

## КЕРУВАННЯ ЦИКЛІЧНІСТЮ РОБОТИ АПАРАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ШАХТНОЇ ВОДИ УРАНОВИХ РУДНИКІВ

### Вступ

Видобування й переробка уранових руд пов'язані з негативним впливом на навколишнє природне середовище - ландшафт, атмосферу і поверхневі водоймища. Шахтні води накопичуються за рахунок підземних і поверхневих вод, що потрапляють в гірські вироблення. Стікаючи по простору шахт, вода забруднюється бактеріями, завислими радіоактивними та хімічними речовинами.

Скидання шахтної води у водоймища повинно здійснюватися відповідно до [1]. По радіаційному чиннику воно припустиме за умови, що концентрація суміші ізотопів торієвого ряду у воді не перевищуватиме допустимих концентрацій.

Існує декілька способів очищення шахтної води, у роботі розглянуто очищення шляхом осаджування завислих частинок [2].

### Постановка задачі дослідження

Тривалість окремих стадій у технологічній схемі очистки визначають заздалегідь за усередненими показниками забруднення. Коригування завдання залежно від умов перебігу процесів та рівня забруднення води, як правило, не відбувається.

**Мета даної роботи** полягає в створенні алгоритмів керування та відповідних моделей для розрахунку моментів зупинок та подальшого введення в дію обладнання технологічної лінії. Визначення об'єктивно необхідної тривалості стадій виробництва – своєчасна та важлива задача, що спрямована на підвищення його економічної ефективності.

**Дослідження технологічної системи.** Технологічна система передбачає вилучення урану та інших елементів торієвого ряду при застосуванні гідрополіакриламідних (ГПАА) флокулянтів [3]. Флокулянти - це водорозчинні високомолекулярні сполуки, які при введенні в дисперсні системи адсорбуються або хімічно зв'язуються з поверхнею частинок дисперсної фази і об'єднують ці частинки в агломерати (флокули). Збільшення маси завислих частинок сприяє збільшенню швидкості осадження.

Технологія передбачає наступні стадії: приготування робочих розчинів; змішування цих розчинів з шахтною та технічною водою; флокуляцію; осадження флокул і окремих частинок забруднювача у відстійнику та освітлювачі; фільтрування води на швидких і диско-вакуумних фільтрах; коригування рН води перед зливанням її в гідрографічну мережу.

На рис.1 зображена структурна схема цієї технологічної лінії.

Робочими розчинами є вапняне молоко, поліакриламід (ПАА) та сірчана кислота. ГПАА відіграє роль флокулянта, його застосовують у вигляді 0,5% розчину.

Розчин сірчаної кислоти (10%) подають на нейтралізацію очищеної води перед зливом у гідрографічну мережу та на виробничі потреби.

Суспензія після змішування самопливом надходить у відстійник. Верхній злив відстійника передають в освітлювач. Відстоювання та освітлення – це процеси видалення завислих частинок за допомогою сил тяжіння з тією різницею, що у відстійнику процес інтенсифікують шляхом флокуляції.

Продукти з відстійника та освітлювача подають на фільтрування, причому у нижніх зливах співвідношення фаз "тверда: рідка (Т:Р)" повинно становити близько 1:8...10.

Технологічна система очищення шахтної води від радіоактивних забруднень, яка базується на гравітаційній силі, працює як неперервно – періодична. Обґрунтуємо це.

Кожний з процесів, наведених на рис1, є неперервним. Однак сутність осадження полягає у поступовому зменшенні концентрації завислих частинок у воді. Через певний час ця зміна суттєво сповільнюється і тримати воду довше у відстійнику немає потреби – очищену воду треба зливати, а брудну заливати.

