



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

MODELAREA COLOANELOR DE DESORȚIE UTILIZATE ÎN CAPTAREA DIOXIDULUI DE CARBON

Ionuț MUNTEAN, Andreea SAVU, Daniela BORDENCEA,
Sergiu MAN, Bogdan MUREȘAN, Mihail ABRUDEAN

MODELLING OF DESORPTION COLUMNS USED IN CARBON CAPTURE PROCESSES

As the CO₂ emissions continue to grow due to the increase in demand of cement, steel, iron, ammonia, natural gas and other products that in the process of manufacturing produce significant CO₂ emissions an alternative solution needs to be found. The solution is represented by adsorption-desorption processes that are being used to capture CO₂. This paper will focus on the desorption column and a modelling algorithm will be presented based on first principle equations.

Keywords: adsorption desorption, reactive distillation, CO₂
Cuvinte cheie: adsorpție-desorpție, distilare reactivă, CO₂

1. Introducere

Introducerea unei secțiuni speciale la Conferința Distillation and Absorption 2010 dedicată metodelor de captare a dioxidului de carbon nu face altceva decât să confirme creșterea interesului în reducerea emisiilor de dioxid de carbon. Acest aspect a fost subliniat și de prezența unui număr mai mare de participanți din rândul companiilor

decât din rândul institutelor de cercetare, companii care dețin propriile departamente de cercetare și care investesc în îmbunătățirea procedurilor deja existente sau în găsirea unor alternative mai eficiente la soluțiile disponibile în momentul de față.

Una dintre cele mai răspândite metode de captare a dioxidului de carbon se bazează pe utilizarea mono-etanol-aminei (MEA) ca și solvent într-un proces de absorbție-desorbție [2, 3]. Solventul are rolul de a capta moleculele de CO_2 în procesul de absorbție la o presiune de aproximativ 10 bar într-un nou compus „carbamat”, care sub influența temperaturii ($\sim 120^\circ\text{C}$ și 2 bar) se descompune în amină și CO_2 . Astfel are loc creșterea concentrației de dioxid de carbon de la 20 – 30 % până la 99 %.

Lucrarea va face o scurtă trecere în revistă a procesului studiat, iar apoi se va prezenta un model dinamic destinat coloanelor de desorbție.

2. Procesele de absorbție-desorbție

O reprezentare schematică a procesului de captare a CO_2 este prezentat în figura 1.

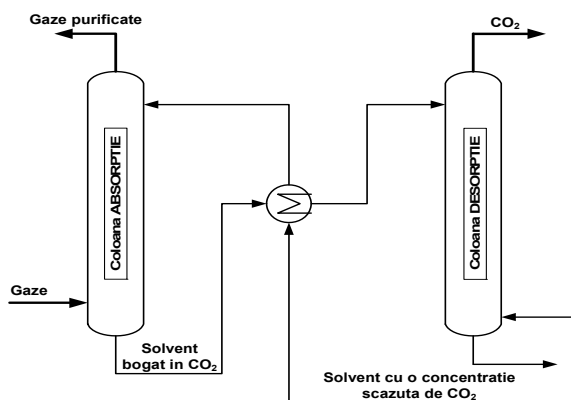
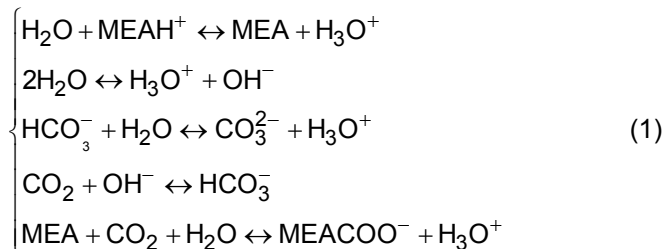


Fig. 1 Reprezentarea schematică a procesului de absorbție-desorbție

Gazele cu o concentrație ridicată de CO_2 sunt introduse în coloana de absorbție unde dioxidul de carbon va reacționa cu o soluție de MEA a cărei concentrație este, uzual, sub 30 % pentru a evita corodarea coloanei. În continuare, solventul bogat în CO_2 va ajunge în coloana de desorbție unde, sub influența temperaturii va avea loc

reacția inversă, și anume desprinderea moleculelor de dioxid de carbon din solvent, iar CO₂, acum în concentrație de 99 % va putea fi extras din partea superioară a coloanei. Reacțiile chimice care au loc în interiorul procesului sunt [4]:



3. Modelarea coloanei de desorpție

Procesul de desorpție poate fi considerat echivalent distilării reactive unde, pornind de la ecuațiile bilanțurilor pentru procesele de distilare, se va mai introduce un termen corespunzător ratei de reacție a fiecărui compus în parte [5]. Ecuațiile bilanțurilor nu vor mai fi prezentate aici, dar sugerăm lucrările lui McAvoy și Skogestad [6, 7]; două studii bibliografice asupra metodelor de modelare ale coloanelor de distilare.

