

УДК 502.58:57.51-76:622.765

У статті висвітлені питання моделювання поведінки флотореагента у хвостосховищі гірничо-збагачувального комбінату при впровадженні флотаційної доводки магнетитового концентрату з урахуванням надходження флотореагента у водогосподарську систему ГЗК, його сорбції, біодеструкції та відведення на локальні біоінженерні споруди (БИС) у складі надлишкових зворотних вод

Ключові слова: динаміка концентрації флотореагента, хвостосховище, процес сорбції, процес біодеструкції, схема обігу флотореагента

В статье освещены вопросы моделирования поведения флотореагента в хвостохранилище горно-обогатительного комбината при внедрении флотационной доводки магнетитового концентрата с учетом поступления флотореагента в водохозяйственную систему ГОКа, его сорбции, биодеструкции и отведения на локальные биоинженерные сооружения (БИС) в составе возвратных вод

Ключевые слова: динамика концентрации флотореагента, хвостохранилище, процесс сорбции, процесс биодеструкции, схема обращения флотореагента

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФЛОТОРЕАГЕНТА У ТЕХНІЧНІЙ ВОДІ ГЗК ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ФЛОТАЦІЇ ЗАЛІЗНИХ РУД

О. О. Дмитрієва

Доктор економічних наук, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, завідувач лабораторією 2.1*
Контактний тел.: (057) 715-60-93

Г. В. Василенко

Аспірант, науковий співробітник*
Контактний тел.: (067) 571-40-71; (057) 715-60-93
*Лабораторія екологічно безпечного водовідведення у водогосподарських системах населених пунктів та господарських об'єктів
Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, Україна, 61166

1. Вступ

Адекватною відповіддю на зростаючий дефіцит сировинних ресурсів в українському гірничо-металургійному комплексі (коксу та металобрухту) є впровадження нових технологій прямого відновлення заліза [1]. Останнє потребує використання залізородного концентрату з вмістом заліза від 67% [2].

Технології магнітного збагачення, у випадку бідних руд, не дозволяють забезпечити вміст заліза у кінцевої продукції на потрібному рівні. Найбільш ефективним процесом для цієї мети, як технологічно, так і економічно є зворотна катіонна флотація з використанням певного флотореагента (технологія дозбагачування магнітного концентрату).

В основі водогосподарських систем (ВГС) гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) використовується оборотна система з хвостосховищем. У процесі флотаційного дозбагачення флотореагент може поступово накопичуватись у воді хвостосховища до не-

безпечних концентрацій [3]. При скиданні зворотних вод ВГС ГЗК у поверхневі водні об'єкти (ПВО) може здійснюватись негативний вплив на їх водну екосистему та, як наслідок, погіршення показників якості води понад нормативні вимоги. Для запобігання такої ситуації при впровадженні флотаційного дозбагачення необхідно вже на передпроектній стадії її впровадження виконати прогностичні розрахунки якості води у хвостосховищі, а при їх скиданні у водні об'єкти – і в цих водних об'єктах. У разі необхідності слід обґрунтувати заходи, які дозволять зробити екологічно безпечними флотаційні технології для дозбагачення залізних руд.

У [4] обґрунтуванні основні етапи дослідження, які необхідно здійснити для розв'язання цієї проблеми. Показано, що центральним моментом цих досліджень повинна стати розробка прогностичної моделі динаміки флотореагента у ВГС ГЗК. Дана модель необхідна як інструмент для проведення прогнозу зміни накопичення флотореагента у хвостосховищі ГЗК, а також для проведення аналізу варіантів водоохоронних заходів

щодо зниження впливу флотореагента на ПВО до нормативних показників.

