7 F l u i d a c e

Lenka Schreiberová, Lubomír Neužil

A Výpočtové vztahy

Význam fluidace pro technickou praxi je dán tím, že proudem tekutiny je vytvořena suspenze částic, která se nazývá *fluidní vrstva*. Celý povrch suspendovaných částic je ve styku s tekutinou (kapalina, plyn, heterogenní směs), čímž dochází k intenzifikaci procesů (jako je sdílení tepla, sušení částic apod.). Zařízení určené k fluidaci je *fluidační zařízení.* Podrobnější informace jsou uvedeny ve skriptu [N1, str. 254].

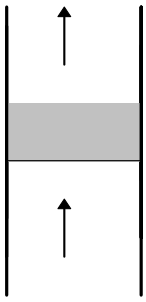
Na rozdíl od zařízení pro usazování, musí být fluidační zařízení vybaveno *roštem,* který zajišťuje rovnoměrné rozdělení tekutiny pro vytváření fluidní vrstvy.

Kapitola zahrnuje výpočtové vztahy pro výpočet prahu fluidace, úletové rychlosti částic z fluidní vrstvy, tlakové ztráty fluidní vrstvy a na roštu, rychlosti tekutiny pro dosažení určité expanze fluidní vrstvy a vztahy popisující fluidaci nekulových částic.

Chování vrstvy zrnitého materiálu ležícího na děrované přepážce, čili roštu (obr.7-1), kterým protéká tekutina proti směru působení zemské tíže, závisí na mimovrstvové rychlosti tekutiny. Mimovrstvová rychlost tekutiny υ je definována vztahem

$$\upsilon = \dot{V} / S \tag{7-1}$$

kde $\dot{V}$ je objemový tok tekutiny a S průřez fluidační kolony.



Obr. 7-1. Schéma fluidační kolony s roštem

Podle velikosti mimovrstvové rychlosti tekutiny můžeme rozdělit chování vrstvy zrnitého materiálu do tří oblastí:

a) Oblast nehybné vrstvy ($0 \le \upsilon < \upsilon_0$) : Částice materiálu nemění polohu, mezerovitost vrstvy je konstantní ($\varepsilon = \varepsilon_0$), tlaková ztráta Δp_{dis} vrstvy materiálu vzrůstá s mimovrstvovou rychlostí tekutiny.

b) Oblast fluidní vrstvy ($\upsilon_0 \le \upsilon < \upsilon_{\mathrm{e}}$): Při překročení mimovrstvové rychlosti odpovídající prahu fluidace ($\upsilon = \upsilon_0$) se částice mohou pohybovat v celém objemu vrstvy, mezerovitost ε a výška vrstvy h s mimovrstvovou rychlostí tekutiny vzrůstají ($\varepsilon_0 \le \varepsilon < 1$, $h_0 \le h < \infty$), tlaková ztráta fluidní vrstvy se prakticky nemění ($\Delta p_{\mathrm{dis}} = \Delta p_{\mathrm{dis,B}} \cong$ konst.).

c) Oblast úletu ($\upsilon \geq \upsilon_e \cong \upsilon_u$) : Při dosažení mimovrstvové rychlosti tekutiny na prahu úletu υ_e , která je přibližně rovna rychlosti usazování izolované částice v daném prostředí υ_u (viz kap.6) a při vyšší rychlosti jsou částice vynášeny ze zařízení.

Je vidět, že existence fluidní vrstvy je vymezena určitou oblastí mimovrstvové rychlosti tekutiny $\upsilon \in \langle \upsilon_0 ; \upsilon_e \rangle$. Přechod nehybné vrstvy ve fluidní je označován jako práh fluidace a odpovídající rychlost tekutiny υ_0 se nazývá *prahová rychlost fluidace*. Rychlost υ_e je *prahová rychlost úletu*.

