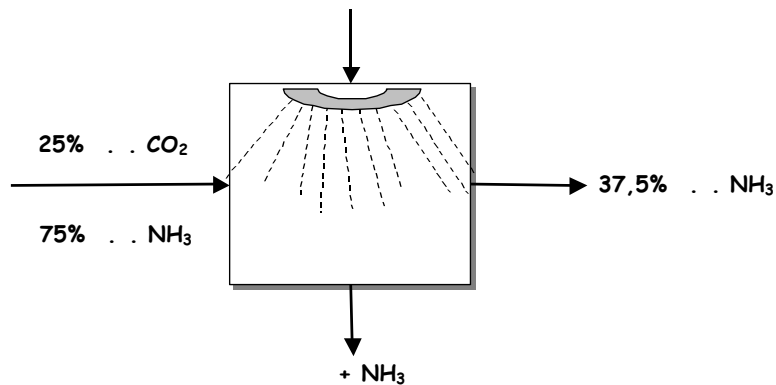
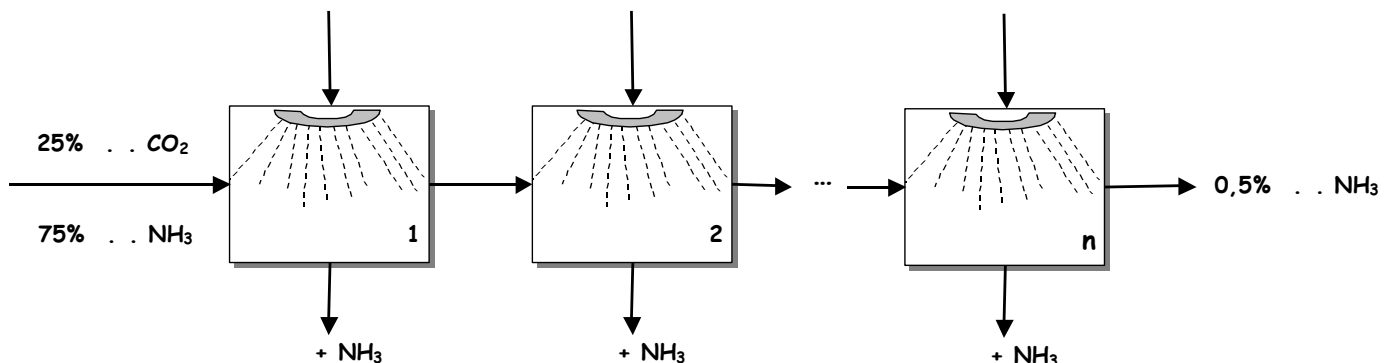


ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Μείγμα 25% κ.β. διοξείδιο του άνθρακα και 75% κ.β. αμμωνία εισάγεται σε απορροφητήρα όπου καταιονίζεται (καταβρέχεται) οξύ για την απομάκρυνση (δέσμευση /εξουδετέρωση) μέρος της αμμωνίας. Το εξαγόμενο αέριο μείγμα περιέχει 37,5% αμμωνία. Να προσδιορισθεί η απόδοση του απορροφητήρα, λογιζόμενη ως ποσοστό της εισερχόμενης αμμωνίας που απομακρύνεται με το οξύ.



Αν τα περιβαλλοντικά πρότυπα επιβάλλουν μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα 0,5% κ.β. σε αμμωνία στην έξοδο, προκειμένου να αποφεύγεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, να προσδιοριστεί ο ελάχιστος αριθμός των απαιτούμενων απορροφητήρων (ίσης απόδοσης ο κάθε ένας προς την απόδοση που προσδιορίστηκε προηγουμένως) που πρέπει να τεθούν στη σειρά. Τέλος, να προσδιορίσετε την πραγματική περιεκτικότητα του μείγματος στην έξοδο.

