

**С.О. ТАРАСЕНКО**

(Україна, Луганськ, Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля)

## **ІТЕРАЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ВУГЛЕЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ "ПО СУХОМУ"**

При проектуванні або модифікації схем вуглезбагачувальних фабрик виникає задача розрахунку параметрів потоків сировини, що циркулюють у схемі, а також кінцевих продуктів збагачення виходячи з характеристик та кількості рядового вугілля, параметрів технологічного устаткування, яким оснащено фабрики.

Найбільш прийнятним варіантом представлення технологічної схеми для автоматизації її розрахунку є направлений граф, вершинами якого є технологічні апарати, а дугами – потоки рядового вугілля, проміжної сировини, продукти збагачення та відходи [4]. Для уніфікації будемо називати всі потоки, що відповідають дугам графа, потоками проміжної сировини, оскільки для автоматизованої системи кожен з них буде представлений однаковим набором параметрів.

Найбільшою перевагою цього варіанту представлення є можливість уніфікації структурних складових технологічної схеми – збагачувальних апаратів та сировини. Використання ж уніфікованих модулів у системі дає змогу використовувати у одній системі для одного і того ж апарата різні алгоритми розрахунку вихідних параметрів за вхідними, оскільки можна легко замінити один модуль іншим не вносячи змін у схему в цілому. Також і для потоків вугілля можна використовувати різноманітні варіанти представлення їх параметрів з переходом від одного варіанту до іншого. Це може бути і класичний табличний варіант і варіант представлення у вигляді математичної моделі [8].

Розглянемо приклад представлення фрагменту технологічної схеми в автоматизованій системі. На рис. 1 наведено такий фрагмент з основними елементами, що використовуються при розрахунку схеми в цілому. Повну схему збагачувальної фабрики не наведено в силу її громіздкості. У наведеному фрагменті показано чотири збагачувальні апарати, об'єднання двох потоків проміжної сировини у один, зворотній зв'язок, тобто всі елементи, що можуть зустрічатися у повній схемі. На рис. 2 зображено той же фрагмент схеми, але вже модифікований для використання в автоматизованій системі. Для забезпечення більшої наочності у подальшій роботі зі схемою збережено початкову нумерацію апаратів. У місця схеми, де об'єднуються декілька потоків сировини, додано суматори. Таким чином для модифікованої схеми використовується сім блоків, які буде використано при автоматизованому розрахунку. Також додано довільну нумерацію потоків сировини для зв'язку блоків технологічної схеми з певними потоками сировини. Цифри у дужках після номерів блоків та біля суматорів відповідають номерам потоків, з якими зв'язано відповідний блок.

