

UTILIZAREA MAȘINILOR DE FLOTAȚIE TIP COLOANĂ LA EPURAREA APELOR UZATE INDUSTRIALE

Ec.drd.ing. GELU AGAFIEL MĂRĂCINEANU, director științific
Ing. GHEORGHE TIPEI, director general
S.C. IPROMIN S.A., București

Abstract: *Process waters exiting from mining, metallurgical and petroleum operations are widespread throughout the world and can become contaminated by various pollutants. Main pollutants are residual reagents, powders, chemicals, metal ions, oils, organic and some may be valuable (Au, Pt, Ag). The use of column flotation is showing a great potential due to the high throughput of modern equipment, low sludge generation and high efficiency of the separation schemes already available. It is concluded that this process will be soon incorporated as a technology in the minerals industry to treat these wastewaters and, when possible, to recycle process water and materials.*

1. Introducere

Apele uzate provenite din sectorul minier, indiferent de sursă (mine, cariere, uzine de preparare, depozite deșeuri industriale, etc.), prezintă variații în timp ale debitelor și compoziției, datorită lipsei de uniformitate a consumurilor de apă, a cantităților de apă eliminată din procesele de extracție și procesare și a conținutului acestora în substanțe poluante. De asemenea se constată frecvent că în cadrul aceleiași entități industriale extractive este pusă în evidență existența mai multor surse de evacuare discontinue, cu periodicitate diferită, ceea ce determină variații dezordonate ale debitului și compoziției apelor uzate.

Variabilitatea compoziției chimice a apelor uzate industriale din sectorul minier poate fi o consecință și a modificării în timp a compoziției chimice și mineralogice a masei miniere extrase și/sau procesate, a gradului de recirculare a apelor și a capacității de producție.

Apele uzate industriale provenite din sectorul minier sunt frecvent contaminate cu diverse substanțe poluante precum: particule

în suspensie (micronice, fine, grosiere), reactivi chimici, ioni metalici, produse petroliere, substanțe organice, etc.

În aceste condiții, compoziția apelor uzate industriale din sectorul extractiv este aleatoare, iar debitele prezintă fluctuații, uneori până la limita maximă determinată de capacitatea sistemului din care se face alimentarea apei.

În instalațiile de tratare a apelor uzate, rezultatele depind de stabilitatea, respectiv uniformitatea regimului de intrare a apelor uzate în sistemul de tratare.

Ținând cont de aspectele prezentate mai sus și coroborat cu modul diferit de comportare al acestor substanțe poluante în procesele (fizice, chimice și biologice) pentru tratarea apelor uzate – constituind o adevărată provocare tehnică și tehnologică, flotația columnară reprezintă o alternativă viabilă care i-a dovedit aplicabilitatea în practica mondială.

Implementarea flotației columnare în procesele unitare de tratare a apelor uzate industriale a fost posibilă în primul rând datorită performanțelor deosebite pe care le au noile sisteme de aerajie cu care acestea sunt echipate.

În aceste condiții astăzi flotația columnară este utilizată cu succes și în următoarele procese tehnologice de tratare a apelor uzate:

- G procesele de tratare a apelor uzate menajere și industriale și eventual ulterior recircuitarea acestora în fluxurile tehnologice de procesare sub formă de aport de apă industrială;
- G procesele de îndepărtare și/sau recuperare pentru: cationii metalelor grele și/sau prețioase, anionilor, substanțelor organice reziduale, complex ilor chelatici;
- G controlul emisiilor de cianuri și arseniuri și de asemenea pentru recuperarea sau distrugerea acestora;
- G separarea uleiurilor minerale și produselor petroliere reziduale din emisiile industriale și urbane;
- G tratarea apelor acide de mină care conțin cantități considerabile de ioni metalici periculoși precum: nichel, zinc, cupru, plumb, ioni feroși și sulfati;
- G controlul și recuperarea reactivilor chimici reziduali proveniți de la circuitele de concentrare prin flotație (spumați, colectori, modificatori de mediu-activanți, depresanți etc.);

- G separarea diferitelor resturi constituite din materiale plastice;
- G tratarea solurilor contaminate cu diverse substanțe chimice;
- G controlul conținutului de substanțe solide – inclusiv radioactive, în efluenții industriali;
- G diferite procedee de separare: solid 1 / solid 2 / lichid, solid / lichid, solid / lichid 1 / lichid 2, lichid 1 / lichid 2, întâlnite la tratarea apelor uzate;
- G separarea proteinelor, separarea și reciclarea maselor plastice, recoltarea și îndepărtarea algelor și microorganismelor, tratarea lichidelor utilizate în domeniul fotografic, în industria alimentară în procesele de obținere a sucurilor naturale, a berii, etc.

