

Федоров Микита Євгенійович, аспірант

Криворізький національний університет

Кафедра Автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Науковий керівник: Рубан Сергій Анатолійович, к.т.н., доцент кафедри

автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

АНАЛІЗ СТАНУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ, ДОЗУВАННЯ ТА ЗМІШУВАННЯ ШИХТИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИРИХ КОТУНІВ

Актуальність теми дослідження. Відомо, що при використанні залізорудних котунів в якості шихти для виробництва чавуну досягаються кращі техніко-економічні показники доменного процесу. Це зумовлює стабільне зростання попиту на залізорудні котуни – у проміжку між 2000 та 2015 рр. світовий експорт котунів збільшився на 5%: з 106 до 121 млн тонн. Водночас, продукції вітчизняних гірничо-збагачувальних підприємств на сьогодні важко конкурувати із провідними світовими виробниками через більш низькі якісні характеристики залізорудних котунів. Здебільшого на вітчизняних ГЗК здійснюється виробництво переважно неофлюсованих котунів, які мають співвідношення CaO/SiO_2 близько 0,1 — 0,8. Для їх виробництва використовують магнетитові концентрати з масовою часткою $\text{Fe}_{\text{заг}}$ від 65 до 70 %, в якості сполучного матеріалу використовується бентонітова глина, яка входить до складу у відношенні 0,3—0,5 %. Для забезпечення умов огрудкування шихти її вологість має бути 8,5—9,5 %. Отримані у результаті огрудкування сирі котуни характеризуються низькою міцністю і легко руйнуються [1]. Відповідно до результатів дослідження Зими С. М. та Дворніченка І. Ф., одним з можливих та досяжних шляхів покращення якості залізорудних котунів є забезпечення оптимальної вологості шихти, що надходить на огрудкування. Задача підтримки оптимальної вологості ускладнюється змінними характеристиками потоку шихтових матеріалів, а також розподіленням в просторі характером процесів дозування, транспортування та змішування шихти, в якому приймає участь велика

кількість технологічних механізмів. У зв'язку з цим постає завдання узгодженого керування процесами дозування, транспортування та змішування шихтових матеріалів для забезпечення заданих якісних характеристик (вологості, вмісту заліза, основності), що може бути вирішена за рахунок впровадження сучасної системи автоматизації процесу.

Мета та задачі досліджень. Виконати аналіз існуючих досліджень та публікацій, визначити напрямки вдосконалення існуючих математичних моделей, методів та способів узгодженого керування комплексом технологічних механізмів транспортування, дозування та змішування шихти для виробництва сирих котунів.

Аналіз літературних джерел. Питаннями автоматизації процесу дозування шихтових матеріалів займалися Мошенський С. В., Волков В.В., Чернецька І.Е., Ісаєв Е.А. та ін. Так, у роботах Мошенського С. В. висвітлено принципи побудови автоматичних систем керування, математичні моделі й алгоритми керування, у роботах Волкова В.В. – способи забезпечення заданої вологості шляхом керування продуктивністю.

У роботі Мошенського С. В. [2] запропоновано моделі основних елементів системи транспортування та дозування шихтових матеріалів у вигляді передавальних функцій. Зокрема, встановлено, що процеси дозування за каналами «витрата концентрату-вміст заліза в сирих котунах», «витрата вапняку-вміст заліза в котунах», «витрата вапняку-вміст оксиду кальцію», «витрата вапняку-вміст вапняку в сирих котунах», «витрата концентрату-вихід сирих котунів» можуть бути апроксимовані передавальними функціями у вигляді послідовного з'єднання аперіодичної ланки та ланки запізнення. В результаті експериментальних досліджень процесу на фабриці огрудкування ПАТ «Північний ГЗК» встановлено конкретні значення сталих часу та часу запізнення для вказаних передавальних функцій. Водночас, є очевидним той факт, що отримані моделі мають прийнятну точність лише для тракту дозування фабрики огрудкування ПАТ «Північний ГЗК». Крім того, розроблені моделі не враховують змінний характер параметрів компонентів шихти (зокрема, вологості).

Уставки для контурів дозування окремих компонентів шихти визначаються шляхом вирішення рівняння матеріального балансу за складовими шихти.

