

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

Εισαγωγή

Η κατανόηση των συνθηκών ροής σε ένα χημικό αντιδραστήρα είναι απαραίτητη για την ανάλυση και το σχεδιασμό της λειτουργίας του. Η παραδοχή της ιδανικής ροής, δηλαδή της πλήρους ανάμιξης στα δοχεία ανάδευσης ή της εμβολικής ροής στους αυλωτούς αντιδραστήρες, δεν είναι συχνά ικανοποιητική για την περιγραφή των πραγματικών συνθηκών. Η ποσοτική περιγραφή των αποκλίσεων από την ιδανική ροή μπορεί να γίνει με τον προσδιορισμό της κατανομής του χρόνου παραμονής, που χαρακτηρίζει το βαθμό ανάμιξης στον αντιδραστήρα.

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση με τις μεθόδους ελέγχου της μη ιδανικής ροής. Οι στόχοι της άσκησης είναι

- Η πειραματική εύρεση της κατανομής του χρόνου παραμονής για τρεις τύπους αντιδραστήρων α) δοχείο ανάδευσης (CSTR) β) αυλωτός αντιδραστήρας γ) συστοιχία δοχείων ανάδευσης
- Ο θεωρητικός υπολογισμός των κατανομών του χρόνου παραμονής και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Θεωρία

2.1. Τύποι αντιδραστήρων

α) Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου (batch).

Ο τρόπος λειτουργίας του αντιδραστήρα διαλείποντος έργου, όπως υπονοεί και το όνομά του, είναι μη συνεχής, και περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Τοποθέτηση όλων των αντιδρώντων στο δοχείο του αντιδραστήρα
- Εναρξη της αντίδρασης
- Ολοκλήρωση της αντίδρασης (μέχρι τον επιθυμητό βαθμό μετατροπής)
- Απομάκρυνση των προϊόντων και τα αντιδρώντων από τον αντιδραστήρα

Οι αντιδραστήρες διαλείποντος έργου χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για αντιδράσεις που διεξάγονται στην υγρή φάση (συνήθως σε βιομηχανίες με μικρό όγκο παραγωγής π.χ. φαρμακοβιομηχανίες) και περιλαμβάνουν σύστημα εισαγωγής και εξαγωγής αντιδρώντων και προϊόντων, τάρρακτρο για την ανάδευση του μίγματος της αντίδρασης, και

θερμαντικό ή ψυκτικό έργο, γίνεται η παραγωγή, ώστε η ανάμιξη (αντιδραστήρας πλήρης) τόσο η σύσταση όσο και ο ρυθμός της αντίδρασης στον αντιδραστήρα σε μια

β) Αντιδραστήρας συνεχούς έργου

Στους αντιδραστήρες συνεχούς εισροή των αντιδρώντων, η εκροή των προϊόντων γίνεται συνήθως σε μόνιμη κατάσταση ανάδευσης του συνθέτου. Ο θερμαντικό ή ψυκτικό έργο γίνεται η παραγωγή θερμοκρασία του μίγματος στον όγκο του αντιδραστήρα εξόδου (αντιδραστήρας) οι ιδιότητες του μίγματος όλων τον όγκο του αντιδραστήρα

γ) Αυλωτός αντιδραστήρας

Οι αυλωτοί αντιδραστήρες μορφή σωλήνων (αυλωτός) με το μήκος τους. Ο μόνιμη κατάσταση και στην αέρια φάση εξής παραδοχές:

- Στη διεύθυνση της ροής η θερμοκρασία (μηδενική)
- Σε κάθε επίπεδο της ροής η θερμοκρασία του μίγματος την ακτινική διεύθυνση

Στις ιδεατές αυτές θερμοκρασία και η μεταβάλλονται μόνο

Τα πρότυπα της αντιπροσωπεύουν τ

ΠΑΡΑΣΤΗΡΕΣ

αντιδραστήρα είναι
λειτουργίας του. Η
ανάμιξης στα δοχεία
αντιδραστήρες, δεν
των πραγματικών
από την ιδανική ροή
ανομής του χρόνου
αντιδραστήρα.

