



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit15-04-112>

DOI: 10.30890/2567-5273.2021-15-04-112

OPTIMIZATION OF THE PROCESSES PARAMETERS UNDER WASHING AND LEACHING IN METALLURGY

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОСТУПЕНЕВИХ ПРОЦЕСІВ ПРОМИВАННЯ ТА ЗБАГАЧЕННЯ В МЕТАЛУРГІЇ

Shandyba O.V. / Шандиба О. В.

Ph.D., assistant prof. / к.т.н., доцент

Hursenko S.M. / Хурсенко С. М.

Ph.D., assistant prof. / к.ф-м.н., доцент

Smolarov G.A. / Смоляров Г. А.

Ph.D., assistant prof. / к.е.н., доцент

Ryasnaya O.V. / Рясна О. В.

Sumy National Agrarian University, Sumy, 160 Herasym Kondratiev, Sumy, 40021

Сумський національний аграрний університет,

Суми, вул. Герасима Кондратьєва, 160, 40021

Анотація. В роботі розглянуто можливі варіанти оптимізації та управління технологічними параметрами багатоступеневих процесів промивання та збагачення в гідрометалургії. Алгоритм оптимізації передбачає створення та попарне використання інтегральних математичних моделей масовіддачі на кожному ступені каскаду. Приклад регулювання часу контакту взаємодіючих потоків наведено для характерного процесу промивання (репульсації) дисперсного матеріалу та/або металовиробу з урахуванням зниження інтенсивності масовіддачі по ступеням.

Ключові слова: багатоступеневий процес, масообмін, витратна характеристика, час контакту, концентрація, поглинаюча рідина, цільовий компонент, промивання, вилуговування, збагачення.

Вступ.

Багатоступеневе вилуговування, промивання та гідрометалургійне збагачення в дисперсному середовищі є поширеними технологічними процесами, що споживають велику кількість реагентів, води та енергоресурсів. Загострення сучасних екологічних проблем захисту довкілля поряд з необхідністю підвищення ефективності вилуговування цільового продукту з сировини вимагають раціональної організації багатоступеневого процесу з мінімальним споживанням ресурсів. Економний розподіл ресурсів та енерговитрат на оптимізацію багатоступеневих процесів масовіддачі становить серйозну інженерну задачу.

Регулювання всього комплексу технологічних параметрів досить складне, енерговитратне і зазвичай є економічно обтяжливим. У даному повідомленні ми обмежимося розглядом принципової можливості такого управління масовіддачею в дисперсному середовищі з метою оптимізації витрат поглинаючого розчину, води та максимального вилучення забруднюючого компоненту.

1. Огляд попередніх досліджень та публікацій.

В попередніх роботах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] було показано, що для досягнення максимальної ефективності в кожній з і-ступеней, що входять в технологічний каскадний ланцюжок, повинно бути досягнуте оптимальне співвідношення масообмінної та витратної характеристик процесу. Це



положення наглядно ілюструється три та двовимірними експериментальними графіками (рис.1) ефективності промивання.

Неважно впевнитись, що економічні режими промивання розташовані в межах перегину графіків ефективності. Для цього припустимо, що промивання ведеться за межами цієї області, тобто робоча точка процесу знаходиться на прямолінійних ділянках цих графіків вище або правіше ділянок перегину. Робоча точка промивання на кожному ступеню винавчється сполученням витратної та масообмінної характеристик. У випадку, коли «робоча точка» процесу лежить вище перегину (завеликі відносні витрати промивної води Q'), процес слід оптимізувати, просто зменшивши величину Q' . При цьому не відбудеться суттєвого зниження ефективності ступеню промивання, тому що робоча точка переміститься вниз по прямолінійній ділянці графіку до початку перегину. З іншого боку, коли «робоча точка» промивання на даному ступеню знаходиться праворуч від ділянок перегину графіків ефективності, такий процес можна легко оптимізувати, скоротивши енерговитрати на перемішування, або час перебування (контакту) матеріалу у промивній вні, тобто зменшивши масообмінну характеристику ступеню $Fo = kt$.

