

УДК 502.58:556.531:622.765

ДОСЯГНЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ФЛОТОРЕАГЕНТУ У ВОДОЙМІ ПРИ ФЛОТАЦІЇ ЗАЛІЗНИХ РУД

О.О. Дмитрієва

Доктор економічних наук, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, завідувач лабораторією*

Контактний тел.: (057) 715-60-93

Г.В. Василенко

Аспірант, науковий співробітник

*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

Контактний тел.: 067-571-40-71, (057) 715-60-93

Розглянуто порядок проведення досліджень екологічної спрямованості, які необхідно здійснювати на передпроектній стадії впровадження флотаційного дозбагачення залізних руд для досягнення безпечної концентрації флотореагенту у поверхневому водному об'єкті

Ключові слова: флотація, прогноз накопичення флотореагенту, хвостосховище

Рассмотрен порядок проведения исследований экологической направленности, которые необходимо осуществлять на предпроектной стадии внедрения флотационного дообогащения железных руд для достижения безопасной концентрации флотореагента в поверхностном водном объекте

Ключевые слова: флотація, прогноз накопления флотореагента, хвостохранилище

We consider the procedure for conducting environmental research focus, which should be implemented at the pre-implementation stage flotation beneficiation of iron ores in order to achieve a safe flotation reagent concentration in the surface waterbody

Keywords: flotation, predicting the accumulation of flotation reagent, tailings

Постановка проблеми

В умовах значного росту вимог до якості товарних залізрудних концентратів та неефективності технології магнітного збагачення у випадку бідних і важкозбагачуваних руд на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) впроваджують флотаційне дозбагачення.

В процесі флотації флотореагент може поступово накопичуватись до небезпечних концентрацій у водогосподарських системах (ВГС) ГЗК, в яких використовується оборотна система на базі хвостосховища. При наявності позитивного дебалансу можливі скид надлишкових виробничих стічних вод у водний об'єкт [1], що може здійснювати негативний вплив на водну екосистему поверхневих водних об'єктів (ПВО) та, як наслідок, погіршення показників їх якості води понад нормативні вимоги.

Для запобігання такої ситуації при впровадженні зворотної катіонної флотації чи зміні обсягів її використання необхідно здійснювати прогноз поведінки флотореагенту у ВГС ГЗК та за його результатами приймати рішення щодо впровадження певних водоохоронних заходів, які б сприяли дотриманню вмісту

флотореагенту у воді ПВО, у межах встановлених у природоохоронних нормативах.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Теорія та технологія зворотної катіонної флотації є достатньо розробленою [1,2,3]. У [4] наведено, що на передпроектній стадії впровадження флотаційних технологій дозбагачення залізних руд на ГЗК потрібно проводити дослідження, які дозволяють зробити ці технології екологічно безпечними відносно ПВО, та обґрунтована загальна послідовність проведення зазначених досліджень (рис.1). Деталізація виконання двох важливих етапів загальної послідовності: експериментальне визначення основних параметрів принципової розрахункової схеми обігу флотореагенту (*коефіцієнтів сорбції* (γ) та неконсервативності (k)), наведена у [4]; розробка прогнозної моделі поведінки флотореагенту у часі, наведена у [5].

Мета статті спираючись на результати попередніх досліджень [4,5] деталізувати порядок виконання наведених етапів 6, 7 та 8 зазначеної послідовності (рис.1).

Виклад основного матеріалу. Етап 6. Прогноз зміни накопичення флотореагенту у хвостосховищі ГЗК (без впровадження додаткових заходів). Виконання з 1 по 5 етапів послідовності (рис.1) є попередньою частиною досліджень для забезпечення екологічної безпеки ПВО при впровадженні флотаційних технологій на конкретному ГЗК. Важливим результатом цих досліджень є розробка моделі зміни у часі концентрації флотореагенту у воді хвостосховища ГЗК ($C(t)$). Вона має наступний вигляд [5]:

$$\frac{dC}{dt} = a \cdot C + b \quad (1)$$

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

$$a = \frac{Q_{об}^+ - k \cdot V_{XB} - Q_{об}^- - Q_{БП/ХВ} - Q_{СК}}{V_{XB}}, a < 0 \quad (2)$$

$$b = \frac{(M_{кон} \cdot F) \cdot (1 - \gamma)}{V_{XB}} \quad (3)$$



Рис. 1. Етапи досліджень для забезпечення екологічної безпеки ПВО при впровадженні флотаційних технологій

Початкові умови до рівняння (1) мають вигляд:

$$C(0) = C_0 \quad (4)$$

Якщо a і b відомі функції, аналітичне рішення рівняння (1) з граничними умовами (4) має вигляд [6]:

$$C(t) = e^{\int a dt} \left[\int b \cdot e^{-\int a dt} \cdot dt + C_0 \right] \quad (5)$$

де C_0 - початкова концентрація флотореагенту;
 V_{XB} – 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;

$M_{кон}$ – маса концентрату, який подається у флотаційне відділення;
 F – кількість флотореагенту, який подається на одиницю концентрату у флотаційному відділенні.

