

Φυσικές Διεργασίες

Προβλήματα στην απορρόφηση αερίων που λύθηκαν στην τάξη

Πηγή: Δ. Μαρίνος-Κουρής, Ε. Παρλιάρου-Τσάμη, "Ασκήσεις Φυσικών Διεργασιών", Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994

Δευτέρα, 19 Μαΐου 2008

Πρόβλημα 1: Στήλη με δίσκους απορρόφησης ακετόνης (20.2.1)

Σε στήλη με δίσκους απορροφώνται κατ' αντιστροφή 90% ακετόνης από αέριο μίγμα 1,0% ακετόνης. Οι παροχές του μίγματος και του καθαρού νερού είναι 30 και 90 kmol/h, αντίστοιχα. Η διεργασία είναι ισοθερμική σε πίεση 101.3 kPa και θερμοκρασία 27 °C. Η καμπύλη ισορροπίας δίνεται από τη σχέση $y = 2.53 x$.

Ζητούνται: ο αριθμός θεωρητικών βαθμίδων, γραφικά και αναλυτικά.

Λύση:

Σύνοψη των δεδομένων:

$y_{N+1} = 0.01$, $x_0 = 0$ (καθαρό νερό), $G_{N+1} = 30$ kmol/h,

$L_0 = 90$ kmol/h, $y = 2.53 x$, $P = 101.3$ kPa,

Απορρόφηση ακετόνης ώστε $y_1 < y_{N+1}$.

Ζητούμενα: N

Γραφική μέθοδος:

Πρέπει να προσδιορίσουμε τη γραμμή λειτουργίας.

Επειδή το διάλυμα είναι αραιό θα ισχύει με καλή προσέγγιση:

$L_0 = L_N = L = 90$ kmol/h

$G_{N+1} = G_1 = G = 30$ kmol/h.

Τότε, η γραμμή λειτουργίας γράφεται ως εξής:

$$y_{N+1} = \frac{L}{G} x_N + \left[y_1 - \frac{L}{G} x_0 \right]$$

Γνωρίζουμε τα y_{N+1} και x_0 και μας λείπουν τα y_1 και x_N .

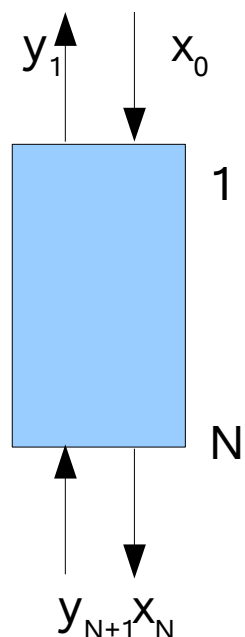
Αν $n_{G, N+1}$ είναι τα kmol της ακετόνης στην είσοδο του αερίου (βάση) και $n_{G, 1}$ τα αντίστοιχα στην έξοδο του αερίου (κορυφή), τότε, εφόσον απορροφάται το 90% του αερίου θα ισχύει

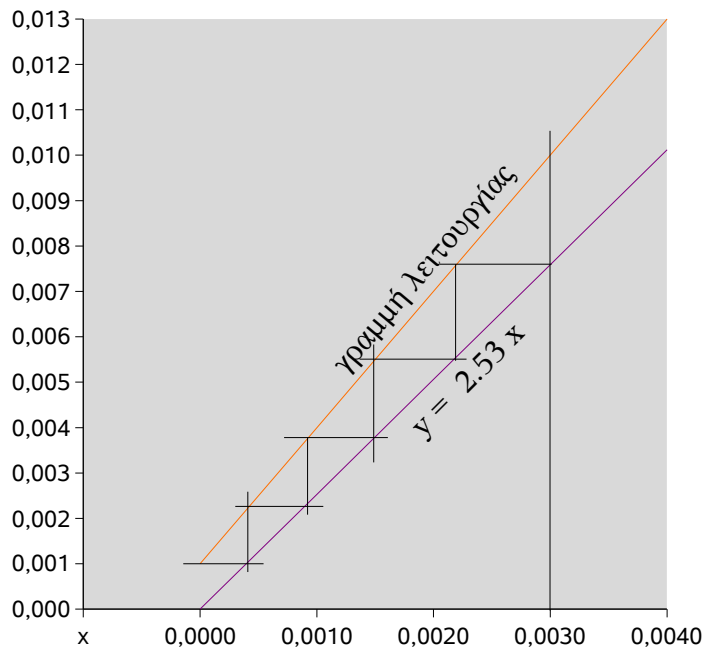
$$y_1 = \frac{n_{G, 1}}{G} = (1 - 0.9) \frac{n_{G, N+1}}{G} = 0.1 \frac{y_{N+1} G}{G} = 0.1 y_{N+1} = 0.001$$

Ομοίως, αν $n_{L, N}$ είναι τα kmol της ακετόνης στην είσοδο του υγρού (κορυφή) και $n_{L, 1}$ τα αντίστοιχα στην έξοδο του αερίου (βάση), τότε, εφόσον το 90% που απορροφάται από το αέριο μεταφέρεται στο υγρό, θα ισχύει

$$x_N = \frac{n_{L, N}}{L} = 0.9 \frac{n_{G, N+1}}{L} = 0.9 \frac{y_{N+1} G}{L} = 0.9 \frac{0.01 \times 30}{90} = 0.003$$

Σημείωση: θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε το ένα από τα δύο παραπάνω μοριακά κλάσματα, γνωρίζοντας το άλλο, μέσω της γραμμής λειτουργίας.