Автором запропоновано здійснювати керування процесами дозування на основі математичної моделі для розрахунку шихти з додатковим урахуванням втрат при прогартуванні. Розрахунок шихти базується на рівнянні матеріального балансу і рівняннях підтримки заданого вмісту заліза або заданої основності шихти.

Рівняння підтримки заданої основності:

$$B_3 = \frac{(CaO_k + MgO_k)(100 - P_k)q'_k + (CaO_b + MgO_b)(100 - P_b)q'_b + (CaO_6 + MgO_6)(100 - P_6)q'_6}{SiO_{2k}(100 - P_k)q'_k + SiO_{2b}(100 - P_b)q'_b + SiO_{26}(100 - P_6)q'_6}$$

де CaO_k , CaO_b , CaO_6 – вміст CaO відповідно в концентраті, вапняку і бентоніті, %; MgO_k , MgO_b , MgO_6 – вміст MgO відповідно в концентраті, вапняку і бентоніті, %; SiO_{2k} , SiO_{2b} , SiO_{26} – вміст SiO_2 відповідно в концентраті, вапняку і бентоніті, %; B_3 – задана основність випалених котунів.

При керуванні процесами дозування шихти передбачається корекція витрати концентрату для стабілізації заданого вмісту заліза в шихті $Fe_{ш.з}$:

$$Fe_{ш.з} = \frac{Fe_k q_k + Fe_b q_b + Fe_6 q_6}{q_k + q_b + q_6}$$

де q_k , q_b , q_6 – витрати відповідно концентрату, вапняку і бентоніту з урахуванням їх вологості, т/ч; Fe_k , Fe_b , Fe_6 – вміст Fe відповідно в концентраті, вапняку та бентоніті, %.

Також при автоматизованому дозуванні шихти виконується корекція витрати вапняку для отримання котунів заданої основності, яка визначається за наступною формулою:

$$B_{ш.з} = \frac{(CaO_k + MgO_k)(q_k + \Delta q_k) + (CaO_b + MgO_b)q_b + (CaO_6 + MgO_6)q_6}{SiO_{2k}(q_k + \Delta q_k) + SiO_{2b}q_b + SiO_{26}q_6},$$

де $B_{ш.з}$ – задана основність шихти; CaO_k , CaO_b , CaO_6 – вміст CaO відповідно в концентраті, вапняку і бентоніті, %; MgO_k , MgO_b , MgO_6 – вміст MgO відповідно в концентраті, вапняку і бентоніті, %; SiO_{2k} , SiO_{2b} , SiO_{26} – вміст SiO_2 відповідно в концентраті, вапняку і бентоніті, %; Δq_k – прирощення витрати концентрату, т/ч.

Запропонований автором підхід передбачає здійснення розрахунку і корекцію складу шихти в автоматичному режимі в залежності від хімічного складу компонентів. Корегування, розрахунок шихти та видача кінцевого результату виконується за поточними даними хімічних аналізів компонентів з урахуванням дискретності функціонування підсистеми пробовідбору, хімічного аналізу та доставки шихти, що вносить додаткове запізнення в канали керування. Запропоновані моделі також не враховують вміст вологи в компонентах шихти.

У роботі [3] виконано математичне моделювання та комп'ютерна симуляція процесу дозування шихтових матеріалів для агломераційного виробництва. Запропоновано модель процесу дозування агломераційної шихти на основі рівнянь матеріального балансу, яка після певних перетворень може також бути використана для опису процесів дозування шихти для виготовлення котунів. Розроблена автором модель (6) додатково враховує вміст вапна та кремнію в концентраті, вапняку, коксі та поверненні, а також частку повернення в загальному обсязі шихтових матеріалів.