Mezerovitost fluidní vrstvy je definována podílem volného objemu ve fluidní vrstvě V_f *a* jejího celkového objemu V_B :

$$\varepsilon = V_f / V_B = (V_B - V_p) / V_B \qquad (7\text{-}2)$$

kde V_p je objem všech částic.

7.1 Tlaková ztráta fluidní vrstvy a některé definice

Tlaková ztráta fluidní vrstvy $\Delta p_{dis,B}$ má hodnotu rovnající se přibližně tíži částic, zmenšené o vztlak na jednotkový vnitřní průřez kolony S a je dána rovnicí

$$\Delta p_{dis,B} \cong V_p (\rho_p - \rho_f) g / S \qquad (7\text{-}3)$$

kde g je tíhové zrychlení, ρ_p hustota částic a ρ_f hustota tekutiny.

Pro výšku fluidní vrstvy platí

$$h = V_B / S \qquad (7\text{-}4)$$

Odpor částic ve fluidní vrstvě lze vyjádřit pomocí součinitele odporu částic ζ_p, který je dán rovnicí

$$\zeta_p = (4/3)\, g\, d_p (\rho_p - \rho_f) / (\rho_f \upsilon^2) \qquad (7\text{-}5)$$

kde d_p je průměr kulové částice a ν je kinematická viskozita tekutiny. Součinitel odporu je v tomto případě (na rozdíl od usazování izolované částice) funkcí nejen Reynoldsova kritéria *Re*, ale také mezerovitosti fluidní vrstvy ε :

$$\zeta_p = \zeta_p (Re , \varepsilon) \qquad (7\text{-}6)$$

Reynoldsovo kritérium je definováno vztahem

$$Re = \upsilon d_p / \nu \qquad (7\text{-}7)$$

Rov. (7-5) lze upravit na kriteriální tvar

$$Ar = (3/4)\, \zeta_p\, Re^2 \qquad (7\text{-}8)$$

nebo

$$Ar^{1/3} = (3/4)\, \zeta_p\, Ly^{2/3} \qquad (7\text{-}9)$$

kde *Ar* je Archimédovo kritérium

$$Ar = g\, d_p^3 (\rho_p - \rho_f) / (\rho_f \nu^2) \qquad (7\text{-}10)$$

a *Ly* je Ljaščenkovo kritérium

$$Ly = Re^3 / Ar = \upsilon^3 \rho_f / [(\rho_p - \rho_f) g \nu] \qquad (7\text{-}11)$$

7.2 Práh fluidace kulových částic

Pro práh fluidace kulových částic byl nalezen vztah

$$\zeta_{p0} = \left[7 Re_0 + 600(1-\varepsilon)\right] / \left(3 \varepsilon_0^3 Re_0\right) \qquad (7\text{-}12)$$

kde indexem 0 jsou označeny veličiny vztažené k prahu fluidace. Rov. (7-12) lze upravit pomocí vzorců (7-8) a (7-9) na tvar

$$Ar = 150\, Re_0 \left(1-\varepsilon\right) / \varepsilon_0^3 + 1{,}75\, Re_0^2 / \varepsilon_0^3 \qquad (7\text{-}13)$$

nebo

$$Re_0 = \left(150 / 3{,}5\right) \left(1-\varepsilon_0\right) \left\{ \left[1 + (7 / 150^2)\, \varepsilon_0^3 / \left(1-\varepsilon_0\right)^2 Ar \right]^{0,5} - 1 \right\} \qquad (7\text{-}13a)$$

a

$$Ar^{1/3} = 150 \left[\left(1-\varepsilon_0\right) / \varepsilon_0^3 \right] \left(Ly_0 / Ar\right)^{1/3} + (1{,}75 / \varepsilon_0^3)\, Ly_0^{2/3} \qquad (7\text{-}14)$$

Graf na obr. 7-2 (viz přílohy) byl sestrojen výpočtem z rov. (7-14). Mezerovitost nehybné vrstvy monodisperzních kulových částic se může měnit v poměrně širokém rozmezí (obvykle $\varepsilon_0 \in \langle 0{,}260 \,;\, 0{,}476 \rangle$ - viz [B3]. Volně sypaná vrstva kulových částic a nehybná vrstva po fluidaci má zpravidla mezerovitost $\varepsilon_0 \cong 0{,}4$.

