

CONSIDERAȚII PRIVIND ANALOGIA DINTRE TRANSFERUL DE CĂLDURĂ ȘI TRANSFERUL DE IZOTOP

Marius PECULEA

ACADEMIA ROMÂNĂ

Rezumat: În completarea lucrărilor de asemănare între transferul de căldură și schimbul izotopic [2], [3] și [4], de această dată se prezintă o metodă preluată de la cascada criogenică [5], unde pentru schimbătoarele de căldură legate în serie, calculul se bazează pe ideea că “ști ce intră, ai performanța spațiului de schimb, rezultă ieșirile”. Metoda adoptată permite calculul coloanelor de separare izotopică, în condițiile cunoașterii concentrațiilor din curenții de alimentare (introducere), atât pentru cazul determinării experimentale a performanțelor umpluturilor coloanelor, cât și comportării coloanelor de îmbogățire izotopică.

Cuvinte cheie: transfer de căldură, schimb izotopic, coloană de separare izotopică.

Abstract. For completing the series of paper wich concern the heat transfer and isotopic exchange [2], [3] și [4], these work presents a method taken from cryogenic cascade [5], where for the heat exchangers in series, the sum is based on the idea that “knowing the input, having the performance of exchange zone, results the output” The chosen way allows the calculation of the isotopic separation columns, knowing the concentration of the supply currents (introduction), for the case of experimental determination of the performances of columns content and for the behavior of the columns with isotopic enrichment.

Keywords:heat transfer, isotopic exchange, column of isotopic separation

1. INTRODUCERE

Transferul de căldură și transferul de izotop se efectuează între doi curenți care curg în contracurent, primul realizat într-un schimbător de căldură, cel de-al doilea într-o coloană de separare. În schimbătorul de căldură cei doi curenți sunt separați de o suprafață impermeabilă (ex. metal), cât timp în coloana de separare curenții, unul în fază lichidă și celălalt în fază gazoasă, sunt în contact direct prin intermediul unei interfețe; cu toate acestea, practic, în ambele cazuri debitele curenților pot fi considerate constante, deoarece masa izotopului transferat față de masa curentului poate fi neglijată.

Problema asemănării celor două procese s-a pus pentru prima dată la coloanele de separare izotopică prevăzute cu umidificatoare, respectiv dezumidificatoare [1], când s-a căutat ca modelele matematice care descriu cele două procese să aibă forme asemănătoare. S-a luat de bază reprezentarea procesului de separare izotopică în diagrama de concentrații (x, y) de tip Mc. Cabe-Thiele și s-a

căutat o reprezentare a procesului de transfer termic și masă într-o diagramă de temperaturi (t, T), de același tip Mc. Cabe-Thiele [2].

În figura 1 se poate urmări comportarea celor două procese caracterizate de relația operare/echilibrare. Lucrarea [3] descrie modelul procesului de umidificare, ulterior dezvoltată în [1].

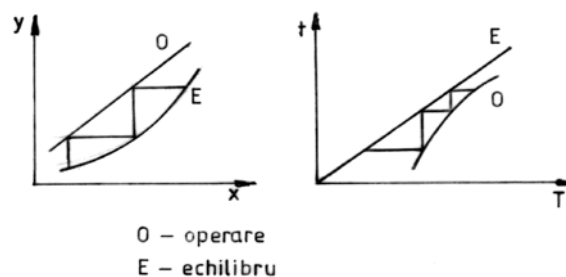


Fig. 1. Asemănarea reprezentării unui proces de separare în diagrama de concentrații (y, x) cu reprezentarea unui proces de umidificare în diagrama de temperaturi (t, T).

Reprezentarea comportării unui schimbător de căldură în diagrama de temperaturi [4] a venit în întâmpinarea rezolvării cascadei instalațiilor

criogenice [5], prin introducerea echivalentului caloric fictiv.