Astfel, pentru fiecare reacție $A+B \leftrightarrow C+D$ avem:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{eq}} = \exp(C_1 + C_2 / T + C_3 / T^2 + \dots), \\ K_f = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \end{array} \right. \quad (2)$$

cu C_1, C_2, C_3, \dots sunt constante prezentate în [8] (Kent, 1976), iar K_f ecuația lui Arrhenius.

Luând în considerare cinetica reacțiilor ecuația ratei de reacție

$$\text{va fi [5]: } R_i = (K_f a_A a_B - \frac{K_f}{K_{\text{eq}}} a_C a_D) m_{\text{H}_2\text{O}} [\text{mol} / \text{sec}] \quad (3)$$

unde a_A, a_B, a_C și a_D

reprezintă constantele de activitate a fiecărui compus din reacție, iar $m_{\text{H}_2\text{O}}$ masa moleculară a apei.

Pentru a putea valida un model dinamic e nevoie ca procesul să fie condus, pentru un debit de alimentare constant, cel puțin o dată într-o direcție „low gain” și o dată într-o direcție „high gain” [9].

Regimul nominal de funcționare e caracterizat de un reflux de 7 kg/h, și o treaptă de energie termică de 30 % din capacitatea maximă a încălzitorului. Din acest regim s-a decis modificarea celor doi parametri astfel: pentru direcția „low gain” creșterea cu 20 % a refluxului la 8,4 kg/h și a energiei termice la 36 %, iar pentru direcția „high gain” creșterea refluxului la 8,4 kg/h și scăderea energiei termice din fierbător la 24 %. O reprezentare schematică a acestor variații, care vor fi utilizate pentru validarea modelului dinamic, este prezentată în figura 2.

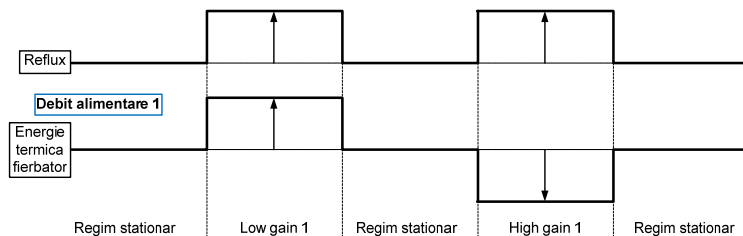


Fig. 2 Conducerea procesului în „low” și „high gain”

În figura 3 sunt reprezentate variațiile măsurate ale celor două mărimi de intrare. Perturbațiile care se pot observa în debitul de reflux de ordinul a 3-4 % provin de la variațiile debitului de alimentare a coloanei, care duce la modificări de presiune în coloană și implicit ale debitelor. Din păcate, nu este prevăzut un controler pentru reglarea debitului de alimentare a coloanei de desorpție, preferându-se menținerea constantă a refluxului în coloana de absorpție, coloană care determină randamentul separării.

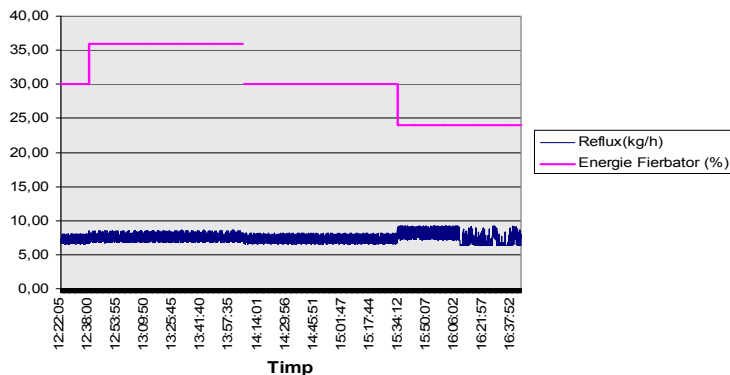


Fig. 3 Variațiile măsurate ale intrărilor în coloana de desorpție

Datorită variațiilor puternice ale concentrației în regimul nominal de funcționare până la aplicarea primei trepte, s-a decis neutilizarea acestor măsurători.