Facem precizarea importantă că procedeul de flotație columnară este întâlnit însă cu preponderență la prepararea substanțelor minerale utile – ca procedeul de concentrare economic foarte atractiv; în procesele de tratare a apelor uzate, cu aplicabilitate la protejarea mediului înconjurător, utilizarea flotației columnare reprezintă o externabilitate.

Alte diferențe notabile sunt prezentate sumar în tabelul nr.1 unde sunt comparate, printre altele, caracteristicile bulelor de aer în raport cu scopul urmărit.

Diferențe înregistrate între flotația aplicată la prepararea substanțelor minerale utile și tratarea apelor uzate industriale

Tabelul nr. 1

Parametrii	Flotația aplicată la prepararea mineralelor utile	Flotația aplicată la tratarea apelor uzate industriale
Conținutul de solid în alimentare (%)	25 - 40	10 - 30
Dimensiunile particulelor supuse flotației (îm)	10 - 500	1 - 50 (fără floculare) 1 - 5 mm (cu floculare)
Dimensiunile bulelor de aer (îm)	600 - 2000	100 - 600
Viteza de emersiune a bulelor de aer (m x h ⁻¹)	250 - 800	30 - 1000
Numărul de bule (cm ⁻³)	9 x 10 ³ - 2 x 10 ²	2 x 10 ⁶ - 9 x 10 ³
Suprafața specifică a bulelor (cm ² x cm ⁻³)	30 - 100	100 - 600
Conținutul de aer (%)	15 - 25	20 - 40

2. Flotația columnară – descriere procedeu

Mașinile de flotație tip coloană, sunt un caz aparte al mașinilor pneumatice, în care actul elementar de flotație are loc în condiții aerohidrodinamice diferite de cele existente în celulele clasice și anume:

- G curgerea laminară pe verticală a turburelii;
- G însuflarea bulelor de aer de dimensiuni controlate, în contracurent cu particulele de mineral;
- G existența celui de-al doilea contracurent în stratul de spumă, unde concentrarea secundară este intensificată prin stropirea cu apă, în contracurent cu mișcarea ascensională a bulelor.

Primii pași privind posibilitatea utilizării coloanelor de flotare la prepararea substanțelor minerale utile au fost făcuți cam în aceiași perioadă în care apăreau primele mașini pneumatice tip Callow, respectiv de către T.M. Wen în anul 1915 și M. Tann și S. Fliun în anul 1919.

De la apariția primului model de mașină tip coloană cu aplicabilitate industrială (la începutul anilor '60, în Quebec – Canada) și până la implementarea lor pe scară largă în practica industrială, anul 1980, a existat o bună perioadă de timp în care în întreaga lume s-au înregistrat serioase rezerve asupra oportunității utilizării lor. Motivațiile pot fi probabil legate de faptul că principiile teoretice care stau la baza procesului de flotație ce se desfășoară în aceste tipuri de mașini sunt diferite de cele ale flotației "clasice" precum și inexistența unei metodologii de dimensionare a acestora. Astfel dacă în toate tipurile de mașini zona de contact între bulele de aer și particulele de substanță minerală este plasată la baza mașinii, urmând apoi emersiunea bulelor mineralizate spre stratul de spumă, la mașinile tip coloană circulația materialului

este în contracurent cu cea a bulelor de gaz.

În perioada de timp imediat următoare anului 1980 mașinile tip coloană sunt incluse în circuitele de flotație, deservind de obicei operațiile de curățire. În acest mod gradul final de recuperare, utilizând o singură operație de curățire, era sensibil îmbunătățit, constituind în marea majoritate a cazurilor un pretext pertinent în folosirea acestei tehnologii.

Problema flotației în mașini tip coloană devine actuală, ceea ce face posibilă publicarea unei palete largi de referate dedicate cercetării, proiectării și testării unor tipuri diferite de astfel de mașini, în cadrul unor manifestări științifice, precum: Congresele internaționale pentru prepararea minereurilor - al XIV-lea (1982) și al XV-lea (1985), Conferințele anuale ale mineralurgilor din Canada (1985 - 1987), Conferințele Societății americane a inginerilor mineri (1985 – 1987), etc.