7.3 Expanze rovnoměrné fluidní vrstvy kulových částic

Pro expanzi rovnoměrné fluidní vrstvy kulových monodisperzních částic byl sestrojen graf (obr. 7-3) závislosti

$$Ly^{1/3} = f\,(Ar^{1/3}, \varepsilon)$$

K popisu expanze fluidní vrstvy kulových částic se též používá různých empirických závislostí [B2, R1, R2]. Jedním z těchto vztahů je rovnice

$$Re = Ar\ \varepsilon^{4,75} / \left[18 + 0{,}6 \sqrt{Ar\ \varepsilon^{4,75}} \right] \quad , \qquad (7\text{-}15)$$

která přibližně vystihuje průběh expanze kulových monodisperzních částic.

7.4 Fluidace nekulových částic

K popisu chování fluidní vrstvy nekulových částic se často používají empirické rovnice [A1, B1, R2] pro jednotlivé druhy materiálů.

Jiný způsob popisu je založen na využití vztahů podle [N2]. Tato nová metoda , která je společná pro sedimentaci suspenzí i pro fluidaci byla již citována v kap. 6 (oddíl 6.2). I pro fluidaci platí obr. 10.4 ve skriptu [N1, str.210]. Hodnotu v_u však nahradíme Δv (skluzová rychlost) a vypustíme případ $v_f = 0$, který pro fluidaci nemá význam. Použití skluzové rychlosti znamená, že dále uvedené rovnice platí i pro pohyb celé fluidní vrstvy nahoru nebo dolů. K popisu fluidace nekulových částic newtonskou tekutinou [N1, str. 74] jsou zavedena kritéria

$$Ly \equiv |\Delta \upsilon|^3 \rho_f / (\eta\, |\Delta\rho|\, g) \tag{7-16}$$

$$Ar \equiv d_p^3\, |\Delta\rho|\, \rho_f\, g / \eta^2 \tag{7-17}$$

kde je η - dynamická viskozita tekutiny a d_p - ekvivalentní průměr částic.

Hodnotu d_p vypočteme podle vzorce

$$d_p = \left\{ \left[6 / (\pi n \rho_p) \right] \sum_{j=1}^{n} m_j \right\}^{1/3} \tag{7-18}$$

kde n je počet náhodně vybraných částic daného zrnění a m_j je hmotnost jednotlivých částic.

Dynamický tvarový faktor φ_{Ar} je pro fluidaci funkcí mezerovitosti ε :

$$\varphi_{Ar}(\varepsilon) = [Ly(\varepsilon) / Ly_o(\varepsilon)]^{1/3} = \Delta\upsilon(\varepsilon) / \Delta\upsilon_o(\varepsilon) \quad , \quad [Ar = Ar_o] \tag{7-19}$$

Index o označuje kulovou částici.

Vliv zvýšené koncentrace částic (1-ε) se týká jak usazování suspenzí, tak i fluidní vrstvy. Platí

$$\Delta\upsilon(\varepsilon) = \varphi_{Ar}(\varepsilon)\, \Delta\upsilon_o(\varepsilon)$$

tj. rychlost pro dosažení určité mezerovitosti vrstvy ε kulových částic $\Delta\upsilon_o$ násobíme tvarovým faktorem φ_{Ar} při téže mezerovitosti. Hodnotu $\Delta\upsilon_o$ vypočteme z rovnic (7-15) a (7-7). Rov. (7-7) však zapíšeme