2. Аналіз основних досліджень і публікацій

У процесі роботи ГЗК флотореагент з флотаційного відділення (ФВ) потрапляє в оборотну систему разом з «хвостами» флотаційного дозбагачення і надходить у хвостосховище. При цьому на величину концентрації флотореагента у воді хвостосховища впливають процеси, пов'язані з його надходженням у ФВ, безповоротними втратами, процесами сорбції та деструкції флотореагента. У випадку скидання зворотних вод ВГС ГЗК у ПВО здійснюється і потрапляння флотореагента у ці водні об'єкти.

Моделі окремих процесів (сорбції, біодеструкції) для органічних речовин, до яких відноситься флотореагент, відомо з літератури [5]. Ставиться завдання об'єднати ці моделі в єдину з урахуванням розрахункової схеми обігу флотореагента у системі до збагачення залізної руди [4].

3. Мета статті

Мета статті полягає у є розробленні математичної моделі динаміки флотореагента у хвостосховищі ГЗК з урахуванням процесів його надходження, відведення, сорбції та деструкції.

4. Виклад основного матеріалу

Моделювання поведінки флотореагента у хвостосховищі при впровадженні флотаційного дозбагачення залізних руд пропонується розділити на два етапи:

- 1) визначення основних параметрів ВГС ГЗК з урахуванням роботи ФВ;
- 2) розроблення математичної моделі визначення динаміки концентрації флотореагента у хвостосховищі ГЗК.

Перший етап. Для здійснення прогнозу накопичення флотореагента у хвостосховищі ГЗК насамперед необхідно визначити основні параметри його ВГС. Це робиться на основі аналізу балансу технічної води ГЗК з урахуванням проектних даних щодо впровадження технології флотаційної доводки. Встановлюється значення наступних параметрів:

- $V_{хв}$ – об'єм заповнення ставка хвостосховища;

- $Q_{об}^+$ – обсяг оборотної води, який поступає у хвостосховище з проммайданчика;
- $Q_{об}^-$ – обсяг оборотної води, який надходить з хвостосховища на проммайданчик;
- $Q_{ск}$ – обсяг надлишкової оборотної (дебалансної) води, який скидається у ПВО;
- $Q_{збв}$ – загальні безповоротні втрати води на хвостосховищі в наслідок випаровування, фільтрації і заповнення пор ($Q_{БВ.хв}$) та безповоротні втрати води на проммайданчику ГЗК ($Q_{БВ.об}$), у тому числі технологічні витрати на випаровування при виробництві окатків ($Q_{БВ.об} = Q_{об}^- - Q_{об}^+$);
- Q_{Δ} – обсяг свіжої води, який потрапляє у хвостосховище, $Q_{\Delta} = Q_{кар} + Q_{оп.хв}$, де $Q_{кар}$ – кар'єрна вода, яка поступає у хвостосховище, $Q_{оп.хв}$ – атмосферні опади на хвостосховище.

Рівняння балансу води у хвостосховищі при постійному об'ємі води буде мати наступний вигляд:

$$Q_{об}^+ + Q_{\Delta} = Q_{об}^- + Q_{ск} + Q_{збв} \quad (1)$$

Права частина рівняння (1) показує надходження води у хвостосховище, ліва – забір води, її експлуатацію та безповоротні втрати та скидання.

Другий етап починається з розробки розрахункової схеми обігу флотореагента у ВГС ГЗК. Модель для прогнозу зміни накопичення флотореагента у хвостосховищі ГЗК розробимо на прикладі типової розрахункової схеми його обігу у системі збагачення залізної руди (рис.1). При проведенні аналізу варіантів водоохоронних заходів щодо зниження впливу флотореагента на ПВО до нормативних показників дану схему потрібно буде доробити з урахуванням змісту відповідних варіантів.