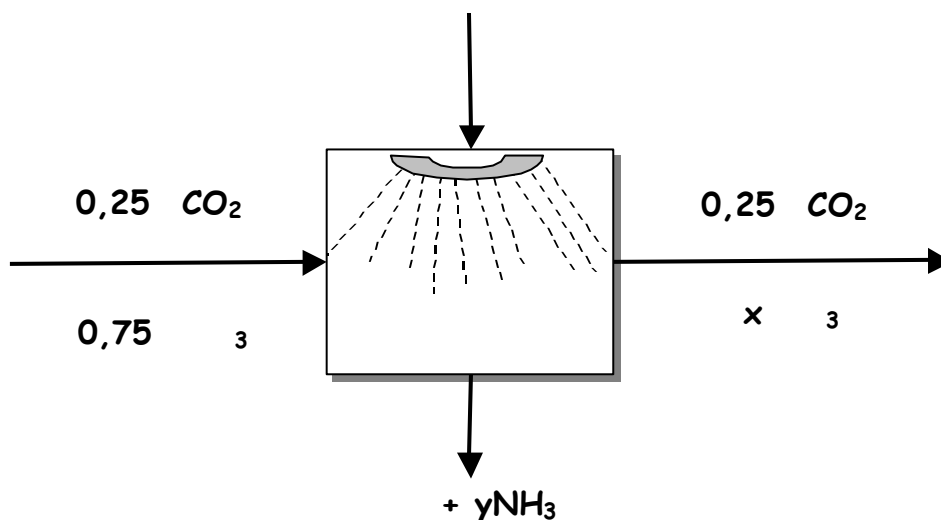


Αν η ποσότητα αμμωνίας στο μίγμα εισόδου ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 25 και τυπική απόκλιση 4, να προσδιορίσετε με προσομοίωση Monte Carlo, το ποσοστό των μετρήσεων αμμωνίας στην έξοδο που θα δίνουν τιμές περιεκτικότητας αμμωνίας πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

Λύση

A. Προσδιορισμός απόδοσης του απορροφητήρα

Έστω a τα kg του μίγματος αερίου που εισάγεται στον απορροφητήρα, x τα kg της αμμωνίας στην έξοδο και y τα kg της αμμωνίας που κατακρατούνται. Η σύσταση του εισαγόμενου και του εξαγόμενου μίγματος θα είναι:



Αφού η περιεκτικότητα της αμμωνίας στην έξοδο είναι 37,5%κ.β, η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα θα είναι 62,5%κ.β.

Ισοζύγια:

$$NH_3: \quad 0,75a = x + y \quad (1)$$

$$CO_2: \quad 0,25a = 0,625(0,25a + x) \quad (2)$$

Έστω κ η απόδοση του απορροφητήρα. Από τη λειτουργία του προκύπτει ότι:

$$y = \kappa 0,75a \quad (3)$$

$$(2) \rightarrow 0,25a = 0,15625a + 0,625x \Rightarrow 0,09375a = 0,625x \Rightarrow x = 0,15a \quad (2a)$$

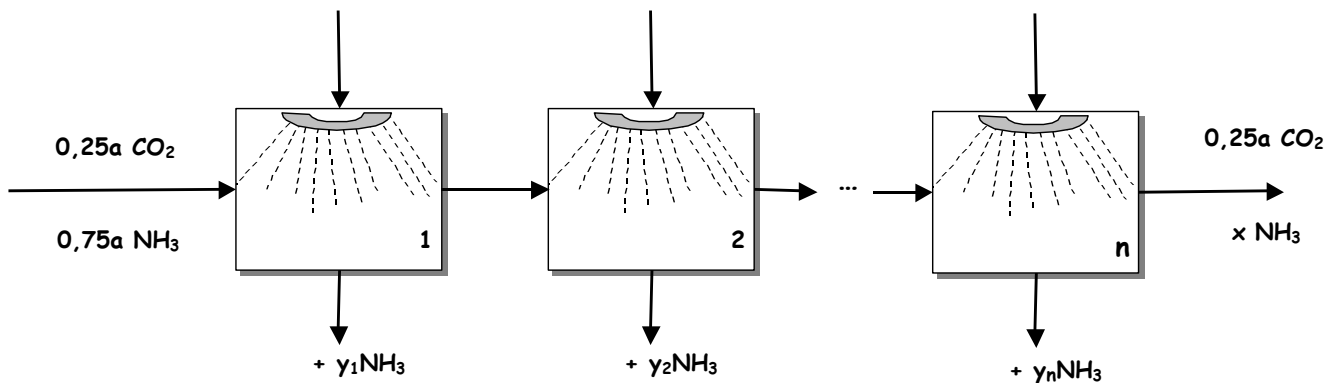
Αντικαθιστώντας στην (1) τις τιμές του x και y από τις (2a) και (3), αντίστοιχα, προκύπτει:

$$\begin{aligned} 0,75a &= 0,15a + \kappa 0,75a \Rightarrow 0,75a = a(0,15 + 0,75\kappa) \Rightarrow 0,75 = 0,15 + 0,75\kappa \\ &\Rightarrow 0,75\kappa = 0,60 \Rightarrow \kappa = 0,8 \end{aligned}$$

Άρα η απόδοση του απορροφητήρα είναι 80%.