З економічної точки зору [3], [5], [7] вартість згущення і кондиціонування дисперсного продукту в декілька разів перевищує затрати на проведення власне промивного процесу. Тому важливо попередити надмірне розбавлення суспензії в процесі. Останнім часом широке застосування знаходять масообмінні багатоступеневі апарати колонного типу, в яких протитечійний промивний процес поєднується зі згущенням.

Більшість використовуваних в промислових масштабах сировинних матеріалів [3], [5], [7] можуть бути якісно промиті та збагачені в багатоступеневих апаратах, але при певних технологічних обмеженнях в залежності від властивостей оброблюваних суспензій.

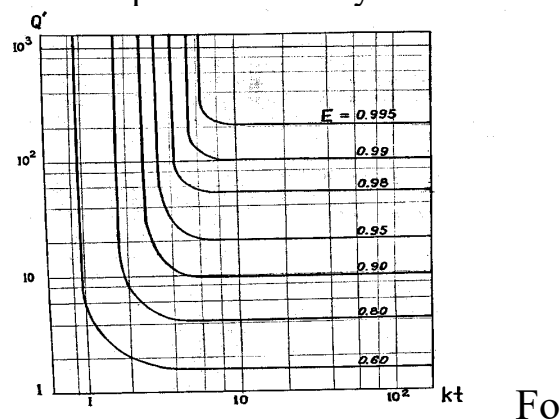


Рис.1. Вплив масообмінної характеристики $Fo = kt$ та витратної характеристики Q' ступенів протитечійного апарату на загальну ефективність процесу. Лінії рівної ефективності промивання:
1 – 0,40; 2 – 0,60; 3 – 0,80; 4 – 0,90; 5 – 0,95; 6 – 0,99

2. Постановка задачі

Задача полягає у виборі такого співвідношення об'ємних коефіцієнтів масовіддачі та часу контакту матеріалу з промивним потоком, щоб досягти



максимального зниження забрудненості матеріалу на парі суміжних ступенів. При цьому природними є обмеження загального часу контакту та сумарних енерговитрат для інтенсифікації промивання, наприклад, перемішування, барботажа, тощо.

3. Виклад теоретичних результатів.

Згідно досліджень одного з розповсюджених багатоступеневого процесу промивання [4,5,6], концентрація видаляемого забруднення після двох ступенів буде змінюватись згідно системі рівнянь (1), причому відношення концентрацій після кожного ступеню буде експоненційно залежати від технологічної витратної Q_i та масообмінної kt_i характеристик промивання:

$$\frac{x_i}{x_{i-1}} = A_{i-1} \exp(-k_{i-1}t_{i-1}) \quad (1)$$

$$\frac{x_{i+1}}{x_i} = A_i \exp(-k_i t_i)$$

Припустимо, що фіксоване співвідношення витрат промивної води та забруднених застійних зон ($A_i = \text{const}$, $A_{i-1} = \text{const}$) визначається виключно матеріальним балансом взаємодіючих потоків на кожному ступені (рис.1).

Перемножуючи ліві та праві частини рівнянь системи (1) отримаємо співвідношення вихідної та початкової концентрації забруднення після масовіддачі на обох ступенях процесу:

$$\frac{x_{i+1}}{x_{i-1}} = A_i A_{i-1} \exp(-k_i t_i - k_{i-1} t_{i-1}) \quad (2)$$

Як приклад, для чисельного розрахунку припустимо, що коефіцієнт масовіддачі k_{i-1} попереднього ступеня каскаду вдвічі більший за коефіцієнт масовіддачі наступного ступеню k_i , тобто $k_{i-1} = 2 k_i$. Взагалі, для найпростішого випадку приймемо $k_i = 1$, $k_{i-1} = 2$, а сумарний час взаємодії дисперсного матеріалу з промивним потоком становить $T = 1$ годину.

