Studiul coloanelor de extracţie cu rotor cilindric – „înecarea”

ION TRANDAFIR[1]*, RADU Z. TUDOSE[2]

[1)*] Universitatea din Craiova, Facultatatea de Chimie, Calea Bucureºti, Nr.107, 200478, Craiova, România

[2)]Universitatea Tehnicã Gh. Asachi Iaºi, Facultatea de Chimie Industrialã, Departamentul Inginerie Chimicã, B-dul D. Mangeron, Nr. 71A, 700050, Iaºi, România

The flooding process was examined in three extraction columns with cylindrical rotor and with different constructive parameters in the water-carbon tetrachloride system. For different operating features, there were established the conditions in which flooding occurred, the velocities for the two phases and the flooding hold-up. The experimental data were processed in order to calculate the characteristic velocity for which a criterial design equation was suggested.

Keywords: hold-up, flooding, slip velocity, characteristic velocity

Coloanele de extracţie cu rotor cilindric reprezintã variante constructive speciale, caracterizate prin eficacitate ridicatã, valori mici ale capacitãţii de prelucrare, fiind indicate a fi folosite pentru procese de separare în care este necesar un timp de staţionare al solventului relativ mic, sau se cere intensitate de agitare redusã în mediul de extracţie [1,2,3].

Obţinerea unor dispersii caracterizate prin dimensiuni mici ale picãturilor, distribuţii uniforme ºi uºor controlabile, o suprafaţã de transfer de masã interfazic activã, reprezintã caracteristicile de bazã ale coloanelor de extracţie cu rotor cilindric.

În aceste coloane nivelul de turbulenţã este scãzut, tensiunile de forfecare generate de miºcarea rotorului la turaţii relativ joase fiind suficiente pentru divizarea fazei disperse în picãturi cu dimensiuni adecvate procesului de extracţie.

Unul din parametrii esenţiali pentru caracterizarea hidrodinamicã ºi controlul funcţionãrii coloanei este reprezentat de concentraţia volumicã a fazei disperse, respectiv capacitatea de reţinere ε_d. Valoarea reţinerii reprezintã o variabilã ce reacţioneazã sensibil la orice schimbare a condiţiilor din dispersie, fiind dependentã de tipul ºi construcţia coloanei, de intensitatea tensiunilor de forfecare, de vitezele de curgere a fazelor ºi de direcţia procesului de transfer de masã. Procesele de formare ºi „divizare” a picãturilor de fazã dispersã sub acţiunea tensiunilor de forfecare, apariţia ºi dezvoltarea vârtejurilor din faza continuã, coalescenţa, antrenarea de picãturi, raportul între vitezele de curgere ale celor douã faze, interacţiunile directe între picãturi, perturbaţiile externe, reprezintã factori ce determinã caracterul complex al curgerii din interiorul coloanei respectiv timpul necesar unei coloane de extracţie pentru a atinge starea staţionarã. În general, la viteze reduse ale fazei disperse capacitatea de reţinere are valori mici, care însã cresc cu încãrcarea coloanei de extracţie ºi ating o valoare maximã ε_{df}, valoare ce corespunde punctului de înec al coloanei. La punctul de înec apare fenomenul de antrenare a fazelor într-un singur sens, se ating valorile limitã ale vitezelor superficiale pentru cele douã faze u_{cf} ºi u_{df}, ce definesc domeniul de operare al coloanei sub aspectul încãrcãrii specifice [4]. Prezentul studiu cuprinde rezultatele experimentelor efectuate în coloane cu un rotor cilindric pentru caracterizarea condiţiilor de apariţie a înecului ºi corelarea parametrilor specifici.

Partea experimentalã

Pentru studiul experimental s-a folosit o instalaţie clasicã de extracţie, la nivel de laborator, în care s-au testat coloane de extracţie cu rotor cilindric, având statorul din sticlã ºi rotorul din oţel inoxidabil. O descriere completã a instalaţiei, caracteristicile constructive ale coloanelor ºi domeniul de operare au fost date intr-o lucrare anterioarã [5]. Vitezele de înecare s-au determinat pentru trei coloane având mãrimea fantei stator-rotor δ, de 1, 3 ºi 5 mm. Experimentele s-au efectuat în absenţa transferului de masã, folosind sistemul apã-tetraclorurã de carbon. S-a utilizat apã demineralizatã ºi tetraclorurã de carbon reactiv Merck, p.a. La valoare constantã a debitului de fazã continuã ºi a turaţiei, faza dispersã s-a introdus treptat ºi la valori mici ale debitului, urmãrind echilibrarea curgerii ºi stabilirea unui nivel constant în spaţiul de coalescenţã ºi separare de la partea inferioarã a coloanei, respectiv o interfaţã stabilã.

