

SRĐAN M. PEJANOVIĆ¹
RADMILA V.
GARIĆ-GRULOVIĆ²
PREDRAG P. BOZALO³

¹Tehnološko-metalurški fakultet
Univerziteta u Beogradu

²Institut za Hemiju, tehnologiju i
metalurgiju, Beograd

³Industrija boja i lakova "Duga",
Beograd

NAUČNI RAD

532.54+66-912:66.021.2.001.5

APSORPCIJA U KOLONI SA POKRETNIM PUNJENJEM

II Ispitivanja karakteristika prenosa mase

Brzina apsorpcije ugljendioksida iz smeše sa vazduhom u vodene rastvore dietanolamina različitih koncentracija određivana je u koloni sa trofaznim fluidizovanim slojem inertnih sfera. Korišćenjem metode Danckwerts-ove zavisnosti, dobijene su vrednosti efektivne međufazne površine kontakta po jedinici zapremine statičkog sloja punjenja i koeficijenta prelaza mase ugljendioksida sa strane gasa i sa strane tečnosti u funkciji protoka tečnosti.

Metoda Danckwerts-ove zavisnosti, bazirana na teoriji dva filma, uspešno je primenjivana za simultano određivanje međufazne površine i koeficijenta prelaza mase sa strane tečnosti za fizičku apsorpciju [1] ili međufazne površine i koeficijenta prelaza mase sa strane gasa [2,3]. Izabrani apsorpcioni sistem (apsorpcija ugljendioksida u vodene rastvore dietanolamina), međutim, pruža mogućnost istovremenog određivanja sve tri pomenute veličine, što je pokazano u ovom radu, a nije objavljeno u dostupnoj literaturi. Noviji radovi iz ove oblasti [4-10] uglavnom obrađuju kinetiku hemisorpcije ugljendioksida u rastvorima alkoholamina ili njihovih smeša. S druge strane, raspoloživi podaci za ponašanje koeficijenta prelaza mase i sa strane gasa i sa strane tečnosti, pri promeni protoka tečnosti i gasa su oskudni [2,3] i navedeni bez ikakvog objašnjenja ili obrazloženja. Zbog toga je osnovni cilj ovog rada bio da se pokaže da se metoda Danckwerts-ove zavisnosti može koristiti za simultano određivanje specifične međufazne površine i koeficijenta prelaza mase sa strane tečnosti i gasa i da se utvrdi i objasni ponašanje ovih veličina pri promeni protoka tečnosti, na osnovu poznavanja hidrodinamičkih karakteristika kolone sa trofaznim fluidizovanim slojem, koje su određene u prvom delu ovog rada.

EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalna ispitivanja obavljena su u koloni sa trofaznim fluidizovanim slojem inertnih sfera, na aparaturi shematski prikazanoj u prvom delu ovog rada [11].

Gasnu fazu predstavljala je smeša 3,335 mol% ugljendioksida i 96,665 mol% vazduha. Protok ugljendioksida meren je rotametrom, a vazduha baždarenom prigušnom pločom. Ukupan protok gasne smeše je u svim eksperimentima bio konstantan i iznosio je pribli-

Adresa autora: Srđan Pejanović, Tehnološko-metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnegijeva 4
e-mail adresa: ognjenpc@beotel.yu
Rad primljen: Jun 10, 2003
Rad prihvaćen: Jul 10, 2003

žno 23,5 m³/h, što odgovara prividnoj površinskoj brzini gasa od 0,687 m/s. Vodeni rastvori dietanolamina koncentracija 0,2; 0,3; 0,4 i 0,6 mol/l, korišćeni su kao tečna faza. Protoci tečnosti su menjani i iznosili su 400, 700 i 1000 l/h, što odgovara prividnim površinskim brzinama od 1,170, 2,046 i 2,923 cm/s. Za vreme trajanja jednog eksperimenta (pri određenom protoku tečnosti i određenoj početnoj koncentraciji dietanolamina), tečnost je recirkulisana kroz kolonu pomoću pumpe iz rezervoara zapremine 23 l. Promena koncentracije dietanolamina sa vremenom do 20% konverzije, praćena je konduktometrijski. Pri apsorpciji ugljendioksida u vodene rastvore amina, naime, nastaju joni R₂NH₂⁺ i R₂NCOO⁻, koji utiču na porast specifične provodljivosti rastvora. Na taj način napravljeni su baždarni dijagrami zavisnosti specifične provodljivosti rastvora od koncentracije neproreagovalog amina, što daje mogućnost on-line praćenja napredovanja reakcije hemisorpcije sa vremenom. Čvrstu fazu predstavljale su inertne šuplje polipropilenske sfere gustine 0,322 g/cm³ i prečnika 10 mm, a početna visina statičkog sloja punjenja iznosila je 210 mm.