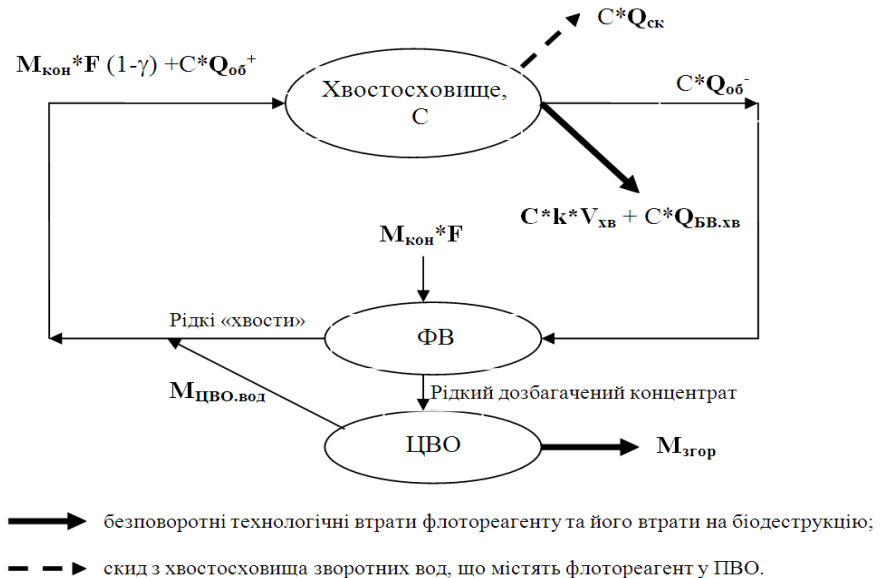


Рис. 1. Типова розрахункова схема обігу флотореагента у ВГС системі ГЗК

Ключові елементи, через які обертається технічна вода із вмістом флотореагента – флотаційне відділення (ФВ), цех виробництва окатків (ЦВО) та хвостосховище (С – концентрація флотореагента в системі, параметр, який підлягає визначенню).

При експлуатації хвостосховища динаміку вмісту розчиненого у воді флотореагента і об'єму води можна записати за співвідношенням: $d(m) = d(CV_{xb}) = CdV_{xb} + V_{xb}dC$, де dV_{xb}, dC – відповідно зміна об'єму води та концентрації флотореагента у хвостосховищі за час dt . Також зміну маси флотореагента у хвостосховища можливо представити:

$$(dG_{II} - dG_B)dt = CdV_{xb} + V_{xb}dC,$$

де dG_{II}, dG_B – маса флотореагента, що поступає у хвостосховище і відповідно відводиться з нього за час dt .

При розробці математичної моделі динаміки флотореагента у хвостосховищі, згідно з висновками до рівняння (1), вважаємо, що об'єм заповнення ставка хвостосховища підтримується постійним, крім того, прийнято припущення повного змішування флотореагента у воді хвостосховища. Наприклад, якщо витрати води у хвостосховищі суттєві – 1,2 млн. м³/добу, при об'ємі ставка освітлювача у хвостосховищі 6 ÷ 12 млн. м³ повний водообмін у ставку відбувається за 5-10 діб. У цьому випадку:

$$(dG_{II} - dG_B)dt = V_{xb}dC. \quad (2)$$

У ФВ з концентратом поступає флотореагент, витрата якого $M_{кон} \cdot F$, де $M_{кон}$ – маса концентрату, який поступає на флотацію, F – кількість флотореагента, який подається на одиницю концентрату.

На виході з флотаційного відділення здійснюється розподіл загальної збагачувальної маси на дозбагачений концентрат (камерний продукт) і хвости (пінний продукт).

У флотомашині більша частина флотореагента сорбується твердою фазою пінного продукту і концентрату. При коефіцієнті сорбції γ на твердій фазі сорбується:

$$M_{кон} \cdot F \cdot \gamma, \quad (\gamma < 1),$$

а у воді залишається:

$$M_{кон} \cdot F \cdot (1 - \gamma).$$

Камерний продукт згущують, зменшуючи у ньому кількість вологи до меж у 10 % та відправляють на виробництво окатків. Фільтраційна вода ($M_{ЦВО,вод}$) спрямовується у хвостосховище. Флотореагент, який залишається у воді з камерним продуктом та на його твердій фазі при виробництві окатків безповоротно втрачається ($M_{згор}$) (випаровується, згорає). Величину $M_{згор}$ можливо представити у вигляді виразу:

$$M_{згор} = M_{кон} \cdot F \cdot E,$$

де E – частка загальної втрати флотореагента на ЦВО від його загальної кількості надходження у флотаційне відділення.

