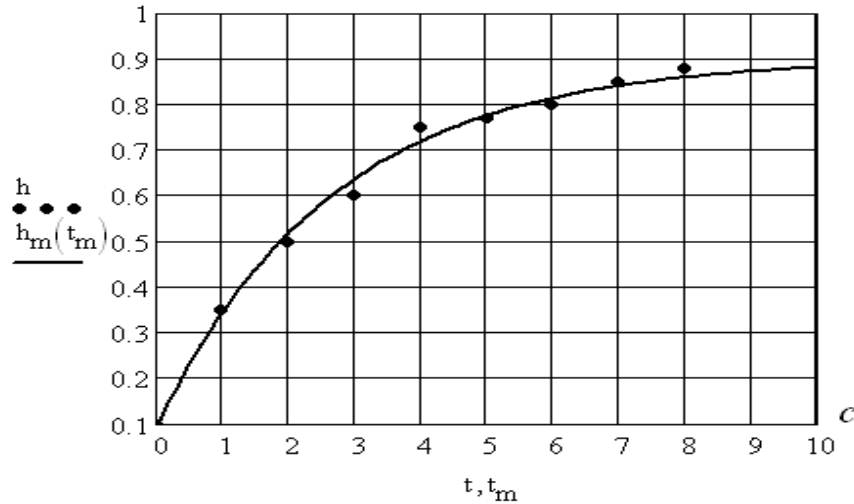


Рис. 4. Апроксимація вихідних даних

Після підстановки значень функція має вигляд:

$$h(t) = 0,9 - 1,035 \exp(-0,375t - 0,24).$$

Для знаходження параметрів ланки проведемо дотичну до кривої в точці $t = 0$. Похідна функції:

$$h'(t) = 0,388 \exp(-0,375t - 0,24).$$

Таким чином, рівняння дотичної до кривої:

$$\text{tangent}(t) = h(0) + h'(0)(h - 0);$$

$$\text{tangent}(t) = 0,086 + 0,305t .$$

Крива перехідного процесу і дотична до неї наведені на рис. 5.

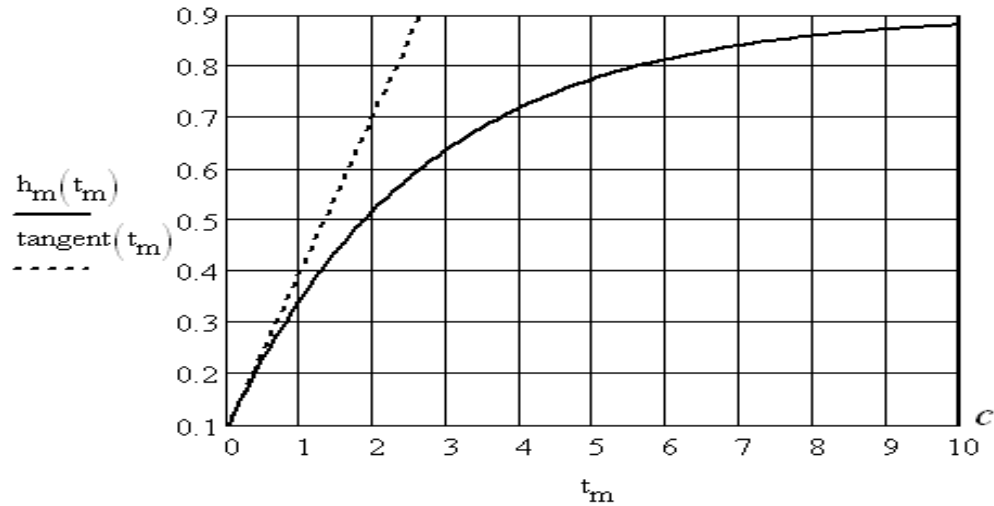


Рис. 5. До визначення постійної часу ланки

Постійна часу отриманої аперіодичної ланки: $T = 2,669$, с.
 Таким чином, передатна функція постелі матеріалу:

$$W(p) = \frac{1,13}{2,7p + 1}. \quad (3)$$

На рис. 6 зображено результат моделювання відпрацювання ланкой ступінчатого впливу (у пакеті MATLAB). Результат добре корелюється з вихідними даними (рис. 4).

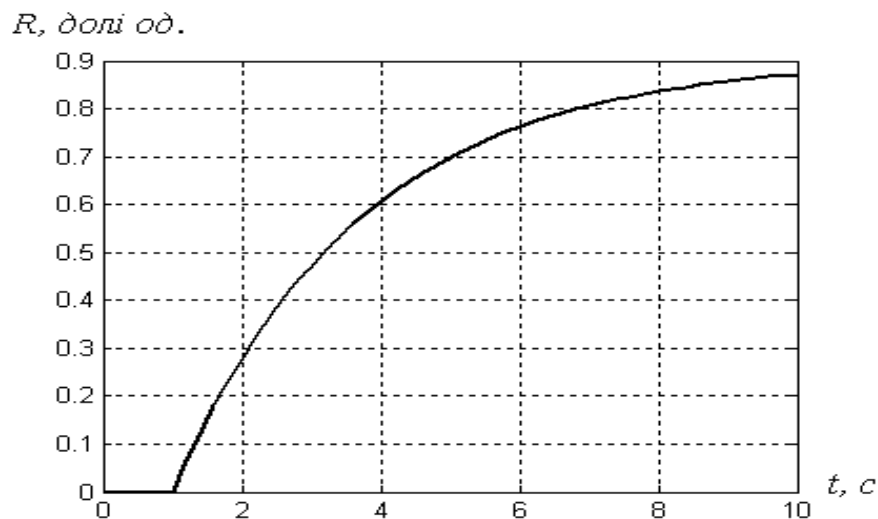


Рис. 6. Результат моделювання

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, визначено характер поведіння постелі матеріалу під впливом повітряного потоку, але точні зна-

Автоматизація та управління процесами збагачення

чення параметрів ланки, яка характеризує постіль не можуть бути визначені. Властивості постелі матеріалу змінюються відповідно до його фракційного та ситового складу. Тому система керування для вібраційно-пневматичного сепаратора повинна включати зворотній зв'язок для поточного контролю стану розпушеності постелі. Подальші дослідження мають бути направлені перш за все на розробку відповідних вимірювальних перетворювачів для оцінки параметрів процесу для передачі даних в систему керування.

Список літератури

1. Енергетична інтерпретація гравітаційних розділових процесів зернистих середовищ при збагаченні корисних копалин / **О.Д. Полулях, В.І. Чмильов, О.В. Іщенко, Д.О. Полулях.** – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – 144 с.
2. **Бесов Б.Д.** Аппаратчик пневматического обогащения углей. Справочное пособие для рабочих. – М.: Недра, 1988. – 77 с.
3. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / **L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts.** // Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. – China, 2006. – P. 785-798.

© Логінов В.О., Гавриленко Б.В., 2011

*Надійшла до редколегії 27.03.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.І. Назимко*