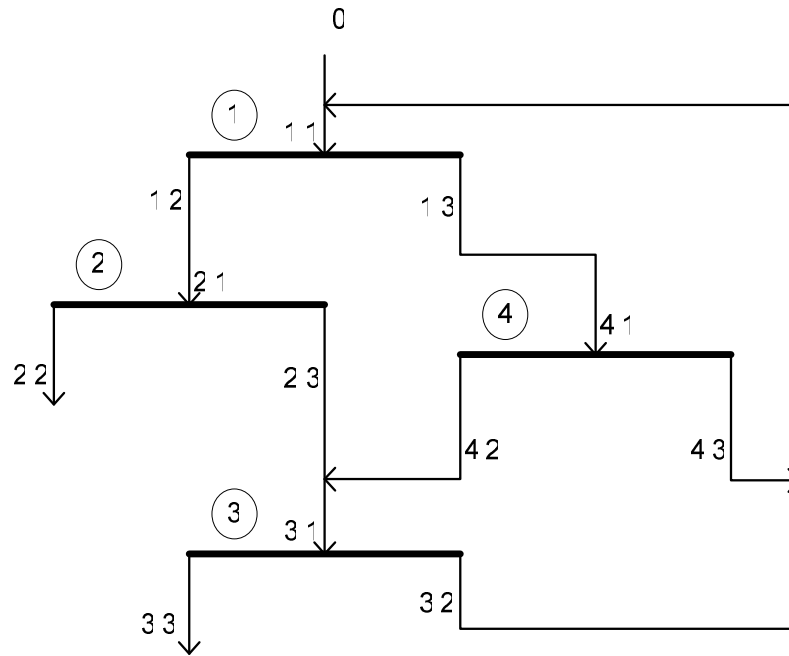


Рис. 1. Фрагмент схеми

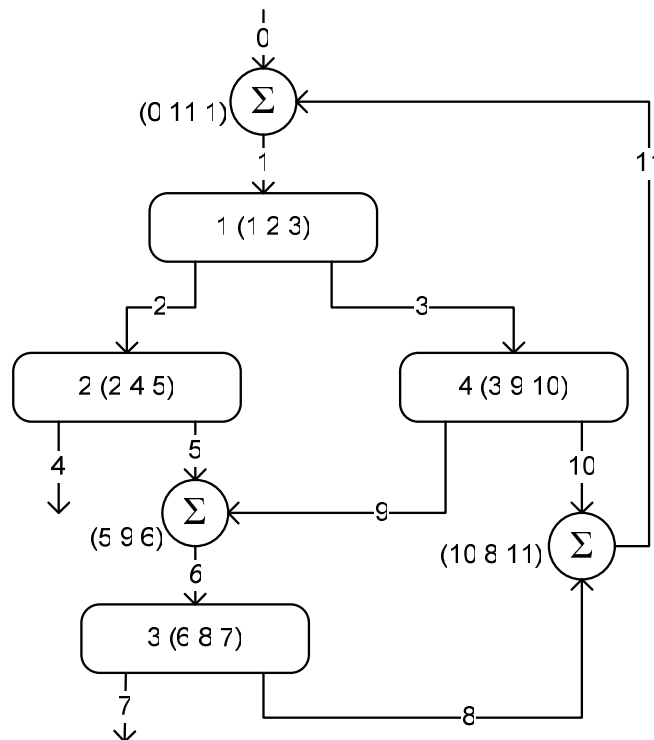


Рис. 2. Схема в термінах автоматизованої системи

Одним з важливих складових автоматизованої системи розрахунку збагачувальної фабрики є графічний користувацький інтерфейс, що дає змогу створювати нові та вносити зміни в існуючі схеми в інтерактивному режимі [7]. До

## **Загальні питання технології збагачення**

функцій користувацького інтерфейсу також можна віднести формування та виведення різноманітних видів самої схеми, а також таблиць з характеристиками продуктів та процесів, представлених на схемі.

Розглянемо більш детально ядро системи, а саме, використовувані структури даних та алгоритм розрахунку схеми. У більшості технологічних схем вуглезбагачувальних фабрик використовуються зворотні зв'язки – на повторне збагачення направляються хвости з більш пізніх стадій збагачення, бо без цього неможливо досягти потрібних показників якості збагачення. Приклад такого зворотного зв'язку – потік проміжної сировини 11 на рис. 2. За наявності зворотних зв'язків неможливо послідовно розрахувати схему. Тому при ручному розрахунку таких схем використовують припущення щодо значень параметрів зворотних потоків проміжної сировини, а потім їх уточнюють. Для автоматизованого розрахунку таких схем може бути ефективним застосування ітераційного алгоритму.

Задля реалізації ітераційного алгоритму розрахунку схеми необхідно для кожного потоку проміжної сировини зберігати два комплекти параметрів (для зручності назовемо їх станами). Один стан для попередньої ітерації, другий стан для поточної. Стан визначається таким набором параметрів:

- фракційний склад у класичному табличному вигляді або у вигляді параметрів закону розподілу [5], що дозволяють отримати табличний вигляд з будь-якою деталізацією.

- ситовий склад у табличному вигляді або у вигляді параметрів закону розподілу [5]. Для уніфікації представлення даних у табличному вигляді у рамках однієї схеми необхідно використовувати однакові набори значень класів для всіх потоків проміжної сировини;

  - навантаження по сухому  $Q$ , т/год.

  - вихід по сухому  $\gamma$ , %;

  - зольність  $A$ , %;

  - вологість  $W$ , %. Вказується для потоків сировини з незначним вмістом вологи;

  - кількість води  $V$ , м<sup>3</sup>/год. Вказується для потоків сировини зі значною кількістю води.

  - кількість пульпи  $P$ , м<sup>3</sup>/год;

  - вміст твердого  $C$ , г/л. Вказується для потоків сировини зі значною кількістю води;

  - щільність матеріалу  $\delta$ , т/м<sup>3</sup>;

  - питома витрата води  $q_B$ .

Значення, що визначають певний стан, можуть розраховуватися для кожної ітерації, або призначатися незмінними для задач розрахунку схеми за опробуваннями чи розрахунку водно-шламової складової технологічної схеми.

Оскільки уніфікація структур даних для представлення потоків проміжної сировини передбачає, що для кожного потоку повинні бути у тому чи іншому вигляді всі його параметри (у тому числі дані фракційного та ситового складу), постає проблема отримання даних фракційного та ситового складу для всіх без

## **Загальні питання технології збагачення**

виключення апаратів. Зараз, при ручному розрахунку технологічної схеми, повні таблиці фракційного та ситового складів для багатьох операцій взагалі не розраховуються.

