

KRITERIJUMI ZA DIMENZIONISANJE SEPARACIONOG PROSTORA KOD ISPARIVAČA SA POTOPLJENIM CEVNIM SNOPI

Branislav Jaćimović¹, Srbislav Genić¹, Nikola Budimir², Marko Jarić², Igor Martić¹, Nikola Jaćimović¹, Petar Kolendić¹, Vojislav Genić³

¹ Mašinski fakultet Beograd, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd

² Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd

³ SAP West Balkans, Omladinskih brigada 88b, 11070 Beograd

Abstrakt

Postoji više kriterijuma za dimenzionisanje separacionog prostora kod isparivača sa potopljenim cevnom snopom. Ovi kriterijumi su navedeni i komentarisani u radu. Dat je i numerički primer koji ilustruje upotrebu ovih kriterijuma.

Ključne reči

isparivač, separacioni prostor, uznošenje tečnosti

1 Uvod

Jedan od često korišćenih tipova aparata u procesnoj industriji je isparivač sa potopljenim cevnom snopom. Ova vrsta isparivača se često koristi i u drugim industrijama (rashladni sistemi, proizvodnja destilisane voda, itd.). Isparivač sa potopljenim cevnom snopom se izrađuje sa U-cevima ili sa plivajućom cevnom pločom. Omotač je značajno većeg prečnika od cevnog snopa radi formiranja separacionog prostora, za odvajanje pare od kapljica tečne faze. Nivo tečnosti u omotaču se obično kontroliše pomoću kontrolera ili pomoću prelivne brane. Topliji fluid kod ovih aparata struji kroz cevi.

Uopšteno govoreći veličina prečnik isparivača zavisi od protoka pare i tečnosti, njihovih svojstava i geometrije razmenjivača. Mora se napomenuti da ako je neophodno obezbediti potpuno suhu paru na izlazu iz isparivača, kao u slučaju napajanja kompresora, potrebno je predvideti dodatnu zaštitu kao npr. eliminatore kapi ili neki drugi uređaj.

Postoji više kriterijum za dimezionisanje separacionog prostora koji se mogu naći u otvorenoj literaturi. Ovi kriterijumi su navedeni u daljem testu.

2 Kriterijum za dimezionisanje separacionog prostora

Strujanje dvofazne i po pravilu višekomponentne mešavine para/tečnost u separacionom prostoru je veoma kompleksno. Iako se u literaturi može naći više pokušaja da se ovo strujanje opiše matematičkim modelom, u današnje vreme prevladavaju empirijski kriterijumi. Ovi kriterijumi se mogu svrstati u nekoliko grupa.

2.1 Kriterijumi na osnovu jednostavnih geometrijskih odnosa

Palen [2] definiše da rastojanje od gornjih cevi u snopu do omorača ne bi trebalo da bude manje od 40% od prečnika omotača $D_s / D_b \geq 1.4$.

Prema [1] i [9] rastojanje od nivoa tečnosti do omotača treba da bude najmanje $H_s = 250$ mm.

Iz praktičnih razloga (bolja separacija pri uznošenju) nivo tečnosti se kod isparivača bira tako da jedan ili dva gornja reda cevi nisu potopljeni [2]. U ovim slučajevima visina parnog prostora treba da bude najmanje $H_s = 300$ mm.

U [1] i [9] potreban prečnik omotača se definiše kao funkcija toplotnog fluksa. Sumirajući podatke iz obe reference sledeća dobija se sledeća jednačina

$$\frac{D_s}{D_b} = 1 + (0.015 \div 0.025) \cdot q \quad (1)$$

gde je toplotni fluks q u kW/m^2 .

2.2 Kriterijumi na osnovu zapremine parnog prostora

U [11] za aparate na atmosferskom pritisku data je sledeća jednačina

$$\frac{\dot{V}_G}{V} = 0.14 + \frac{0.011}{0.01 + H_{sep}^{1,5}} \quad (2)$$

U [10] je prethodna jednačina preporučena i za isparivače sa eliminatorom kapi (slika 1). Za aparate koji ne rade na atmosferskom pritisku uveden je korekcionni faktor

$$f = \frac{p}{1,22 \cdot p - 0,22} \quad (3)$$

za opseg radnih pritisaka $0.5 \div 5$ bar.

Prema [2] minimalna zapremina parnog protora je

$$\frac{\dot{V}_G}{V} = 80,5 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_L - \rho_G}} \quad (4)$$

2.3 Kriterijumi na osnovu jednačine Saudersa i Brauna

Veći broj referenci iz ove oblasti je baziran na jednačini Saudersa i Brauna

$$w_{G,max} = K \cdot \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G} - 1} \quad (5)$$

U [1] i [9] je utvrđeno da se koeficijent uznošenja K kreće između 0,03 m/s i 0,09 m/s.