δους ελέγχου της μη

νου παραμονής για
(CSTR) β) αυλωτός

χρόνου παραμονής

τοντος έργου, όπως
και περιλαμβάνει τα

ου αντιδραστήρα

επιθυμητό βαθμό

δρώντων από τον

οποιούνται σχεδόν

υγρή φάση (συνήθως

ακροβιομηχανίες) και

ης αντιδρώντων και

ς της αντίδρασης, και

θερμαντικό ή ψυκτικό μανδύα. Στον πρότυπο αντιδραστήρα διαλείποντος έργου, γίνεται η παραδοχή ότι, η ανάδευση είναι τόσο αποτελεσματική ώστε η ανάμιξη του αντιδρώντος μίγματος να είναι πλήρης (αντιδραστήρας πλήρους αναμίξεως διαλείποντος έργου). Κατά συνέπεια, τόσο η σύσταση όσο και η θερμοκρασία του μίγματος, και επομένως ο ρυθμός της αντίδρασης, είναι ομοιόμορφοι σε όλον τον όγκο του αντιδραστήρα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

β) *Αντιδραστήρας συνεχούς έργου με ανάδευση (CSTR).*

Στους αντιδραστήρες συνεχούς έργου με ανάδευση, υπάρχει συνεχής εισροή των αντιδρώντων στο δοχείο του αντιδραστήρα και συνεχής εκροή των προϊόντων από αυτό. Οι αντιδραστήρες αυτοί λειτουργούν συνήθως σε μόνιμη κατάσταση και περιλαμβάνουν τάρακτρο, για την ανάδευση του συνήθως υγρού μίγματος της αντίδρασης, καθώς και θερμαντικό ή ψυκτικό μανδύα. Στον πρότυπο αντιδραστήρα συνεχούς έργου γίνεται η παραδοχή της πλήρους ανάμιξης, ώστε η σύσταση και η θερμοκρασία του μίγματος της αντίδρασης να είναι ομοιόμορφες σε όλο τον όγκο του αντιδραστήρα και ίσες με τη σύσταση και τη θερμοκρασία εξόδου (αντιδραστήρας συνεχούς έργου πλήρους αναμίξεως). Επομένως, οι ιδιότητες του μίγματος και ο ρυθμός της αντίδρασης, είναι σταθεροί σε όλον τον όγκο του αντιδραστήρα σε κάθε χρονική στιγμή.

γ) *Αυλωτός αντιδραστήρας (tubular reactor).*

Οι αυλωτοί αντιδραστήρες είναι συνεχούς λειτουργίας και έχουν τη μορφή *σωλήνων (αυλών)*, δηλαδή δοχείων με διάμετρο μικρή σε σχέση με το μήκος τους. Οι αυλωτοί αντιδραστήρες λειτουργούν συνήθως σε μόνιμη κατάσταση και χρησιμοποιούνται για αντιδράσεις στην υγρή όσο και στην αέρια φάση. Στον πρότυπο αυλωτό αντιδραστήρα, γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Στη διεύθυνση της ροής δεν γίνεται διάχυση μάζας ή αγωγή θερμότητας (μηδενική ανάμιξη κατά την αξονική διεύθυνση).
- Σε κάθε επίπεδο κάθετο προς τον άξονα του αυλού, η σύσταση και θερμοκρασία του μίγματος είναι ομοιόμορφες (πλήρης ανάμιξη κατά την ακτινική διεύθυνση).

Στις ιδεατές αυτές συνθήκες του αντιδραστήρα *εμβολικής ροής*, η θερμοκρασία και η σύσταση, και επομένως, ο ρυθμός της αντίδρασης, μεταβάλλονται μόνο κατά μήκος του αντιδραστήρα.

Τα πρότυπα της πλήρους ανάμιξης και της εμβολικής ροής, αντιπροσωπεύουν τις δύο ακραίες (ιδανικές) καταστάσεις λειτουργίας

ενός αντιδραστήρα. Ενδιάμεσες καταστάσεις λειτουργίας μπορεί να επιτευχθούν με δύο διατάξεις:

- Συστοιχία αντιδραστήρων CSTR σε σειρά.
- Αυλωτός αντιδραστήρας αναρροής

Όταν ο αριθμός των αντιδραστήρων CSTR είναι μεγάλος (θεωρητικά άπειρος), η συστοιχία προσεγγίζει τη λειτουργία του αντιδραστήρα εμβολικής ροής. Ανάλογα, όταν ο λόγος αναρροής είναι μεγάλος (θεωρητικά άπειρος), το σύστημα προσεγγίζει τη λειτουργία του αντιδραστήρα CSTR.

