Παράδειγμα 8.3

Ένα δοχείο διαχωρισμού φάσεων πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό 1.8 $kg{\cdot}s^{-1}$ αερίου πυκνότητας 1.2 $kg{\cdot}m^{-3}$ και 10 $kg{\cdot}s^{-1}$ υγρού πυκνότητας 1000 $kg{\cdot}m^{-3}$. Να εκτιμήσετε τις διαστάσεις ενός κατακόρυφου και ενός οριζόντιου δοχείου διαχωρισμού φάσεων για την επίτευξη του παραπάνω διαχωρισμού.

Λύση

α. Κατακόρυφο δοχείο

Αρχικά, υπολογίζουμε την ταχύτητα του αερίου

$$u_V = K\left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}\right)^{1/2} = 0.0305\left(\frac{1000-1.2}{1.2}\right)^{1/2} = 0.88\,\frac{m}{s}$$

και, στη συνέχεια, την απαιτούμενη διάμετρο

$$D = \sqrt{\frac{4V'}{\pi u_V \rho_V}} = 1.47\ m$$

Ο όγκος του υγρού στο δοχείο είναι

$$V_L = \tau\left(\frac{L'}{\rho_L}\right) = 10\cdot 60\left(\frac{10}{1000}\right) = 6\ m^3$$

και το ύψος του υγρού

$$H_L = \frac{V_L}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{6}{\left(\frac{\pi 1.47^2}{4}\right)} = 3.5\ m$$

Εάν επιλέξουμε το ελάχιστο ύψος για τον χώρο που καταλαμβάνει το αέριο, έχουμε $H_V = 1.67$ m και

$$\frac{H_V + H_L}{D} = \frac{1.67+3.5}{1.47} = 3.52$$

και ο περιορισμός (8.31) ικανοποιείται.

β. Οριζόντιο δοχείο

Η ταχύτητα του αερίου θα είναι $u_V = 1.25{\cdot}0.88 = 1.1\ m{\cdot}s^{-1}$

Στη συνέχεια, επιλέγουμε φ = 0.2 και η διάμετρος είναι

$$D = \sqrt{\frac{4V'}{\pi\varphi u_V \rho_V}} = 2.95\ m$$

ενώ το ύψος

$$H = \frac{\tau\left(\frac{L'}{\rho_L}\right)}{(1-\varphi)\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{6}{0.8\left(\frac{\pi 2.95^2}{4}\right)} = 1.1\ m$$

Εφόσον ο λόγος H/D δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (8.31), επιλέγουμε φ = 0.55 και

$$D = \sqrt{\frac{4V'}{\pi\varphi u_V \rho_V}} = \sqrt{\frac{4\cdot 1.8}{\pi\, 0.55\cdot 1.1\cdot 1.2}} = 1.78\ m$$

$$H = \frac{\tau\left(\frac{L'}{\rho_L}\right)}{(1-\varphi)\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{6}{0.45\left(\frac{\pi 1.78^2}{4}\right)} = 5.4\ m$$

Ο λόγος H/D ικανοποιεί στην περίπτωση αυτή τον περιορισμό (8.31).

Παράδειγμα 8.5

Διατίθεται μεθάνιο στους 20 ºC και σε πίεση 14 bar και θέλουμε να το συμπιέσουμε στα 56 bar. Εάν η απαιτούμενη γραμμομοριακή παροχή είναι 0.3 kmol/s, να υπολογίσετε την καταναλισκόμενη ισχύ στην άτρακτο, την ισχύ του κινητήρα και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, εάν η απόδοση τόσο του συμπιεστή όσο και του κινητήρα είναι 75% ($e_c = e_m = 0.75$). Επίσης, να προσδιορίσετε τον πιθανό τύπο του συμπιεστή.

Λύση

Για το μεθάνιο, θεωρούμε α = 0.23 και έτσι

$$w_{s,\Delta S=0} = \frac{z_1 R_g T_1}{\alpha}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\alpha} - 1\right] = \frac{8.314\dfrac{\text{kJ}}{\text{kmol K}}293.15\text{K}}{0.23}\left[\left(\frac{56}{14}\right)^{0.23} - 1\right] = 3979.5\,\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

Το πραγματικό έργο ατράκτου θα είναι

$$W_s = F\,\frac{w_{s,\Delta S=0}}{e_c} = 0.3\left(\frac{\text{kmol}}{\text{s}}\right)\cdot\frac{3979.5}{0.75}\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}\right) = 1592\text{ kW}$$

Η ισχύς του κινητήρα είναι

$$P_m = \frac{W_s}{e_m} = \frac{1592}{0.75}\text{ kW} = 2122.4\text{ kW} = 2846\text{ hp}$$

και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας

$$C_E\left(\frac{\$}{y}\right) = 0.06\left(\frac{\$}{\text{kWh}}\right)\cdot P_m\cdot 365\cdot 24\cdot 0.95\left(\frac{\text{kWh}}{\text{y}}\right) = 1.06\,\frac{\text{M\$}}{\text{y}}$$

Η ογκομετρική παροχή εισόδου είναι

$$V = 0.3\cdot\frac{0.08314\cdot 293.15\cdot 3600}{14}\frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1880\,\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Λόγω της υψηλής πίεσης εξόδου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί φυγοκεντρικός συμπιεστής.