Значення коефіцієнтів γ та k до моделі (2, 3, 5) визначаються шляхом проведення експериментальних досліджень за умови конкретного ГЗК [1].

Таким чином, вхідними даними до моделі є проектні дані щодо експлуатації флотаційного відділення.

Для автоматизації проведення розрахунків $C(t)$ за моделлю (2, 3, 5) розроблено комп’ютерну програму для будь-яких інтервалів часу з урахуванням усіх вхідних даних, які були наведені вище.

Прогноз динаміки вмісту флотореагенту у воді хвостосховища виконується на період від 2-х до 3-х років. За цей час, при незмінних вхідних даних до моделі, її вихідні дані мають квазістаціонарну характеристику. Типовий графік динаміки флотореагенту у воді хвостосховища на період 2 роки, який розрахований за допомогою моделі (2, 3, 5), наведено на рис. 2.

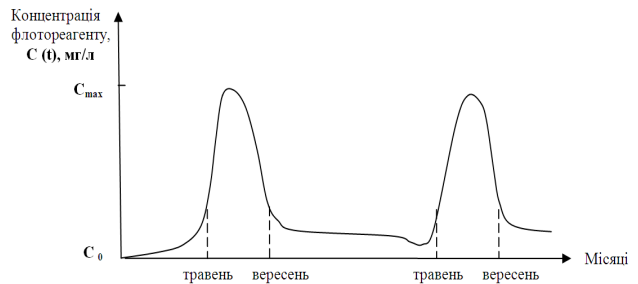


Рис. 2. Типовий графік динаміки флотореагенту у воді хвостосховища на період 2 роки

Як видно з графіку концентрація флотореагенту ($C(t)$) у продовж періоду спостереження суттєво змінюється. Максимальне значення (C_{max}) припадає на літні місяці (рис. 2). При збільшенні температури води у хвостосховищі внаслідок десорбції (виносу флотореагенту з твердої фази у воду) відбувається значне підвищення його вмісту у воді хвостосховища.

Етап 7. Прогноз якості води у ПВО при скиданні до них дебалансних вод ГЗК. При наявності позитивного дебалансу технічної води у ВГС ГЗК надлишкової води ($Q_{СК}$), вміст флотореагенту в яких наведено на рис. 2 (в залежності від пори року), відводяться з хвостосховища у ПВО.

Для подальшого дослідження потрібно визначитись з найгіршим, з точки зору забруднення, значенням

C_{max} . В інші періоди часу його значення буде значно нижче (рис. 2).

Якість води у водному об'єкті при скиданні до нього дебалансних вод ГЗК з концентрацією флотореагенту C_{max} перевіряється у контрольному створі, розташованому на відстані не менш 500 м від скиду.

Кратність розбавлення (n) у контрольному створі водотоків може визначатися за методикою Фролова-Родзиллера [7], а в водоймах за методикою [8], які ґрунтуються на аналітичному рішенні спрощеного рівняння турбулентної дифузії. Значення n дорівнює:

$$n = (C_{max} - C_{\phi}) / (C_{ск} - C_{\phi}) \quad (6)$$

де, C_{ϕ} – фонові концентрації флотореагенту;

$C_{ск}$ – концентрація флотореагенту у контрольному створі ПВО після впровадження флотаційного дозбагачення магнетитового концентрату.

У випадку, коли флотаційне дозбагачення магнетитового концентрату на ГЗК впроваджується вперше, то фонові концентрації флотореагенту у ПВО відсутні, отже $C_{\phi} = 0$. При цій умові рівняння (6) можливо записати у вигляді :

$$C_{ск} = C_{max} / n \quad (7)$$

За цією формулою визначається якість води у контрольному створі ПВО.

Отримане значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ($C_{ск}$) порівнюється з його критеріальним значенням $C_{гдк}$. За результатами порівняння можливі наступні рішення:

- при $C_{ск} < C_{гдк}$ – вплив флотореагенту на ПВО є екологічно допустимим;
- при $C_{ск} \geq C_{гдк}$ – вплив флотореагенту на ПВО є екологічно небезпечним і тому потрібно продовжити дослідження по зниженню впливу флотореагенту на ПВО і розробити відповідні водоохоронні заходи на ГЗК.