Τώρα, μπορούμε να σχεδιάσουμε τη γραμμή λειτουργίας αλλά και να ορίσουμε το σημείο από όπου ξεκινά ο υπολογισμός των βαθμίδων. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι ο αριθμός βαθμίδων είναι $N=5$

Αναλυτική μέθοδος:

Θεωρώντας ότι το μίγμα είναι αραιό και οι ροές αερίου και υγρού σταθερές, υπολογίζουμε την ποσότητα

$$A = L / Gm = 90 / (30 \times 2.53) = 1.185$$

Τότε, εφαρμόζοντας την εξίσωση

Kremser για απορρόφηση, έχουμε

$$N = \frac{\log \left[\frac{y_{N+1} - m x_0}{y_1 - m x_0} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\log A} = \frac{\log \left[\frac{0.01 - 0}{0.001 - 0} \left(1 - \frac{1}{1.185} \right) + \frac{1}{1.185} \right]}{\log 1.185} = 5.2$$

Πρόβλημα 2: Στήλη με δίσκους απορρόφησης αμμωνίας (20.2.2)

Αέριο μίγμα αμμωνίας απορροφάται σε στήλη με δίσκους με καθαρό νερό, από 5 mol% σε 0.01 mol%. Η παροχή αέρα και νερού (**προσοχή! όχι των μιγμάτων**) είναι 0.0135 και 0.036 kmol/s, αντίστοιχα. Η καμπύλη ισορροπίας δίνεται από τη σχέση $Y = X$ (με κεφαλαία συμβολίζονται τα τροποποιημένα κλάσματα υπολογισμένα ως προς το αδρανές αέριο ή τον διαλύτη). Ζητούνται: ο αριθμός των θεωρητικών βαθμίδων.

Λύση:

Σύνοψη των δεδομένων:

$$y_{N+1} = 0.05 \quad y_1 = 0.0001 \quad x_0 = 0 \\ L' = 0.036 \text{ kmol/s}, \quad G' = 0.0135 \text{ kmol/s}, \quad Y = X$$

Ζητούμενα: N

Η γραμμή λειτουργίας δίνεται από τη σχέση $G'(Y_{N+1} - Y_1) = L'(X_N - X_0)$ ή

$$Y = \frac{L'}{G'} X + Y_1 = 2.61 X + 0.0001$$

Για να την αξιοποιήσουμε πρέπει από τα μοριακά κλάσματα να υπολογίσουμε τα αντίστοιχα τροποποιημένα, που αναφέρονται στο αδρανές αέριο ή τον διαλύτη και όχι στο μίγμα:

$$y_{N+1} = 0.05 \Rightarrow Y_{N+1} = \frac{0.05}{1 - 0.05} = 0.0526$$

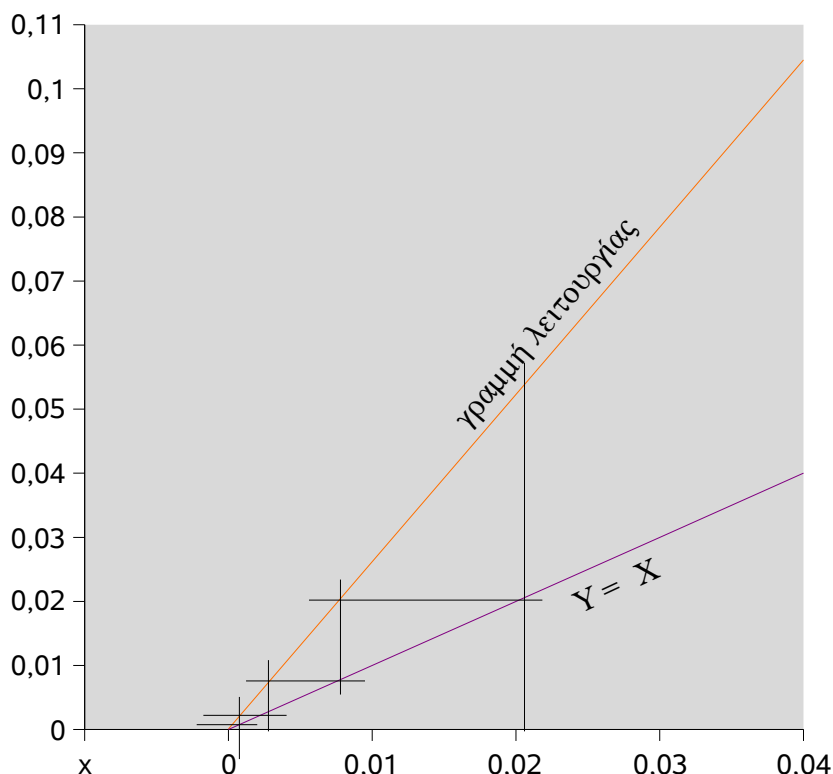
$$y_1 = 0.0001 \Rightarrow Y_1 = \frac{0.0001}{1 - 0.0001} = 0.0001$$

$$x_0 = 0 \Rightarrow X_0 = 0$$

Τότε βρίσκουμε ότι $0.135 (0.0526 - 0.0001) = 0.036 (X_N - 0) \Rightarrow X_N = 0.0201$.