TEORETSKI MODEL PROCESA

Zbirna reakcija ugljendioksida sa aminima može se predstaviti kao:



Vrednosti konstante ravnoteže reakcije ugljendioksida sa amonijakom, mono i dietanolaminom dao je Danckwerts [1] u sledećem obliku:

$$K_C = \frac{[CO_2][R_2NH]^2}{[R_2NCOO^-][R_2NH_2^+]} \quad (2)$$

Danckwerts [1] je takođe dao i izraz za određivanje specifične brzine apsorpcije ugljendioksida u vodene rastvore amina:

$$N_a = [[CO_2]^* - [CO_2]_e] \cdot a \cdot \sqrt{(k_L^0)^2 + D_{CO_2} \cdot k_{Am} [R_2NH]} \quad (3)$$

Izraz (3) važi ukoliko je otpor prelazu mase ugljen-dioksida sa strane gasa zanemarljivo mali u odnosu na otpor prelazu mase ugljendioksida sa strane tečnosti i ako je ispunjen uslov:

$$\frac{2[\text{CO}_2]^* - [\text{CO}_2]_e}{[\text{R}_2\text{NH}]} \left(1 - \frac{\tanh\sqrt{M}}{\sqrt{M}}\right) \ll 1 \quad (4)$$

$$4 \cdot [\text{CO}_2]_e \left(\frac{1}{[\text{R}_2\text{NH}]} + \frac{1}{2[\text{R}_2\text{NCOO}^-]} \right) + \frac{\tanh\sqrt{M}}{\sqrt{M}}$$

gde je:

$$\sqrt{M} = \frac{\sqrt{D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]}}{k_L^0}$$

U izrazu (4) koncentracija ugljendioksida u rastvoru amina koja u uslovima ravnoteže odgovara parcijalnom pritisku ugljendioksida u gasu, $[\text{CO}_2]^*$, određuje se kao proizvod rastvorljivosti ugljendioksida u rastvoru H, i srednjeg parcijalnog pritiska ugljendioksida u gasu. Difuzivnost ugljendioksida u rastvoru amina, D_{CO_2} , konstanta brzine reakcije ugljendioksida sa aminima, k_{Am} , i rastvorljivost ugljendioksida u rastvoru amina, H, određuju se na način pokazan u literaturi [12] i detaljno obrađen u Magistarskom radu [13]. Koncentracija ugljendioksida u rastvoru amina $[\text{CO}_2]_e$, koja je u ravnoteži sa lokalnim koncentracijama $[\text{R}_2\text{NH}]$, $[\text{R}_2\text{NHCOO}^-]$ i $[\text{R}_2\text{NH}_2^+]$, određuje se poznavajući konstante ravnoteže K_c , po izrazu (2).

Sve ove veličine zavise od temperature, te su određene za srednju temperaturu rastvora tokom trajanja svakog pojedinačnog eksperimenta. Opseg mogućih vrednosti koeficijenta prelaza mase sa strane tečnosti za fizičku apsorpciju ugljendioksida, k_L^0 procenjen je na osnovu literaturnih podataka za ovakav tip kontaktora.

Na taj način konstatovano je da je izraz (4) zadovoljen za sve odabrane eksperimentalne uslove, kao i da je pri uslovima maksimalne konverzije amina od 20%, uvek $[\text{CO}_2]_e \ll [\text{CO}_2]^*$, pa se reakcija (1) može smatrati nepovratnom, a specifična brzina apsorpcije određivati po izrazu:

$$\bar{N}_a = [\text{CO}_2]^* \cdot a \sqrt{(k_L^0)^2 + D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]} \quad (3a)$$

U izrazu (3a) kvadratni ustvari predstavlja koeficijent prelaza mase sa strane tečnosti za hemisorpciju ugljendioksida u rastvorima amina, k_L .