Rezultatele remarcabile expuse în cadrul primului simpozion internațional asupra flotației tip coloană de la Phoenix (S.U.A.) 1988 și numeroase alte articole pe această temă apărute în literatură de specialitate au permis impunerea definitivă a acestora în practica industrială.

Importanța și actualitatea problemei este dovedită și de numărul mare de brevete de invenții (75) acordate în perioada de timp cuprinsă între anii 1970 și 1987 în țări precum Rusia, S.U.A., Marea Britanie, Franța, Japonia și Germania.

În ceea ce privește aplicabilitatea acestora în practica tratării apelor uzate industriale, primele instalații de flotație columnară le regăsim implementate în anul 1992, când practic coloanele de flotație tip Microcel erau utilizate la recuperarea reactivilor colectori. Ulterior acestea își largesc spectrul de utilizare, respectiv: la recuperarea picăturilor foarte fine (2 – 30 micrometri) de substanțe petroliere (1994), la recuperarea ionilor de metale grele (1993), tratarea apelor acide de mină care conțin ioni metalici (2000), tratarea apelor uzate

contaminate cu microorganisme (bacterii, alge de tipul: *Microcystis*, *Anabaena*, .a.), tratarea solurilor contaminate cu substanțe petroliere (1997) și radioactive (1996), etc.

De asemenea se cuvine să menționăm faptul că mașinile de flotație tip coloană conferă condiții aerohidrodinamice favorabile pentru flotația fracțiunilor granulometrice limită – grobe și foarte fine. Acest lucru este posibil datorită particularităților sale constructive și funcționale, care induc o serie de factori care îmbunătățesc procesul de flotație a acestor clase granulometrice de material.

Condițiile aerohidrodinamice din coloana de flotație oferă un câmp de forțe inerțiale de desprindere minim, probabilitatea menținerii adeziunii particulelor de bule fiind foarte ridicată, ceea ce a determinat în multe cazuri depășirea limitelor de flotabilitate cunoscute și aplicate în cazul mașinilor clasice.

Conform studiilor efectuate de cercetătorul Melik Gaykasan dimensiunea maximă teoretică a particulei flotată, este dată de relația:

$$d_{\max} = [3 \times \sigma_{LG} \times (1 - \cos \theta) / (\tilde{n}_p - \tilde{n}_t)] \times 4 \times (g + a)^{0.5} (1)$$

- în care: σ_{LG} = tensiunea superficială la interfața lichid – gaz, [N/m], θ = unghiul de contact, g = accelerația gravitațională, [m/s²], a = accelerația particulei, [m/s²], \tilde{n}_p = densitatea particulei, [kg/m³], \tilde{n}_t = densitatea tulburelii, [kg/m³].

Relația (1) ne arată faptul că dimensiunea maximă a particulei flotată este invers proporțională cu accelerația acesteia; în coloana de flotație zona caracterizată printr-un câmp de accelerații minime este delimitată în planul imediat vertical superior al punctului de alimentare, unde suma celor doi vectori (g și a) devine nulă.

În concluzie dimensiunea și viteza bulelor de gaz, viteza și accelerația particulei minerale, viteza complexului bulă - particule sunt cei cinci factori hotărâtori care conferă posibilitatea flotării columnare a unor materiale cu dimensiuni superioare celor din flotația clasică.

Aceste particularități ale mașinilor de flotație columnare i-au găsit o largă utilizare în practică, inclusiv la aplicarea unor procedee speciale de flotație - respectiv la flotația cu minerale purtătoare (ultraflotația), întâlnită la tratarea apelor uzate de mină. (vezi: Tabelul nr. 2).

Tratarea apelor uzate de mină prin intermediul flotației cu minerale purtătoare
- realizată în mașini tip coloană -

Tabelul nr. 2

Tipul de mineral purtător utilizat	Tipul de substanță contaminatoare	Autorul și anul aplicării în practică
Cărbune	Ni, Cu, Zn, ulei mineral	Feris (2001) / Rubio (1998)
Zeoliți	Ni, Cu, Zn, Hg, As, Se	Rubio (1997) / Tessele (1998)
Pirită	Cu, As	Zouboulis (1993)
Dolomită	Pb	Zouboulis (1993)
Apatită	Cd	Zouboulis (1997)
Barită	ulei mineral	Santander (1998)
Argilă	Cr	Lazaridis (2001)

3. Flotația columnară – prezentare echipament industrial

O descriere a mașinii de flotație tip

coloană se poate realiza în principiu, la un mod general privind modul ei de funcționare, și aceasta deoarece mașinile

proiectate de diferiți cercetători pentru o anumită aplicație industrială prezintă anumite particularități. Aceste particularități sunt dictate pe de o parte de proprietățile fizico-chimice ale componentilor din alimentarea coloanei de flotație, iar pe de altă parte de pregătirea, rezultatele și inventivitatea fiecărui cercetător.