B. Προσδιορισμός ελάχιστου αριθμού απορροφητήρων

Έστω a τα kg του μίγματος αερίου που εισάγεται στον απορροφητήρα, x τα kg της αμμωνίας στην έξοδο και y_1, y_2, \dots, y_n τα moles της αμμωνίας που κατακρατούνται. Η σύσταση του εισαγόμενου



και του εξαγόμενου μίγματος θα είναι:

$$\text{Όπου } y_1 + y_2 + \dots + y_n = y$$

Αφού η περιεκτικότητα της αμμωνίας στην έξοδο πρέπει να είναι 0,5%κ.β, η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα θα είναι 99,5%κ.β.

Ισοζύγια:

$$NH_3: \quad 0,75a = x + y \quad (1)$$

$$CO_2: \quad 0,25a = 0,995(0,25a + x) \quad (2)$$

Από τη λειτουργία των απορροφητήρων σε σειρά, θεωρώντας την απόδοση του κάθε ενός 80% προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned}
1\text{ος} & \text{ απορροφητηρας: } y_1 = 0,80 \cdot 0,75a \\
2\text{ος} & \text{ απορροφητηρας: } y_2 = 0,80 \cdot 0,20 \cdot 0,75a \\
3\text{ος} & \text{ απορροφητηρας: } y_3 = 0,80 \cdot 0,20^2 \cdot 0,75a \\
& \vdots \\
& \vdots \\
n\text{ος} & \text{ απορροφητηρας: } y_n = 0,80 \cdot 0,20^{n-1} \cdot 0,75a
\end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 0,80 \cdot 0,75a (1 + 0,20 + 0,20^2 + \dots + 0,20^{n-1}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
(3) \rightarrow y &= 0,80 \cdot 0,75a \frac{0,20^n - 1}{0,20 - 1} = 0,80 \cdot 0,75a \frac{1 - 0,20^n}{1 - 0,20} = 0,80 \cdot 0,75a \frac{1 - 0,20^n}{0,80} \\
\Rightarrow y &= 0,75a(1 - 0,20^n) \quad (3a)
\end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας στην (1) την τιμή του y από την (3a) προκύπτει:

$$\begin{aligned}
0,75a &= x + 0,75a(1 - 0,20^n) \Rightarrow 0,75a = x + 0,75a - 0,75a \cdot 0,20^n \\
\Rightarrow x &= 0,75a \cdot 0,20^n \quad (4)
\end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας στη (2) την τιμή του x από την (4) προκύπτει:

$$\begin{aligned}
0,25a &= 0,995(0,25a + 0,75a \cdot 0,20^n) \Rightarrow 0,25 = 0,24875 + 0,74625 \cdot 0,20^n \Rightarrow \\
1,25 \cdot 10^{-3} &= 0,74625 \cdot 0,20^n \Rightarrow 1,675 \cdot 10^{-3} = 0,20^n \quad (5)
\end{aligned}$$