2.2. Κατανομή χρόνου παραμονής

Η περιγραφή των αποκλίσεων από την ιδανική ροή (πλήρη ανάμιξη ή εμβολική ροή), μπορεί να γίνει με την εύρεση της κατανομής του χρόνου παραμονής (σε σχέση με το μέσο χρόνο παραμονής στον αντιδραστήρα τ , δηλαδή το λόγο του όγκου του αντιδραστήρα ως προς την ογκομετρική παροχή του ρευστού).

Ο χρόνος παραμονής των ατόμων μιας ένωσης σε έναν αντιδραστήρα είναι το χρονικό διάστημα το οποίο τα άτομα αυτά παραμένουν μέσα στον αντιδραστήρα. Σε έναν πρότυπο αυλωτό αντιδραστήρα (εμβολικής ροής), όλα τα άτομα που εξέρχονται από τον αντιδραστήρα έχουν παραμείνει μέσα σε αυτόν για το ίδιο ακριβώς χρονικό διάστημα. Το ίδιο ισχύει και για τον πρότυπο αντιδραστήρα διαλείποντος έργου (πλήρους ανάμιξης). Αντίθετα, σε έναν αντιδραστήρα συνεχούς έργου με ανάδευση, η τροφοδοσία σε κάθε χρονική στιγμή, αναμιγνύεται με το ρευστό που υπάρχει ήδη στον αντιδραστήρα. Έτσι, κάποια από τα άτομα που εισέρχονται στον αντιδραστήρα, θα εξέλθουν σχεδόν αμέσως από αυτόν (καθώς το ρευστό απομακρύνεται συνεχώς από τον αντιδραστήρα), ενώ άλλα άτομα θα παραμείνουν για σχεδόν απεριόριστο χρονικό διάστημα στον αντιδραστήρα (καθώς το ρευστό ποτέ δεν απομακρύνεται με μιας από τον αντιδραστήρα). Φυσικά, πολλά από τα άτομα θα εξέρθουν από τον αντιδραστήρα αφού παραμείνουν σε αυτόν για χρονικό διάστημα περίπου ίσο με το μέσο χρόνο παραμονής.

Για την κατανόηση των ανωτέρω, ας θεωρήσουμε ότι, σε χρόνο $t=0$, εισάγεται ακαριαία μια μικρή ποσότητα χρωστικής ουσίας, στο ρεύμα εισόδου ενός αυλωτού αντιδραστήρα εμβολικής ροής. Τα μόρια της χρωστικής, θα διατρέξουν τον αντιδραστήρα (ως ένας «χρωματισμένος» στοιχειώδης όγκος ΔV) και θα εξέλθουν από αυτόν σε χρόνο, t , ίσο με το μέσο χρόνο παραμονής, τ . Αντίθετα, σε έναν αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους αναμίξεως, τα μόρια της χρωστικής θα κατανεμηθούν

ομοίμορφα σε όλη
εξέλθουν από αυτόν

Η μαθηματική περι-
κατανομής του χρόνου
κατανομής $F(t)$, που

$$(1) \quad E(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{N}{N_0} \right)$$

$$(2) \quad F(t) = \int_0^t E(t) dt$$

Από τον ορισμό των

- $E(t)dt$ είναι το πο-
αντιδραστήρα μετ-
η ποσότητα του υχ-
• $F(t)$ είναι το ποσ-
στον αντιδραστήρα

Για τους πρότυπου
κατανομής μπορεί να
εισάγεται ακαριαία
πλήρους αναμίξεως
στιγμή t , μέσα στον
εξέλθει από αυτόν π-
ιχνηθέτη για $t > 0$ γρά-

$$(3) \quad 0 - Q (N/V) =$$

όπου Q η ογκομετ-
αντιδραστήρα. Αντι-
στον αντιδραστήρα)

$$(4) \quad N(t) = N_0 \exp$$

Το ποσοστό των μο-
αντιδραστήρα μικρό-

$$(5) \quad F(t) = 1 - \exp$$

Η συνάρτηση της κα-

ουργίας μπορεί να

εγάλος (θεωρητικά του αντιδραστήρα) είναι μεγάλος η λειτουργία του

(πλήρη ανάμιξη ή κατανομής του χρόνου στον αντιδραστήρα, ως την ογκομετρική

έναν αντιδραστήρα παραμένουν μέσα αντιδραστήρα (εμβολικής αντιδραστήρα έχουν κάποιο διάστημα. Το ίδιο έργο (πλήρους συνεχούς έργου με ανάμιγνύεται με το κάποια από τα άτομα σχεδόν αμέσως από συνεχώς από τον σχεδόν απεριόριστο ρευστό ποτέ δεν σικά, πολλά από τα παραμένουν σε αυτόν παραμονής.