În figura 4 s-a reprezentat variația concentrației de CO₂ în partea superioară a coloanei de desorpție.

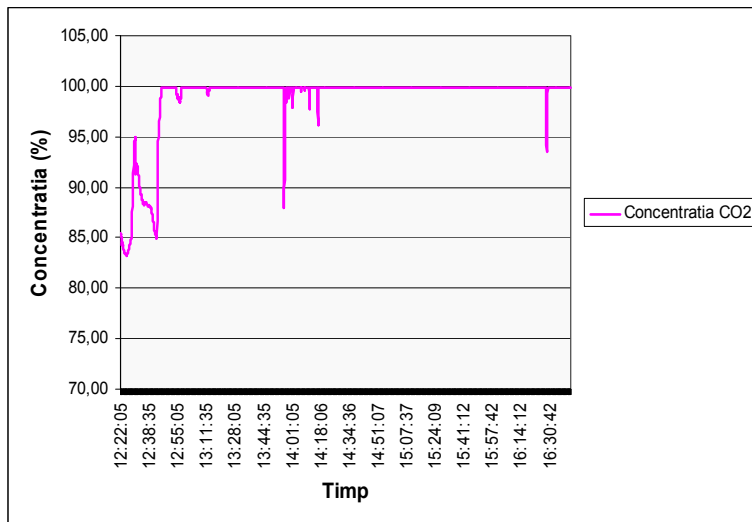


Fig. 4 Variația concentrației dioxidului de carbon

4. Concluzii

■ Lucrarea de față a făcut o scurtă prezentare a procesului de absorpție-desorpție pentru captarea dioxidului de carbon și a prezentat o modalitate de modelare dinamică a procesului de desorpție bazată pe ecuațiile bilanțurilor de material.

■ Pentru validarea modelului se vor utiliza datele experimentale prezentate în capitolul anterior unde, procesul a fost condus o dată în „high gain” și o dată în „low gain”.

Notă: Lucrare publicată în cadrul Proiectului de dezvoltare a studiilor de doctorat în tehnologii avansate "PRODOC" POSDRU/6/1.5/S/5 ID 7676.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Lestak, F., Stones, A., Bravo, J., *Shell's response to climate change and the challenges in innovation*, Distillation and Absorption 2010, Eindhoven.
- [2] Alatigi, I., Sabri, F., Bouhamra, W., Alper, E., *Steady-state rate-based modelling for CO₂ /amine absorption-desorption systems*, Gas Separation & Purification, Vol 8, 1992, pag. 3-11.
- [3] Mangalapally, H.P., Notz, R., Hoch, S., Aspiron, N., Sieder, G., Garcia, H. Hasse, H., *Pilot plant experimental studies of post combustion CO₂ capture by reactive absorption with MEA and new solvents*, Energy Procedia, 2008 pag. 963-970.
- [4] * * * *Rate-based model of the CO₂ capture process by MEA using Aspen Plus*, Aspen Technology, 2008.
- [5] Alejski, K., Duprat, F., *Dynamic simulation of the multicomponent reactive distillation*, Chemical Engineering Science, vol. 51/1996, pag. 4237-4252.
- [6] McAvoy, T.J., Wang, Y. H., *Survey of recent distillation control results*, ISA Transactions, vol. 25/1986, pag. 5–21.
- [7] Skogestad, S., *Dynamics and control of distillation columns - a critical survey*, IFAC Symposia Series, Issue 2, Dynamics and Control of Chemical Reactors, Distillation Columns and Batch Processes, 1993, pag. 11–35.
- [8] Kent, R.L., Eisenberg, B., *Better data for amine treating*, Hydrocarbon Process 55(2)/1976, pag. 87–90.
- [9] Zhu, Y., Stec, P., *Simple control-relevant identification test methods for a class of ill-conditioned processes*, Journal of Process Control, Vol. 16/2006, pag. 1113-1120.

Drd.Ing. Ionuț MUNTEAN,
membru AGIR
Drd.Ing. Andreea SAVU
Drd.Ing. Daniela BORDENCEA
Drd.Ing. Sergiu MAN
Drd.Ing. Bogdan MUREȘAN
Prof.Dr.Ing. Mihail ABRUDEAN

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultatea de Automatică și Calculatoare
Email: ionut.muntean@aut.utcluj.com