Ukoliko otpor prelazu mase ugljendioksida sa strane gasa nije zanemarljivo mali u poređenju sa otporom prelazu sa strane tečnosti, onda se i on mora uzeti u obzir. Po teoriji dva filma je:

$$\frac{1}{K_{\text{Ga}}} = \frac{1}{k_{\text{Ga}}} + \frac{H_e}{k_{\text{La}}} \quad (5)$$

Odnosno, pošto je:

$$\bar{N}_a = K_{\text{Ga}} \cdot \bar{p}_{\text{CO}_2} \quad (6)$$

$$k_L = \sqrt{(k_L^0)^2 + D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]} \quad (7)$$

dobija se:

$$\frac{\bar{p}_{\text{CO}_2}}{\bar{N}_a} = \frac{1}{k_{\text{Ga}}} + \frac{H_e}{a \cdot \sqrt{(k_L^0)^2 + D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]}} \quad (5a)$$

U izrazu (5a) vrednost konstante Henrijevog zakona H_e je recipročna vrednost rastvorljivosti ugljendioksida, H.

Srednji parcijalni pritisak ugljendioksida u gasu \bar{p}_{CO_2} , određuje se kao aritmetička sredina parcijalnih pritiska ugljendioksida u ulaznom i izlaznom gasu, po izrazu:

$$\bar{p}_{\text{CO}_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{J_{\text{CO}_2}}{J_{\text{CO}_2} + J_V} p^0 + \frac{J_{\text{CO}_2} - \bar{N}_a V_s}{J_{\text{CO}_2} + J_V - \bar{N}_a V_s} p^1 \right) \quad (8)$$

$\bar{N}_a V_s$ je srednja brzina apsorpcije ugljendioksida, koja se može odrediti eksperimentalno, praćenjem promene koncentracije amina sa vremenom, po izrazu:

$$\bar{N}_a = \frac{1}{2} \frac{\Delta [\text{R}_2\text{NH}] V}{\tau V_s} \quad (9)$$

Faktor 1/2 je uključen jer stehiometrijski reaguje jedan mol ugljendioksida sa dva mola amina. Pri većim koncentracijama amina pri kojima je $(k_L^0)^2 \ll D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]$ zavisnost $\bar{p}_{\text{CO}_2}/\bar{N}_a$ od $H_e/\sqrt{D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]}$ bi trebalo da je pravolinijska sa nagibom 1/a i odsečkom na ordinatnoj osi $1/(k_{\text{Ga}})$, odakle se pri određenim protocima gasa i tečnosti mogu odrediti vrednosti specifične međufazne površine i koeficijenta prelaza mase sa strane gasa.

Međutim, pri manjim koncentracijama amina pri kojima više nije $(k_L^0)^2 \ll D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]$, doći će do odstupanja eksperimentalnih tačaka od pomenute pravolinijske zavisnosti. Na osnovu veličine ovih odstupanja, moguće je proceniti i vrednosti koeficijenta prelaza mase sa strane tečnosti, za fizičku apsorpciju ugljendioksida. Tako se Danckwerts-ova zavisnost može iskoristiti za simultano određivanje međufazne površine i koeficijenta prelaza mase i sa strane gasa i sa strane tečnosti za fizičku apsorpciju.

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazane su eksperimentalno izmerene vrednosti parametara procesa hemisorpcije ugljendioksida u vodenim rastvorima dietanolamina, a u tabeli 2, na osnovu njih izračunate i prema literaturi određene vrednosti svih veličina koje figurišu u izrazu (5a), a koji predstavlja Danckwerts-ovu zavisnost.

Na osnovu podataka iz tabele 2, nacrtan je dijagram zavisnosti $1/K_{\text{Ga}}$ od $H_e/\sqrt{D_{\text{CO}_2} \cdot k_{\text{Am}} [\text{R}_2\text{NH}]}$ za različita protoka tečnosti, koji je prikazan na slici 1.