$$Re_o = \Delta\upsilon_o\, d_p\, \rho_f / \eta \tag{7-7a}$$

a dostaneme odpovídající rychlost nekulové částice $\Delta\upsilon(\varepsilon)$. Pro lineární interpolaci v souřadnicích (φ_{Ar} ; log $Ar^{1/3}$) platí tyto rovnice :

$$\varphi_{Ar} = 0{,}930 \quad [\varepsilon \in \langle 0{,}5\ ;\ 0{,}7 \rangle] \tag{7-20}$$

$$\varphi_{Ar} = 0{,}904 \quad [\varepsilon = 0{,}8\ ;\ Ar^{1/3} = 10] \tag{7-21a}$$

$$\varphi_{Ar} = 0{,}892 \quad [\varepsilon = 0{,}8\ ;\ Ar^{1/3} = 100] \tag{7-21b}$$

$$\varphi_{Ar} = 0{,}900 \quad [\varepsilon = 0{,}9\ ;\ Ar^{1/3} = 10] \tag{7-22a}$$

$$\varphi_{Ar} = 0{,}800 \quad [\varepsilon = 0{,}9\ ;\ Ar^{1/3} = 100] \tag{7-22b}$$

7.5 Tlaková ztráta na roštu

Důležitou hodnotou při fluidaci je tlaková ztráta $\Delta p_{dis,g}$ na roštu zařízení. Tuto hodnotu vypočítáme ze vztahu pro místní odpory (viz kap. 3)

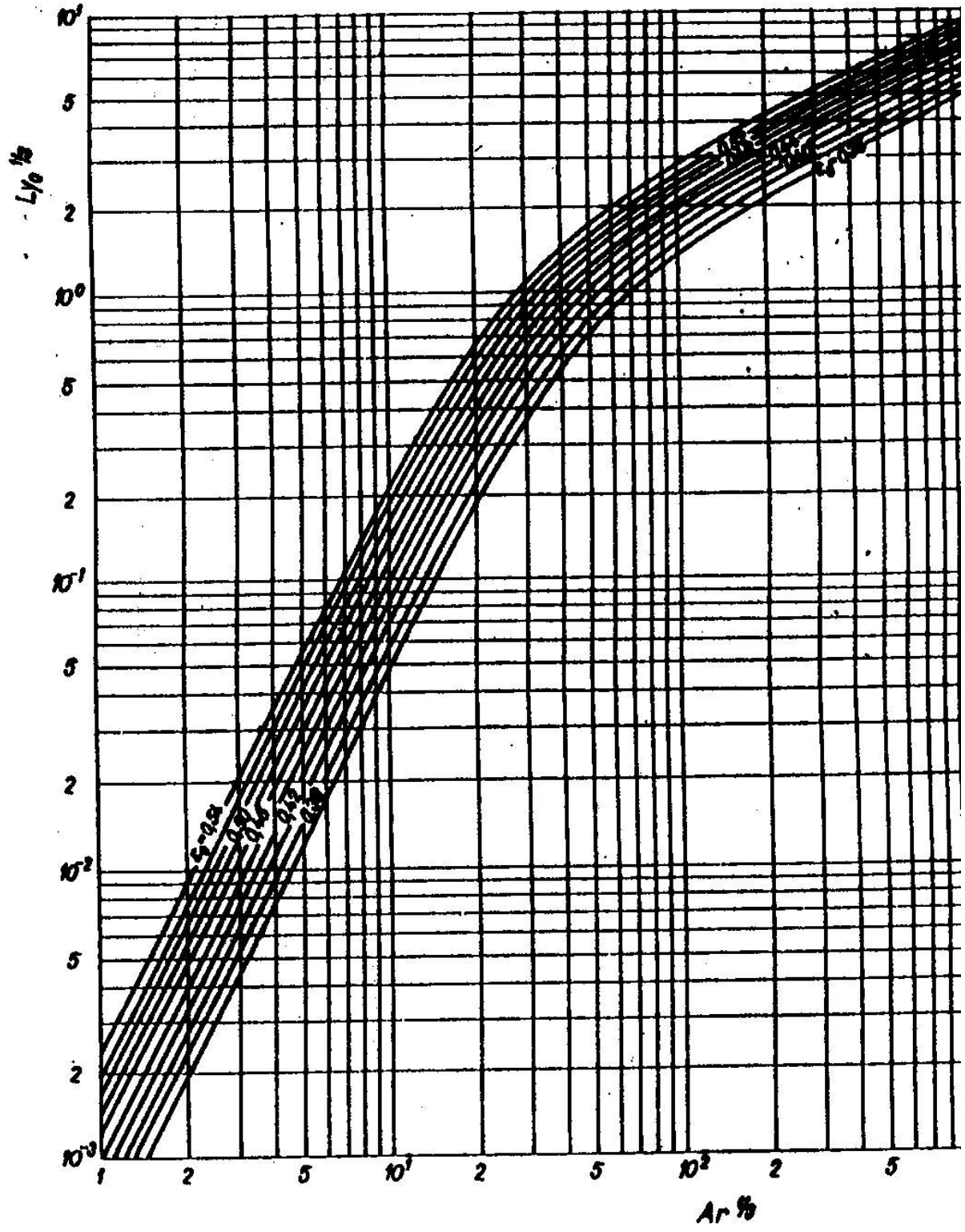
$$\Delta p_{dis,g} = \zeta_g\, \upsilon^2\, \rho_f / 2 \tag{7-23}$$