ότι, σε χρόνο $t=0$, ουσίας, στο ρεύμα ροής. Τα μόρια της «χρωματισμένος» σε χρόνο, t , ίσο με το αντιδραστήρα συνεχούς ροής θα κατανεμηθούν

ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του ρευστού στον αντιδραστήρα και θα εξέλθουν από αυτόν σε χρόνους που κυμαίνονται από 0 ως ∞ .

Η μαθηματική περιγραφή των ανωτέρω γίνεται με τη συνάρτηση κατανομής του χρόνου παραμονής $E(t)$, και την αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(t)$, που ορίζονται ως εξής:

$$(1) \quad E(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{N}{N_0} \right)$$

$$(2) \quad F(t) = \int_0^t E(t) dt$$

Από τον ορισμό των συναρτήσεων προκύπτει ότι:

- $E(t)dt$ είναι το ποσοστό των μορίων dN/N_0 που θα εξέρθουν από τον αντιδραστήρα μετά από χρόνο παραμονής μεταξύ t και $t+dt$, όπου N_0 η ποσότητα του ιχνηθέτη.
- $F(t)$ είναι το ποσοστό των μορίων $(N_0-N)/N_0$ με χρόνο παραμονής στον αντιδραστήρα μικρότερο ή ίσο του t .

Για τους πρότυπους αντιδραστήρες ιδανικής ροής, οι συναρτήσεις κατανομής μπορεί να προσδιοριστούν θεωρητικά. Εστω ότι σε χρόνο $t=0$, εισάγεται ακαριαία στην είσοδο ενός αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους αναμίξεως (CSTR), ποσότητα ιχνηθέτη N_0 (moles). Τη χρονική στιγμή t , μέσα στον αντιδραστήρα θα βρίσκεται ποσότητα N και θα έχει εξέλθει από αυτόν ποσότητα N_0-N . Το ισοζύγιο μάζας για τον αδρανή ιχνηθέτη για $t>0$ γράφεται ως εξής:

$$(3) \quad 0 - Q(N/V) = dN/dt$$

όπου Q η ογκομετρική παροχή και V ο όγκος του ρευστού στον αντιδραστήρα. Αντικαθιστώντας $\tau=V/Q$ (ο μέσος χρόνος παραμονής στον αντιδραστήρα) προκύπτει:

$$(4) \quad N(t) = N_0 \exp(-t/\tau)$$

Το ποσοστό των μορίων $F(t) = (N_0 - N) / N_0$ με χρόνο παραμονής στον αντιδραστήρα μικρότερο από t , ισούται με

$$(5) \quad F(t) = 1 - \exp(-t/\tau)$$

Η συνάρτηση της κατανομής $E(t) = dF(t)/dt$ δίνεται από τη σχέση

$$(6) \quad E(t) = (1/\tau) \exp(-t/\tau)$$

Με τον ίδιο τρόπο, μπορεί να υπολογιστούν οι συναρτήσεις κατανομής για μια συστοιχία n-αντιδραστήρων CSTR ίδιου μεγέθους (και ίδιου χρόνου παραμονής τ)

$$(7) \quad F(t) = 1 - e^{-t/\tau} \left\{ 1 + \frac{t}{\tau} + \frac{1}{2!} \left(\frac{t}{\tau} \right)^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{n-1} \right\}$$

$$(8) \quad E(t) = \frac{e^{-t/\tau}}{\tau(n-1)!} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{n-1}$$

Για έναν αυλωτό αντιδραστήρα εμβολικής ροής, η αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F(t)$, δίνεται από τη σχέση

$$(9) \quad F(t) = 0 \text{ για } t < \tau, \text{ και } F(t) = 1, \text{ για } t > \tau$$