Ako je isparivač povezan sa destilacionom kolonom u [5] je data jednačina

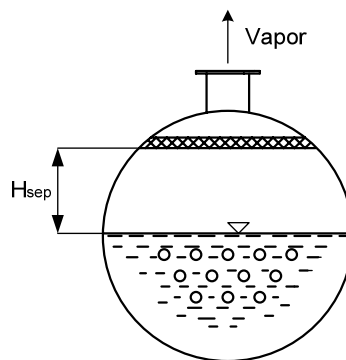
$$K = 3.14 \cdot e^{0.33} \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_L - \rho_G} \right)^{0.25} \quad (6)$$

Specifično uznošenje ne bi trebalo da iznosi više od 2% i može se proceniti na osnovu izraza

$$e = \left(\frac{1}{1 - f_e} - 1 \right) \cdot \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_G} \cdot \frac{1}{E^{e=0}} \quad (7)$$

gde je

$$f_e = \frac{E^{e=0} - E_a}{E^{e=0}} \quad (8)$$



Slika 1 Poprečni presek isparivača sa potopljenim cevnom snopom

2.3 Kriterijumi za procenu prečnika i broja ulaznih i izlaznih priključaka

Prema [8] odbojna ploča (ili neko drugo konstrukciono rešenje) treba da štite cevni snop od udarnog dejstva tečnosti na ulazu, ukoliko je proizvod $\rho_L \cdot w_L^2$ premašuje sledeće vrednosti:

- 2250 Pa za nekorozivne i neabrazivne jednofazne tečnosti;
- 750 Pa za sve ostale tečnosti uključujući i tečnosti na temperaturi ključanja.

S druge strane, prema [12] preporučeni prečnik ulaznog priključka se određuje korišćenjem kriterijuma $\rho_{mix} \cdot w_{mix}^2 < 1000$ Pa .

Prema [3] maksimalna brzina pare u izlaznim priključcima iznosi 30 m/s, dok je u [4] definisan kriterijum

$$\rho_G \cdot w_{G,out}^2 < 3750 \text{ Pa} \quad (9)$$

Distribucija protoka kod isparivača se može kontrolisati i pravilnim postavljanjem odgovarajućeg broja priključaka. Prema [6] odgovarajući broj priključaka je

$$N_N = \frac{L_b}{5 \cdot D_b} \quad (10)$$

3 Primer

Isparivač (prikazan na slici 2) se koristi za kondenzaciju procesnog fluida u cevima (mešavina CO₂ - O₂). Hladniji fluid je amonijak na pritisku 0.9 barA (-35.91°C).

Prečnik cevnog snopa je $D_b = 440 \text{ mm}$ a prečnik omotača je $D_s = 700 \text{ mm}$, tako da je odnos $D_s / D_b = 1.59$ a visina separacionog prostora je $H_{sep} = 260 \text{ mm}$

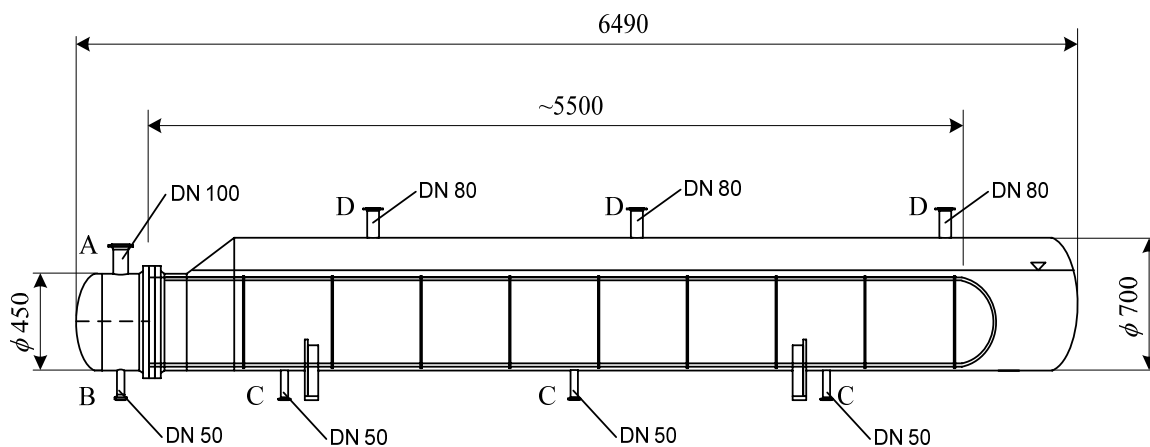
Toplotna snaga razmenjivača iznosi 472 kW (protok amonijaka je 1194 kg/h), a površina za razmenu toplote je $S = 63.9 \text{ m}^2$, tako da je toplotni fluks $q = 7.39 \text{ kW/m}^2$. Pomoću jednačine (1) dobija se odnos $D_s / D_b = 1.11 \div 1.18$, a prema kriterijumu Palena $D_s / D_b = 1.4$.