În regim normal de funcţionare faza dispersã se transformã în picãturi de dimensiuni diferite dar distribuite uniform pe întreaga suprafaţã activã a rotorului, deplasându-se pe traiectorii elicoidale. Nu au fost sesizate fenomene vizibile de coalescenţã, nivelul de solvent rãmânând constant în zona de separare, înainte de evacuarea din coloanã.

Perturbarea echilibrului hidrodinamic, respectiv atingerea stãrii de înec în coloanele cu rotor cilindric, poate fi indusã prin mãrirea excesivã a turaţiei sau a debitului de fazã dispersã.

Folosirea unor coloane cu statorul din sticlã, a fãcut posibilã urmãrirea din exterior a fenomenelor specifice pentru diverse regimuri de funcţionare, filmarea ºi efectuarea de fotografii la timpi de expunere foarte mici.

La valori reduse ale turaţiei faza dispersã este transformatã în picãturi cu diametre relativ mari, uºor aplatizate ºi distribuite neuniform pe suprafaţa rotorului, (fig. 1, fotografiile „a” ºi „b”).

Prin mãrirea turaţiei procesul de divizare a picãturilor se amplificã, astfel cã în coloanã are loc o uniformizare a dimensiunilor, forma acestora devenind sfericã (fotografia „c”).

Dacã se mãreºte turaţia ºi mai mult se observã cã traiectoria în spiralã a picãturilor se modificã, se formeazã picãturi fine care se grupeazã sub formã de inele ce se deplasează pe traiectoria unor cercuri concentrice. Treptat aceste inele au o miºcare ascendentã, grupându-se spre

* *email: nelutrandafir@rdslink.ro*

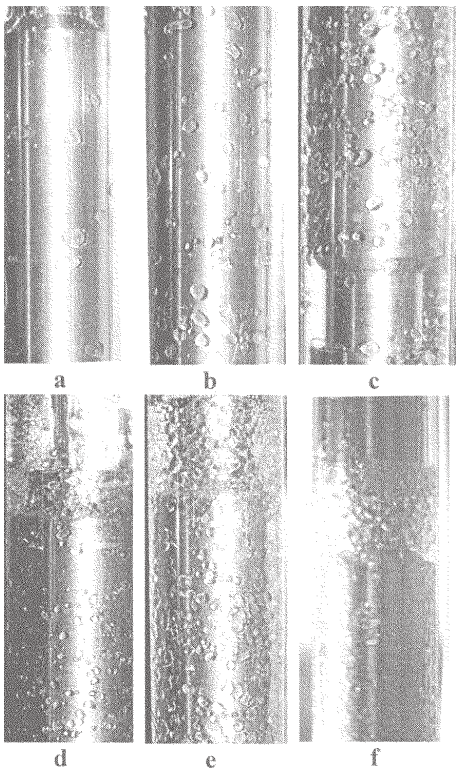

Fig. 1. Vizualizarea fenomenului de înec

partea de intrare în zona activã a rotorului. Picãturile cu dimensiuni foarte mici sunt antrenate de faza continuã ºi formeazã o a doua interfaþã la partea superioarã a coloanei. La intrarea în zona activã nu se mai formeazã vârtejurile care sã asigure antrenarea fazei disperse în spaþiul activ ºi transportul picãturilor spre interfaþa principalã. Aspectul coloanei prezentat în figure 1, fotografiile „d", „e", „f" caracterizeazã apariþia treptatã a fenomenului de înec.