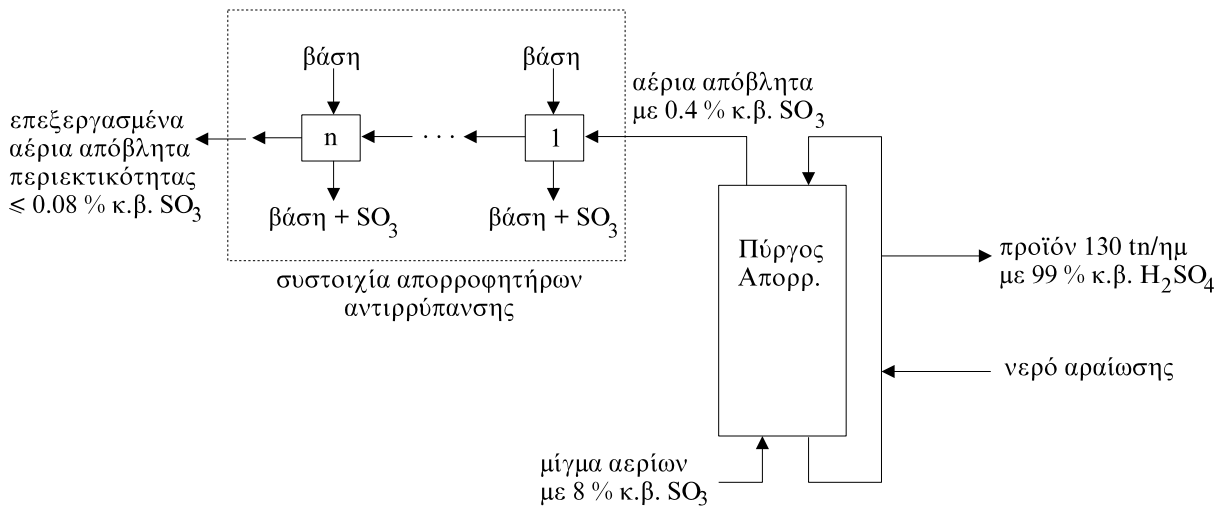
Λογαριθμίζοντας την (5) προκύπτει:

$$\begin{aligned}
\log(1,675 \cdot 10^{-3}) &= \log(0,20^n) \Rightarrow \log 1,675 - 3 = n \log 0,20 \\
\Rightarrow 0,2240 - 3 &= -0,699n \Rightarrow -2,776 = -0,699n \Rightarrow \\
n &= 3,97 \approx 4
\end{aligned}$$

Άρα, προκειμένου να ικανοποιηθούν τα περιβαλλοντικά πρότυπα για το συγκεκριμένο μίγμα αερίου, θα χρειαστεί εγκατάσταση 4 απορροφητήρων σε σειρά.

Πρόβλημα Συνδυασμού Διεργασιών Απορρόφησης για Βιομηχανική Παραγωγή και Πρόληψη Ρύπανσης του Περιβάλλοντος

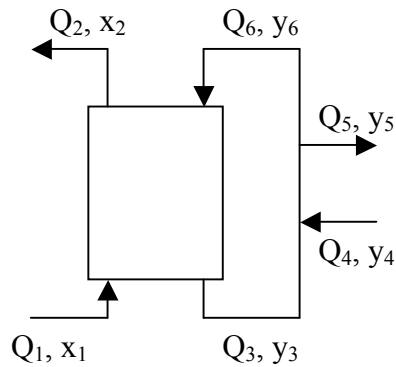
1. Βιομηχανική μονάδα παραγωγής 130 tn / ημ. υδατικού διαλύματος θειικού οξέος, με περιεκτικότητα 99 % κ.β. σε H_2SO_4 , χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη μίγμα αερίων με περιεκτικότητα 8 % κ.β. σε SO_3 . Τα αέρια απόβλητα, που εξέρχονται από τον πύργο απορρόφησης και περιέχουν 0.4 % κ.β. SO_3 , εισέρχονται σε σειρά απορροφητήρων αντιρρύπανσης ίσης δυναμικότητας μεταξύ τους. Η απόδοση κάθε απορροφητήρα, λογιζόμενη ως ποσοστό του απομακρυνόμενου σε σχέση με το εισερχόμενο SO_3 στο συγκεκριμένο απορροφητήρα, δίνεται στον παρακάτω πίνακα σε συνάρτηση με την αντί-στοιχη παροχή. Αν στην άδεια λειτουργίας της βιομηχανικής μονάδας περιλαμβάνεται ο όρος ότι τα αέρια απόβλητα δεν πρέπει να περιέχουν περισσότερο από 0.08 % κ.β. SO_3 , να προσδιορίσετε τον αριθμό n των αντιρρυπαντικών απορροφητήρων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στη σειρά, ώστε να τηρείται η συγκεκριμένη περιβαλλοντική πρότυπη τιμή. Επίσης, να προσδιορίσετε, για $n=2$, την περιεκτικότητα κ.β. σε SO_3 του τελικά εξερχόμενου επεξεργασμένου μίγματος των αερίων αποβλήτων. Υπενθυμίζεται ότι το άθροισμα των n πρώτων όρων γεωμετρικής προόδου δίνεται από τον τύπο $S = (\tau \cdot \omega - \alpha) / (\omega - 1)$, όπου τ ο τελικός (n -οστός) όρος, ω ο λόγος της προόδου, α ο πρώτος λόγος της προόδου. Δίνονται ατομικά βάρη: $S = 32$, $O = 16$, $H = 1$.