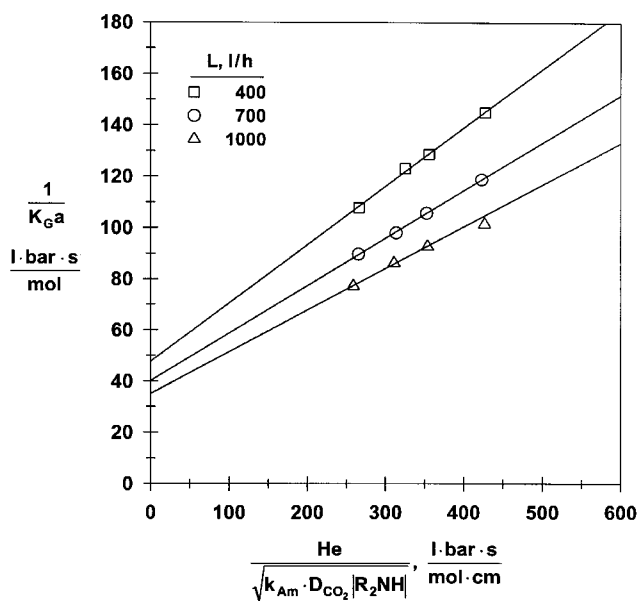
Iz nagiba dobijenih pravih linija izračunate su vrednosti specifične međufazne površine, a iz odsečka na

Tabela 1. Eksperimentalno merene vrednosti tokom procesa apsorpcije ugljendioksida
Table 1. Measured values during carbon dioxide chemisorption

| Broj eksp. | L [l/h] | [R ₂ NH] ₀ [mol/l] | Δ [R ₂ NH] [mol/l] | [R ₂ NH] [mol/l] | τ [s] | p ⁰ [bar] | p ¹ [bar] | t _{sr} [°C] |
|------------|---------|--|-------------------------------|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 1000 | 0.2 | 0.04 | 0.18 | 720 | 1.0147 | 1.0000 | 25.6 |
| 2 | 1000 | 0.3 | 0.06 | 0.27 | 990 | 1.0147 | 1.0000 | 26.7 |
| 3 | 1000 | 0.4 | 0.08 | 0.36 | 1230 | 1.0147 | 1.0000 | 26.5 |
| 4 | 1000 | 0.6 | 0.12 | 0.54 | 1660 | 1.0147 | 1.0000 | 28.4 |
| 5 | 700 | 0.2 | 0.04 | 0.18 | 840 | 1.0127 | 1.0000 | 26.6 |
| 6 | 700 | 0.3 | 0.06 | 0.27 | 1125 | 1.0127 | 1.0000 | 27.2 |
| 7 | 700 | 0.4 | 0.08 | 0.36 | 1395 | 1.0127 | 1.0000 | 25.0 |
| 8 | 700 | 0.6 | 0.12 | 0.54 | 1920 | 1.0127 | 1.0000 | 25.8 |
| 9 | 400 | 0.2 | 0.04 | 0.18 | 1020 | 1.0107 | 1.0000 | 25.2 |
| 10 | 400 | 0.3 | 0.06 | 0.27 | 1365 | 1.0107 | 1.0000 | 26.1 |
| 11 | 400 | 0.4 | 0.08 | 0.36 | 1740 | 1.0107 | 1.0000 | 22.0 |
| 12 | 400 | 0.6 | 0.12 | 0.54 | 2295 | 1.0107 | 1.0000 | 25.1 |

Tabela 2. Izračunate vrednosti promenljivih koje figurišu u Danckwerts-ovoj zavisnosti
Table 2. Calculated values of the variables participating in the Danckwerts plot relation