La partea superioarã a coloanei, mai precis la intrarea în zona activã, se aglomereazã tot mai multe picãturi, apar fenomene de coalescenþã ºi se formeazã un inel continuu cu grosime variabilã, format din fazã dispersã. Deplasarea picãturilor prin coloanã capãtã un aspect dezordonat, nivelul interfeþei de la partea inferioarã începe sã devinã fluctuant, regimul de funcþionare reprezentând înecul coloanei. Este posibil, ca în anumite condiþii grosimea inelului de solvent sã creascã rapid, iar faza dispersã sã fie antrenatã cu faza continuã.

În funcþionarea coloanelor cu un rotor cilindric mai poate sã aparã o altã situaþie care determinã înecul coloanei, ea fiind datã de mãrirea excesivã a debitului de fazã dispersã. Menþinând constant debitul fazei continue ºi viteza de rotaþie se mãreºte treptat debitul de fazã dispersã. În prima etapã, când vârtejurile pot prelua întreaga cantitate de fazã dispersã, iar energia furnizatã de rotor permite divizarea corespunzãtoare a picãturilor, fenomenul este sesizabil numai prin mãrirea numãrului de picãturi pe suprafaþa rotorului, forma ºi dimensiunea acestora modificându-se foarte puþin, în unele situaþii chiar fenomenul fiind greu sesizabil vizual.

Pe mãsurã ce creºte debitul de fazã dispersã, dimensiunile picãturilor se mãresc, încep sã fie observate frecvente fenomene de coalescenþã în diverse zone ale rotorului, fãrã o redispersie ulterioarã a acestora. Nivelul stabil al interfeþei începe sã se modifice fiind necesarã o echilibrare continuã a coloanei.

Este momentul în care coloana intrã în regimul de înec datorat debitului excesiv de fazã dispersã. În spaþiul activ al coloanei nu mai poate fi preluatã întreaga cantitate de fazã dispersã, care formeazã o a doua interfaþã în zona de separare de la partea superioarã a coloanei.

Micºorând debitul de fazã dispersã coloana reintrã treptat în regim normal de funcþionare.

Vitezele celor douã faze u_{df}, u_{cf}, capacitatea de reþinere la înec ε_{df} ºi turaþia corespunzãtoare a rotorului reprezintã parametrii hidrodinamici determinaþi experimental pentru a caracteriza fenomenul de înec.

Rezultate ºi discuþii

Folosirea coloanelor cu statorul din sticlã a permis urmãrirea din exterior a fenomenelor caracteristice funcþionãrii coloanelor de extracþie experimentate.

Valorile parametrilor funcþionali, respectiv vitezele superficiale pentru cele douã faze ºi turaþia rotorului, corespunzãtoare punctului de înec, definesc un domeniu limitativ de funcþionare pentru fiecare coloanã.

Rezultatele determinãrilor experimentale, obþinute pe baza stabilirii punctului de înec prin observaþii vizuale asupra caracterului curgerii fazelor în coloanã ºi mãsurarea parametrilor specifici de funcþionare, au fost concentrate sub forma curbelor caracteristice de înec, prezentate în figurile 2, 3 ºi 4.

Analiza curbelor menþionate aratã cã, pentru sistemul ºi coloanele testate viteza fazei disperse este mult mai micã în raport cu viteza fazei continui ºi scade prin creºterea turaþiei.

Cel mai larg domeniu în care pot fi modificate vitezele celor douã faze s-a stabilit în coloana cu o mãrime a fantei stator-rotor de 3 mm (σ = 3 mm).