kde ζ_g je součinitel odporu roštu. Pro jeho odhad můžeme použít rovnici [I1]

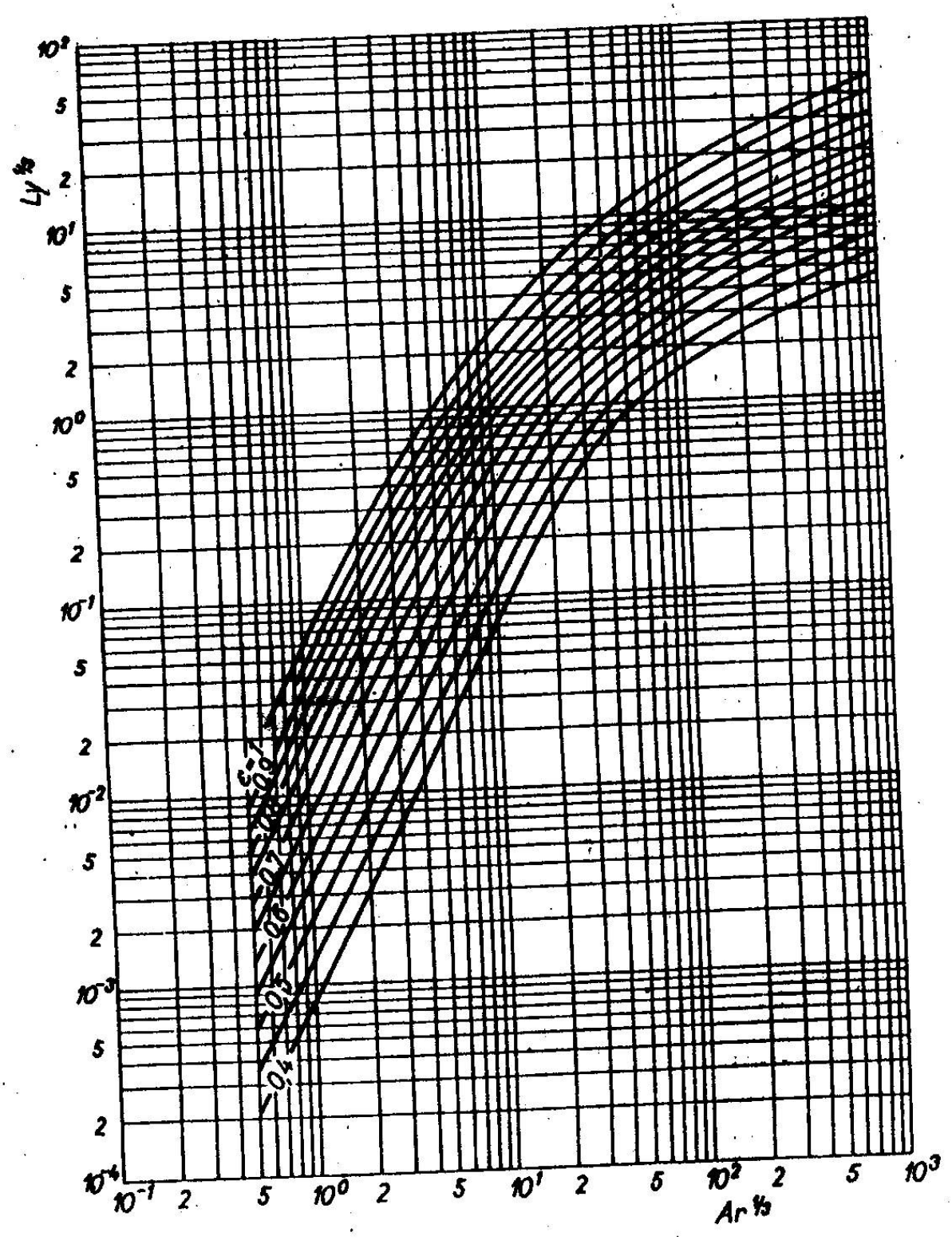
$$\zeta_g = \left[S/S_g - 1 + 0{,}707\,(S/S_g) \sqrt{1 - S_g/S} \right]^2 \tag{7-24}$$