Έτσι, γνωρίζουμε το σημείο από όπου ξεκινά ο υπολογισμός των βαθμίδων και μπορούμε να κάνουμε το σχετικό διάγραμμα:

Από το διάγραμμα προκύπτει
ότι $3 < N < 4$.



Πρόβλημα 3 (20.2.4)

Βενζόλιο απομακρύνεται από μίγμα βενζολίου-αέρα σε πύργο απορρόφησης με καθαρό λάδι. Το αέριο μίγμα εισέρχεται με παροχή $6.57 \times 10^{-3} \text{ kmol/s}$ και περιεκτικότητα 2.5% mol σε βενζόλιο και εξέρχεται με 1% mol. Πίεση λειτουργίας πύργου: 1atm, τάση ατμών στη μέση θερμοκρασία πύργου: 13.33 kPa.

Ζητούνται: η ελάχιστη παροχή λαδιού και η σύστασή του στην έξοδο. Να θεωρηθεί ιδανική συμπεριφορά για το αέριο. Ο υπολογισμός να γίνει θεωρώντας το μίγμα αραιό και να επαναληφθεί χωρίς την παραδοχή αυτή.

Λύση:

Σύνοψη των δεδομένων:

$y_{N+1} = 0.025$, $y_1 = 0.001$, $x_0 = 0$, $G = 6.57 \times 10^{-3} \text{ kmol/s}$, $P = 1 \text{ atm}$, $P^0 = 13.33 \text{ kPa}$.

Ζητούμενα:

$L_{\min}$, x_N .

Για αραιά διαλύματα:

$G_{N+1} = G_1 = G$

$L_0 = L_N = L$

Λόγω της παραδοχής ιδανικής συμπεριφοράς (οι νόμοι Raoult και Henry ταυτίζονται), η σταθερά ισορροπίας μπορεί να βρεθεί από τη σχέση $m = \frac{P^0}{P} = \frac{13.33}{101.3} = 0.132$, άρα η γραμμή ισορροπίας δίνεται από $y = 0.132 x$.

Όταν η παροχή λαδιού είναι ελάχιστη, η γραμμή λειτουργίας τέμνει τη γραμμή ισορροπίας και το εξερχόμενο λάδι είναι σε ισορροπία με τον εισερχόμενο αέρα:

$$y_{N+1} = m x_N \Rightarrow x_N = \frac{0.025}{0.132} \Rightarrow x_N = 0.19$$

που είναι το μόνο κλάσμα που λείπει από τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Τότε, το ολικό ισοζύγιο για την ελάχιστη παροχή γράφεται:

$$L_{\min}(x_N - x_0) = G(y_{N+1} - y_1) \quad , \quad \text{άρα:}$$

$$L_{\min} = \frac{6.57 \times 10^{-3}(0.025 - 0.001)}{0.19 - 0} \Rightarrow L_{\min} = 0.83 \times 10^{-3} \text{ kmol / s}$$

Για πυκνά διαλύματα:

Πρώτα υπολογίζουμε τα τροποποιημένα κλάσματα:

$$Y_{N+1} = \frac{y_{N+1}}{1 - y_{N+1}} = 0.0256 \quad , \quad Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = 0.001 \quad , \quad X_0 = 0 \quad .$$

Επίσης υπολογίζουμε τη ροή καθαρού αέρα:

$$G' = G_{N+1}(1 - y_{N+1}) = 6.57 \times 10^{-3}(1 - 0.025) = 6.4 \times 10^{-3} \text{ kmol/s}$$

Η γραμμή ισορροπίας $y = mx$, μπορεί να γραφεί και $X = \frac{Y}{m - (1 - m)Y}$ αν αντικαταστήσουμε $Y = y/(1 - y)$ και αντίστοιχα για το x .

Όταν η παροχή λαδιού είναι ελάχιστη, η γραμμή λειτουργίας τέμνει τη γραμμή ισορροπίας και το εξερχόμενο λάδι είναι σε ισορροπία με τον εισερχόμενο αέρα:

$$X_N = \frac{0.0256}{0.132 - (1 - 0.132) \times 0.0256} \Rightarrow X_N = 0.2346$$

Από το ολικό ισοζύγιο:

$$L'_{\min}(X_N - X_0) = G'(Y_{N+1} - Y_1) \quad , \quad \text{άρα:}$$

$$L'_{\min} = \frac{6.4 \times 10^{-3}(0.0256 - 0.001)}{0.2346 - 0} \Rightarrow L'_{\min} = 0.67 \times 10^{-3} \text{ kmol/s}$$