Таким чином, дослідження екологічної безпеки ПВО при впровадженні флотаційних технологій тільки у ситуації 2 потребують реалізації останніх етапів послідовності – 8 та 9 (рис. 1).

Етап 8. Розробка варіантів водоохоронних заходів по зниженню впливу флотореагенту на ПВО. Для виконання етапу, який розглядається пропонується деталізувати його на наступні підетапи (рис.3).

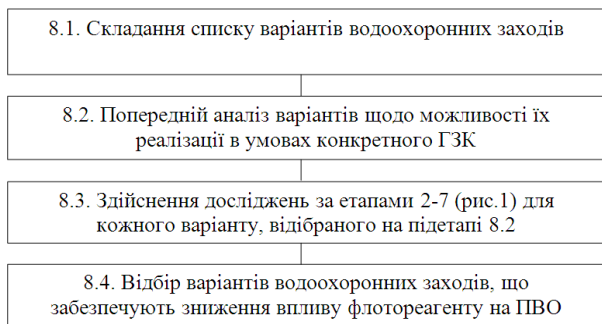


Рис. 3. Підетапи проведення формування та аналізу варіантів водоохоронних заходів

Розглянемо особливості виконання кожного з підетапів.

Підетап 8.1. Складання списку варіантів водоохоронних заходів. До цього списку у загальному випадку відносять наступні заходи [4]:

- будівництво локальних очисних споруд (ЛОС) для очищення дебалансних вод;
- перехід на замкнену оборотну систему без скиду виробничих стічних вод у водні об'єкти. У випадку позитивного дебалансу технічної води до ПВО можуть бути скинуті тільки невикористані кар'єрні води;
- у випадку відсутності позитивного дебалансу технічної води - очищення на ЛОС стічних вод та їх повернення у хвостосховище;
- продувка хвостосховища кар'єрними водами та водою обвідного каналу у весняний період та інші.

В умовах конкретного ГЗК можливо розширення наведеного списку заходів.

Підетап 8.2. Попередній аналіз варіантів щодо можливості їх реалізації в умовах конкретного ГЗК. Кожний з наведених вище заходів для своєї успішної реалізації потребує наявності на конкретному ГЗК відповідних умов, які слід розглядати як можливі обмеження реалізації того чи іншого заходу. Наприклад, реалізація заходу «будівництво ЛОС для очищення дебалансних вод» потребує для свого здійснення наявність на ГЗК вільних площ для розташування ЛОС. Другий приклад - реалізація заходу «продувка хвостосховища кар'єрними водами та водою обвідного каналу у весняний період» потребує для свого здійснення наявність у кар'єрі та обвідному каналі у весняний період необхідних обсягів води. Якщо на конкретному ГЗК не можливе забезпечення виконання цієї умови кожного року, то даний варіант необхідно виключити з подальшого дослідження.

Підетап 8.3. Здійснення досліджень за етапами 2-7 (рис.1) для кожного варіанту, відібраного на підетапі 8.2. Особливості виконання цього підетапу розглянемо на прикладі дослідження варіанту «будівництво ЛОС для очищення дебалансних вод», де в якості ЛОС будуть використані біоінженерні очисні споруди (БІС).

Баланс технічної води ГЗК у варіанті, що розглядається, залишається таким же, як і в типовій схемі [5], а принципова схема обігу флотореагенту буде мати незначні зміни (рис.4).

Новим в цієї схемі, відносно типового її виду [4], є тільки те, що скид дебалансних вод, які містять флотореагент, з хвостосховища до ПВО здійснюється через БІС. Тому для цієї схеми параметри моделі (2,3,5) та, відповідно, значення C_{max} залишаються без зміни.

Ефективність очищення на БІС органічних речовин (у тому числі і флотореагенту) - це функція часу перебування дебалансної води у БІС, тобто часу контакту води з біоценозом вищих водних рослин (залежно від сезону - найбільш ефективно споруди працюють влітку) [9]. За результатами експериментальних досліджень на Полтавському ГЗК за участю авторів статті встановлено, що у вегетаційний період з квітня по жовтень включно ступень очистки становить до 70%, а у «зимовий» період з листопада по березень лише до 37 %.