kde S_g je volná plocha roštu. Rovnice (7-24) platí pro rošty s průměrem otvorů rovným dvojnásobné tloušťce roštu nebo větším.

7.6 Přílohy



Obr. 7.2. Závislost $Ly_0^{1/3}$ $(Ar^{1/3}, \varepsilon_0)$ pro práh fluidace



Obr. 7.3. Závislost $Ly^{1/3}$ ($Ar^{1/3}$, ε) pro expandovanou fluidní vrstvu

7.6.1 Literatura

[A1] Aerov M.E., Todes O.M.: Gidravličeskije i teplovyje osnovy raboty apparatov so stacionarnym i kipjaščim slojem. Chimija, Leningrad 1968.

[B1] Beňa J., Ilavský E., Kossaczký E., Valtýni J.: Collect. Czech. Chem. Commun. *28*, 555 (1963).

[B2] Beránek J., Sokol D.: Fluidní technika. SNTL, Praha 1961.

[B3] Brown G.G.: Unit operations. Wiley, New York 1951.

[H1] Holeček O.: Chemicko-inženýrské tabulky. Skriptum VŠCHT, Praha 1997.

[I1] Idelčik J.Je.: Chim. Prom. *30*, 351(1955)

[N1] Neužil L., Míka V.: Chemické inženýrství IA. Ediční středisko VŠCHT, Praha 1992.

[N2] Neužil L., Drobník P., Čermák J.: Sedimentation and fluidization of spherical and non -spherical particles. International congress of CHISA, Prague, Czech Republic 1996.

[R1] Romankov P.G., Noskov A.A.: Sbornik rasčetnych diagramov po kursu processov i apparatov chimičeskoj technologii. Chimija, Leningrad 1966.

[R2] Romankov P.G., Raškovskaja N.B.: Suška vo zvešennom sostojanii. Chimija, Leningrad 1968.

B Úlohy

U 7-1 Jaká je tlaková ztráta ve vrstvě krystalů $CuSO_4$ při fluidním sušení vzduchem o teplotě 260°C a tlaku 980 mbar? Kolona má průměr 100 mm a je naplněna 350 g $CuSO_4$.