| Broj eksp. | $\bar{N} \cdot 10^4$ [mol/l · s] | $\bar{N} a V_s \cdot 10^4$ [mol/s] | $\bar{p}_{CO_2} \cdot 10^2$ [bar] | k _{Am} [l/mol · s] | D _{CO₂} · 10 ⁵ [cm ² /s] | He [l · bar/mol] |
|------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|------------------|
| 1 | 3.2025 | 6.3889 | 3.2485 | 1550 | 1.814 | 30.349 |
| 2 | 3.4936 | 6.9697 | 3.2383 | 1640 | 1.772 | 31.348 |
| 3 | 3.7492 | 7.4797 | 3.2295 | 1620 | 1.720 | 31.162 |
| 4 | 4.1650 | 8.3133 | 3.2150 | 1790 | 1.676 | 32.938 |
| 5 | 2.7450 | 5.4762 | 3.2610 | 1630 | 1.861 | 31.256 |
| 6 | 3.0744 | 6.1333 | 3.2495 | 1680 | 1.790 | 31.807 |
| 7 | 3.3058 | 6.5950 | 3.2415 | 1500 | 1.670 | 29.820 |
| 8 | 3.6026 | 7.1875 | 3.2312 | 1565 | 1.565 | 30.532 |
| 9 | 2.2606 | 4.5098 | 3.2745 | 1515 | 1.807 | 29.996 |
| 10 | 2.5338 | 5.0549 | 3.2650 | 1590 | 1.745 | 30.801 |
| 11 | 2.6503 | 5.2874 | 3.2609 | 1280 | 1.525 | 27.263 |
| 12 | 3.0141 | 6.0131 | 3.2483 | 1510 | 1.547 | 29.908 |



Slika 1. Dijagram Danckwerts-ove zavisnosti
Figure 1. Danckwerts plot diagram

Tabela 3. Specifična međufazna površina i koeficijent prelaza mase sa strane gasa

Table 3. Specific interfacial area and gas-side mass transfer coefficient

| L [l/h] | u _L [cm/s] | a [cm ⁻¹] | k _G · 10 ³ [(mol · cm)/(l · bar · s)] |
|---------|-----------------------|-----------------------|---|
| 400 | 1,170 | 4,38 | 4,78 |
| 700 | 2,046 | 5,38 | 4,63 |
| 1000 | 2,923 | 6,13 | 4,65 |

ordinatnoj osi koeficijenti prelaza mase ugljendioksida sa strane gasa, u funkciji protoka tečnosti i prikazani su u tabeli 3.

Dobijene vrednosti za specifičnu međufaznu površinu se vrlo dobro slažu sa literaturnim podacima [2,3] i rastu sa porastom protoka tečnosti što je očekivano i takođe zabeleženo u literaturi [3]. Međutim, dobijene vrednosti koeficijenta prelaza mase ugljendioksida sa strane gasa, značajno su manje od vrednosti objavljenih u literaturi [2,3], što se može pripisati manjoj gustini pu-

njenja korišćenog u ovom radu nego u radovima [2,3]. Na taj način je i udeo otpora prelazu mase ugljendioksida sa strane gasa u ukupnom otporu prenosu relativno velik i u zavisnosti od korišćene koncentracije dietanolamina iznosio 30 – 50%.

S druge strane, u radu [3] konstatovano je da koeficijent prelaza mase ugljendioksida sa strane gasa opada sa porastom protoka tečnosti, dok je u ovom radu praktično neosetljiv na promenu protoka tečnosti. U prvom delu ovog rada zaključeno je da porast protoka tečnosti izaziva blagi porast stvarne srednje brzine gasa kroz dinamički sloj, pa bi čak trebalo očekivati i odgovarajući porast koeficijenta prelaza mase ugljendioksida sa strane gasa pri porastu protoka tečnosti. Međutim korišćena eksperimentalna tehnika pri određivanju zapremine zadržane tečnosti u dinamičkom sloju punjenja, nije omogućavala određivanje zapremine zadržane tečnosti baš u samom sloju već i u delu kolone ispod i iznad sloja. Pretpostavljajući da zapremina zadržane tečnosti u samom sloju iznosi 50% od zapremine u celoj koloni, dolazi se do zaključka da se udeo gasa u dinamičkom sloju, a time i stvarna srednja brzina gasa kroz sloj praktično ne menjaju sa porastom protoka tečnosti, čime bi se mogla objasniti i zabeležena neosetljivost koeficijenta prelaza mase ugljendioksida sa strane gasa na promenu protoka tečnosti.

