

Caracteristici hidrodinamice ale unui tip de umplutură pentru coloane de absorbție

I. Căderea de presiune

DORU SIDOR, IOAN MĂMĂLIGĂ, STELIAN PETRESCU*

Universitatea Tehnică „Gh. Asachi Iași”, Catedra de Inginerie Chimică, Bdul. D. Mangeron, Nr. 71, 700050, Iași, România

This paper presents an experimental study concerning the pressure drop in a column filled with a new type of packing. The new packing consists in Raschig rings with turbulence promoters. The pressure drop in random bed of packing was determined experimentally at the flow of a single phase (gaseous) and through which the liquid phase flows downwards and the gas phase flows upwards. The obtained results were compared with calculated data and with available data from literature. The pressure drop in the gas phase as it flows through the new packing is almost equal with those corresponding to Raschig rings with the same diameter. In a trickled bed of new packing, the pressure drop becomes greater than in trickled bed of Raschig rings.

Keywords: packing columns, pressure drop, new packing

În industria chimică, alimentară și alte industrii, pentru realizarea unor procese de transfer de masă (absorbție, distilare, extracție lichid-lichid etc) se utilizează frecvent utilaje tip coloană cu umplutură. Umpluturile folosite sunt alcătuite în multe cazuri din corpuri de umplere de formă definită (inele Raschig, inele Pall, oei Berl sau Intalox etc) și sunt așezate în strat fix, ordonat sau prin turnare liberă. Ca urmare procesele de transfer de masă care se desfășoară în coloanele cu umplutură implică curgerea a două faze printr-un strat fix.

La curgerea unui fluid sau a două fluide printr-un strat de umplutură se înregistrează o cădere de presiune pe faza continuă care este cu atât mai mare cu cât debitele fazelor fluide sunt mai mari.

Căderea de presiune este o măsură a consumului de energie necesar pentru transportul fluidelor printr-un strat de umplutură și din acest motiv ea reprezintă o caracteristică hidrodinamică importantă.

Literatura de specialitate conține un număr mare de lucrări [1-12] care se referă la căderea de presiune la curgerea unui fluid sau a două fluide printr-un strat granular fix. Pe baze teoretice s-au stabilit relații de calcul al căderii de presiune la curgerea unui fluid printr-un strat granular fix [1-3, 7, 10, 11]. În lucrările [2, 6, 12] sunt prezentate relații empirice de calcul al căderii de presiune la curgerea în contracurent și echicurent a două faze fluide printr-un strat granular fix.

În prezenta lucrare, utilizând un nou tip de umplutură formată din inele ceramice Raschig cu promotori de turbulență, se determină căderea de presiune la curgerea unei singure faze (aer) și la curgerea în contracurent a două faze (aer-apă). Rezultatele obținute se compară cu cele obținute pe umplutură formată din inele ceramice Raschig nemodificate și cu cele calculate cu ajutorul unor relații din literatură.

Partea experimentală

În scopul realizării experimentelor s-a conceput și realizat o instalație de laborator a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 1.

Conform figurii, instalația experimentală este formată din coloana (1) umplută cu inele ceramice Raschig,

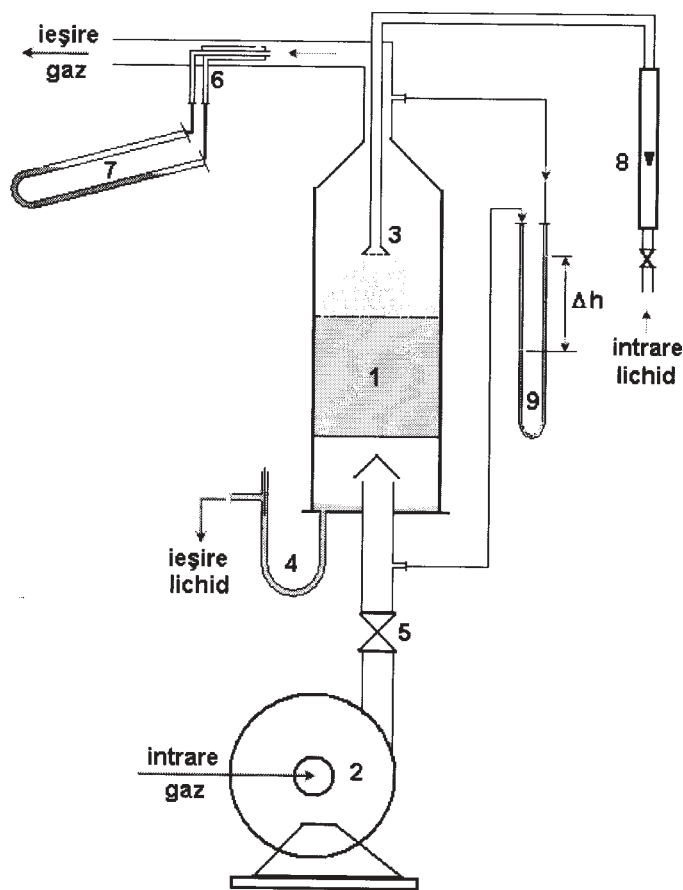


Fig. 1. Instalația experimentală.

- 1- coloană umplută cu inele ceramice Raschig, 2- ventilator,
- 3- distribuitor de fază lichidă, 4- închidere hidraulică,
- 5- ventilul reglare debit de aer, 6- tub Pitot-Prandtl,
- 7- manometru înclinat, 8- rotametrul, 9- manometru diferențial

ventilatorului (2), distribuitorului de fază lichidă (3), închiderea hidraulică (4). Debitul de aer este reglat cu ventilul (5) și măsurat cu un tub Pitot-Prandtl (6) legat la un manometru înclinat (7). Debitul de lichid introdus în coloană se reglează cu ajutorul rotametrelui (8). Pentru măsurarea căderii de

* email: spetresc@ch.tuiasi.ro; Te.: (+40) 0232278680

presiune la curgerea aerului prin coloană s-a utilizat un manometru diferențial (9).

Pentru determinarea căderii de presiune la curgerea aerului prin coloana cu umplutură uscată se pornește ventilatorul (2) și cu ventilul (5) se reglează debitul de aer. Se încep măsurătorile la debit mic de aer apoi se măresc până la deschiderea totală a ventilului. La fiecare debit fixat se înregistrează denivelările la manometrele (9) și (7). Pentru determinarea căderii de presiune prin umplutura stropită se deschide ventilul de la rotametrul (8) și se trimite apa în coloană prin intermediul sistemului de distribuție (3). Se reglează cu ajutorul ventilului (5) debite de aer echivalente cu cele la care s-au făcut experimentările pe umplutura uscată. Se citește la manometrul (9) căderea de presiune prin umplutura stropită. Viteza aerului se calculează în funcție de denivelarea citită la manometrul înclinat (7), care este legat la tubul Pitot-Prandtl (6).

Experimentările au fost efectuate la presiunea atmosferică, temperatura medie a fazei gazoase (aer) de 18,1 °C și temperatura medie a fazei lichide (apă) de 15,6 °C. Temperatura a fost măsurată în patru puncte ale coloanei (intrare gaz, ieșire gaz, intrare lichid și ieșire lichid) cu termometre cu mercur cu precizie de 0,5 K. Debitul de aer a fost cuprins în intervalul (0 - 0,059) m³/s, iar debitul de lichid a avut valorile 2,46 l · 10⁻⁵ și 5,88 · 10⁻⁵ m³/s. Pentru experimentări s-a utilizat un nou tip de umplutură, alcătuită din inele ceramice Raschig 25x25x3 mm prevăzute în interior cu promotori de turbulență metalici (fig. 2). Promotorul de turbulență este o placă din tablă de aluminiu cu grosimea de 0.4 mm, lungimea de 30 mm și lățimea de 25 mm, îndoită în forma literei V și este fixat în fiecare inel ceramic Raschig clasic. Fiecare promotor de turbulență are practicate 10 orificii circulare cu diametrul de 3 mm. Această umplutură modificată realizează față de umplutura clasică o mărire a suprafeței specifice cu 35,12 % și o creștere a vitezei de absorbție cu 25,4 %. Parametrii geometrici ai stratului de umplutură sunt: D=0,200 m și H=0,280 m.

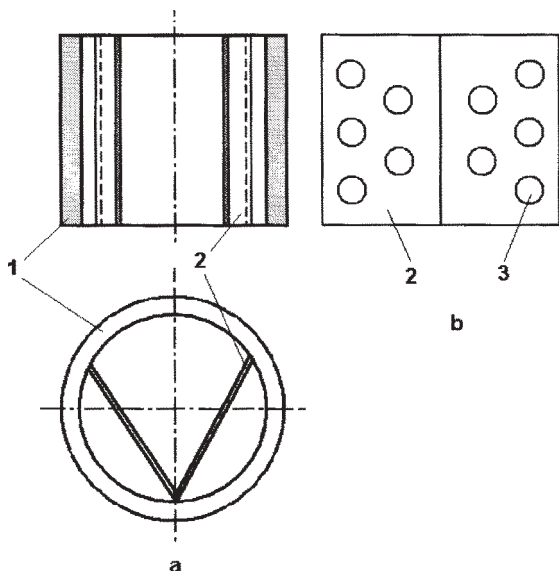


Fig. 2. Corpuri de umplere prevăzute cu promotori de turbulență. 1-inel Raschig ceramic 25 · 25 · 3 mm, 2- promotor de turbulență, 3- orificiu

Rezultate și discuții

Utilizând instalația de laborator prezentată în figura 1, s-a determinat experimental căderea de presiune la trecerea aerului prin coloana fără umplutură la mai multe valori ale vitezei aerului. Apoi s-a introdus în coloană noul

tip de umplutură prin turnare și s-au determinat valorile experimentale ale căderii de presiune prin coloana cu umplutură (Δp). Experimentările s-au făcut la aceleași valori ale vitezei aerului ca și în cazul coloanei fără umplutură. Prin diferență s-au stabilit valorile experimentale ale căderii de presiune la trecerea aerului prin stratul de umplutură uscată (Δp). Valorile obținute pentru Δp_1 și Δp , precum și valorile corespunzătoare ale vitezei fictive a aerului prin coloană sunt prezentate în tabelul 1, iar în figura 3 este prezentată variația căderii de presiune prin umplutura uscată în funcție de viteza fictivă a fazei gazoase. Alături de datele experimentale proprii sunt prezentate și valori din literatură (experimentale [3] și calculate [12]).

Tabelul 1
VALORI EXPERIMENTALE ALE CĂDERII DE PRESIUNE PRIN UMLUTURA USCĂTĂ

v_f , m/s	Δp_1 , Pa	Δp , Pa	v_f , m/s	Δp_1 , Pa	Δp , Pa
0.7	105.3	38.14	1.742	539.38	245.17
0.871	147.1	53.58	1.758	549.2	250.08
0.984	205.95	68.65	1.774	539.38	235.37
1.032	215.75	68.65	1.951	637.45	279.5
1.21	294.21	112.78	1.968	647.26	284.4
1.274	313.82	122.58	1.984	637.45	274.6
1.274	323.63	132.4	2.081	706.1	313.82
1.371	372.67	161.81	2.177	774.75	353.05
1.387	382.47	166.72	2.193	745.33	338.34
1.419	392.3	171.62	0.79	137.3	48.86
1.435	392.3	166.72	0.903	156.9	59.42
1.468	392.28	161.81	0.96	186.3	70.9
1.5	421.7	186.33	0.93	152	53.93
1.613	460.93	201.04	0.71	114	41
1.629	460.93	196.14	2.19	784	353

Conform figurii 3, căderea de presiune prin noul strat de umplutură uscată crește linear odată cu creșterea vitezei fictive a fazei gazoase.

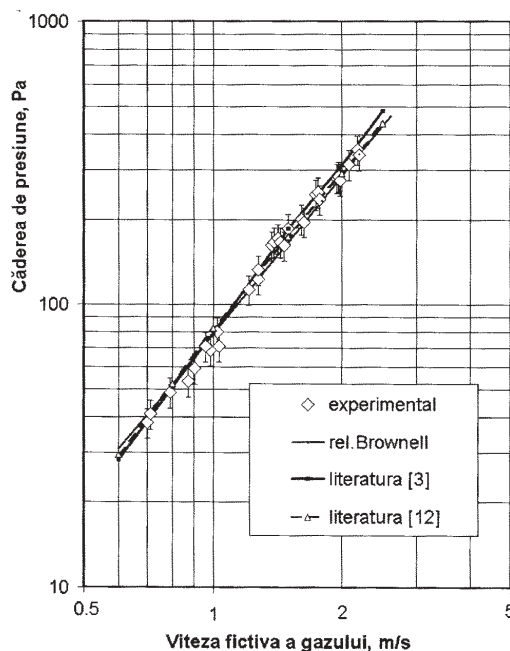


Fig. 3. Căderea de presiune prin umplutura uscată

S-au determinat apoi valorile experimentale ale căderii de presiune la curgerea aerului și a apei în contracurent prin stratul de umplură ($\Delta p_{g,l}$). Rezultatele căderii de presiune obținute la două debite ale fazei lichide s-au reprezentat grafic în coordonate logaritmice în funcție de viteza fictivă a gazului.

În figura 4 este evidențiat modul de variație a căderii de presiune prin stratul de umplură constând din inele ceramice Raschig modificate cu promotori de turbulență, când acesta este străbătut în contracurent de aer și apă.

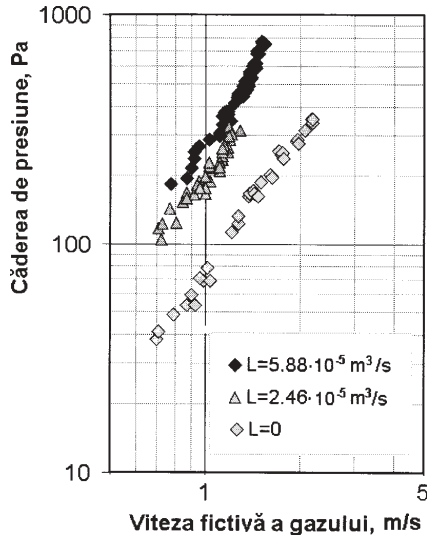


Fig. 4. Căderea de presiune prin umplutura udată, în prezența promotorilor de turbulență, la două valori ale debitului de lichid

Se constată că odată cu creșterea debitului de lichid cresc valorile căderii de presiune $\Delta p_{g,l}$. Pe figură pot fi puse în evidență două valori ale punctelor de încărcare, corespunzătoare celor două debite de lichid. La debitul specific de lichid $L = 7,833 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$, punctului de încărcare îi corespunde o viteză fictivă a gazului egală cu 1,08 m/s, iar la debitul specific de lichid $L = 1,872 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$, viteza fictivă corespunzătoare punctului de încărcare are valoarea 0,98 m/s. La viteze ale gazului situate sub punctul de încărcare, reținerea de lichid depinde practic numai de debitul de lichid, fiind puțin influențată de viteza gazului. În acest domeniu, $\Delta p_{g,l}$ crește cu creșterea debitului de lichid ca urmare a reducerii spațiului liber disponibil curgerii gazului. Deasupra punctului de încărcare, trecerea gazului frânează curgerea descendentă a lichidului, determinând o creștere a reținerii acestuia. Acumularea de lichid determină o reducere a spațiului liber, provocând o creștere mai rapidă a căderii de presiune $\Delta p_{g,l}$.

Valorile experimentale ale căderii de presiune prin umplutura uscată (Δp) și la curgere cu două faze ($\Delta p_{g,l}$), obținute pentru noul tip de umplură constituită din inele Raschig ceramice 25 . 25 . 3 mm prevăzute cu promotori de turbulență, au fost comparate cu valori experimentale preluate din literatură [3, 12] obținute pentru umpluturi constând în inele ceramice Raschig fără promotori de turbulență și cu valori calculate pe baza relațiilor Kasatkin-Akonian și Brownell. Ecuația Kasatkin-Akonian are următoarea formă:

$$\Delta p = \lambda \frac{\rho_g v_f^2 h}{2 \cdot \varepsilon^2 d_e} \quad (1)$$

unde:

- λ - este coeficientul de frecare prin umplură
- ε - fracția de goluri sau porozitatea stratului de umplură
- v_f - viteza fictivă a gazului

ρ_g - densitatea gazului
 d_e^g - diametrul echivalent al stratului de umplură
 h - înălțimea stratului de umplură
 Coeficientul de frecare este dat de relațiile:

$$\lambda = \frac{140}{Re}, \quad Re < 40 \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0.2}}, \quad Re > 40 \quad (3)$$

Numărul Reynolds se calculează cu relația:

$$Re = \frac{4 \cdot v_f \cdot \rho_g}{\eta_g \cdot a_v} \quad (4)$$

în care η_g este vâscozitatea dinamică a fazei gazoase, iar a_v reprezintă suprafața specifică a corpurilor de umplere.

Pentru curgerea prin umpluturi, ecuația Brownell este:

$$\Delta p = \lambda \cdot F_\lambda \frac{\rho_g v_f^2 h}{2 \cdot \varepsilon^2 d} \quad (5)$$

unde:

d este diametrul nominal al corpurilor de umplere

λ - coeficientul de frecare, calculat cu una din relațiile:

$$\lambda = \frac{64}{Re'} \quad \text{- pentru curgerea laminară}$$

$$\lambda = 0.0140 + \frac{1.056}{(Re')^{0.42}} \quad \text{- pentru curgerea turbulentă}$$

$$Re' = \frac{v \cdot d \cdot \rho_g}{\eta_g} \cdot F_{Re}$$

Valorile factorilor F_λ și F_{Re} au fost deduse din corelările grafice ale datelor experimentale [3]. Valorile numerice ale parametrilor ε și d pentru umplutura formată din inele ceramice Raschig 25 . 25 . 3 mm sunt 0,73 și respectiv 25 mm [12].

După cum se poate constata din figura 3, noul tip de umplură oferă valori ale căderii de presiune prin umplutura uscată foarte apropiate de valorile experimentale sau calculate pentru umpluturi constând din inele ceramice Raschig cu același diametru nominal. Abaterea maximă a datelor experimentale față de cele calculate sau existente în literatură nu depășește 10%.

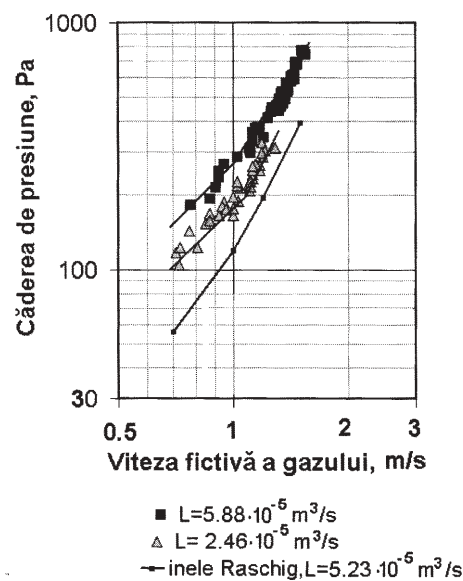


Fig. 5. Comparare între căderea de presiune prin umplutura cu promotori de turbulență și cea nemodificată

În cazul curgerii ambelor faze prin coloană, căderea de presiune prin umplutura modificată cu promotori de turbulență crește semnificativ față de cazul în care se utilizează umplutură constând în inele ceramice Raschig nemodificate. Așa cum rezultă din figura 5, la debite de lichid apropiate ($5, 25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ – pentru umplutura clasică și $5,88 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ – pentru umplutura modificată) valorile căderii de presiune practic se dublează. Prezența promotorilor de turbulență în noul tip de umplutură asigură o reținere dinamică de lichid mai mare și ca urmare se reduce volumul liber prin care circulă faza gazoasă.

Concluzii

În această lucrare s-a studiat căderea de presiune printr-un nou tip de umplutură alcătuită din inele Raschig ceramice prevăzute cu promotori de turbulență. S-au determinat valorile experimentale ale căderii de presiune la curgerea unei singure faze (aer) și a două faze în contracurent (aer și apă) printr-un strat fix de umplutură cu diametrul de 0.2 m și înălțimea de 0.28 m. Experimentările au fost efectuate la două valori ale debitului de lichid și la mai multe valori ale debitului de gaz.

Valorile experimentale obținute pentru noul tip de umplutură au fost comparate cu date experimentale și calcule obținute pe umpluturi clasice, în condiții de operare asemănătoare. Valorile căderii de presiune prin umplutura modificată uscată nu diferă semnificativ de cele corespunzătoare umpluturii clasice. În cazul curgerii a două faze în contracurent, căderea de presiune prin

umplutura modificată este de circa două ori mai mare față de umplutura clasică, la aceeași valoare a debitului de lichid. Această creștere este mai accentuată la viteze mari ale fazei gazoase.

Bibliografie

1. BRATU, E., Operații unitare în ingineria chimică, vol. I, Editura Tehnică, București, 1983
2. DARTY, R., Chemical Engineering Fluid mechanics, Marcel Dekker Inc., New York, 2001
3. DUTKAI, E., Coloane cu umplutură în tehnologia chimică, Editura Tehnică, București, 1977
4. FLOAREA, O., JINESCU, G., Procese intensive în operațiile unitare de transfer, Editura Tehnică, București, 1975
5. HOPPE, K., Verfahrenstechn., 6, 1972, p. 215
6. JINESCU, G., Procese hidrodinamice și utilaje specifice, E.D.P., București, 1983
7. JINESCU, G., VASILESCU, P., JINESCU, C., Dinamica fluidelor reale în instalațiile de proces, Editura Semne, București, 2001
8. PERRY, R.H., GREEN, D., Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, New York, 1984
9. PLAWSKI, J.L., Transport phenomena fundamentals, Marcel Dekker Inc., New York, 2001
10. RICHARDSON, J.F., PEACOCK, D.G., Chemical Engineering, I, Pergamon Press, Oxford, 1994
11. TUDOSE R. Z., Ingineria proceselor fizice în industria chimică, I, Fenomene de transfer, Editura Academiei, București, 2002
12. *** VDI Waermeatlas, 8. Ed. , VDI-Verlag, Duesseldorf, 1997

Întrată în redacție: 13.07.2007