Prema (5) korišćenjem vrednosti $K = 0.03 \text{ m/s}$ maksimalna brzina pare je $w_{G,max} = 0,889 \text{ m/s}$. Stvarna brzina pare iznosi $w_G = 0,110 \text{ m/s}$, tj. karakteristični odnos je $w_G / w_{G,max} = 12,4\%$. Ako se jednačina (6) upotrebi za određivanje faktora uznošenja korišćenjem vrednosti $K = 0.03 \text{ m/s}$ dobija se specifično uznošenje $e = 0.0013$, što je manje od usvojene granične vrednosti od $e = 0.02$.

Prema jednačini (4) minimalna zapremina parnog prostora je $V = 0.798 \text{ m}^3$, i ova vrednost je 8% manja od stvarne vrednosti $V = 0.858 \text{ m}^3$.

Pošto dužina cevnog snopa iznosi $L_b = 5500 \text{ mm}$, minimalni broj priključaka je $N_N = 2.5$, pa je usvojeno da na ulazu i na izlazu iz aparata ima po tri priključka. Brzina pare u priključku na izlazu je $w_{G,out} = 26.5 \text{ m/s}$, a proizvod $\rho_G \cdot w_{G,out}^2$ iznosi 549 Pa.

Konstruktivno rešenje isparivača se može smatrati ispravnim, s obzirom da su svi kriterijumi zadovoljeni.



Slika 2 Isparivač (priklučci: A – ulaz procesnog fluida, B - izlaz procesnog fluida, C - ulaz tečnog amonijaka, D – izlaz pare amonijaka)

4 Zaključak

Postoji više preporuka i kriterijuma za dimenzionisanje separacionog (parnog) prostora kod kod isparivača sa potopljenim cevnom snopom. Ovi kriterijumi, preuzeti iz otvorene literature, su sistematično prikazani u članku, pa se na osnovu njih lako može uspostaviti procedura za dimenzionisanje aparata ili za proveru postojećeg konstrukcionog rešenja, kako je i prikazano u primeru amonijačnog isparivača.

5 Spisak oznaka

D_s , m, prečnik omotača

D_b , m, prečnik cevnog snopa

$E^{e=0}$, efikasnost stepena kontakta u slučaju kada nema uznošenja

E_a , privedna efikasnost

H_{sep} , mm, visina separacione zone

$$H_{sep} = D_s - D_b$$

K , m/s, koeficijent uznošenja

L_b , m, dužina cevnog snopa

\dot{m} , kg/s, maseni protok

N_N , broj parova (ulaz + izlaz) priključaka

p , bar, pritisak u parnom prostoru

Q, W , toplotna snaga

q , W/m^2 , toplotni fluks

S , m^2 , površina za razmenu toplote

V , m^3 , zapremina parnog prostora

w , m/s , brzina

ρ , kg/m^3 gustina

σ , N/m površinski napon

Indeksi

max, maksimalno

min, minimalno

mix, mešavina

G, gas (para)

L, tečnost

out, izlaz

6 Spisak korišćene literature

1. Sinnott R. K.: Chemical Engineering Volume 6: Chemical Engineering Design, Pergamon Press, Oxford, 1983.
2. Palen J. W. Small W. M.: A New Way to Design Kettle and Internal Reboilers, Hydrocarbon Processing, V. 43, No. 11, p. 199 1964.
3. Vujić, S.: Rashladni uređaji, Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
4. Iranian Petroleum Standards IPS-E-PR-880, Engineering Standard For Process Design Of Gas (Vapor)-Liquid Separators, May 1997.
5. Tammami B., Simplifying reboiler entrainment calculations, Oil Gas Journal, June 1985.
6. Heat Exchanger Design Handbook (HEDH) Volume 3, Hemisphere Publishing Company, Washington, 1986.
7. Jaćimović B., Genić S.: Studija revitalizacije postrojenja za proizvodnju CO_2 , 2007.
8. Standards of Tubular Excangers Manufactures Association, Sixth Edition, New York 1978.
9. Ernest L.: Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 3, Third Edition, Gulf Professional Publishing, Boston 1999.
10. Billet, R.: Evaporation Technology, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1989.
11. Vorkauf, H., Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens, VDI Forschungsheft B341, 1931.
12. Engineering standard for process design of gas (vapour)-liquid separators, original edition May 1997. Iranian Petroleum Standard IPS-E-PR-880.