La analiza unui model general de ma înă de flotație tip coloană (figura nr. 1) pot fi identificate următoarele elemente componente:

G *Corpul propriu-zis al coloanei de flotare* este o construcție metalică de formă columnară, cu secțiunea transversală circulară sau poligonală (pătrată, dreptunghiulară). Acesta păstrează un raport între înălțime și diametru cuprins între 5/1 până la 20/1, iar la partea inferioară este prevăzută cu un tronson tronconic care aduce produsul neflotat la diuza de evacuare.

G *Rigola de preluare a produsului flotat*, este situată la partea superioară a coloanei de flotare, spuma deversând liber în aceasta. Dimensionarea acesteia ține cont de cantitatea, respectiv extracția în greutate de produs flotat.

G *Punctul de alimentare cu turbureală în ma înă* este poziționat axial, la partea inferioară a treimii superioare coloanei de flotare (partea superioară a zonei de colectare). Alimentarea coloanei de flotare trebuie să fie uniformă și constantă din punct de vedere cantitativ (debit), dar și din punct de vedere calitativ, al caracteristicilor acesteia. Din acest punct de vedere dispozitivele de alimentare sunt concepute în sistem tip „ciupercă”, pentru majoritatea modelelor întâlnite în practică, acesta asigurând evitarea apariției unor curenți turbulenți în coloană.

G *Sistemul de aerajie* este diferit din punct de vedere funcțional și

constructiv de la un model de ma înă la alta. Acestea în funcție de modul de amplasare în raport cu coloana de flotare pot fi de două tipuri: interne (confecționate din materiale poroase, precum: cauciuc perforat, pulberi metalice sinterizate, ceramică poroasă, etc.) și externe (constând din distribuitori și alte dispozitive speciale).

G *Sistemul apei de spălare* este conceput ținând cont în principal de ansamblul constructiv și funcțional al modelului coloanei utilizate. Apa de spălare este distribuită uniform la suprafața spumei sub forma unor picături de apă ale căror dimensiuni sunt comparabile cu dimensiunile bulelor de gaz mineralizate. Sistemele de distribuție sunt de patru feluri și anume: un singur nivel scufundat, un singur nivel superior, un singur nivel cu derivație și mai multe nivele scufundate.

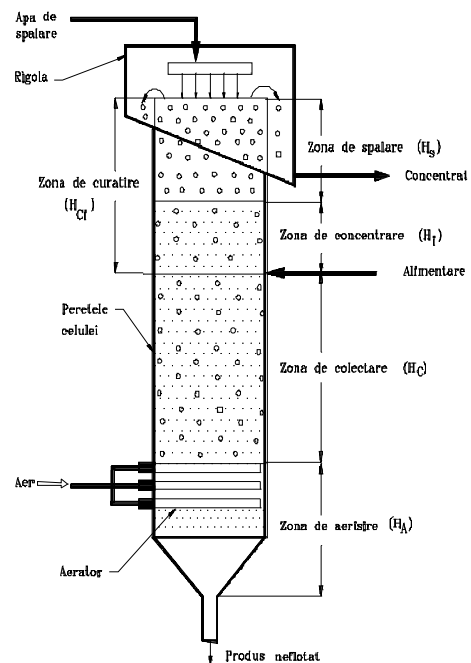


Fig.1 Modelul general de coloană de flotare

G Sistemul de evacuare a produsului neflotat este amplasat la partea inferioară a tronsonului tronconic, debitul de evacuare a acestuia fiind în strânsă interdependență cu debitul de alimentare, înălțimea coloanei de spumă, etc. Evacuarea se poate realiza direct prin intermediul unor vane comandate electro-hidraulic sau prin sistemul cu aer-lift.

Implementarea unor astfel de mașini de flotație la scară industrială presupune în mod obligatoriu existența unui sistem automatizat de monitorizare și control al întregului proces de flotație.

În ceea ce privește evoluția modelelor de mașini tip coloană pe piața furnizorilor/producătorilor de utilaje de flotație, aceasta a avut la bază experimente efectuate în condiții de laborator și/sau pilot. Pe baza acestor rezultate experimentale, pentru categorii diferite de aplicabilități industriale, s-au proiectat mașini tip coloană la scară industrială.