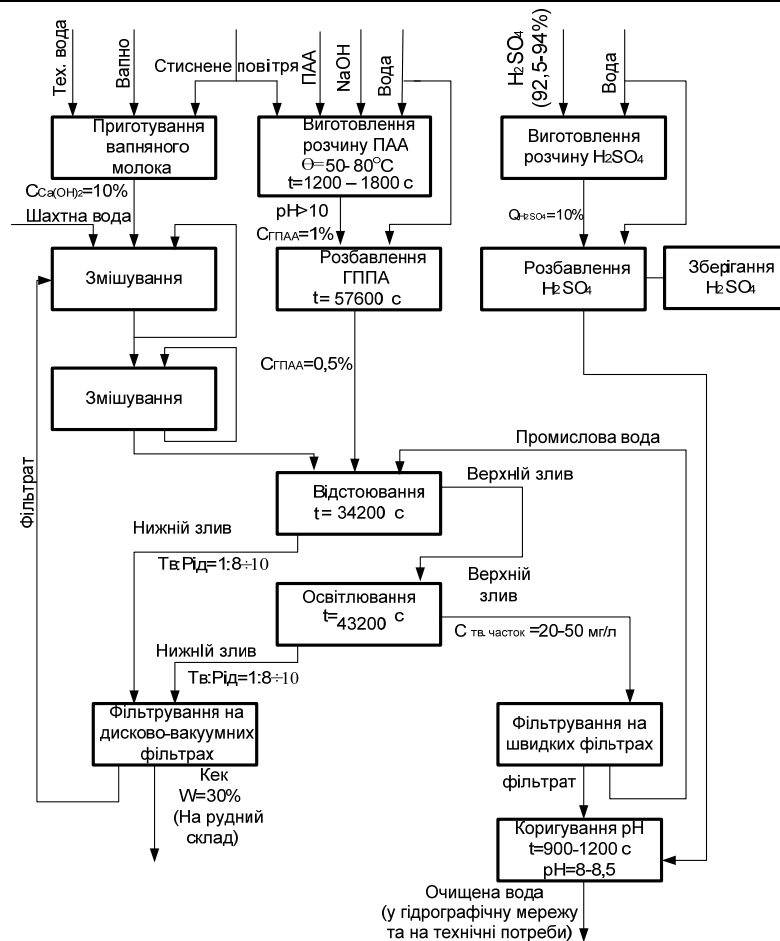


Рис. 1. Структурна схема технологічної лінії очищення шахтної води

Таким чином, циклічність у роботі технологічної лінії об’єктивно обумовлена її основним процесом. Усереднені тривалості кожного  $i$ -го процесу  $t_{kinz,i}$  встановлені згідно з технологічним регламентом (див. рис.1). Так, зокрема, суміш робочих розчинів разом з шахтною водою заливають у відстійник на  $t_{kinz,wid} = 9,5$  годин. Потім апарат спорожнюють. Перед цим, безумовно, спорожнюють освітлювач і готують його до завантаження верхнього зливу з відстійника. Верхній злив і бруд з освітлювача подають на відповідні фільтри, які слід попередньо підготувати до роботи. У сам відстійник треба заливати нову партію розчинів і шахтної води, які на цей час теж вже треба підготувати.

Видно, що періодична робота потребує узгодження у часі багатьох послідовних і паралельних виробничих процесів. Для таких технологічних систем розробляють спеціальні циклограми роботи обладнання. У кожному циклі тривалості  $t_{kinz,i}$  заздалегідь передбачити неможливо.

**Вибір критерію закінчення процесу та моделі прогнозування.** Показником ступеня очищення води є концентрація завислих частинок у верхньому зливні відстійника  $C_v$ . Прогнозований час закінчення стадії,  $t_{kinz,progn}$  повинен забезпечити виконання наступної вимоги:

$$|C_{v,kinz} - C_{v,0}| \leq \Delta, \tag{1}$$

де  $C_{v,kinz}$ ,  $C_{v,0}$  – дійсна кінцева та задана кінцева концентрації завислих частинок у верхньому зливні відповідно;

$\Delta$  – припустима відмінність між концентраціями.

Вимога (1) не завжди досяжна, оскільки завантажені у відстійник на початку циклу маси води та флокулянту вже не можуть бути змінені. Отже, довести  $C_{v,kinz}$  до  $C_{v,0}$ , тобто виконати умову (1), буває неможливо.

Виправданою є інша вимога до  $t_{kinz,progn}$ . Визначимо  $t_{kinz,progn}$  як час, із сплином якого буде виконуватись наступна нерівність:

$$|C_{v,k} - C_{v,k-1}| \leq \delta, \quad (2)$$

де  $k$  – номер етапу вимірювання концентрації  $C_v$ ;  
 $C_{v,k}, C_{v,k-1}$  – значення концентрації на  $k$ -му та  $(k-1)$ -му етапах вимірювання;  
 $\delta$  – припустима відмінність між концентраціями.

При прогнозуванні розвитку процесу осаджування для обчислення  $t_{kinz,prong}$  запропоновано використати математичну модель флокуляції та осаджування. Це вносить певні застереження до використання нерівності (2), оскільки розраховані за практично однаковою моделлю на різні глибини прогнозу значення  $C_v$  будуть однакові. Тому запропоновано ввести третій можливий критерій стабілізації значень  $C_v$  – близькість прогнозу не самих концентрацій  $C_v$ , як функцій часу, а дотичних до моделей зміни  $C_v$  у часі:

$$|Cdot_{v,k} - Cdot_{v,k-1}| \leq \delta_{dot}, \quad (3)$$

де  $Cdot_{v,k}, Cdot_{v,k-1}$  – значення функцій, дотичних до моделей концентрації  $C_v$  на  $k$ -му та  $(k-1)$ -му етапах вимірювання;  
 $\delta_{do}$  – припустима відмінність між значеннями дотичних.