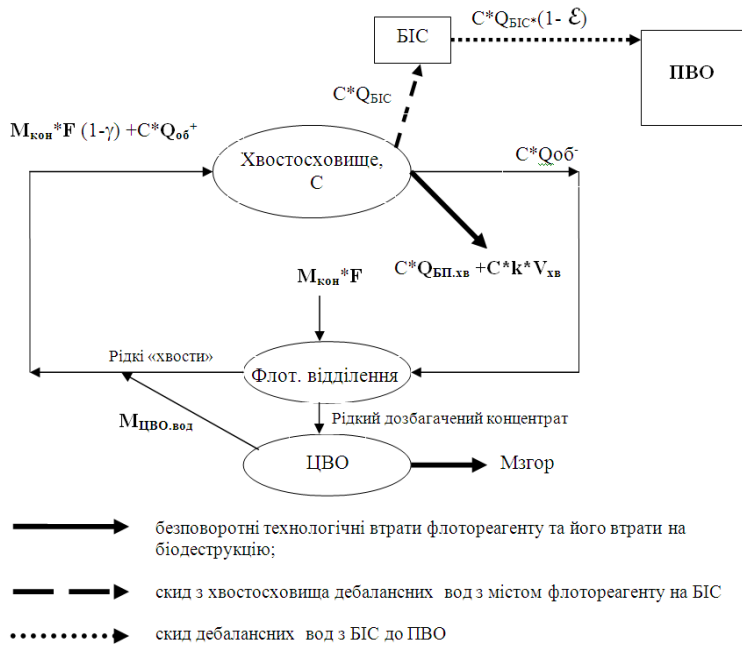


Рис. 4. Принципова розрахункова схема обігу флотореагенту за варіантом «будівництво БИС для очищення дебалансних вод»:

Значення C_{\max} досягається виключно у літку, тому приймаємо ступень очищення дебалансних вод від флотореагенту на БИС, який відповідає вегетаційному періоду. При цій умові для варіанту водоохоронного заходу, який розглядається, рівняння (7) можливо записати у вигляді:

$$C_{\text{кв БИС}} = C_{\text{max}} * (1 - \epsilon) / n,$$

де - концентрація флотореагенту у контрольному створі для варіанту «будівництво БИС для очищення дебалансних вод»,

ϵ – ступінь очищення на БИС у вегетаційний період;

n – кратність розбавлення у контрольному створі.

Таким чином, по кожному з варіантів водоохоронних заходів, що розглядаються буде отримано значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО - $C_{\text{ск i}}$ (i – номер варіанту, що розглядається).

Підетап 8.4. Вибір варіантів водоохоронних заходів, що забезпечують зниження впливу флотореагенту на ПВО. Отримані значення $C_{\text{ск i}}$ по варіантах порівнюються з критеріальним значенням $C^{\text{ГДК}}$. За результатами порівняння усі варіанти, для яких отримане значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО менш $C^{\text{ГДК}}$ є такими, що роблять вплив флотореагенту на ПВО екологічно безпечними. Тому тільки по цих варіантах робиться подальший еколого-економічний аналіз (етап 9) по вибору найкращого з них для подальшого впровадження.

Таким чином, розглянуто порядок проведення важливих елементів досліджень екологічної спрямованості, які необхідно здійснювати на передпроектній стадії впровадження флотаційного дозбагачення залізних руд на конкретному ГЗК. Виконання цих досліджень у повному обсязі (рис.1) і впровадження їх результатів у діяльність ГЗК забезпечить надходження флотореагенту у ПВО з концентрацією в межах нормативного значення.

Література

1. Теория и технология флотации руд [О. С. Богданов, И. И. Максинов, А. К. Поднек, Н. А. Янис]. – М. : Недра, 1990. – 363 с.
2. Справочник по обогащению руд. Основные процессы : сост.: О. С. Богданов, 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1983. - 381 с.
3. Себба Ф. Ионная флотация : [пер. с англ. В. П. Небера, А. М. Гольиан]; монография / Ф. Себба. – М. : Металлургия, 1965. – 167 с.
4. Дмитрієва О. О. Екологічна безпека поверхневих водних об'єктів при впровадженні флотаційної доводки збагачення залізних руд / О. О. Дмитрієва, О. Л. Тертичний, Г. В. Василенко / Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, тематич. вип.: Екологічна безпека та природокористування. – К., 2012. Вип. 9 – 93-104 с.
5. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. – Х.:ВД «Райдер», 2012.- у друку.
6. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 718 с.
7. Родзиллер И. Д. Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод / И. Д. Родзиллер. – М. : Стройиздат, 1984. – 263 с.
8. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Затв. Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 116 від 15.12.1994 р. – Харків, УкрНЦОВ, 1994. – 77 с.
9. Захарченко М.А. Биоинженерные сооружения (БИС) для очистки бытовых сточных вод / М.А. Захарченко [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://phytoremediation.com.ua/>.