Окрім потоків проміжної сировини в модифікованому варіанті схеми (рис. 2) присутні збагачувальні апарати та суматори. З кожним із цих блоків, у залежності від типу, поставлено у відповідність розрахунковий модуль системи, який може за параметрами вхідних потоків та параметрами самого апарата розрахувати вихідні потоки (потік). Завдяки уніфікації розрахункових блоків та структур даних про потоки проміжної сировини існує можливість використовувати різні версії розрахункових модулів для одного й того ж апарата. Така архітектура системи дає можливість тестування нових моделей процесів або ж нових методів їх розрахунку безпосередньо у схемі. Також можливе використання у рамках системи розрахункових модулів, що використовують як традиційне табличне представлення параметрів, так і представлення основане на математичних моделях сировини та збагачувальних процесів.

Теоретичне описання всієї сукупності збагачувальних апаратів досить важка задача, оскільки роботу кожного апарату у схемі прийнято описувати емпіричною передавальною функцією. Тому й постає задача пошуку єдиного підходу в моделюванні якщо не фізичної та технологічної суті процесу роботи апарата, то хоча б як чорного ящика. Критерієм достовірності опису всієї схеми вуглезбагачувальної фабрики може слугувати узгодженість вхідних і вихідних параметрів схеми. Тобто, при стаціонарній роботі збагачувальних апаратів вхідні та вихідні параметри схеми мають бути незалежними від часу.

Цим вимогам відповідає крива вилучення. Криву вилучення, що побудована за результатами роботи збагачувального апарата, за умови його загрузки вугіллям в усьому діапазоні параметрів вугілля, характерному для цього апарата, можна вважати достовірною моделлю роботи цього апарата. Хоча для встановлення зв'язку між параметрами кривої вилучення та технологічними параметрами збагачувального апарату потрібні додаткові дослідження, для розрахунку схеми збагачувальної фабрики така модель є достатньою, бо може розглядатися як оператор, що перетворює функцію розподілу параметрів початкової сировини у дві функції розподілу параметрів результатів збагачення.

Розглянемо, наприклад, модель процесу класифікації вугілля. Інформація про початкове вугілля задається за допомогою функції  $F(x)$  – розподіл ваги в залежності від крупності. Математична модель процесу розділення дозволяє отримати функцію вилучення у підрешітний продукт  $\varepsilon(x)$ . Це дозволяє отримати ситовий состав підрешітного  $F_n(x)$  та надрешітного  $F_n(x)$  продуктів. Задавши значення граничної крупності, можна знайти вилучення та взаємне за-смічення продуктів розділення. Модель вузла збагачувальної фабрики базується на рівнянні балансу, де  $Q$  – живлення апарату, виходи апарату,  $Q_1$ ,  $Q_2$  – живлення для наступних збагачувальних апаратів, або кінцеві продукти збагачення. Тоді будь-який збагачувальний апарат може бути однозначно описаний трійкою  $Q, F, \varepsilon$ , де  $F$  – функція розподілу вугілля за класами або фракціями,

### Загальні питання технології збагачення

залежно від апарату. Якщо  $\varepsilon(x)$  визначає долю продукту, що відійде у  $Q_1$ . Тоді  $Q_1 = \gamma_1 Q$ ,  $Q_2 = \gamma_2 Q$ ,  $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$ . Оскільки відома функція розподілу за класами (фракціями), то  $\gamma_1 = \int_0^{\infty} F'(x) \varepsilon(x) dx$ ,  $\gamma_2 = \int_0^{\infty} F'(x) (1 - \varepsilon(x)) dx$ . Тоді функції розпо-

ділу продуктів розділення матимуть вигляд:  $F(x) = \frac{1}{\gamma} \int_0^x F'(t) \varepsilon(t) dt$ ,  
 $F(x) = \frac{1}{\gamma} \int_0^x F'(t) (1 - \varepsilon(t)) dt$ .

Розглянемо більш детально ітераційний алгоритм розрахунку схеми вугле-збагачувальної фабрики "по сухому". На рис. 3 наведено блок-схему цього алгоритму.