Кінцевий результат залежить від того, наскільки вдало вибрана математична модель процесу. Проаналізуємо відомі математичні моделі флокуляції та осадження для задачі прогнозування.

Кінетика флокуляції базується на формалізмах Смолуховського та Фукса [4], які враховують наявність взаємодії між частинками. Для флокуляції полімермістких частинок Флір [5], модифікувавши рівняння Смолуховського, запропонував таку модель:

$$dW_1/dt = -2\Phi_1(1-\Phi_1)K^2n^2,$$

де  $W_1$  – швидкість флокуляції;  
 $\Phi_1$  – об'ємна доля полімермістких частинок;  
 $n$  – кількість частинок в одиниці об'єму рідини;  
 $K$  – константа швидкості утворення флокул.

Флокули у відстійнику не мають сферичної форми, для якої запропоновано цю модель, вони різні за масою та формою. Отже, спрощення щодо них не прийнятні. Зважаючи на те, що  $n$  для промислового відстійника як об'єкта з розподіленими властивостями є функцією за трьома координатами та часом,  $n(x, y, z, t)$ , то з'ясувати цей параметр для подальшого використання в системі керування практично неможливо. Те саме стосується і параметрів  $K$  та  $\Phi_1$ .

За основу побудови моделі вільного осадження беруть рівняння балансу сил, які впливають на частинку у відстійнику [5]. При осадженні під дією ваги рівняння вільного осадження набуває виду:

$$\frac{dw}{dt} = g(1 - \rho/\rho_t - \xi\rho w^2 S/2m),$$

де  $w$  – швидкість осадження;  
 $\rho$  – густина середовища;  
 $\rho_t$  – густина матеріалу частинки;  
 $\xi$  – коефіцієнт опору середовища;  
 $S$  – площа перерізу частинки;  
 $m$  – маса завислої частинки, що осаджується.

На адресу параметрів цієї моделі можна висловити ті ж зауваження, що і до попередньої. Напевне, що й інші аналітичні залежності, придатні для лабораторій, в умовах багатотоннажного виробництва без спрощень і припущень не будуть придатні.

Експериментально з'ясовано [3], що у відстійнику впродовж перших хвилин контакту макройонів з дисперсною фазою спостерігають різке збільшення флокул, потім швидкість поступово зменшується і згодом виходить на усталений режим. Концентрацію  $C_v$  будемо розглядати далі як випадкову функцію часу  $t$ , тобто  $C_v(t)$ . Результати спостереження цих концентрацій у кожному технологічному циклі слід сприймати як її окремі реалізації:  $C_{v,1}(t), C_{v,2}(t)$  і т.д. Одну з реалізацій зображено на рис.2.

Запропонуємо використати в алгоритмі визначення  $t_{kinz,progn}$  тільки часові ряди концентрації  $C_v(t)$ . З рис.2 видно, що тренд концентрації завислих частинок має форму, яка найбільше відповідає експоненціальній залежності виду

$$\hat{C}_v(t) = a \cdot e^{bt}, \tag{4}$$

де  $\hat{C}_v(t)$  – модель залежності концентрації завислих частинок від часу осадження;  
 $a, b$  – параметри моделі.

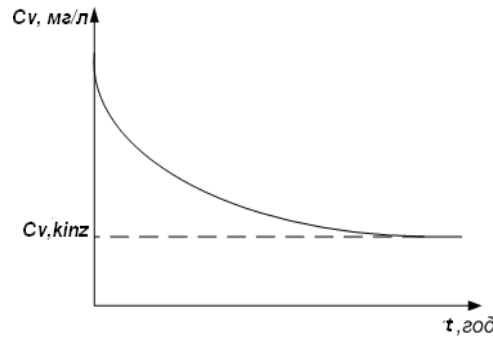


Рис. 2. Реалізація випадкової функції  $C_v(t)$

Параметри залежать від властивостей речовин та зовнішніх умов.

Залежність (4) нелінійна за фактором  $(t)$ . Для розрахунку  $a$  і  $b$  перейдемо до лінійної залежності, застосувавши логарифмічне перетворення

$$Z = b_1 + b \cdot X, \tag{5}$$

де  $Z = \ln \hat{C}_v$ ;  $X = t$ ;  $b_1 = \ln a$ .