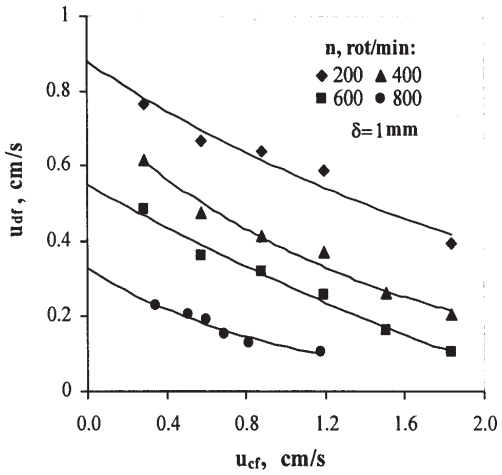

Fig. 2. Curbe caracteristice de înec pentru coloane cu F_g = 0,95

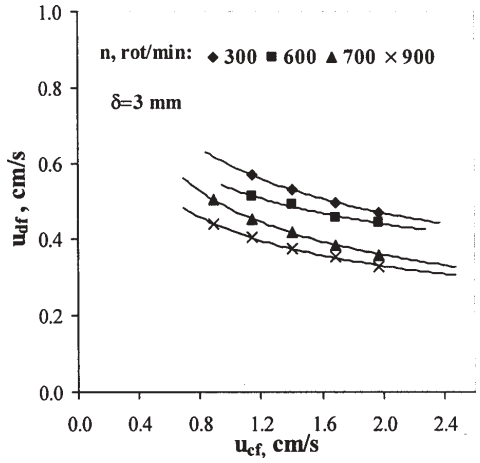

Fig. 3. Curbe caracteristice de înec pentru coloane cu F_g = 0,84

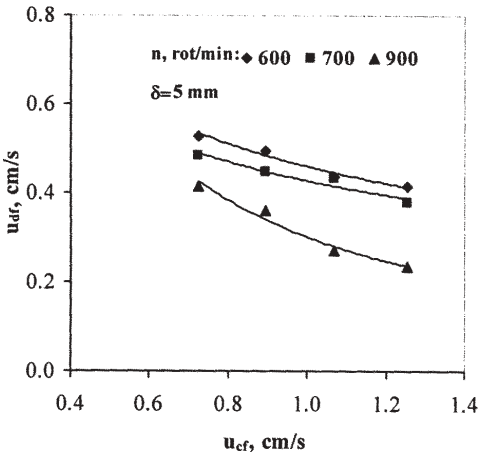

Fig. 4. Curbe caracteristice de înec pentru coloane cu F_g = 0,74

Pentru turaţiile de lucru folosite, 200-1000 rot/min, creºterea mărimii fantei stator-rotor are ca prim efect scăderea semnificativă a tensiunilor de forfecare induse în cele două faze ºi modificarea corespunzătoare a structurii curgerii de tip vârtej [6].

La toate acestea trebuie adăugat faptul că vitezele de înecare sunt în funcţie de proprietăţile fizice ale celor două faze ºi de parametrii de proiectare ai coloanelor.

În condiţiile de înec stabilite s-a măsurat capacitatea de reţinere ε_{df}, în fiecare coloană pentru turaţii diferite. Valorile experimentale sunt prezentate sub forma corelaţiei grafice generale, capacitatea de reţinere funcţie de raportul vitezelor superficiale la punctul de înec u_{df}/u_{cf}, (fig. 5).

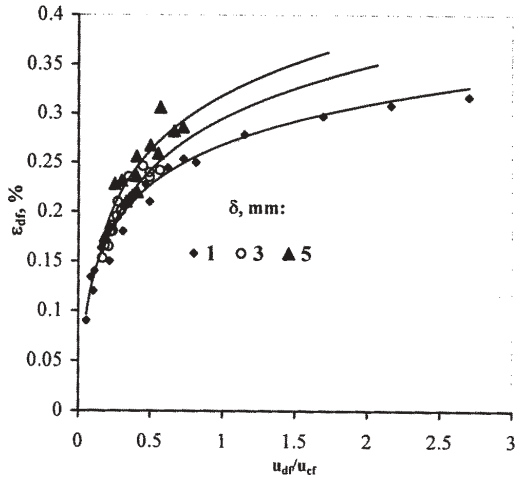

Fig. 5. Starea capacităţi de reţinere la înec în funcţie de u_{df}/u_{cf}

Rezultatele obţinute sunt în acord cu observaţiile lui Mišek [7], care recomandă o corelare a datelor referitoare la capacitatea de reţinere la înec funcţie de logaritmul raportului vitezelor superficiale de curgere (raport fazic de curgere), indicând o dispunere liniară a acestora (fig. 6).

Pentru fiecare coloană datele experimentale obţinute sunt corelate prin drepte de regresie cu coeficienţi de corelaţie R^2 diferiţi, valorile scăzând de la 0,992 în coloana cu un factor geometric F_g=0,95, la 0,702 în coloana cu factorul geometric F_g=0,74.

Conform aºteptărilor abateri mari faţă de corelaţiile teoretice au apărut în cazul coloanei cu cea mai mare valoare a fantei stator-rotor, δ=5 mm, când tensiunile de forfecare induse de forţele de tip centrifugal au o influenţă relativ scăzută asupra formării ºi deplasării picăturilor, determinante devenind forţele gravitaţionale.

O dispunere liniară a datelor a sugerat faptul că este posibil a estima capacitatea de reţinere la înec cu una din relaţiile teoretice indicate în literatură.

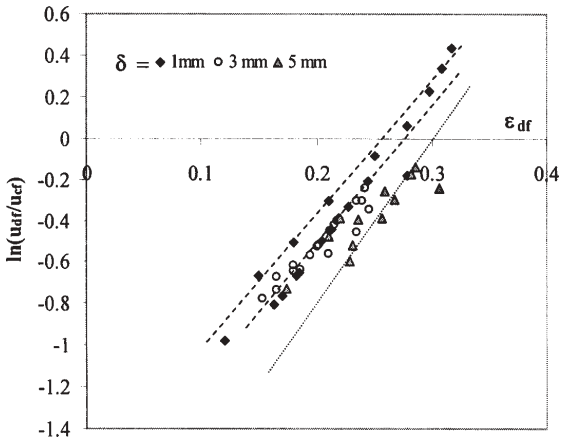

Fig. 6. Corelarea datelor de înec

Pentru a descrie curgerea în contracurent dintr-o coloană de extracţie a fost introdus conceptul de vitezã relativă, definit ca suma vitezelor superficiale ale fazelor [7]:

$$u_r = \frac{u_d}{\varepsilon_d} + \frac{u_c}{1-\varepsilon_d} \quad (1)$$

Viteza relativă sau viteza de alunecare pentru anumite condiţii date nu este o constantă, fiind influenţată semnificativ de reţinere ºi de diametrul mediu al picăturilor. În cazul dispersiilor lichid-lichid acest efect a fost studiat în situaţii ºi condiţii multiple, indicându-se ecuaţii criteriale pentru calculul vitezei relative în fiecare tip de coloană.

Rezultate bune în proiectarea coloanelor de extracţie au fost obţinute prin folosirea a trei ecuaţii generale, stabilite pe baza unui suport experimental substanţial [8]:

-ecuaţia Pratt-Thornton [9,10]

$$u_r = u_0(1-\varepsilon_d) \quad (2)$$

- ecuaţia Richardson - Zaki [7]

$$u_r = u_0(1-\varepsilon_d)^k \quad (3)$$

- ecuaţia lui Mišek [11]

$$u_r = u_0(1-\varepsilon_d)\exp(a\varepsilon_d) \quad (4)$$

Toate aceste ecuaţii arată abaterea vitezei relative faţă de viteza caracteristică u_0, definită ca fiind viteza relativă la reţinere zero. Abaterile valorilor calculate faţă de cele experimentale sunt uneori semnificative, ele fiind induse în cele mai multe cazuri de metodele inadecvate sau erori sistematice în determinarea capacităţii de reţinere.

Este important de subliniat faptul că existenţa ºi sensul transferului de masă afectează caracteristicile de coalescenţă ale picăturilor, diametrul mediu, reţinerea ºi viteza caracteristică, datorită efectelor de tip Marangoni, sau a altor tipuri de instabilităţi interfaciale. S-a stabilit că transferul de masă de la faza dispersă la faza continuă (d→c), determină o creºtere a fenomenului de coalescenţă, micºorând reţinerea ºi determinând o creºtere a vitezei caracteristice. În literatură este propus un număr mare de corelaţii pentru calculul vitezei caracteristice, în care se ţine sau nu cont de efectul pe care îl are transferul de masă. O analiză completă a acestora este făcută în [12].

Exprimând viteza relativă funcţie de viteza caracteristică ºi de reţinere se obţin ecuaţii pentru calculul vitezelor limitative ale celor două faze, corespunzătoare punctului

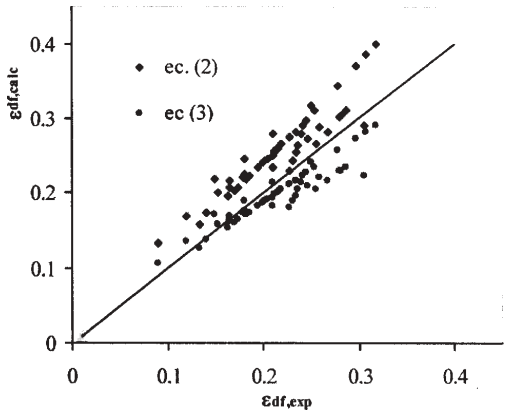

Fig. 7. Compararea datelor experimentale cu cele calculate pentru reţinerea la înec, ε_{df}

de înec. Prin eliminarea din relaţiile (2) - (4) a lui u_0 se ajunge la relaţiile pentru calculul capacităţii de reţinere la înec ε_{df} .

Acestea sunt:

-ecuaţia Pratt-Thornton:

$$\varepsilon_{df} = \frac{\left(U^2 + 8U\right)^{0.5} - 3U}{4\left(1 - U\right)} \quad (5)$$

-ecuaţia Richardson-Zaki:

$$U = \frac{(k+1)\varepsilon_{df}^2}{\left(1-\varepsilon_{df}\right)\left[1-\varepsilon_{df}(1+k)\right]} \quad (6)$$

-ecuaţia Mišek:

$$U = \frac{2\varepsilon_{df}^2\left[1-\varepsilon_{df} + a(\varepsilon_{df} + \varepsilon_{df}^2/2 - 1/2)\right]}{\left(1-\varepsilon_{df}\right)^2\left[1 - 2\varepsilon_{df} + a(\varepsilon_{df} - \varepsilon_{df}^2)\right]} \quad (7)$$

unde U reprezintã raportul vitezelor celor douã faze la punctul de înec:

$$U = u_{df} / u_{cf} \quad (8)$$

Pe baza acestor relaţii se poate afirma cã la înec reţinerea nu depinde de dimensiunile picãturii sau de proprietãţile fizice ale componenţilor din sistem ci numai de raportul încãrcãrilor specifice ale coloanei cu cele douã faze. Relaţiile nu sunt restrictive la un tip particular de coloanã ºi pot fi aplicate pentru a estima condiţiile de înec în orice tip de coloanã, cu condiţia sã fie posibilã calcularea vitezei caracteristice în condiţiile de transfer date, iar diametrul mediu al picãturii ºi viteza caracteristicã sã rãmânã constante pe întreg domeniul de operare.

În literaturã sunt indicate pentru exponentul k valorile de: -2; -1; 0; 1; 2; 3, rezultând forme particulare ale ecuaţiei (3), [7].

Utilizând acest tip de ecuaţii teoretice s-au calculat valorile capacităţii de reţinere la înec pentru condiţiile de experimentare folosite în cele trei coloane de extracţie cu rotor cilindric testate. Pe baza comparaţiilor grafice între valorile calculate ºi valorile determinate experimental, a rezultat cã cea mai bunã estimare a capacităţii de reţinere la înec este datã de ecuaţia (5), Pratt-Thornton ºi relaţia (6), Richardson-Zaki, pentru k=2 (fig.7).

Combinând relaţia (1) ºi relaţia (3), ºi punând condiţia ca funcţia obţinutã sã verifice condiţia de înec (derivatã

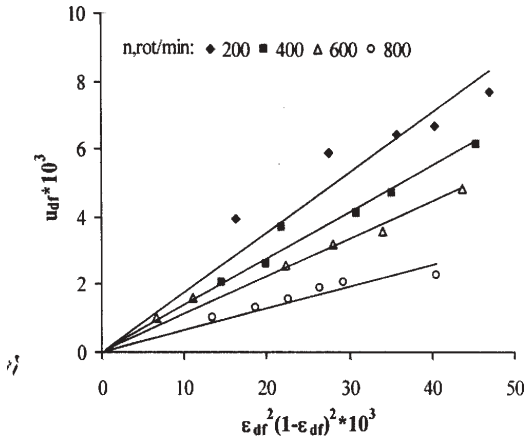

Fig. 8. Prezentarea valorificãrii relaţiei (9) pentru determinarea vitezei caracteristice (F_g = 0,95)

Tabelul 1

VALORILE EXPERIMENTALE PENTRU VITEZA CARACTERISTICÃ

F_g	n rot/min	u_0 m/s	R^2
0,95	200	0,0635	0,785
	400	0,05085	0.949
	600	0,0414	0,974
	800	0,0245	0,811
0,84	300	0,06296	0.673
	600	0,0540	0,898
	700	0,0534	0,916
	900	0,0505	0,902
0,74	600	0,0748	0.629
	700	0.066	0,836
	900	0,0501	0,869

dupã ε_d nulã) se obţin expresii care permit calculul vitezelor celor douã faze la punctul de înec. Folosind ecuaţia (3) pentru valoarea exponentului k egalã cu 2 rezultã urmãtoarele:

$$u_{df} = 3u_0\varepsilon_{df}^2\left(1-\varepsilon_{df}\right)^2 \quad (9)$$

$$u_{cf} = u_0\left(1-\varepsilon_{df}\right)^3\left[1-3\varepsilon_{df}\right] \quad (10)$$

Valorificarea relaţiei (9) sau relaţiei (10) prin prisma faptului cã ε_{df} este mãsurat experimental permite determinarea vitezei caracteristice u_d.

Figura 8 aratã principiul valorificãrii iar tabelul 1 concentrazã valorile calculate pentru u_o.

Este necesar ca datele despre viteza caracteristicã sã fie corelate printr-o ecuaţie funcţie de proprietãţile fizice ale sistemului, de viteza de rotaţie ºi de caracteristicile geometrice ale coloanei folosite:

$$u_0 = f(\rho_c, \eta_c, g, n, D_C, D_R) \quad (11)$$

În acest caz, analiza dimensionalã stabileºte ca variabile independente grupurile adimensionale Taylor, Froude ºi factorul geometric F_g.

Datele experimentale au permis obţinerea urmãtoarei relaţii pentru calculul vitezei caracteristice:

$$u_0 = 0{,}002 Fr^{-0{,}5} Ta^{0{,}58} F_g^{4{,}8} \quad (12)$$

Comparaţia între rezultatele obţinute pentru calculul vitezei caracteristice cu relaţia (12) ºi relaţiile indicate în literaturã pentru diverse tipuri de coloane a arãtat diferenţe uneori semnificative. Este posibil ca aceste abateri sã fie determinate de specificul curgerii din coloanele cu un rotor cilindric ºi numãrul mare de variabile de operare. Rezultate

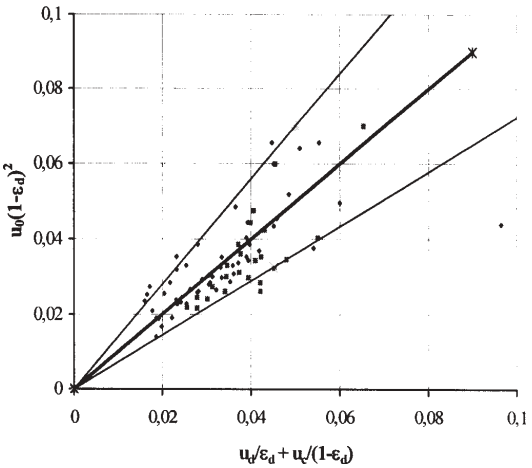

Fig. 9. Compoarabie între valorile calculate pentru viteza relativã

comparabile au rezultat folosind ecuabia propusã de Thornton, [4] care a fost determinatã pe baza datelor obbinute pe o coloanã de acelaºi tip, cu geometrie diferitã ºi folosind mai multe sisteme, iar faza dispersã a avut o miºcare ascendentã.

Viteza caracteristicã reprezintã o mãrime care este calculatã pentru a determina viteza relativã u_r, ce caracterizeazã curgerea în contracurent a fazelor din coloanele de extracbie. În plus, viteza relativã poate fi calculatã pe baza rebinerii ε_d ºi a vitezelor de curgere pentru cele douã faze, u_c ºi u_d, folosind relabia (1).

Pe baza relabiilor indicate în literaturã [12] s-a calculat viteza relativã utilizând pentru viteza caracteristicã valorile obbinute prin folosirea ecuabiei propuse (12). Comparabiile între aceste valori ºi cele calculate pe baza relabiei generale (1), prezentate în figura 9, au indicat abateri de ±25% pentru toate coloanele testate. Acest fapt aratã cã datele obbinute sunt în acord cu relabiile de tip general, aplicabile pe orice tip de coloanã.

Concluzii

În coloanele cu rotor cilindric mãrimea picãturilor pentru un sistem dat ºi o coloanã cu geometrie definitã este funcbie de turabie.

Acbiunea tensiunilor de forfecare pe întreaga zonã activã a rotorului determinã ruperea continuã a picãturilor, astfel cã în coloanele cu rotor cilindric nu a fost sesizatã apariția fenomenului de creºtere a dimensiunii picãturilor, corespunzãtor domeniului de rebinere constantã, (premergãtor atingerii punctului de înec).

Pe baza observabiilor ºi rezultatelor experimentale se poate spune cã înecarea apare imediat ce capacitatea de rebinere înregistrează o creºtere rapidã caracteristicã tranzibiei de la rebinere constantã la inecare.

O separare netã între relabiile care caracterizeazã înecarea nu este posibilã, alegerea uneia sau alteia pentru calculul capacitãbii de rebinere la înec fiind, într-o oarecare mãsurã, o problemã de obbiune.

Notabii

n - turabia, rot/min
u_c - viteza fazei continue m/s;
u_d – viteza fazei disperse, m/s;
u_0 - viteza caracteristicã, m/s;
u_r - viteza relativã, m/s;
D_r – diametrul rotorului, m;
D_S – diametrul statorului, m;
R_r – raza rotorului, m
U- raport fazic de curgere;
δ - mãrimea fantei stator-rotor, m;
ε_d - rebinerea fazei disperse, %
ε_{df} - rebinerea fazei disperse la înec;
ρ_c – densitatea fazei continue, kg/m^3;
ρ_d – densitatea fazei disperse, kg/m^3;

$Ta = \frac{\rho_c}{\eta_c} n \delta^{3\ 2} R_r^{/\ 2}$ - numãrul Taylor

$Fr = \frac{D_R n^2}{g}$ - numãrul Froude

$F_g = D_R / D_s$ - factorul geometric al coloanelor;

Bibliografie

1. GIORDANO, R.C., GIORDANO, R.L.C., PRAZERS, D.M.F., COONEY, C.L., Chem. Eng. Sci., **53**, 1998, p. 3635
2. GIORDANO, R.L.C., GIORDANO, R.C., PRAZERS, D.M.F., COONEY, C.L., Chem. Eng. Sci., **55**, 2000, p. 3611
3. WEBERR E.J., DAVIS M.W., Ind. Eng, Chem. 1960, **52,** nr.11, p. 929
4. THORNTTON, PH.D., PRATT, R.C., Trans. Instn. Chem. Engr, **31**, 1953, p. 289
5. TRANDAFIR, I., TUDOSE, R.Z., Rev. Chim. (Bucureºti), **55**, Nr.8, 2004, p. 580
6. BAIER, G., GRAHAM, M.D., Phys. Fluids, **12,** 1998, p. 3045
7. MIŠEK, T., „ Cap.5 General Hydrodynamic Design Basis for Columns", Liquid -Liquid Extraction Equipment, Ed. J.C. Godfrey and M. Slater, John Wiley and Sons. Chichester, 1994, p.95
8. GODFREY, J.C., SLATER, M.J., Trans. Inst. Chem. Eng., **9** (part A), 1991,p. 130
9. LOGSDAIL, D.H., THORNTON, J.D., Trans. Inst. Chem. Eng. , **35**, 1957, p. 331
10. THORNTON, J.D., Chem. Eng. Sci., **5**, 1956, p. 201
11. MIŠEK, T., Collect. Czech. Chem. Commun,, 29, 1964, p. 1755
12. LADHHA, G.S., DEGALEESAN, T.E, „Cap.4 Dispersion and Coalescence", Handbook of solvent extraction, Ed. Lo,T.C., Baird, M.H.I., Hanson, C., J.Willey - Intercience Publication, New-York, 1983, p. 132

Intrat în redacbie: 13.02.2007