Παράδειγμα 8.7

Σε δοχείο με όγκο υγρού ίσο με 5 m^3 (πυκνότητα υγρού 1000 kg/m^3) πρόκειται να εγκατασταθεί στρόβιλος όπως αυτός του Σχήματος 8.19. Να προτείνετε διαστάσεις για το δοχείο και τον αναδευτήρα και να υπολογίσετε την κατανάλωση ισχύος και τον χρόνο ανάμιξης για την περίπτωση όπου το ιξώδες μεταβάλλεται από 10^0 cP έως 10^5 cP. Ο αριθμός περιστροφών να θεωρηθεί σταθερός, ίσος με 90 rpm.

Λύση

Για τον υπολογισμό των διαστάσεων του δοχείου, θα βασιστούμε στο Σχήμα 8.19 από όπου λαμβάνουμε $D = H_L$ και έτσι

$$\frac{\pi D^2}{4} D = V_L \Rightarrow D = H_L = \sqrt[3]{\frac{4V_L}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4\cdot 5}{\pi}} = 1.85\ \mathrm{m}$$

Για τη διάμετρο του αναμίκτη επιλέγουμε $D_i = D/3 = 0.617$ m και για το ύψος κάθε πτερυγίου $w = D_i/5 = 0.123$ m.

Θα παρατεθούν αντιπροσωπευτικοί υπολογισμοί για μ = 1 cP = 0.001 kg/(m·s) και μ = 10^5 cP.

μ = 1 cP = 0.001 kg/(m·s):

Αρχικά, υπολογίζουμε τον αριθμό Reynolds

$$Re = \frac{\rho N D_i^2}{\mu} = \frac{1000\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\cdot\dfrac{90}{60}\dfrac{1}{\mathrm{s}}\cdot 0.617^2\,\mathrm{m}^2}{0.001\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m\cdot s}}} = 5.7\,10^5$$

Χρησιμοποιούμε, στη συνέχεια, την Εξίσωση 8.78 και εφόσον $Re > 10^4$, $N_p = 5$, ή

$$P = 5\rho N^3 D_i^5 = 5\cdot 1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\cdot 1.5^3\left(\frac{1}{\mathrm{s}}\right)^3\cdot 0.617^5\ \mathrm{m}^5 = 1508.9\,\frac{\mathrm{kg\cdot m^2}}{\mathrm{s}^2}\cdot\frac{1}{\mathrm{s}} = 1508.9\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

και η ειδική κατανάλωση ισχύος 1.5089 kW/5 m^3 = 0.3 kW/m^3. Για τον χρόνο ανάμιξης ισχύει ότι

$$N_i t_m = \frac{5.2}{N_P^{1/3}}\left(\frac{D}{D_i}\right)^2 \Rightarrow t_m = \frac{1}{N_i}\cdot\frac{5.2}{N_P^{1/3}}\left(\frac{D}{D_i}\right)^2 = \frac{1}{1.5}\,\mathrm{s}\cdot\frac{5.2}{5^{1/3}}\cdot\left(\frac{3}{1}\right)^2 = 18.25\ \mathrm{s}$$

μ=10^5 cP=100 kg/(m·s):

$$Re = \frac{\rho N D_i^2}{\mu} = \frac{1000\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\cdot\dfrac{90}{60}\dfrac{1}{\mathrm{s}}\cdot 0.617^2\,\mathrm{m}^2}{100\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m\cdot s}}} = 5.7$$

Εφόσον $Re < 10$, $N_p = 70/Re = 12.3$, ή

$$P = 12.3\rho N^3 D_i^5 = 12.3\cdot 1000\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\cdot 1.5^3\left(\frac{1}{\mathrm{s}}\right)^3\cdot 0.617^5\ \mathrm{m}^5 = 3.7112\ \mathrm{kW}$$

Και η ειδική κατανάλωση ισχύος 3.7112 kW/5 m^3 = 0.74 kW/m^3. Για τον χρόνο ανάμιξης, ισχύει ότι

$$N_i t_m = \frac{5.2}{N_P^{1/3}}\left(\frac{D}{D_i}\right)^2 \Rightarrow t_m = \frac{1}{N_i}\cdot\frac{5.2}{N_P^{1/3}}\left(\frac{D}{D_i}\right)^2 = \frac{1}{1.5}\,\mathrm{s}\cdot\frac{5.2}{12.3^{1/3}}\cdot\left(\frac{3}{1}\right)^2 = 13.2\ \mathrm{s}$$