Παροχή εισερχομένου αερίου (tn/ημ)	μίγματος	Απόδοση Απορροφητήρα (%)
-	1000	65
1000	- 1100	62
1100	- 1200	60
1200	- 1300	58
1300	- 1400	56
1400	- 2000	53

Λύση

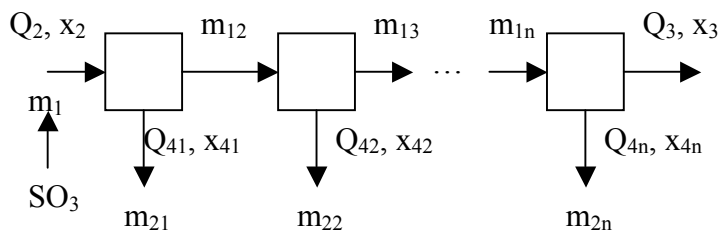
Έχουμε,



Έτσι,

$$Q_2 = Q_5 \cdot \frac{\frac{80}{98} \cdot y_5}{\frac{x_1 - x_1 \cdot x_2 - x_2 + x_1 \cdot x_2}{1 - x_1}} \Rightarrow Q_2 = Q_5 \cdot \frac{\frac{80}{98} \cdot y_5 \cdot (1 - x_1)}{x_1 - x_2}$$

A= τόσο % (από τον πίνακα)



1ος Τρόπος

$$\alpha = \frac{m_{2i}}{m_{1i}}$$

$$m_{1i} = m_{2i} + m_{1,i+1}, \quad m_{11} = m_{21} + m_{12}$$

$$A = \frac{m_{21}}{m_{11}} \Rightarrow m_{21} = A \cdot m_{11}$$

$$m_{22} = (1 - A) \cdot m_{12} \Rightarrow m_{22} = A \cdot (1 - A) \cdot m_{11}$$

$$m_{23} = A \cdot (1 - A)^2 \cdot m_{11}$$

$$m_{2n} = A \cdot (1 - A)^{n-1} \cdot m_{11}$$

$$\text{έστω } \alpha = A \cdot m_{11} = A \cdot Q_2 \cdot x_2$$

$$\omega = (1 - A)$$

$$\tau = A \cdot (1 - A)^{n-1} \cdot Q_2 \cdot x_2$$

Άρα,

$$S = \frac{A \cdot (1 - A)^{n-1} \cdot Q_2 \cdot x_2 \cdot (1 - A) - A \cdot Q_2 \cdot x_2}{(1 - A) - 1}$$

$$\Rightarrow S = \frac{A \cdot Q_2 \cdot x_2 \left[(1 - A)^n - 1 \right]}{-A} \Rightarrow S = Q_2 \cdot x_2 \cdot \left[-(1 - A)^n + 1 \right]$$

$$\text{όπου } S = m_{21} + m_{22} + m_{23} + \dots + m_{2n}$$

Ισοζύγιο SO₃:

$$m_{11} + S = m_3$$

$$Q_2 \cdot x_2 = Q_2 \cdot x_2 \cdot \left[-(1 - A)^n + 1 \right] + Q_3 \cdot x_3$$

έστω Q₂=Q₃ (προσέγγιση) γιατί το x₂ είναι πολύ μικρό.

Έτσι η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$-(1 - A)^n + 1 = \frac{x_2 - x_3}{x_2} = 1 - \frac{x_3}{x_2} \Rightarrow (1 - A)^n = \frac{x_3}{x_2}$$

$$\Rightarrow n \cdot \ln(1 - A) = \ln \frac{x_3}{x_2} \Rightarrow n = \frac{\ln \frac{x_3}{x_2}}{\ln(1 - A)}$$

$$x_1 = 0,08$$

$$x_2 = 0,004$$

$$y_4 = 0$$

$$Q_5 = 130 \text{ tn/ημ.}$$

$$y_5 = 0,99$$

$$x_5 = \frac{80}{98} \cdot y_5$$

$$\frac{MB_{SO_3}}{MB_{H_2SO_4}} = \frac{80}{98}$$

$$Q_2 = ;$$

Ισοζύγιο SO₃:

$$Q_1 \cdot x_1 = Q_5 \cdot x_5 + Q_2 \cdot x_2 \Rightarrow Q_1 \cdot x_1 = Q_5 \cdot \frac{80}{98} \cdot y_5 + Q_2 \cdot x_2 \quad (1)$$