Urmărind schema din figura 2, se reamintește posibilitatea de determinare a comportării unui schimbător de căldură cu curgerea în contracurent, când sunt cunoscute datele de intrare a fluidelor (T_1, W', T_3, W''), performanța suprafeței de schimb (kA) și în consecință echivalentul caloric fictiv W [5], calculat cu relația

$$W = \frac{\exp \frac{kA}{W'} - \exp \frac{kA}{W''}}{\frac{1}{W'} \exp \frac{kA}{W'} - \frac{1}{W''} \exp \frac{kA}{W''}} \quad (1)$$

care permite determinarea căldurii schimbate între fluide sub forma

$$Q = W \cdot \delta T = W(T_1 - T_3) \quad (2)$$

care egalizată cu căldurile primită și cedată de fiecare fluid în parte, determină în totalitate parametrii care caracterizează schimbătorul de căldură.

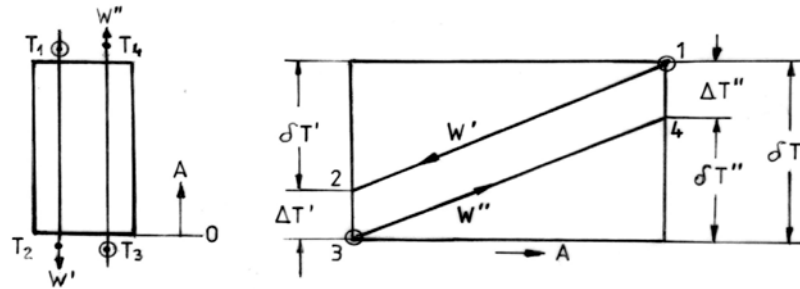


Fig. 2. Schema și diagrama de temperaturi a schimbătorului de căldură cu curgere în contracurent.

Ca primă aplicație se prezintă cazul unei coloane de separare izotopică, din ansamblul unui stand experimental conceput pentru determinarea performanțelor spațiului de schimb discret (talere) sau continuu (umpluturi).

Prin asemănare cu schema schimbătorului de căldură din figura 2, schema unei coloane de separare izotopică și diagrama de concentrații în lungul ei este reprezentată în figura 3.

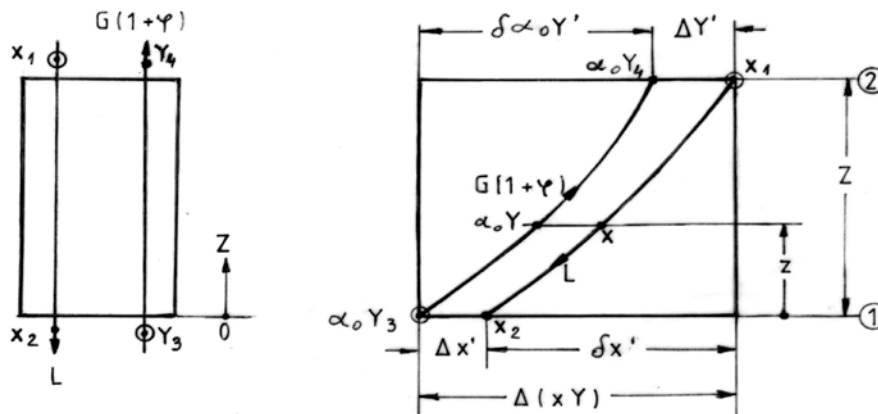


Fig. 3. Schema și diagrama de concentrații a coloanei de separare izotopică, cazul experimental.

Pentru explicarea datelor din figura 3 se face referire la schimbul izotopic succesiv apă-vapori de apă - hidrogen [6], unde participarea vaporilor (V) care saturează gazul (G) este dată de

$$\varphi = \frac{V}{G} = \frac{p_v}{p - p_v} \quad (3)$$

astfel că debitul total al fazei gazoase este

$$G + V = G(1 + \varphi) \quad (4)$$

Concentrațiile izotopice sunt

x - în lichid

Y - în vapori

y - în gaz respectiv în faza gazoasă

$$Y = \frac{Gy + V\vartheta}{G + V} \quad (5)$$

La concentrații mici (sub 1%) echilibre între faze sunt

$$\alpha_D = \frac{x}{y} \quad \text{- între apă și vaporii de apă (distilare)}$$

$$\alpha_C = \frac{\vartheta}{y} \quad \text{- între vaporii de apă și hidrogen}$$

(schimb catalitic)