Після переведення емпіричної формули (4) у лінійну залежність (5) її параметри  $b$  та  $b_1$  можуть бути знайдені методом найменших квадратів. Проте вони обертають у мінімум

$$\sum_{k=1}^N (\ln \hat{C}_{v,k} - Z_k)^2, \text{ а не } \sum_{k=1}^N (C_{v,k} - \hat{C}_{v,k})^2.$$

**Алгоритм визначення часу зупинки відстійника.** Згідно з алгоритмом визначення  $t_{kinz,progn}$  після завантаження речовин у відстійник починають проводити вимірювання  $C_v$  через певний інтервал  $\tau$ . Отримавши результати трьох вимірювань, виконують апроксимацію експериментальних даних і визначають параметри моделі (4), а потім (3), що дає можливість записати рівняння для першої похідної від (3) і розрахувати її значення для останньої, третьої точки (для  $t=3\tau$ ). Тим самим обчислюють тангенс куту нахилу дотичної до  $\hat{C}_v(3)$ . Потім визначають рівняння дотичної для  $t=3\tau$  і за ним розраховують прогнозовані значення для дотичної на  $t_{progn} = \tau, t_{progn} = 2\tau, t_{progn} = 3\tau, \dots$

У результаті на першому етапі прогнозування ( $k=1$ ) отримують першу дотичну, яка характеризує швидкість осадження.

Через  $\tau$ , на другому етапі ( $k=2$ ) виконують наступне вимірювання концентрації та апроксимацію по (4) вже за чотирма експериментальними даними. Далі знову визначають рівняння дотичної для  $t=4\tau$ , тангенс куту нахилу дотичної до  $\hat{C}_v(4)$  та за ним розраховують її прогнозовані значення на  $t_{progn} = \tau, t_{progn} = 2\tau, t_{progn} = 3\tau, \dots$

Тепер, на другому етапі прогнозування ( $k=2$ ), отримано другу дотичну.

На рис. 3 зображено результати комп'ютерного моделювання описаного алгоритму.

З рис. 3 видно, як у часі зменшується різниця між кутами нахилу дотичних і наближається виконання умови (3).

Відстоювання звичайно закінчується за 7...10 годин, перевіряти умову можна не раніше, як для  $5\tau \dots 10\tau$ . Чим більше час від початку процесу, тим ближчі за параметрами дотичні, а отже, і прогнозовані реалізації  $Cdot_{v,k}$  та  $Cdot_{v,k-1}$ . Ту глибину прогнозу,  $t_{prong}$ , при якій справдиться умова (3), вважатимемо кінцевим терміном роботи відстійника,  $t_{kinz,prong}$ .

Після обчислення  $t_{kinz,progn}$  визначають моменти зупинок і пусків обладнання (рис.4) та розробляють рекомендації щодо коригування циклограм їхньої роботи (рис. 5).

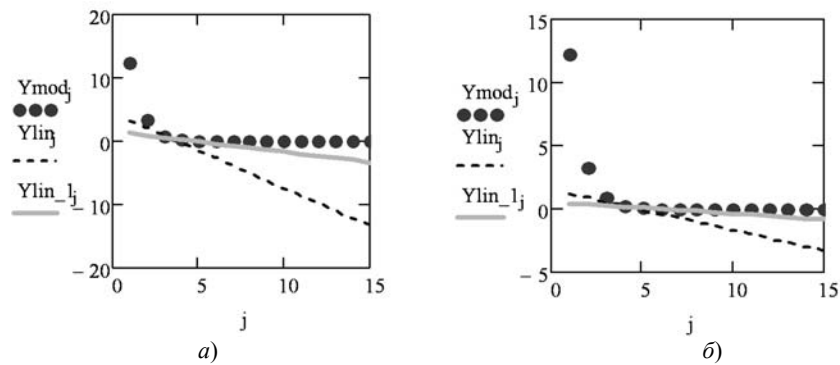


Рис. 3. Результати прогнозування по моделі:  
 а) – за трьома та чотирма вимірюваннями  $C_v$ ;  
 б) – за чотирма та п'ятьма вимірюваннями  $C_v$ ;  
 $Y_{mod} - \hat{C}_v(t)$ ;  $Y_{lin}$  – дотична до  $\hat{C}_v(t)$  у попередній точці;  
 $Y_{lin_1}$  – дотична до  $\hat{C}_v(t)$  у наступній точці