Sa slike 1 se može videti da pri protoku tečnosti od 1000 l/h i pri početnoj koncentraciji dietanolamina od 0,2 mol/l (eksperiment broj 1), eksperimentalna tačka primetno odstupa od prikazane pravolinijske zavisnosti. Razlog ovom odstupanju je da pri tim eksperimentalnim uslovima (k_L^0)² više nije zanemarljivo malo u poređenju sa $D_{CO_2} \cdot k_{Am} [R_2NH]$. Iz pomenutog odstupanja procenjeno je da koeficijent prelaza mase ugljendioksida sa strane tečnosti, za fizičku apsorpciju iznosi oko $2 \cdot 10^{-2}$ cm/s.

Poznajući ovu vrednost, u sledećem koraku može se odrediti ona vrednost tog koeficijenta koja najbolje fituje eksperimentalne vrednosti na pravolinijskoj zavisnosti od $1/K_G$ od $He/\sqrt{(k_L^0)^2 + D_{CO_2} \cdot k_{Am} [R_2NH]}$. Postupajući na ovaj način dobijena vrednost za koeficijent prelaza mase ugljendioksida sa strane tečnosti, za fizičku apsorpciju iznosi $1,77 \cdot 10^{-2}$ cm/s, pri protoku tečnosti od 1000 l/h.

Pri protocima tečnosti od 400 i 700 l/h odstupanje eksperimentalnih tačaka od pravolinijske zavisnosti nije registrovano, što znači da su vrednosti koeficijenta prelaza mase ugljendioksida sa strane tečnosti, za fizičku apsorpciju pri tim protocima tečnosti manje od vrednosti određene za protok od 1000 l/h. Stoga se može zaključiti da koeficijent prelaza mase ugljendioksida sa strane tečnosti, za fizičku apsorpciju raste sa porastom protoka tečnosti, što je očekivano jer porast protoka tečnosti izaziva i porast stvarne srednje brzine tečnosti kroz dinamički sloj punjenja.

ZAKLJUČAK

U trofaznom fluidizovanom sloju inertnih sfera ostvaruju se značajno veće vrednosti specifične međufazne površine nego kod kolona sa nepokretnim punjenjem. Porast protoka tečnosti u ovakvim kontaktorima izaziva intenziviranje međufazne aktivnosti koje se ogleda u porastu specifične međufazne površine i koeficijenta prelaza mase sa strane tečnosti za fizičku apsorpciju, dok koeficijent prelaza mase sa strane gasa ostaje praktično nepromenjen. Pravilnim izborom operativnih promenljivih, primenom adekvatne hemijske reakcije i odgovarajućih koncentracija reaktanata, meto Danckwerts-ove zavisnosti može se iskoristiti za simultano određivanje specifične međufazne površine i koeficijenta prelaza mase s obe strane granične površine između tečnosti i gasa.

LISTA UPOTREBLJENIH SIMBOLA

| | |
|----------------------------|---|
| a [cm^{-1}] | – međufazna površina po jedinici zapremine statičkog sloja punjenja |
| $[CO_2]$ [mol/l] | – koncentracija ugljendioksida u rastvoru |
| $[CO_2]^*$ [mol/l] | – koncentracija ugljendioksida u rastvoru koja u uslovima ravnoteže odgovara parcijalnom pritisku ugljendioksida u gasu |
| $[CO_2]_e$ [mol/l] | – koncentracija ugljendioksida u rastvoru koja je u ravnoteži sa lokalnim koncentracijama $[R_2NH]$, $[R_2NH_2^+]$ i $[R_2NCOO^-]$ |
| D_{CO_2} [cm^2/s] | – difuzivnost ugljendioksida u rastvoru |
| H [mol/(l bar)] | – rastvorljivost ugljendioksida u rastvoru |
| He [(l bar)/mol] | – konstanta Henrijevog zakona |
| J_{CO_2} [mol/s] | – molski protok ugljendioksida |
| J_v [mol/s] | – molski protok vazduha |
| k_{Am} [l/(mol s)] | – konstanta brzine reakcije ugljendioksida i amina sleva udesno |
| K_G [(mol cm)/(l bar s)] | – ukupni koeficijent prenosa mase |
| k_G [(mol cm)/(l bar s)] | – koeficijent prelaza mase sa strane gasa |
| k_L^0 [cm/s] | – koeficijent prelaza mase sa strane tečnosti za fizičku apsorpciju |
| k_L [cm/s] | – koeficijent prelaza mase sa strane tečnosti za hemisorpciju |
| L [l/h] | – zapreminski protok tečnosti |
| Na [mol/(l s)] | – brzina apsorpcije po jedinici zapremine statičkog sloja punjenja |
| p^0 [bar] | – apsolutni pritisak na ulazu u kolonu |
| p^1 [bar] | – apsolutni pritisak na izlazu iz kolone |
| \bar{p}_{CO_2} [bar] | – srednji parcijalni pritisak ugljendioksida u gasu |
| $[R_2NH]$ [mol/l] | – trenutna ili srednja koncentracija amina u rastvoru |
| $[R_2NH]_0$ [mol/l] | – početna koncentracija amina u rastvoru |
| $\Delta[R_2NH]$ [mol/l] | – promena koncentracije amina tokom eksperimenta |
| t_{sr} [$^{\circ}C$] | – srednja temperatura rastvora tokom eksperimenta |
| u_L [cm/s] | – prividna površinska brzina tečnosti |
| V [l] | – zapremina rastvora u recirkulacionom toku |