Таким чином, у воді, яка спрямовується у хвостосховище, кількість «свіжого» флотореагента складає:

$$M_{кон} \cdot F \cdot (1 - E) \cdot (1 - \gamma).$$

Крім «свіжого» флотореагента у хвостосховище повертається частина флотореагента, який міститься в оборотній воді, що забирається з хвостосховища ($C \cdot Q_{об}^-$ – маса флотореагента, що забирається з хвостосховища, $C \cdot Q_{об}^+$ – маса флотореагента, що повертається у хвостосховище, $Q_{об}^- > Q_{об}^+$, $C \cdot Q_{БВ,об}$ – маса флотореагента, яка безповоротно втрачається на проммайданчику ГЗК).

Отже, загальний обсяг флотореагента, який поступає у хвостосховище буде дорівнювати:

$$M_{кон} \cdot F \cdot (1 - E) \cdot (1 - \gamma) + C \cdot Q_{об}^+.$$

Безпосередньо у хвостосховищі буде здійснюватися процес зменшення обсягів накопичення флотореагента та рахунок:

- втрати флотореагента завдяки процесу його біодеструкції в хвостосховищі у обсязі $C \cdot k \cdot V_{xb}$, де k – коефіцієнт неконсервативності, який відображає інтенсивність процесу біодеструкції флотореагента;
 - забору води з хвостосховища у обсязі $C \cdot Q_{об}^-$ для оборотної системи ГЗК;
 - безповоротної втрати води на хвостосховищі у обсязі $C \cdot Q_{БВ,xb}$;
 - скиду з хвостосховища зворотних вод, що містять флотореагент до ПВО у обсязі $C \cdot Q_{ск}$;
- Всього виходить з хвостосховища та втрачається:

$$C \cdot k \cdot V_{xb} + C \cdot Q_{об}^- + C \cdot Q_{БВ,xb} + C \cdot Q_{ск} = \\ = C(k \cdot V_{xb} + Q_{об}^- + Q_{БВ,xb} + Q_{ск}).$$

Таким чином, складові рівняння (2) будуть мати наступний вигляд:

$$dG_{II} = [M_{кон} \cdot F \cdot (1 - E) \cdot (1 - \gamma) + C \cdot Q_{об}^+] \cdot dt,$$

$$dG_B = [C(k \cdot V_{xb} + Q_{об}^- + Q_{БВ,xb} + Q_{ск})] \cdot dt.$$

Враховуючи рівняння (2) після перетворень одержуємо:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{[M_{кон} \cdot F \cdot (1 - E) \cdot (1 - \gamma) + C \cdot Q_{об}^+]}{V_{xb}} - \frac{[C(k \cdot V_{xb} + Q_{об}^- + Q_{БВ,xb} + Q_{ск})]}{V_{xb}};$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{M_{кон} \cdot F \cdot (1 - E) \cdot (1 - \gamma)}{V_{xb}} + \frac{C \cdot (Q_{об}^+ - k \cdot V_{xb} - Q_{об}^- - Q_{БВ,xb} - Q_{ск})}{V_{xb}}.$$

Це початкове основне рівняння, за яким виконуватиметься прогноз зміни концентрації флотореагента у воді хвостосховища.