Тоді, при рівних інших технологічних умовах (витратних характеристиках взаємодіючих потоків, температурному режимі, дисперсності, тощо) концентрація забруднення після обох ступенів буде становити:

При рівномірному розподілі часу контакту з промивним потоком на кожному ступені $t_{i-1} / t_i = 0,5/0,5$ години.

$$\frac{x_{i+1}}{x_{i-1}} = A_i A_{i-1} \exp(-k_i t_i - k_{i-1} t_{i-1}) = \text{const} \cdot \exp(-1 \cdot 0,5 - 2 \cdot 0,5) = 0,22$$

При нерівномірному розподілі часу контакту $t_{i-1} / t_i = 0,2/0,8$ години, вихідна забрудненість буде

$$\frac{x_{i+1}}{x_{i-1}} = A_i A_{i-1} \exp(-k_i t_i - k_{i-1} t_{i-1}) = \text{const} \cdot \exp(-1 \cdot 0,8 - 2 \cdot 0,2) = 0,30$$

При нерівномірному розподілі часу контакту $t_{i-1} / t_i = 0,4/0,6$ години, вихідна забрудненість буде

$$\frac{x_{i+1}}{x_{i-1}} = A_i A_{i-1} \exp(-k_i t_i - k_{i-1} t_{i-1}) = \text{const} \cdot \exp(-1 \cdot 0,6 - 2 \cdot 0,4) = 0,25$$

При нерівномірному розподілі часу контакту $t_{i-1} / t_i = 0,6/0,4$ години,



вихідна забрудненість буде

$$\frac{x_{i+1}}{x_{i-1}} = A_i A_{i-1} \exp(-k_i t_i - k_{i-1} t_{i-1}) = \text{const} \cdot \exp(-1 \cdot 0,4 - 2 \cdot 0,6) = 0,20$$

При нерівномірному розподілі часу контакту $t_{i-1} / t_i = 0,8/0,2$ години, вихідна забрудненість буде

$$\frac{x_{i+1}}{x_{i-1}} = A_i A_{i-1} \exp(-k_i t_i - k_{i-1} t_{i-1}) = \text{const} \cdot \exp(-1 \cdot 0,2 - 2 \cdot 0,8) = 0,16$$

Таким чином, збільшення часу контакту на ступені з більш інтенсивним масообміном підвищує ефективність роботи каскада (зниження остаточної забрудненості матеріала до 16% в порівнянні з 30% забрудненості відносно нераціональній організації каскада) при інших тотожних технологічних параметрах в рамках загального ліміту часу. Експериментальні дослідження кінетики масовіддачі проводились з побудовою лінеаризованих графіків згідно логарифмування базових рівнянь системи (1).

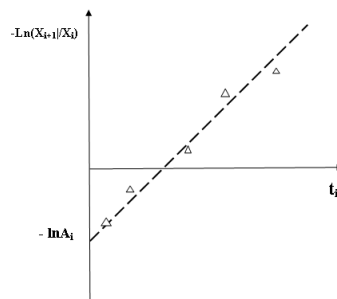


Рис.2. Кінетика промивання на і-му ступені

$$\ln \frac{x_{i+1}}{x_i} = \ln A_i - k_i t_i \quad (3)$$

$$\frac{x_i}{x_{i-1}} = \ln A_{i-1} - k_{i-1} t_{i-1}$$

Очевидно, що інтенсивність масовіддачі визначається тангенсом кута нахилу графічної апроксимації експериментальних даних, а витратні технологічні характеристики визначаються відрізками на координатних осях.

4. Експериментальні дослідження ерліфтів при циркуляції технологічних розчинів

Ерліфти є видом насосів, в яких одночасно здійснюється циркуляція та взаємодія розчинів з оброблюваними поверхнями металовиробів в процесах промивання, пасивування і нанесенні функціональних покриттів на сталевий прокат, дріт або метизи (рис.3). Ці компактні установки відрізняються простотою конструкції, надійні в експлуатації і можуть застосовуватися для обробки забрудненими розчинами з вмістом абразивних компонентів. Одна з кращих промислово випробуваних в металургійних виробництвах конструкцій (А.с. 1761819) складається з ванни 1 зі збірними жолобами 2, розділених перегородкою 3 на секції, кожна з яких обладнана циркуляційним ерліфтом 4, сполученим з перфорованими розподільчими трубами 5. При подачі стисненого повітря утворюється водоповітряна суміш або технологічний розчин, який



через отвори в розподільних трубах надходить в секції ванни. Турбулізація розчину поблизу розподіляючих труб призводить до інтенсивного змиву забруднень та/або масообміну на поверхні, що оброблюється в установці.