Ισοζύγιο αέρα:

$$Q_1 \cdot (1 - x_1) = Q_2 \cdot (1 - x_2) \quad (2)$$

Από τη σχέση (2) έχουμε,

$$Q_1 = Q_2 \cdot \frac{1 - x_2}{1 - x_1}, \text{ και σε σχέση με την (1) έχουμε,}$$

$$\begin{aligned} Q_2 \cdot x_1 \cdot \frac{(1 - x_2)}{1 - x_1} &= Q_5 \cdot \frac{80}{98} \cdot y_5 + Q_2 \cdot x_2 \Rightarrow Q_2 \cdot \left[\frac{x_1(1 - x_2)}{1 - x_1} - x_2 \right] = Q_5 \cdot \frac{80}{98} \cdot y_5 \\ \Rightarrow Q_2 &= \frac{Q_5 \cdot \frac{80}{98} \cdot y_5}{\frac{x_1 \cdot (1 - x_2)}{1 - x_1} - x_2} \end{aligned}$$

2ος Τρόπος (χωρίς την προσέγγιση)

$$Q_3 = Q_2 - S$$

$$Q_2 \cdot x_2 = Q_2 \cdot x_2 \cdot [-(1 - A)^n + 1] + Q_3 \cdot x_3 - Q_2 \cdot x_2 \cdot [-(1 - A)^n + 1] \cdot x_3$$

$$\Rightarrow x_2 - x_3 = (x_2 - x_2 \cdot x_3) \cdot [-(1 - A)^n + 1] \Rightarrow -(1 - A)^n + 1 = \frac{x_2 - x_3}{x_2 \cdot (1 - x_3)}$$

$$\Rightarrow (1 - A)^n = -\frac{x_2 - x_3}{x_2 \cdot (1 - x_3)} + 1 = \frac{-x_2 + x_3 + x_2 - x_2 \cdot x_3}{x_2 \cdot (1 - x_3)} = \frac{x_3 \cdot (1 - x_2)}{x_2 \cdot (1 - x_3)}$$

$$\Rightarrow n \cdot \ln(1 - A) = \ln \frac{x_3 \cdot (1 - x_2)}{x_2 \cdot (1 - x_3)}$$

$$\Rightarrow n = \frac{\ln \left[\frac{x_3 \cdot (1 - x_2)}{x_2 \cdot (1 - x_3)} \right]}{\ln(1 - A)}$$

3ος Τρόπος (Διαφορετικό)

$$m_{12} = (1 - A) \cdot m_{11}$$

$$m_{13} = (1 - A)^2 \cdot m_{11}$$

.....

$$m_{1,n+1} = (1 - A)^n \cdot m_{11}$$

$$Q_3 \cdot x_3 = (1 - A)^n \cdot Q_2 \cdot x_2$$

Έστω ότι $Q_2 = Q_3$

Άρα η παραπάνω σχέση γίνεται,

$$x_3 = (1 - A)^n \cdot x_2 \Rightarrow (1 - A)^n = \frac{x_3}{x_2} \Rightarrow n \cdot \ln(1 - A) = \ln \frac{x_3}{x_2}$$

$$\Rightarrow n = \frac{\ln \frac{x_3}{x_2}}{\ln(1 - A)}$$

4ος Τρόπος (Χωρίς την προσέγγιση)

$$Q_3 = Q_2 - S \text{ και } S = Q_2 \cdot x_2 - Q_3 \cdot x_3$$

Από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε,

$$Q_3 = Q_2 - Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3 \Rightarrow Q_3 \cdot (1 - x_3) = Q_2 \cdot (1 - x_2)$$

$$\Rightarrow Q_3 = Q_2 \cdot \frac{1 - x_2}{1 - x_3} \Rightarrow Q_2 \cdot \frac{1 - x_2}{1 - x_3} \cdot x_3 = (1 - A)^n \cdot Q_2 \cdot x_2$$

$$\Rightarrow (1 - A)^n = \frac{x_3 \cdot (1 - x_2)}{x_2 \cdot (1 - x_3)} \Rightarrow n = \frac{\ln \left[\frac{x_3 \cdot (1 - x_2)}{x_2 \cdot (1 - x_3)} \right]}{\ln(1 - A)}$$