Після нескладних перетворень рівняння (3) можна привести до виду:

$$\frac{dC}{dt} = a \cdot C + b, \quad (4)$$

де $C(t)$ – невідома функція, значення якої треба визначити, величини a та b – мають вигляд:

$$a = \frac{Q_{об}^+ - k \cdot V_{хв} - Q_{об}^- - Q_{ББ.хв} - Q_{ск}}{V_{хв}}, \quad a < 0$$

$$b = \frac{M_{кон} \cdot F \cdot (1-E) \cdot (1-\gamma)}{V_{хв}}$$

При умовах постійних значень a та b рівняння (4) має аналітичне рішення:

$$C(t) = -b/a + C_0 \cdot \exp(at). \quad (5)$$

При умові $t=0$ рівняння (5) має вигляд: $C(0) = -b/a + C_0$, звідки

$$C_0 = C(0) + b/a. \quad (6)$$

Тоді рівняння (5) з умовами (6) має остаточний вигляд:

$$C(t) = -b/a + (C(0) + b/a) \cdot \exp(at). \quad (7)$$

При вирішенні задачі розрахунковий період представлено місячними відрізками, протягом яких значення a та b є константами. Початковими умовами кожного наступного інтервалу є кінцеве значення попереднього.

Прогнозування динаміки концентрації флотореагента в хвостосховищі на основі рівняння (7) робиться за допомогою розробленою автором комп'ютерної програми для будь-яких інтервалів часу з урахуванням усіх факторів, які розглянуто у статті.

5. Висновки

Запропонована модель спирається на розрахункову схему обігу флотореагента у системі дозбагачення залізної руди ГЗК, що дало змогу:

- ув'язати окремі моделі процесів сорбції та деструкції флотореагента в єдину модель його поведінки у хвостосховищі;
- врахувати основні фактори, які впливають на поведінку флотореагента в системі;
- отримати рівняння прогнозних значень динаміки концентрації флотореагента в хвостосховищі.

Розроблена стаття має теоретичну спрямованість. За теоретичними результатами статті здійснено прогнозування динаміки концентрації флотореагента у хвостосховищі Полтавського ГЗК при розширенні обсягів флотаційного дозбагачення. За результатами цих розрахунків готується наступна стаття.

Література

1. Воронцов, И. Ломовая альтернатива [Электрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://minprom.ua/articles/42169.html>. – Заголовок з екрану.
2. Мировое производство ДРИ в январе 2011 года выросло на 2,8% [Электрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://minprom.ua/news/62202.html>. – Заголовок з екрану.
3. Богданов, О. С. Теория и технология флотации руд [Текст] / О. С. Богданов, И. И. Максимов, А. К. Поднек, Н. А. Янис. – М.: Недра, 1990. – 363 с.
4. Дмитрієва, О. О. Екологічна безпека поверхневих водних об'єктів при впровадженні флотаційної доводки збагачення залізних руд [Текст] / О. О. Дмитрієва, О. Л. Тертичний, Г. В. Василенко // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2012. – Вип. 9 – С. 93-104.
5. Родзиллер, И. Д. Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод [Текст] / И. Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1984. – 263 с.
6. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 718 с.

Abstract

The article has theoretical orientation. It highlights the issues of the modeling of behavior of a flotation reagent in the tailing pit of a mining and processing plant while implementing the flotation tweak of the magnetite concentrate. We have improved the mathematical model of dynamics of the flotation reagent concentration in water flow system of the mining and processing plant, which takes into account the peculiarities of processes of flotation and pelletizing, as well as changes of parameters of sorption-

desorption and biodegradation of the flotation reagent, depending on the water temperature in the system. According to theoretical results we have predicted the dynamics of the flotation reagent concentration in the tailing pit of Poltava mining and processing plant, when expanding the volumes of flotation pre-enrichment. These data permitted to make a prediction of the possible influence of the technology of flotation pre-enrichment of iron ore on the environmental safety of surface waters of receivers of return waters of a mining and processing plant. According to the results of these calculations next article is being prepared

Keywords: *dynamics of the concentration of flotation reagent, tailing pit, sorption, biodegradation, scheme of circulation of flotation reagents*