Η συνάρτηση κατανομής $E(t)$ δίνεται από τη συνάρτηση Dirac, $E(t) = \delta(t - \tau)$, δηλαδή μια στενή «κορυφή» σε χρόνο t , ίσο με το μέσο χρόνο παραμονής, όπου:

$$(10) \quad E(t) = 1 \text{ για } t = \tau, \text{ και } E(t) = 0 \text{ για } t \neq \tau$$

Η παραπάνω ανάλυση δείχνει ότι η κατανομή του χρόνου παραμονής σε έναν αντιδραστήρα είναι αντιπροσωπευτική του μοντέλου ροής και χαρακτηριστική του βαθμού ανάμιξης στον αντιδραστήρα.

2.3. Μέτρηση κατανομής χρόνου παραμονής

Η κατανομή του χρόνου παραμονής σε έναν αντιδραστήρα, μπορεί να προσδιοριστεί με πειράματα δυναμικής απόκρισης. Στα πειράματα αυτά μεταβάλλεται, με ένα ορισμένο τρόπο, η συγκέντρωση ενός αδρανούς ιχνηθέτη στην είσοδο του αντιδραστήρα, και καταγράφεται η απόκριση στο ρεύμα εξόδου. Συνήθεις τρόποι μεταβολής είναι η παλμική, η βηματική και η ημιτονοειδής επιβολή. Η συσχέτιση της πειραματικής καμπύλης (συγκέντρωση ως προς χρόνο) με την κατανομή, εξετάζεται παρακάτω για τις περιπτώσεις της παλμικής και βηματικής επιβολής.

α) Παλμική επιβολή ιχνηθέτη

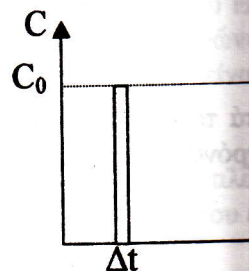
Η συνάρτηση της κατανομής $E(t)$, μπορεί να βρεθεί πειραματικά με τη μέθοδο της παλμικής επιβολής ιχνηθέτη, που ήδη περιγράφηκε στην

παράγραφο 2.2. Στην μορφή παλμού χρονικού

$$(11) \quad N_0 = C_0 Q \Delta t$$

Στην έξοδο του α-ιχνηθέτη σε συνάρτηση εξαρτάται από το β-κατανομή $E(t)$, υπολ

$$(12) \quad E(t) = C(t) / (N_0)$$



Σχήμα 1. Παλμική αντιδραστήρα

Η ποσότητα του ιχνηθέτη, με πιο μεγάλη ακρίβεια

$$(13) \quad E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^\infty C(t) dt}$$

β) Βηματική επιβολή

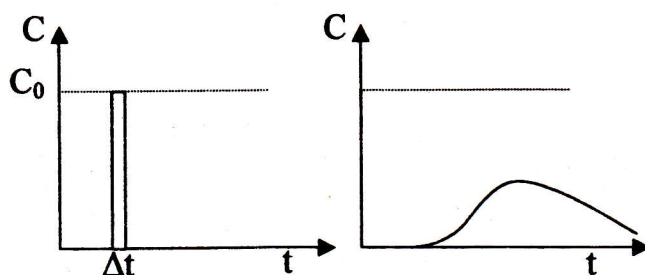
Η συνάρτηση της μεγαλύτερης ακρίβειας χρόνο $t=0$, η συγκέντρωση C_0 , ενώ η ογκομετρική αντιδραστήρα, μετρούμενη C , σε συνάρτηση με

παράγραφο 2.2. Στην πράξη, η ποσότητα ιχνηθέτη N_0 εισάγεται με τη μορφή παλμού χρονικής διάρκειας Δt , ώστε

$$(11) \quad N_0 = C_0 Q \Delta t$$

Στην έξοδο του αντιδραστήρα καταγράφεται η συγκέντρωση του ιχνηθέτη σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 1). Το σχήμα της καμπύλης εξαρτάται από το βαθμό ανάμιξης στον αντιδραστήρα. Η συνάρτηση κατανομής $E(t)$, υπολογίζεται από:

$$(12) \quad E(t) = C(t) / (N_0 / Q)$$



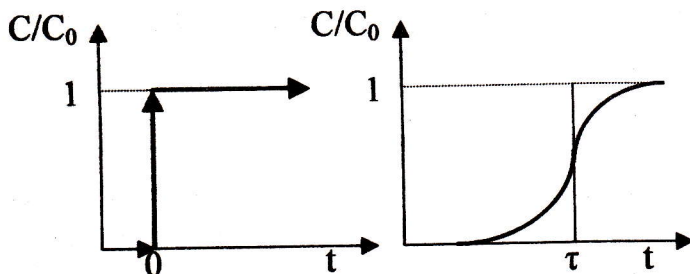
Σχήμα 1. Παλμική επιβολή ιχνηθέτη και απόκριση στην έξοδο του αντιδραστήρα