V_s [l] – zapremina statičkog sloja punjenja
 τ [s] – vreme trajanja hemisorpcije do 20% konverzije amina

LITERATURA

- [1] P.V. Danckwerts, "Gas-Liquid Reactions", Mc Graw-Hill Book Co., N.Y., 1970
- [2] D.L. Keairns, Fluidization Technology, Volume I, Hemisphere Publishing Corp., Washington, 1976.
- [3] M. Wozniak and K. Ostergaard, Chem. Eng. Sci., **28** (1) (1973) 167.
- [4] G. F. Versteeg and M.H. Oyevaar, Chem. Eng. Sci., **44** (5) (1989) 1264.
- [5] P.M.M. Blauwhoff, G. F. Versteeg and W.P.M. Swaaij, Chem. Eng. Sci., **39** (2) (1984) 207.
- [6] D. Barth, C. Tondre and J.J. Delpuech, Int. J. Chem. Kinetics, **15** (1983) 1147.
- [7] E.B. Rinker, S.S. Ashour and O.C. Sandall, Ind. Eng. Chemistry Research, **35** (1996) 1107.
- [8] M.E. Adams, T.L. Marshall and R.L. Rowley, J. Chem. Eng. Data **43**(4) (1998) 605.
- [9] T. Suda, M. Iijima, H. Tanaka, S. Mitsuoka and T. Iwaki, Environmental Progress, **16**(3) (1998) 200.
- [10] D.A. Glasscock J.E. Critchfield and G.T. Rochelle, Chem.Eng.Sci., **46**(11) (1991) 2829.
- [11] S. Pejanović, Hemijska Industrija, u štampi.
- [12] P. V. Danckwerts and M.M. Sharma, Chem. Engr. CE 244, (1966).
- [13] S. Pejanović, Magistarski rad, TMF, Beograd, 1977.

SUMMARY

ABSORPTION IN A THREE-PHASE FLUIDIZED BED
 II Mass transfer investigations

(Scientific paper)

Srdjan M. Pejanović¹, Radmila V. Garić-Grulović² and Predrag P. Božalo³

¹Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade,

²Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Belgrade,

³DUGA Holding ad, Polymers, Paints and Chemicals Manufacturing Corp., Belgrade

The absorption of carbon dioxide in aqueous diethanolamine solutions was carried out in a three-phase fluidized bed with inert spherical packing. The rate of absorption was calculated on the basis of measuring the concentration change in the liquid phase on-line by a conductivity probe. It was shown that the Danckwerts plot method might be successfully used to simultaneously determine the effective interfacial area and both the gas and liquid-side mass transfer coefficients. While the gas-side mass transfer coefficient is independent of the liquid flow rate, the effective interfacial area and liquid-side mass transfer coefficient increase with increasing liquid flow rate.

Key words: Three-phase fluidized bed • Interfacial area • Mass transfer coefficient •

Ključne reči: Trofazni fluidizovani sloj • Međufazna površina • Koeficijenti prelaza mase •