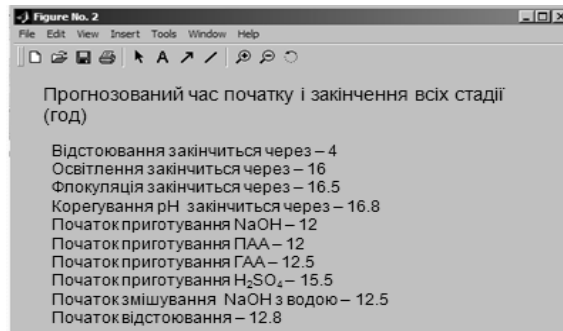


Рис. 4. Прогнозовані моменти зупинки і уведення в дію всіх стадій процесу

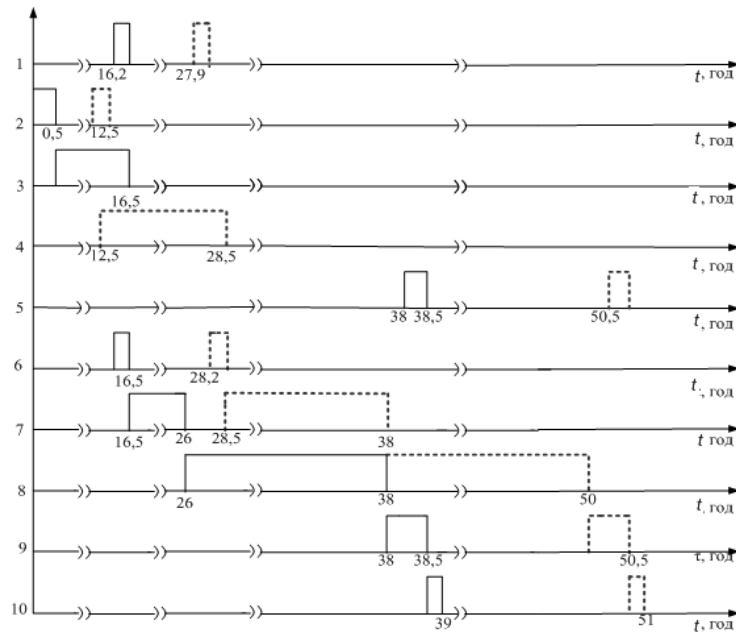


Рис. 5. Циклограма перебігу процесів технологічної лінії (суцільні лінії – попередній цикл, пунктирні – наступний цикл):

- 1 – приготування вапняного молока; 2 – розчинення ПАА;
- 3 – приготування ГПАА (в ємності 1); 4 – приготування ГПАА (в ємності 2);
- 5 – приготування кислоти; 6 – змішування шахтної води з вапняним молоком;
- 7 – відстоювання; 8 – освітлення; 9 – фільтрування та промивка швидких фільтрів;
- 10 – коригування рН;

**Висновки**

У результаті досліджень запропоновано алгоритм для визначення часу закінчення процесу осаджування завислих частинок у забрудненій шахтній воді. В основу алгоритму покладено математичне моделювання часового ряду, сформованого результатами вимірювання концентрації завислих речовин у воді. Визначення об'єктивно необхідної тривалості осаджування дозволяє підвищити ефективність роботи системи керування. Описаний алгоритм з певними корективами може бути використано в інших виробництвах, пов'язаних з циклічністю роботи обладнання.

**Література**

1. Постанова N 465 Кабінету міністрів України «Правила охорони поверхневих вод, що діють, від забруднення стічними водами» [Текст]. – Чинний від 25 .03 .99. - Київ: Кабінет міністрів України.
2. Соломенцева И . М . Химия и технология очистки воды [Текст]: учеб. пособие: В 2 ч. / И. М. Соломенцева А. А. Баран, В. В. Шамкин, Б. В. Ерёмченко. – Ленинград: Химия, 1980. Ч . 2. - 333 с. Библиогр. : с. 330–331. – 1200 экз.
3. Куренкова В. К . Полиакриламид [Текст] : учеб . пособие / В. К. Куренкова. – Москва: Химия, 1992. – 192 с. : ил. – Библиогр. : с. 130–139. – 1400 экз. – ISBN 5 – 7245 – 0684 – X.
4. Нефедов В. Д. Радиохимия [Текст] : учебное пособие для вузов/ В. Д. Нефедов, Е. Н.Текстер, М. А.Торопова. - Москва: Высшая школа, 1987 — 463 с. : ил . – Библиогр. : с . 453 . –5000 экз.
5. Рубашка В.П. Математическое моделирование движения частицы в жидкой или газообразной среде // Оралды гылым жаршысы (Уральский научный вестник), Технические науки, Астана, 2007, №2, [www//rusnauka.com/NIO\\_2007/Tecnic.htm](http://rusnauka.com/NIO_2007/Tecnic.htm).