Η ποσότητα του ιχνηθέτη μπορεί να υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης (11) ή, με πιο μεγάλη ακρίβεια, από το εμβαδό της καμπύλης απόκρισης

$$(13) \quad E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$$

β) Βηματική επιβολή ιχνηθέτη.

Η συνάρτηση της κατανομής μπορεί να προσδιοριστεί, συχνά με μεγαλύτερη ακρίβεια, με τη μέθοδο της βηματικής επιβολής ιχνηθέτη. Σε χρόνο $t=0$, η συγκέντρωση του ιχνηθέτη μεταβάλλεται απότομα από 0 σε C_0 , ενώ η ογκομετρική παροχή Q , παραμένει σταθερή. Στην έξοδο του αντιδραστήρα, μετράται συνεχώς η συγκέντρωση της χρωστικής ουσίας C , σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Βηματική επιβολή ιχνηθέτη και απόκριση στην έξοδο του αντιδραστήρα

Σε κάθε χρονική στιγμή t , η εκροή του ιχνηθέτη παριστά τα μόρια του ιχνηθέτη που έχουν παραμείνει στον αντιδραστήρα για χρόνο μικρότερο από t .

$$(14) \quad C Q = C_0 Q F(t)$$

Επομένως, η πειραματική καμπύλη του λόγου των συγκεντρώσεων C/C_0 , δίνει απευθείας την αθροιστική συνάρτηση κατανομής.

$$(15) \quad F(t) = C/C_0$$

Περιγραφή πειράματος

3.1. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- συστοιχία τριών δοχείων αναδέυσεως σε σειρά, συμπληρωμένα με νερό όγκου 0.8 l, το καθένα.
- σωλήνα όγκου 2.4 l, σε παράλληλη σύνδεση με τη συστοιχία των δοχείων
- δοχείο αποθήκευσης νερού
- δοχείο αποθήκευσης με διάλυμα NaOH 0.1M.
- αντλία για την τροφοδοσία του νερού ή του διαλύματος NaOH από τα δοχεία αποθήκευσης προς τα δοχεία αναδέυσεως ή το σωλήνα
- σύστημα ροής που περιλαμβάνει βάννες απομόνωσης ώστε να επιτυγχάνεται ανεξάρτητη λειτουργία α) του ενός δοχείου αναδέυσεως β) της συστοιχίας των δοχείων και γ) του σωλήνα

- αγωγιμόμετρο συ
- χρονόμετρο

3.2. Εκτέλεση πει

Σε χρόνο $t < 0$, η συσ κατάσταση με σταθ αποθήκευσης, ίση με

Τη χρονική στιγμή τροφοδοτείται με δι ρυθμό επίσης 30 l/min συνεχώς μέσω του Η πείραμα ολοκληρών τιμή πρέπει να είν αποθήκευσης.

Το πείραμα επαναλ του σωλήνα και του

Συζήτηση αποτελε

Να προσδιοριστού κατανομές του χρόν αντιδραστήρων:

- Με βάση τα πει κατασκευαστεί τ ιχνηθέτη C/C_0 ω ίδιο διάγραμμα, βάση τις εξισώσε

- Να συγκριθούν

Να υπολογιστούν ο παραμονής $E(t)$, για

- Από την πειραμ κατανομής $E(t)$. καμπύλη $E(t)$, με

- αγωγιμόμετρο συνδεδεμένο με Η/Υ
- χρονόμετρο

3.2. Εκτέλεση πειράματος

Σε χρόνο $t < 0$, η συστοιχία των δοχείων αναδεύσεων λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση με σταθερή παροχή νερού, μέσω της αντλίας από το δοχείο αποθήκευσης, ίση με 30 l/h, και σταθερή αγωγιμότητα στην έξοδο.

Τη χρονική στιγμή $t = 0$, διακόπτεται η παροχή νερού, και η συστοιχία τροφοδοτείται με διάλυμα NaOH 0.1M από το δοχείο αποθήκευσης, με ρυθμό επίσης 30 l/h. Η αγωγιμότητα στο ρεύμα εξόδου καταγράφεται, συνεχώς μέσω του Η/Υ, και ανά 30s με τη βοήθεια του χρονομέτρου. Το πείραμα ολοκληρώνεται όταν η αγωγιμότητα σταθεροποιηθεί. Η τελική τιμή πρέπει να είναι ίση με την αγωγιμότητα του NaOH στο δοχείο αποθήκευσης.

Το πείραμα επαναλαμβάνεται κατά τον ίδιο τρόπο, για τις περιπτώσεις του σωλήνα και του ενός δοχείου αναδέυσεως.

Συζήτηση αποτελεσμάτων

Να προσδιοριστούν οι πειραματικές και θεωρητικές αθροιστικές κατανομές του χρόνου παραμονής $F(t)$, για καθένα από τους τρεις τύπους αντιδραστήρων:

- Με βάση τα πειραματικά δεδομένα αγωγιμότητας ως προς χρόνο, να κατασκευαστεί το διάγραμμα του λόγου των συγκεντρώσεων του ιχνηθέτη C/C_0 ως προς το χρόνο t/τ , για κάθε τύπο αντιδραστήρα. Στο ίδιο διάγραμμα, να αποτυπωθεί και η θεωρητική καμπύλη $F(t)$, με βάση τις εξισώσεις (5), (7) ή (9).
- Να συγκριθούν και να συζητηθούν τα αποτελέσματα

Να υπολογιστούν οι πειραματικές και θεωρητικές κατανομές του χρόνου παραμονής $E(t)$, για καθένα από τους τρεις τύπους αντιδραστήρων:

- Από την πειραματική καμπύλη $F(t)$, να κατασκευαστεί η καμπύλη της κατανομής $E(t)$. Στο ίδιο διάγραμμα, να αποτυπωθεί και η θεωρητική καμπύλη $E(t)$, με βάση τις εξισώσεις (6), (8) ή (10).

- Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα και η μέθοδος προσδιορισμού της $E(t)$.

Να κατασκευαστούν διαγράμματα που παρουσιάζουν συνολικά τις καμπύλες κατανομής $F(t)$ και $E(t)$ και για τους τρεις τύπους αντιδραστήρων, και να σχολιαστούν τα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J.M. Smith, "Chemical Engineering Kinetics", 3rd ed., McGraw-Hill, 1981
2. H. Scott Fogler, "Elements of Chemical Reaction Engineering", 3rd ed., Prentice Hall, 1999.

ΧΗΜΙΚΗ ΟΞΕΙΔΩΣΗ

Κατά τα τελευταία χρόνια, η χημική βιομηχανία έχει καταναλωτικά .Πολλές φορές σε υγρά απόβλητα, δεν είναι βιολογικά αποικοδομητές ουσίες .Η απόρριψη προκαλεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα - βιολογικής επεξεργασίας σε περιορισμένη κλίμακα.

Οι διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιοανθεκτικών ενώσεων αποικοδομηθούν ή τοξικά προκειμένη περίπτωση από συνθήκες περιβάλλοντος. Η συνθήκη υψηλής θερμοκρασίας προς τις φυσικές διεργασίες περιπτώσεων μια συμπεριφορά προκύπτει κατά τη διάρκεια των ρυπαντών .

Οι κλασικές μέθοδοι επεξεργασίας δεκαετίες στην αποικοδόμηση κυανιούχων. Σε κατάλληλα τοξικά νιτρικά δηλητηριώδη κυανιοειδή οξειδώνονται παραπέρα υδρολύονται σε αμινοξέα. Οι μέθοδοι οξείδωσης βιομηχανίας λαμβάνουν χώρα πολιτισμικού ισχυρού οξειδωτικού δυναμικού.

Ακριβώς όμως οι μέθοδοι τους. Έτσι δε μπορούν να αποικοδομηθούν συμπλόκων και οργανικών κλασικές αντιδράσεις. Η μέθοδος LORROX (LORROX οξείδωσης είναι μία