și conform reprezentării din figura 3

$$\alpha_0 = \frac{x}{Y} \text{ - între apă și faza gazoasă (G + V)}$$

din [6]

$$\alpha_0 = \alpha_D \cdot \alpha_C \frac{1 + \varphi}{1 + \alpha_C \cdot \varphi} \quad (6)$$

ceea ce permite ca relația (5) să fie scrisă și sub forma

$$Y = \frac{1 + \alpha_C \cdot \varphi}{1 + \varphi} y = \frac{\alpha_D \cdot \alpha_C}{\alpha_0} y \quad (7)$$

Infinitezimal procesul de schimb izotopic din coloană, raportat la figura 3, este reprezentat în figura 4 și se desfășoară respectând relația

$$x > \alpha_0 Y \quad (8)$$

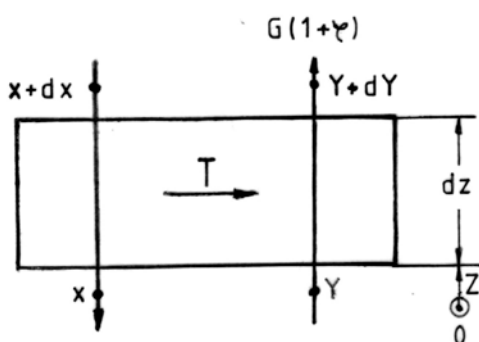


Fig. 4. Reprezentarea procesului infinitezimal din coloana de separare izotopică, cazul experimental.

specifică condiției experimentale, unde T este transportul specific de izotop (raportat la înălțimea coloanei) descris inițial în [7]

$$T = K \cdot a \cdot A (x - \alpha_0 Y) [\text{moli} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}] \quad (9)$$

K este coeficientul de transfer izotopic [moli·cm⁻²·sec⁻¹] și produsul a·A caracterizează geometria spațiului de schimb, a fiind suprafața umpluturii raportată la unitatea de volum [cm²·cm⁻³] și A aria liberă a coloanei de separare [m²] astfel că produsul a·A [cm] este o lungime. Transportul infinitezimal de izotop este după figura 4.

$$d\tau = T \cdot dz \quad (10)$$

și pentru întreaga coloană

$$\tau = K \cdot a \cdot A (x - \alpha_0 Y) M \cdot Z \quad (11)$$

unde

$$(x - \alpha_0 Y) M = \frac{1}{Z} \int_0^Z (x - \alpha_0 Y) dz \quad (12)$$

valoare medie asupra căreia vom reveni.

Bilanțul izotopic al procesului descris în schema din figura 4 este pentru curentul de lichid

$$L(x + dx) = Lx + Tdz \quad (13)$$

și pentru curentul de gaz

$$G(1 + \varphi)Y + Tdz = G(1 + \varphi)(Y + dY) \quad (14)$$

Se fac următoarele notații

$$\mu = \frac{K \cdot a \cdot A}{L} \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{K \cdot a \cdot A}{G(1 + \varphi)} \quad (16)$$

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{G(1 + \varphi)}{L} \quad (17)$$

care introduse în relațiile (13) și (14) permit scrierea sistemului

$$dx = \mu(x - \alpha_0 Y)dz \quad (18)$$

$$dY = \lambda(x - \alpha_0 Y)dz$$

Prin înmulțirea celei de-a doua ecuație a sistemului (18) cu α_0 și scăderea ei din prima ecuație, se poate scrie

$$\frac{d(x - \alpha_0 Y)}{x - \alpha_0 Y} = \lambda(\rho - \alpha_0)dz \quad (19)$$

Pentru un proces izoterm de separare izotopică mărimile G, φ, L, K, a, A sunt constante în raport cu Z (coordonată de lungime, reprezentând înălțimea coloanei).

Integrarea ecuației (19) între limitele coloanei de separare (figura 3)

$$\int_1^2 \frac{dz}{x - \alpha_0 Y} = \lambda(\rho - \alpha_0) Z \quad (20)$$

din care rezultă

$$\ln \frac{x_1 - \alpha_0 Y_4}{x_2 - \alpha_0 Y_3} = \lambda(\rho - \alpha_0) Z \quad (21)$$

permite, pentru instalația experimentală, determinarea valorii lui λ și implicit pe cea a lui K.