У випадку, коли прийнята за увагу вологість компонентів шихти, ми маємо наступну математичну модель:

$$K = M \cdot \frac{N}{(k_k - I_{sk})} \quad (1)$$

$$M = S \cdot \frac{1}{1 + c_0 + r_0 + \frac{N'}{(k_k - I_{sk})}} \quad (2)$$

$$K = S \cdot \frac{\frac{N}{(k_k - I_{sk})}}{1 + c_0 + r_0 + \frac{N'}{(k_k - I_{sk})}} \quad (3)$$

$$R = S \cdot \frac{r_0}{1 + c_0 + r_0 + \frac{N'}{(k_k - I_{sk})}} \quad (4)$$

$$C = S \cdot \frac{c_0}{1 + c_0 + r_0 + \frac{N'}{(k_k - I_{sk})}} \quad (5)$$

$$N' = \sum_{i=1}^n (1 - w_i) \cdot m_i \cdot (I_{s_i} - k_i) + [(1 - w_{c_0}) \cdot c_0 \cdot C_e \cdot (I_{s_{c_e}} - k_{c_e}) + r_0 \cdot (I_{s_r} - k_r)] \quad (6)$$

де M , K , R , C — продуктивність за концентратом, вапняком, поверненням та коксом відповідно; S — загальна продуктивність системи дозування; I — основність шихти. s_i , s_k , s_{c_e} , s_r - вміст вапна у концентраті, вапняку, коксі поверненні; k_i , k_k , k_{c_e} , k_r — вміст кремнію у концентраті, вапняку, коксі поверненні; r_0 - частка повернення відносно загального обсягу залізорудної частини шихти; c_0 — частка коксу відносно загального обсягу залізорудної частини шихти; w_i , w_{c_0} — вміст вологи в i -ому компоненті залізорудної частини шихти та у коксі відповідно; m_i — втрати i -ого компонента залізорудної шихти в технологічних операціях.

Модель (1) – (6) може бути адаптована для використання при формуванні керування процесом дозування компонентів шихти для виготовлення залізорудних котунів шляхом виключення з рівняння матеріального балансу доданків, що описують вміст коксу в шихті та додаткового урахування потоку бентоніту.

Тоді рівняння (5) прийме вигляд

$$B = S \cdot \frac{b_0}{1 + r_0 + b_0 + \frac{N'}{(k_k - I \cdot s_k)}} \quad (7)$$

де B – продуктивність за бентонітом; b_0 — частка бентоніту відносно загального обсягу залізорудної шихти.

Водночас, до недоліків моделі можна віднести те, що вона не враховує розподіленість характеристик потоку шихтових матеріалів у просторі, пов'язану з просторою розподіленістю основних технологічних механізмів відділення підготовки шихти та операцій дозування окремих компонентів шихти.

Відомі також технічні рішення для керування процесами підготовки залізорудної сировини до огрудкування.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Отже, виконаний аналіз існуючих методів та способів керування комплексом технологічних механізмів

транспортування, дозування та змішування шихти для виробництва сирих котунів показує, що питання автоматизації вказаних процесів є актуальним і слугує підвищенню техніко-економічних показників фабрики огрудкування. Першочерговим завданням є забезпечення заданих показників якості шихти для виробництва котунів – вмісту заліза, основності та вологості. Існуючі моделі процесів дозування шихтових матеріалів є рівняннями статистики і ґрунтуються на рівняннях матеріального балансу при формуванні суміші шихтових матеріалів. Водночас, операції дозування та транспортування здійснюються комплексом технологічних механізмів, які є просторово розподіленими. Тому основні характеристики суміші шихтових матеріалів – вміст заліза, основність та вологість також змінюються і в часі, і в просторі. Тому для підвищення ефективності керування процесом дозування шихтових матеріалів та забезпечення заданих показників якості шихти доцільно було б вдосконалити математичний опис процесів транспортування та дозування шихтових матеріалів за рахунок урахування змін характеристик шихти в часі та в просторі при здійсненні технологічних операцій.

Література

1. Зима С. М., Дворніченко І.Ф. Мінералогічні дослідження залізородних окатишів у НДПІ «Механобрчормет» // Записки Українського мінералогічного товариства. 2011, том 8
2. Мошенський С. В. Автоматизована система керування технологічними процесами огрудкування металургійної сировини : автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.07 «автоматизація технологічних процесів»/ С. В. Мошенський. – Київ, 2006. – 24 с.
3. Corina Maria Dinis, Gabriel Nicolae Popa, Angela Iagar. Mathematical Modeling and Simulation in Matlab/Simulink of Processes from Iron Ore Sintering Plants / WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS