OLTIN TARKIBLI RUDALARNI SORBSIYALASH JARAYONINING MATEMATIK MODELINI TUZISH VA DINAMIK XUSUSIYATLARINI TAHLIL QILISH.

Sodiqov Baxtiyor Qahhor o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti
E-mail: sodbaxtiyor@yandex.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada oltin ajratib olish sanoatining muhim bosqichi hisoblangan sorbsiyalash jarayonining matematik modelini ishlab chiqish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot davomida aktiv ko‘mir yordamida oltinni yutish jarayoniga ta’sir etuvchi asosiy omillar — eritmadagi oltin konsentratsiyasi, sorbent miqdori va aralashtirish tezligi kabi parametrlar o‘rtasidagi bog‘liqliklar tahlil qilingan. Jarayonning dinamik xususiyatlarini o‘rganish maqsadida differensial tenglamalar tizimi orqali matematik model shakllantirilgan va uning barqarorligi tekshirilgan. Olingan natijalar sorbsiyalash jarayonini avtomatik boshqarish tizimlarini loyihalashda va oltin yo‘qotilishini kamaytirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Sorbsiyalash, oltin tarkibli ruda, matematik model, dinamik xususiyatlar, aktiv ko‘mir, konsentratsiya, differensial tenglamalar, avtomatik boshqarish..

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы разработки математической модели процесса сорбции, который является важным этапом в золотодобывающей промышленности. В ходе исследования проанализированы взаимосвязи между основными факторами, влияющими на процесс поглощения золота с помощью активированного угля: концентрацией золота в растворе, количеством сорбента и скоростью перемешивания. Для изучения динамических характеристик процесса была сформирована математическая модель на основе системы дифференциальных уравнений и проведена проверка её устойчивости. Полученные результаты имеют важное практическое значение при проектировании систем автоматического управления процессом сорбции и минимизации потерь золота.

Ключевые слова: Сорбция, золотосодержащая руда, математическая модель, динамические характеристики, активированный уголь, концентрация, дифференциальные уравнения, автоматическое управление.

Abstract. This article discusses the development of a mathematical model for the sorption process, which is a critical stage in the gold mining industry. The study analyzes the interrelationships between the key factors affecting the gold absorption process using activated carbon: gold concentration in the solution, the

ISSN 3030-3907

amount of sorbent, and the mixing speed. To study the dynamic characteristics of the process, a mathematical model based on a system of differential equations was formulated, and its stability was verified. The results obtained are of significant practical importance for the design of automatic control systems for the sorption process and the minimization of gold losses.

Keywords: Sorption, gold-bearing ore, mathematical model, dynamic characteristics, activated carbon, concentration, differential equations, automatic control.

KIRISH

Bugungi kunda jahon miqyosida oltin ajratib olish sanoati texnologik jarayonlarni intensivlashtirish va mahsulot tannarxini kamaytirish yo‘lidan bormoqda. Oltin tarkibli rudalardan qimmatbaho metallarni ajratib olishda gidrometallurgiya usullari, xususan, sorbsiyalash jarayoni eng samarali va keng tarqalgan texnologiya hisoblanadi. Oltinni aktiv ko‘mir yordamida eritmalardan yutish jarayoni murakkab fizik-kimyoviy xususiyatga ega bo‘lib, uning samaradorligi ko‘plab o‘zaro bog‘liq omillarga tayanadi. Oltin ajratib olish korxonalarida sorbsiyalash jarayonining dinamik xususiyatlarini aniq bashorat qilish va uni boshqarish hozirgi kunning dolzarb masalalaridan biridir. Jarayonning borishiga eritmadagi oltin konsentratsiyasi, sorbentning aktiv ko‘mirning sifati va miqdori, aralashtirish tezligi hamda muhitning *pH* ko‘rsatkichi kabi parametrlar bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu parametrlarning dinamik o‘zgarishi ko‘pincha nostatsionar xarakterga ega bo‘lib, bu jarayonni an’anaviy usullar bilan boshqarishda qiyinchiliklar tug‘diradi. Jarayonning matematik modelini yaratish - bu texnologik bosqichlarni raqamlashtirish va intellektual boshqarish tizimlarini joriy etishning poydevori hisoblanadi. Matematik model yordamida sorbsiya apparatlaridagi oltin yo‘qotilishini minimallashtirish, reagentlar sarfini optimallashtirish va kutilmagan tashqi ta’sirlarga tizimning barqarorligini ta’minlash imkoniyati tug‘iladi. Ayniqsa, differensial tenglamalar yordamida jarayonning dinamik modelini shakllantirish, real vaqt rejimida sorbsiya samaradorligini tahlil qilishga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Oltin ajratib olishning sorbsiyalash jarayonini modellashtirish va optimallashtirish bo‘yicha jahon miqyosida ko‘plab ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Xususan, ushbu sohadagi tadqiqotlarni quyidagi ikki muhim yo‘nalishga ajratish mumkin:

Birinchidan, J.S.J. van Deventer va uning hamkasblari tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda aktiv ko‘mir yordamida oltin va kumushni sorbsiyalash jarayonining dinamik modellari batafsil o‘rganilgan. Ularning ishlarida sorbsiya

ISSN 3030-3907

kinetikasini ifodalovchi differensial tenglamalar majmuasi ishlab chiqilgan bo‘lib, unda asosan eritma va sorbent yuzasi o‘rtasidagi massa almashinuv koeffitsiyentlariga alohida urg‘u berilgan. Olimlar taklif etgan model real ishlab chiqarish sharoitida oltin konsentratsiyasining o‘zgarishini yuqori aniqlikda bashorat qilish imkonini beradi.

Ikkinchidan, B. Lonsher tomonidan olib borilgan izlanishlarda CIP (Carbon-In-Pulp) jarayonini avtomatik boshqarishning matematik asoslari tahlil qilingan. Muallif sorbsiyalash kaskadlarida (tanklarida) oltin yutilishining matematik modelini tuzishda chiziqli bo‘lmagan differensial tenglamalardan foydalangan. Ushbu tadqiqotning muhim jihati shundaki, unda sorbsiya jarayoniga ta’sir etuvchi tashqi shovqinlar va texnologik parametrlar (masalan, pulpa zichligi) hisobga olingan holda boshqaruv tizimining barqarorligi tekshirilgan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ushbu maqolada ushbu ilmiy natijalari amaliy sharoitda qo‘llashga moslashtirilgan metodologiya taklif qilinadi. Maqolada differensial tenglamalar yordamida matematik model tuzish, ma’lumotlarni qayta ishlash, imitatsion modellashtirish va zamonaviy avtomatik boshqarish nazariyasining sinovdan o‘tgan usullari kabi tadqiqot metodlaridan foydalaniladi. Matematik modellash jarayonining natijalarini Matlab dasturiy muhitida simulyatsiya qilib tekshiriladi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Oltin tarkibli rudalarni sorbsiyalash murakkab ko‘p fazali jarayon bo‘lib, uni modellashtirishda nafaqat massa balansi, balki fazalararo o‘zaro ta’sir kinetikasini ham hisobga olish lozim. Biz tadqiqotimizda sorbsiya apparatini (adsorberni) to‘liq aralashish rejimida ishlovchi reaktor sifatida qaraymiz.Jarayonning dinamikasini vaqt birligi (t) ichida o‘zgarishini ifodalovchi differensial tenglamalar tizimi quyidagi kengaytirilgan ko‘rinishga ega:

Suyuq fazadagi oltin konsentratsiyasining o‘zgarishi kirish va chiqish oqimlari hamda ko‘mir yuzasiga yutilish tezligi bilan aniqlanadi:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{Q}{V}C_{in}(t) - \frac{Q}{V}C(t) - \frac{M}{V}R_a \qquad (1)$$

Bu yerda, R_a - adsorbsiya tezligi bo‘lib, u eritmadan ko‘mirga o‘tayotgan oltin miqdorini ifodalaydi.

Sorbsiya kinetikasini aniqroq ifodalash uchun biz chiziqli bo‘lmagan kinetik bog‘liqlikdan foydalanamiz:

$$R_a = \frac{dq(t)}{dt} = k_a C(t)(q_{\max} - q(t) - k_d q(t)) \qquad (2)$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda k_a va k_d mos ravishda adsorbsiya va desorbsiya koeffitsiyentlaridir. Ushbu tenglama jarayonning muvozanat holatiga intilishini va ko‘mirning to‘yinish darajasini hisobga oladi.

Tizimning kirish va chiqish parametrlari orasidagi bog‘liqlikni o‘rganish uchun yuqoridagi tenglamalarni ishchi nuqta (C_0, q_0) atrofida chiziqlantiramiz va Laplas o‘zgartirishini qo‘llaymiz.

Chiziqlantirish natijasida biz jarayonning o‘zgaruvchan parametrlariga nisbatan quyidagi bog‘liqlikni olamiz:

$$\Delta \dot{C} = -\frac{Q}{V}\Delta C - \frac{M}{V}(k_1 + k_2 \Delta q) + \frac{Q}{V}\Delta C_{in}, \Delta \dot{q} = k_1 \Delta C - k_2 \Delta q \quad (3)$$

Bu yerda Q – sorbsiya pachukidan o‘tayotgan eritmaning hajmiy sarfi ($m^3/soat$), V - Sorbsiya pachukining reaktorning foydali hajmi (m^3), M - apparat ichidagi ko‘mir massasi (kg), k_1 - adsorbsiya tezligi, k_2 – desorbsiya jarayoni tiklash koeffitsiyenti hisoblanadi.

Tadqiqotning yakuniy bosqichida apparatdagi oltin konsentratsiyasini (C) boshqarish obyekti sifatida ko‘rib, uning uzatish funksiyasini ($W(s)$) aniqlaymiz. Differensial operatorlar yordamida quyidagi matematik ifoda hosil qilinadi:

$$W(s) = \frac{\Delta C(s)}{\Delta C_{in}(s)} = \frac{k_1 s + k_p}{(T_1 s^2 + T_2 s + k_r)} \quad (4)$$

bu yerda k_l, k_p, k_r– uzatish funksiyasi koeffitsiyentlari, T_1 va T_2 – vaqt o‘zgarmas koeffitsiyentlaridir.

Olingan uzatish funksiyasi shuni ko‘rsatadiki, oltin sorbsiyasi jarayoni ikkinchi tartibli inersion bo‘g‘in sifatida xarakterlanadi. Eksperimental natijalarga ko‘ra, k_i =1, k_p =0.5, k_r =5 T_1 = 3 sekund, T_2 = 1 sekund bo‘lsa, uzatish funksiyasi quyidagicha bo‘ladi

$$W(s) = \frac{s + 0.5}{(3s^2 + s + 5)} \quad (5)$$

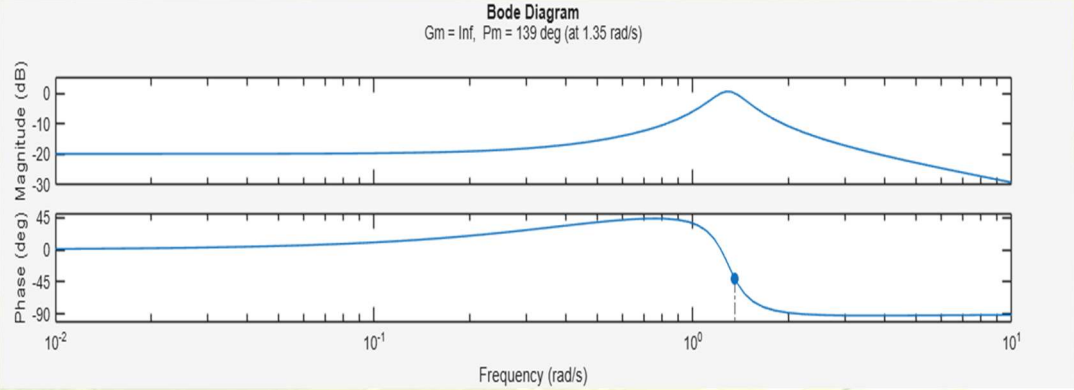
(4) tenglamadagi uzatish funksiyasini tahlil qiladigan bo‘lsak, tizimning turg‘unligi uning uzatish funksiyasi maxrajidagi xarakteristik tenglama ildizlariga (qutblariga) bog‘liq. Tizimning xarakteristik tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$3s^2 + s + 5 = 0 \quad (6)$$

Tizim barqaror bo‘lishi uchun Gurvits mezoni bo‘yicha xarakteristik tenglamaning barcha koeffitsiyentlari musbat bo‘lishi kifoya qiladi va oltin tarkibli ma’danlarning sorbsiyalash jarayonining matematik modeli turg‘un ekanligini anglatadi.

Ushbu uzatish funksiyasining dinamik xarakteristikalarini tadqiq etish uchun MATLAB dasturidan foydalanamiz. Chastotaviy xarakteristikalari grafiklari quyidagi rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



Tizimning turg‘unlik tahlili va bode diagrammasi natijalari shuni ko‘rsatdiki, faza zaxirasi 139° ga teng bo'lib, ob'ekt mutloq turg'un va ikkinchi tartibli inersion bo‘g‘in xususiyatiga ega. Olingan natijalar sorbsiyalash jarayonini intellektual boshqarish tizimlarini loyihalashda, xususan, kasr tartibli kontrollerlarni qo‘llash orqali oltin yo‘qotilishini minimallashtirishda muhim amaliy ahamiyatga ega ekanligi isbotlandi.

XULOSA

Oltin tarkibli rudalarni sorbsiyalash jarayonining matematik modelini tuzish va dinamik xususiyatlarini tahlil qilishga bag‘ishlangan tadqiqotlar natijasida quyidagi umumiy xulosa shakllantirildi. Aktiv ko‘mir yordamida oltinni yutish jarayoni murakkab dinamik obyekt ekanligi aniqlanib, uning ish faoliyatiga eritmadagi oltin konsentratsiyasi, sorbent miqdori va aralashtirish tezligi kabi omillarning ta’siri differensial tenglamalar majmuasi orqali muvaffaqiyatli ifodalandi. Tadqiqot davomida shakllantirilgan matematik model ob’ektning nafaqat statik holatini, balki vaqt o‘tishi bilan o‘zgaruvchi dinamik xarakteristikalarini ham yuqori aniqlikda bashorat qilish imkonini beradi. Olingan uzatish funksiyasi va uning turg‘unlik tahlili shuni ko‘rsatdiki, sorbsiya jarayoni ikkinchi tartibli inersion bo‘g‘in xususiyatiga ega bo‘lib, u tashqi ta’sirlarga nisbatan yuqori barqarorlik zaxirasiga ega. Bode diagrammasi orqali isbotlangan yuqori faza zaxirasi tizimning texnologik parametrlar o‘zgarganda ham o‘z turg‘unligini saqlab qolishini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Van Deventer, J. S. J. (1986). Kinetic models for the adsorption of gold onto activated carbon. Minerals Engineering, 1(3), 191-203.
2. Lonshakov, B. (2012). Mathematical modeling and control of the Carbon-in-Pulp (CIP) process for gold recovery. Journal of Process Control, 22(8), 1450-1462.
3. Woollacott, L. C., & Erasmus, D. J. (1992). The modeling and optimization of the CIP process. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 92(6), 153-164.

ISSN 3030-3907

4. Stange, W. (1991). The process design and optimization of CIP circuits. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 91(4), 113-125.
5. Pleissner, D., & Dietz, A. (2013). Modeling of adsorption kinetics in batch and continuous processes. Chemical Engineering & Technology, 36(11), 1911-1920.
6. Huang, R., Zavala, V. M., & Biegler, L. T. (2009). Advanced step nonlinear model predictive control for air separation units. Journal of Process Control, 19(4), 678-685.
7. Dias, L. S., Pattison, R. C., Tsay, C., Baldea, M., & Ierapetritou, M. G. (2018). A simulation-based optimization framework for integrating scheduling and model predictive control, and its application to air separation units. Computers & Chemical Engineering, 113, 139-151.

ISSN 3030-3907