Dacă se integrează ecuația (19) până la o înălțime oarecare Z

$$\int_1^Z \frac{dz}{x - \alpha_0 Y} = \lambda(\rho - \alpha_0) Z \quad (22)$$

și ținând cont de notațiile din figura 3, rezultă

$$x - \alpha_0 Y = \Delta x' \cdot e^{\lambda(\rho - \alpha_0)z} \quad (23)$$

care introdusă în (12) dă

$$(x - \alpha_0 Y) M = \frac{1}{Z} \int_0^Z \Delta x' \cdot e^{\lambda(\rho - \alpha_0)z} \cdot dz \quad (24)$$

respectiv după integrare

$$(x - \alpha_0 Y) M = \frac{\Delta x'}{Z \cdot \lambda(\rho - \alpha_0)} \left[e^{\lambda(\rho - \alpha_0)Z} - 1 \right] \quad (25)$$

Cu notațiile din figura 3, ecuația (21) se scrie

$$\ln \frac{\Delta Y'}{\Delta X'} = \lambda(\rho - \alpha_0)Z \quad (26)$$

de unde

$$\frac{\Delta Y'}{\Delta X'} = e^{\lambda(\rho - \alpha_0)Z} \quad (27)$$

care introdusă împreună cu (26) în (25) dă

$$(x - \alpha_0 Y)M = \frac{\Delta X'}{\ln \frac{\Delta Y'}{\Delta X'}} \left(\frac{\Delta Y'}{\Delta X'} - 1 \right) \quad (28)$$

și în final

$$(x - \alpha_0 Y)M = \frac{\Delta Y' - \Delta X'}{\ln \frac{\Delta Y'}{\Delta X'}} \quad (29)$$

Relația (29) este o confirmare a asemănării comportării coloanei de separare izotopică cu schimbătorul de căldură, pentru care diferența medie de temperatură conform schemei din figura 2, [5] este

$$\Delta T = \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln \frac{\Delta T'}{\Delta T''}} \quad (30)$$

Cu notațiile din figura 3 și ținând cont de relațiile (9), (10), (11), (13) și (14) se poate explicita valoarea transportului izotopic (11) ce se realizează în coloana de separare.

$$\tau = L(x_1 - x_2) = L \cdot \delta x' \quad (31)$$

$$\tau = \frac{1}{\alpha_0} G(1 + \varphi)(\alpha_0 Y_4 - \alpha_0 Y_3) = \frac{G(1 + \varphi)}{\alpha_0} \delta \alpha_0 Y' \quad (32)$$

$$\tau = D(x_1 - \alpha_0 Y_3) = D \cdot \Delta(xY) \quad (33)$$

În relația (33) este introdusă mărimea D, care poate fi considerată un echivalent masic fictiv, asemenea echivalentului caloric fictiv W din relația (1). Echivalentul masic fictiv D permite determinarea transportului izotopic τ , funcție de concentrațiile izotopice a fluidelor la intrarea lor în coloana de separare.

Pentru determinarea lui D se pleacă de la relația (29), unde coroborat cu (31) și (32) se scrie

$$\Delta Y' - \Delta X' = \delta x' - \delta \alpha Y' = \frac{\tau}{L} - \frac{\alpha_0 \tau}{G(1 + \varphi)} \quad (34)$$

și împreună cu (11) rezultă

$$\frac{\tau}{K \cdot a \cdot A \cdot Z} = \frac{\frac{\tau}{L} - \frac{\alpha_0 \tau}{G(1 + \varphi)}}{\ln \frac{\Delta Y'}{\Delta X'}} \quad (35)$$

respectiv

$$\ln \frac{\Delta Y'}{\Delta X'} = \frac{K \cdot a \cdot A \cdot Z}{L} - \alpha_0 \frac{K \cdot a \cdot A \cdot Z}{G(1 + \varphi)} \quad (36)$$

Se notează

$$m = \frac{K \cdot a \cdot A \cdot Z}{L} = \mu \cdot Z \quad (37)$$

$$n = \alpha_0 \frac{K \cdot a \cdot A \cdot Z}{G(1 + \varphi)} = \alpha_0 \lambda Z \quad (38)$$