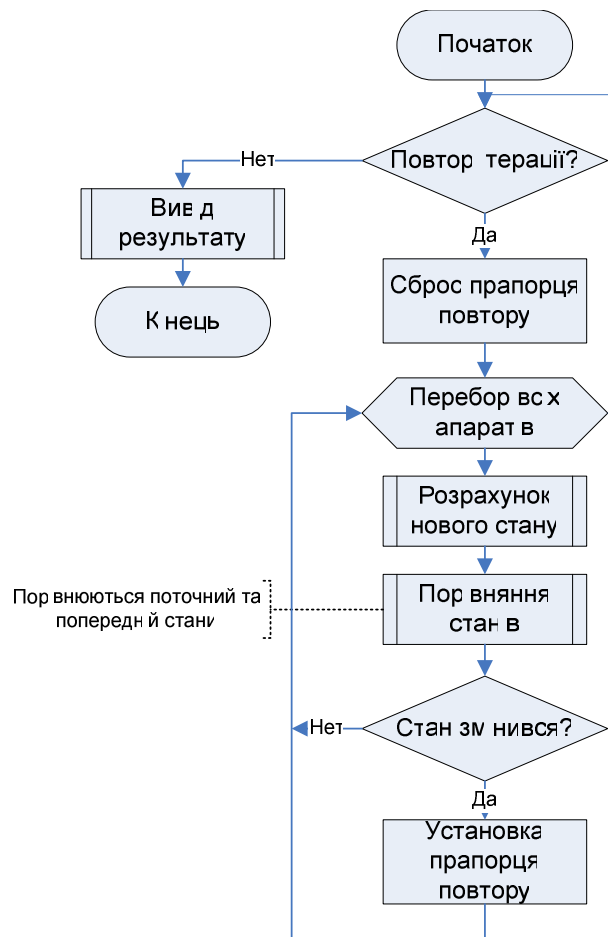


Рис. 3. Ітераційний алгоритм розрахунку схеми

Перед початком розрахунку усі блоки, що перетворюють потоки проміжної сировини, заносяться у чергу, у відповідності з якою і буде виконуватися розрахунок. Оскільки алгоритм розрахунку ітераційний, то послідовність апаратів у черзі не має переважного значення. На першій ітерації відомі лише па-

## **Загальні питання технології збагачення**

параметри рядового вугілля, що поступає на вхід, та параметри технологічних апаратів. Усі ці дані занесені у відповідні структури системи. Відомі параметри сировини заносяться у структуру для попереднього стану. Невідомі параметри потоків сировини заповнюються нульовими значеннями. На кожній ітерації виконується розрахунок поточного стану вихідних потоків сировини кожного апарату у черзі на основі попереднього стану вхідних потоків. Перед початком ітерації поточний стан копіюється у попередній, для забезпечення зв'язку між ітераціями. Наприкінці кожної ітерації виконується порівняння поточного та попереднього станів. Якщо поточний та попередній стани суттєво відрізняються, то встановлюється прапорець повтору ітерації. Таким чином, якщо за черговою ітерацією змінюється поточний стан хоча б одного потоку сировини, то ітерація буде повторюватись. Після завершення розрахунку поточний стан усіх потоків сировини буде відображати реальний стан схеми, з урахуванням параметрів рядового вугілля та параметрів збагачувальних апаратів схеми.

Запропонована методика автоматизованого розрахунку схеми вуглезбагачувальної фабрики дозволяє суттєво скоротити витрати часу на проектний розрахунок схеми фабрики. Відповідно, у технологів з'явиться можливість використовувати систему для підбору оптимальної структури схеми та параметрів технологічного обладнання.

### **Список літератури**

1. **Артюшин С.П.** Проектирование углеобогажительных фабрик. / Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1974. – 200 с.
2. **Полулях А.Д., Пилов П.И., Егурнов А.Е.** Практикум по расчетам качественно-количественных и водно-шламовых схем углеобогажительных фабрик: учебное пособие. – Донецк: Донецкий горный университет, 2007. – 504 с.
3. Техника и технология обогащения углей / **В.В. Беловолов, Ю.Н. Бочков, М.В. Давыдов и др.** / Под ред. **В.А. Чантурия, А.Р. Молявко.** – М.: Наука, 1995. – 622 с.
4. **Шупов Л.П.** Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения. – М.: Недра, 1980. – 228 с.
5. **Цыпин Е.Ф., Морозов Ю.П., Козин В.З.** Моделирование обогажительных процессов и схем: Учебник. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1996. – 368 с.
6. **Пожидаев В.Ф., Грачев О.В., Тарасенко С.А.** Информационная модель схемы углеобогажительной фабрики // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 29(70)-30(71). – С. 216-218.
7. **Тарасенко С.О.** Аналіз функціональності системи автоматизованого розрахунку збагачувальної фабрики // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2008. – №9 (127). – Ч. 2. – С. 163-167.
8. **Гарус В.К., Грачов О.В., Пожидаєв В.Ф., Полулях О.Д.** Формалізація результатів розподільчих процесів у вуглезбагаченні: Монографія. – Луганськ: вид. ООО "НВФ" "Стек", 2003. – 176 с.

© Тарасенко С.О., 2010

*Надійшла до редколегії 05.03.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*