În momentul de față nu există principii de dimensionare unanim acceptate de specialiștii care îi desfășoară activitatea în acest domeniu, fiecare firmă constructoare de mașini tip coloană având concepute propriile modele de proiectare/dimensionare.

Având în vedere faptul că și în cazul mașinilor tip coloană aerajia constituie funcțiunea principală – „inima sistemului”, acestea pot fi la rândul lor clasificate după acest criteriu, a a cum se prezintă în continuare:

- G Mașini tip coloană prevăzute cu barbotoare amplasate în interiorul sau exteriorul celulei (Microcell, Deister, Kemix, Cominco, Svedala CISA, etc.);
- G Mașini tip coloană cu umplutură internă (Paked, Gosgorhimproiect, etc.);
- G Mașini tip coloană cu aerarea turbulentei din faza de alimentare (Jameson, G-Cell, etc.).

Dintre mașinile de flotație tip coloană utilizate de la început și până în prezent în practica industrială, reprezentative pot fi considerate următoarele modele: MICROCELL, Svedala CISA Columns, Deister, COMINCO, Multotec, MINNOVEX, Packed, Hydrochem, Gintsvetment, Halipsvort, KFP, BRG, Gosgorhimproiect, etc.

3. Concluzii finale

Începând cu anii '90 aplicarea procedurii de flotație columnară la tratarea apelor uzate industriale - în special a celor provenite din ramurile extractivă, metalurgică și procesarea hidrocarburilor, a cunoscut un trend continuu crescător.

Introducerea acestui procedeu superior de flotație a condus la posibilitatea îmbunătățirii esențiale a activităților de tratare a apelor uzate industriale, respectiv la diminuarea semnificativă a impactului negativ asupra mediului înconjurător.

Implementarea acestui procedeu de tratare a apelor uzate industriale în țara noastră ar putea constitui o alternativă reală și viabilă în rezolvarea gravelor probleme de mediu, pe care le creează majoritatea unităților industriale (active, în conservare, închise și abandonate) ce îi desfășoară activitatea în domeniul extracției și procesării substanțelor minerale utile.

Bibliografie

1. Mărăcineanu G., Bold O. V., 2003, Managementul de eurilor solide urbane și industriale, Ed. MATRIX ROM București.
2. Mărăcineanu G., Bold O. V., 2004, Depozitarea, tratarea și valorificarea deșeurilor, Ed. MATRIX ROM București.
3. Krausz S., Bold O.V., 1992, Demersuri privind introducerea mașinilor tip coloană în practica flotației, Simpozion Baia Mare.
4. Krausz S., Paraschiv I., 2001, Teoria și practica flotației, Ed. MATRIX ROM

București.

5. Krausz S., Bold O.V., 1992, Utilizarea mașinilor tip coloană la flotația cărbunelui, Simpozion IPROMIN București.

6. Mărcineanu G., 2003, Sisteme de aerație utilizate la mașinile de flotație tip coloană, Simpozion „UNIVERSITARIA ROPET 2003” Petroșani.

7. Mărcineanu G., 2004, Studiu privind utilizarea aeratoarelor confecționate din materiale poroase la mașinile de flotație tip coloană, Simpozion „UNIVERSITARIA ROPET 2004” Petroșani.

8. Mărcineanu G., 2002, Stadiul actual al tehnologiilor de flotare a mineralizațiilor cuprifere, Referat prezentat în cadrul pregătirii pentru doctorat - RD1, Universitatea din Petroșani.

9. Mărcineanu G., 2003, Teoria și practica utilizării mașinilor tip coloană în

flotație, Referat prezentat în cadrul pregătirii pentru doctorat - RD2, Universitatea din Petroșani.

10. Mărcineanu G., 2004, Aerația în mașinile tip coloană, Referat prezentat în cadrul pregătirii pentru doctorat - RD3, Universitatea din Petroșani.

11. Rubio J., Souza M.L, Smith R.W., 2002, Overview of flotation as a wastewater treatment technique, Minerals Engineering no. 15.

12. Da Rosa J., Dias do Souza, 1999, Wastewater treatment by non-conventional flotation, REWAS 1999, San Sebastian, Spania

13. Rubio J., 1998, Environmental applications of the flotation process, Effluent treatment in the mining industry, University of Concepcion, Chile