și relația (36) se aduce la forma

$$\frac{\Delta Y'}{\Delta X'} = e^{(m - n)} \quad (39)$$

respectiv

$$\Delta Y' = \Delta X' \frac{e^m}{e^n} \quad (40)$$

care se poate scrie

$$\Delta(xY) - \delta \alpha_0 Y' = [\Delta(xY) - \delta x'] \frac{e^m}{e^n} \quad (41)$$

și ținând cont de (33) se obține

$$\frac{\tau}{D} - \frac{\alpha_0 \tau}{G(1 + \varphi)} = \frac{\tau}{D} \cdot \frac{e^m}{e^n} - \frac{\tau}{L} \cdot \frac{e^m}{e^n} \quad (42)$$

sau

$$\frac{1}{D} \left(\frac{e^m}{e^n} - 1 \right) = \frac{1}{L} \cdot \frac{e^m}{e^n} - \frac{\alpha_0}{G(1 + \varphi)} \quad (43)$$

de unde

$$D = \frac{e^m - e^n}{\frac{e^m}{L} - \frac{\alpha_0 e^n}{G(1 + \varphi)}} \quad (44)$$

și cu relația (17) se obține forma finală

$$D = L \frac{e^m - e^n}{e^m - \frac{\alpha_0}{\rho} e^n} \quad (45)$$

sau forma dezvoltată

$$D = L \frac{\exp \frac{KaAZ}{L} - \exp \alpha_0 \frac{KaAZ}{G(1 + \varphi)}}{\exp \frac{KaAZ}{L} - \frac{\alpha_0}{\rho} \exp \alpha_0 \frac{KaAZ}{G(1 + \varphi)}} \quad (46)$$

În cazurile practice (normale) $\frac{\alpha_0}{\rho} > 1$ și $\frac{n}{m} > 1$

astfel că $\frac{D}{L} < 1$.

În altă ordine de idei, dar păstrând aceeași gândire, se va căuta să se determine valoarea înălțimii unui echilibru Ze, cunoscută sub denumirea de înălțime echivalentă a talerului teoretic (IETT) [2], pornind de la sistemul descris de ecuațiile (31), (32) și (33). Condiția realizării înălțimii unui echilibru, conform notațiilor din figura 3 este

$$x_2 = \alpha_0 Y_4 \quad (47)$$

Din (31) și (32) rezultă

$$x_2 = x_1 - \frac{\tau}{L} \quad (48)$$

$$Y_4 = Y_3 + \frac{\tau}{G(1+\varphi)} \quad (49)$$

care introduse în (47) dă

$$x_1 - \frac{\tau}{L} = \alpha_0 Y_3 + \frac{\alpha_0 \tau}{G(1+\varphi)} \quad (50)$$

sau

$$x_1 - \alpha_0 Y_3 = \frac{\tau}{L} + \frac{\alpha_0 \tau}{G(1+\varphi)} = \frac{\tau}{D} \quad (51)$$

după simplificare

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{L} + \frac{\alpha_0}{G(1+\varphi)} \quad (52)$$

respectiv

$$\frac{L}{D} = 1 + \frac{\alpha_0}{\rho} = \frac{\rho + \alpha_0}{\rho} \quad (53)$$

Egalând expresiile (53) cu (45) și ținând cont de notațiile (37) și (38) rezultă

$$D = L \frac{\rho}{\rho + \alpha_0} = L \frac{e^{\mu Ze} - e^{\alpha_0 \lambda Ze}}{e^{\mu Ze} - \frac{\alpha_0}{\rho} e^{\alpha_0 \lambda Ze}} \quad (54)$$

corespunzător înălțimii de echilibru Ze

Din egalitatea (54) rezultă

$$\rho e^{\alpha_0 \lambda Ze} = \alpha_0 e^{\mu Ze} \quad (55)$$

care scrisă sub forma

$$\frac{\rho}{\alpha_0} = e^{(\mu Ze - \alpha_0 \lambda Ze)} \quad (56)$$

și logaritmată dă

$$\ln \frac{\rho}{\alpha_0} = (\mu - \alpha_0 \lambda) Ze = \lambda (\rho - \alpha_0) Ze \quad (57)$$

și în final

$$Ze = \frac{\ln \frac{\rho}{\alpha_0}}{\lambda (\rho - \alpha_0)} = - \frac{\ln \frac{\rho}{\alpha_0}}{\lambda (\alpha_0 - \rho)} \quad (58)$$

identică cu cea descrisă în lucrarea [6].