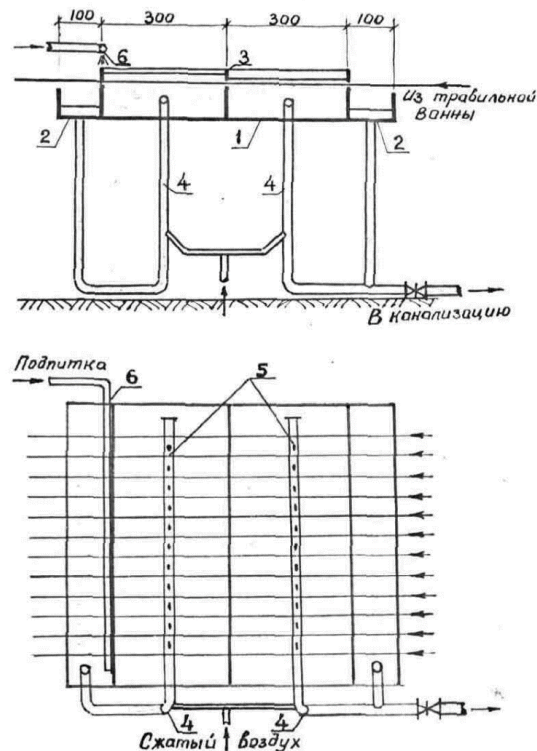


Рис. 3. Установка для рідинної обробки поверхні дроту

До основних переваг подібних систем слід віднести багатоступеневість, секціонування внутрішнього простору установки та низький робочий тиск повітря, яке подається в ерліфт і що дозволяє використовувати замість компресорного відносно дешеве стисле повітря відцентрових повітродувок.

В той же час результати досліджень виявили деякі експлуатаційні недоліки коротких циркуляційних ерліфтів, пов'язаних в першу чергу з існуючими напівемпіричними розрахунковими моделями процесу, що вимагають уточнення.

Так, для цього розглянемо деякі гідравлічні особливості роботи ерліфтів в промивних установках металовиробів або прокату. З досвіду експлуатації циркуляційних систем звернемо увагу на специфічні гідродинамічні явища, що відбуваються з водоповітряною сумішшю при русі її усередині подаючої труби.

Одним з них є так зване "прослизання" потоків, коли стисле повітря після змішування з водою піднімається вгору швидше, ніж захоплювана ним вода. При збільшенні долі повітря у водоповітряній суміші, втрати енергії, викликані відносним рухом води і повітря, в загальному балансі переважатимуть над п

$$\rho_c = \rho \frac{q}{q + kQ} \quad (4)$$

де ρ , ρ_c - відповідно, щільність вод та водоповітряної суміші; q , Q - витрати води і повітря; k - гідродинамічний коефіцієнт, характеризує відносну кількість повітря, що утворює водоповітряну суміш (к.к.д. змішування).



Неважко помітити, що підйом промивної рідини на висоту можливий при виконанні умови:

$$\rho_c = \rho \frac{H}{h + H}, \quad (5)$$

де h - глибина занурення повітряного патрубку відносно рівня води в секції; H - робоча висота підйому, рівна різниці рівнів води в секції та збірному жолобі.

З іншого боку, витрата повітря, що поступає в ерліфт, залежить від глибини занурення повітряного патрубку і тиску, який створюється повітродувкою:

$$Q = \mu S_0 \sqrt{2g(H_0 - H)} \quad (6)$$

де, μ - коефіцієнт витрати, S_0 - площа перерізу повітряного патрубку.