Utilitatea echivalentului masiv fictiv D permite, prin intermediul transportului τ calculat cu (33) și a relațiilor (31) și (32), determinarea comportării izotopice a coloanei de separare, respectiv a concentrațiilor izotopice de ieșire x_2 și Y_4 în funcție de concentrațiile de intrare x_1 și Y_3 ; cu alte cuvinte ce se obține față de ce se introduce (alimentează). Practic se descrie comportarea (performanța) coloanei de separare izotopică.

Diagrama din figura 5 ilustrează utilitatea mărimii D pentru determinarea comportării unei coloane de separare izotopică, echipament component al unui stand de testare, la care concentrațiile izotopice ale fluidelor, gaz și lichid, pentru alimentarea instalației sunt cunoscute. Față

de datele de intrare x_1 și Y_3 s-a determinat variația concentrației izotopice de ieșire x_2 , funcție de concentrația de alimentare x_1 , menținându-se constantă concentrația izotopică Y_3 a gazului. Pe aceeași diagramă poate fi urmărită variația separării, definită ca raport între limitele de concentrație a fazei lichide. În addenda este prezentat în detaliu explicitarea diagramei din figura 5.

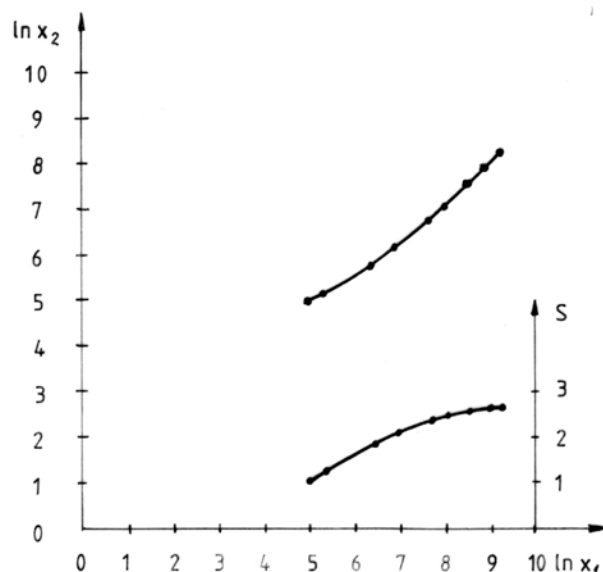


Fig. 5.

Procesul de separare izotopică este utilizat, în principal, pentru îmbogățirea izotopului dorit. De aceea procesul se dezvoltă după condiția

$$x < \alpha_0 Y \quad (59)$$

și este reprezentat în schema și diagrama de concentrații din figura 6. Concentrația cunoscută este cea a curentului de alimentare x_1 , cât timp Y_3 va rezulta în funcție de procesul de conversie al fazei lichide.

Infinitesimal procesul este descris în figura 7.

Între cele două procese, caracterizate de relațiile (8) și (59) și descrise de figura 3 și figura 6 și respectiv de figura 4 și figura 7 este o perfectă asemănare a relațiilor matematice, doar că transportul specific de izotop are semnul schimbat, cu consecințele aferente asupra celorlalte relații, cum ar fi

$$L \cdot dx = T \cdot dz = -KaA(x - \alpha_0 Y)dz \quad (60)$$

$$G(1 + \varphi) \cdot dY = T \cdot dz = -KaA(x - \alpha_0 Y)dz \quad (61)$$

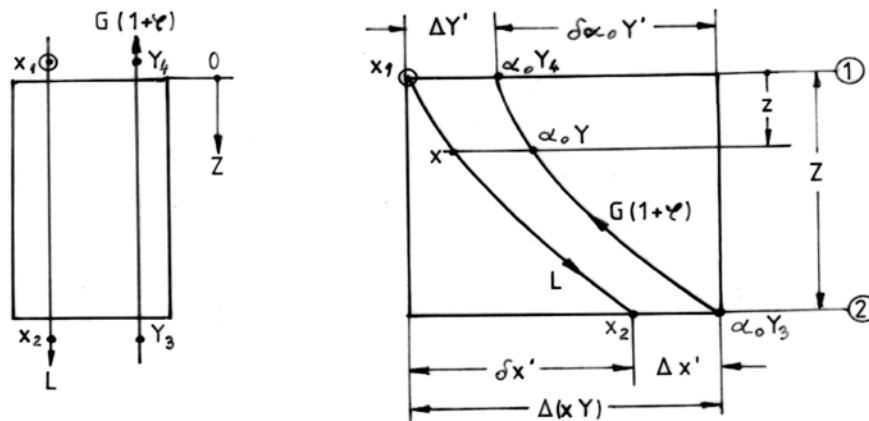


Fig. 6. Schema și diagrama de concentrații a coloanei de separare izotopică, cazul de îmbogățire izotopică.

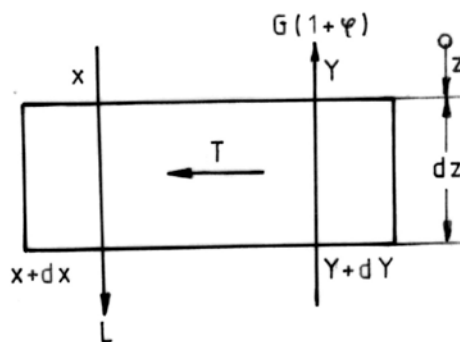


Fig. 7. Reprezentarea procesului infinitesimal din coloana de separare izotopică, cazul de îmbogățire izotopică.

Se amintește că relațiile (15), (16), (17), (37), (38), (45), (46) și (58) sunt identice pentru ambele procese caracterizate de relații (8) și (59).

Se recomandă ca testul experimental să precedă procesul de îmbogățire izotopică, pentru a determina, prin valoarea lui K [$\text{moli} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$], comportarea spațiului de schimb, taler sau umplutură.

ADDENDA

Parametrii de operare a unei coloane de separare izotopică a unui stand experimental pentru procesul de schimb succesiv apă-vapori de apă - hidrogen [6] sunt

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 80^\circ\text{C}$$

$$p_v = 0,5 \text{ atm}; \quad \varphi = \frac{p_v}{p - p_v} = 1$$

$$G = 0,05 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$L = 0,1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\rho = \frac{G(1+\varphi)}{L} = 1$$

$$\alpha_D = 1,035$$

$$\alpha_C = 2,8$$

$$\alpha_0 = \alpha_D \cdot \alpha_C \frac{1+\varphi}{1+\alpha_C\varphi} = 1,5$$

Geometria coloanei

$$D = 10 \text{ cm}; \quad Z = 200 \text{ cm}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = 78,5 \text{ cm}^2$$

$a = 6,7 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ pentru umplutură ICSI – (B7)

Debitul volumic

$$T = 80 + 273 = 353 \text{ K}$$

$$P = 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$R_{H_2} = \frac{848}{2} = 424 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$R_{H_2O} = \frac{848}{18} = 47 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$m_{H_2} = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$m_{H_2O} = 0,05 \cdot 18 = 0,9 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$V = (0,1 \cdot 424 + 0,9 \cdot 47) \frac{353}{10^4} \cong 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Viteza medie a gazului

$$w = \frac{3 \cdot 10^6}{3600} \cdot \frac{1}{78,5} = 10,6 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$$

se încadrează în limitele normale ale caracteristicii umpluturii ICSI – (B7).

Performanța umpluturii ICSI – (B7) corespunzătoare vitezei medii a gazului este de 2,5 echilibre pe metru, respectiv de $Z_e = 40 \text{ cm}$

Cu aceasta

$$\lambda = \frac{\ln \frac{\rho}{\alpha_0}}{Z_e(\rho - \alpha_0)} = \frac{\ln \frac{1}{1,5}}{40(1 - 1,5)} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$K = \frac{\lambda(1+\phi)G}{a \cdot A} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{3600 \cdot 6,7 \cdot 78,5} = 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$m = \frac{K \cdot a \cdot A \cdot Z}{L} = \frac{10^{-6} \cdot 526 \cdot 200}{0,0278} = 3,784$$

$$n = \alpha_0 \frac{K \cdot a \cdot A \cdot Z}{(1+\phi)G} = 1,5 \frac{10^{-6} \cdot 526 \cdot 200}{2 \cdot 0,0139} = 5,676$$

$$e^m = 43,99; e^n = 291,78$$

Din relația (45)

$$\frac{D}{L} = \frac{e^m - e^n}{e^m - \frac{\alpha_0}{\rho} e^n} = \frac{43,99 - 291,78}{43,99 - 1,5 \cdot 291,78} = 0,6294 \approx 0,63$$

$$D = 0,63 \cdot L = 0,017514 \text{ mol} \cdot \text{sec}^{-1} = 0,063 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$$