З урахуванням приведених залежностей (4,5,6) можна записати вираз (7)

$$\alpha = \frac{H}{H + h} = \frac{q}{q + A\sqrt{H_0 - H}} \quad (7)$$

де α - доля повітря у водоповітряній суміші (водоповітряне відношення);

$A = k\mu S_0 \sqrt{2g}$ - витратний параметр ерліфта.

Кінцевий вираз, зручний для обробки експериментальних даних, можна записати у вигляді:

$$\frac{1 - \alpha}{\alpha} q = A\sqrt{H_0 - H} \quad (8)$$

Результати промислових випробувань запропонованої конструкції [6] при мінімальній кількості ступенів обробки (попередня і чистова) і відносній глибині занурення повітряного патрубку в межах 0,45 - 0,90 підтвердили адекватність моделі для чисельного значення параметра ерліфта $A = 0,65$.

Крім того, слід зауважити, що максимальна техніко-економічна ефективність інтенсифікації обробки металокорда у багатоступеневих ваннах безперервно-травильних агрегатів (БТА) за рахунок використання коротких циркуляційних ерліфтів може бути досягнута у разі створення водооборотних систем з локальними очисними спорудами.

Висновок.

В статті розглянуто гідродинамічні параметри оптимізації роботи коротких ерліфтів, що застосовуються в промивних протитічних багатоступеневих ваннах обробки дроту, металокорду та/або в каскаді репульпаційних апаратів. Запропонована конструкція установки для водоповітряної інтенсифікації процесу обробки металокорду.

Література:

1. Шандиба О.Б. / Оптимізація каскадної системи репульпаційних апаратів для промивання дисперсних матеріалів Шандиба О.Б. // Міжнародний науково - технічний журнал „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” № 3 (56). Хмельницький, Хмельницький національний університет – 2017. – С. 50-53.

2. Shandyba A.B., Shpetny D.N. Rational water consumption under multistage washing. Збірник праць XVII Міжнародного симпозіуму «Методи дискретних



особливостей в задачах математичної фізики. (МДОЗЬФ-2015). Харківський національний університет ім. Н.В. Каразіна, Сумський державний університет. Суми, 8-13 червня 2015 р. – С. 273-277.

3. Наукове оточення сучасної людини: техніка і технології, інформатика. Книга 3. Часть 3: серія монографій / [авт.кол. : С.О. Гнатюк, А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, С.В. Агаджанова, С.В. Толбатов та ін.]. - Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2020 - 83 с.

4. Сериков Н.Ф., Красавцев Г.Н. Водное хозяйство заводов черной металлургии.- М.: Металлургия, 1973.- 407 с.

5. Толбатов С. В. Розробка архітектури інформаційної системи для реалізації алгоритмів моделювання та оцінки складності робіт / С. В. Толбатов, А. В. Толбатов, В. А. Толбатов // Сборник науч. трудов Sworld. – Иваново : МАРКОВА АД, 2014. – Т. 10, № 3(36). – С. 10–16.

6. Шандиба О.Б. Рациональное использование воды при багатоступеневому промиванні. - Вісник СДАУ, № 6, сер. «Механізація та автоматизація виробничих процесів», - Суми: Козацький Вал, 2001.- С. 180-184.

7. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии: монография / [авт.кол.: И.Я.Львович, А.П.Преображенский, В.А.Толбатов, И.Ф.Червоный, О.Н.Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.

8. А.С. 1761819, СССР, МКИ С23 G3/02. Установка для жидкостной обработки поверхности проволоки.

Abstract. *In-process we deal with one of probable variants of optimization and management of multistaged processes of washing and enriching technological parameters in a hydrometallurgy and/or metallurgy. A management algorithm envisages creation and nonapne use of integral mathematical models of mass-transfer on every cascade stage. Example of adjusting of time of contact of interactive streams is made a for the characteristic process of leaching (repulpatation) of dispersible material taking into account the decline of intensity of mass-transfer.*

Key words: *multistaged process, mass-transfer, expense description, time of contact, concentration, absorptive liquid, having a special purpose component, washing, leaching, enrichin.*