Cu raportare la diagrama din figura 3 și relațiile (31) și (33) se scrie

$$\tau = L(x_1 - x_2) = D(x_1 - \alpha_0 Y_3)$$

de unde $x_2 = f(x_1)$

$$x_2 = x_1 - \frac{D}{L}(x_1 - \alpha_0 Y_3)$$

și raportul de separare

$$S = \frac{x_1}{x_2}$$

Alimentarea coloanei cu gaz se face cu hidrogen saturat cu vapori de apă cu concentrație naturală izotopică $\vartheta = 144 \text{ ppm} \frac{D}{H+D}$ și în

echilibru izotopic reciproc cu $\alpha_C = 2,8$

$$y_3 = \frac{\vartheta_3}{\alpha_C} = \frac{144}{2,8} = 52 \text{ ppm} \frac{D}{H+D}$$

așa că

$$Y_3 = \frac{y_3 G + \vartheta_3 V}{G + V} = \frac{0,05 \cdot 52 + 0,05 \cdot 144}{0,1} = 98 \text{ ppm} \frac{D}{H+D}$$

Se amintește condiția coloanei experimentale (8) respectiv

$$x_1 > \alpha_0 Y_3$$

de unde

$$x_1 > 1,5 \cdot 98 \cdot 10^{-6} = 147 \cdot 10^{-6} \frac{D}{H+D}$$

Aplicația numerică, prezentată în tabelul alăturat, acoperă domeniul de variație a lui x_1

între 147 și 10000 ppm $\frac{D}{H+D}$, respectând condiția ca $x_1 \leq 1\%$, respectiv $x_1 \ll 1$.

Tabel 1

x_1 $\frac{D}{H+D} 10^{-6}$	x_2 $\frac{D}{H+D} 10^{-6}$	$\ln x_1$	$\ln x_2$	s	τ $\frac{\text{mol}}{\text{sec}} 10^{-6}$
147	147	4,99	4,99	1	0,0
200	166	5,298	5,11	1,2	0,93
600	314	6,397	5,75	1,9	7,93
1000	462	6,9	6,135	2,1	14,93
2000	832	7,6	6,76	2,4	32,43
3000	1202	8,0	7,09	2,5	49,93
5000	1942	8,517	7,57	2,57	84,93
7500	2867	8,92	7,96	2,61	128,68
10000	3792	9,21	8,24	2,63	172,43

cu $S_{\max} = 2,7 S$

BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Peculea: Procesul de umidificare/dezumidificare din ansamblul instalației biterme de separare izotopică H₂O – H₂S. Ed. AGIR - București - 2009.
- [2] M. Peculea: *Unitatea de transfer la curgerea în contracurent*. Studia Universitatis Babeș Bolyai, Physica - L3, 2005, pg. 15 - 34.
- [3] M. Peculea: *Diagrama t – T pentru calculul procesului de umidificare în coloane*. Revista de Chimie, vol. 28, Nr. 10, 1977, pg. 962 - 968.

- [4] M. Peculea: *Diagrama de temperaturi și unitatea de transfer în schimbul de căldură*. Revista de Chimie, vol. 30, Nr. 2, 1979, pg. 159 - 164.
- [5] M. Peculea: *Asupra schimbătoarelor de căldură legate în cascadă criogenică*. Studii de Termodinamică Aplicată, Nr. 2, 2005, pg. 28 - 31.
- [6] M. Peculea: *Critica schimbului izotopic apă-hidrogen*. Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, vol. 9, Nr. 9 - 10, 2002, pg. 3 - 15.
- [7] N. Polibroda: *Approach to the Theory of Separating Columns with Successive Exchange between three Fluids*. Zeitschrift für Naturforschung, vol. 21a, Nr. 6, 1966, pg. 745 - 749.