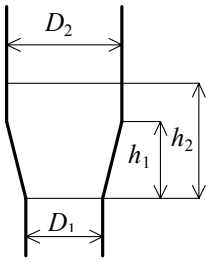
***Výsledek*:** Tlaková ztráta ve fluidní vrstvě $CuSO_4$ je $4{,}37 \cdot 10^2$ Pa.

U 7-2 Vypočítejte množství částic K_2CO_3 (zádrž) v zařízení znázorněném na obr. 7-4, je-li tlaková ztráta fluidní vrstvy 2,8 kPa. Rozměry zařízení: průměr válcové části D_1 = 350 mm, průměr zařízení u roštu D_2 = 200 mm, výška kónické části h_1 = 250 mm. Výška fluidní vrstvy je h_2 = 300 mm. K fluidaci je použit vzduch o teplotě 30°C a normálním tlaku.

***Výsledek*:** Zádrž K_2CO_3 v zařízení je 19,06 kg.

U 7-3 Vypočítejte prahovou rychlost fluidace kulových částic o průměru 4 mm a hustotě 1 280 kg m^{-3} při použití vzduchu o teplotě 25°C a tlaku 735 Torr.

***Výsledek*:** Prahová rychlost fluidace daných částic je 1,16 m s^{-1}.



Obr. 7-4 Schematický nákres části zařízení

U 7-4 Vypočítejte mimovrstvovou rychlost nasyceného vodného roztoku síranu sodného při jeho fluidní krystalizaci v třídicím krystalizátoru za teploty 20°C. Hustota roztoku je 1154 kg m^{-3} a jeho dynamická viskozita $1{,}46.10^{-3}$ Pa s. Dynamický tvarový faktor krystalů je 0,7. Pět set krystalů má hmotnost 0,3823 g. Prahová mezerovitost vrstvy činí 0,45. Je požadována mimovrstvová rychlost při krystalizaci rovná pětinásobku prahové rychlosti fluidace.

***Výsledek*:** Mimovrstvová rychlost fluidace síranu sodného v nasyceném roztoku je $7{,}29 \cdot 10^{-3}$ m s^{-1}.

U 7-5 Jaká je prahová rychlost fluidace krychlí o délce hrany 1 mm a hustotě 1450 kg m^{-3} při fluidaci vodou o teplotě 20°C byla naměřena prahová rychlost úletu 0,078 m s^{-1}. Mezerovitost nehybné vrstvy je 0,38. Předpokládejte konstantní dynamický tvarový faktor v celém rozmezí existence fluidní vrstvy, nezávislý na podmínkách fluidace.

***Výsledek*:** Prahová rychlost fluidace krychlí je $6{,}15 \cdot 10^{-3}$ m s^{-1}.

U 7-6 V jakém rozmezí se může měnit teplota vzduchu, aby byla jeho mimovrstvová rychlost $\upsilon \in \langle 1{,}9\upsilon_0 \,;\, 2{,}1\upsilon_0 \rangle$, je-li υ_0 prahová rychlost fluidace za daných podmínek? Hmotnostní tok vzduchu fluidní vrstvou je konstantní a při teplotě 90°C a tlaku 98 kPa mu odpovídá mimovrstvová rychlost rovnající se dvojnásobku prahové rychlosti fluidace. V koloně je konstantní tlak 98 kPa. Fluidní vrstvu tvoří částice o průměru 1,14 mm a hustotě 2810 kg m^{-3}. Předpokládejte, že hustota částic se s teplotou nemění a že v daném rozmezí teplot platí stavová rovnice ideálního plynu. Viskozita vzduchu je dána vztahem [H1]

$$\eta = 2{,}75874 + 0{,}0598528\,T - 2{,}626.10^{-5}\,T^2 + 5{,}22.10^{-9}\,T^3 \qquad \text{[Pa s]}$$

kde absolutní teplota T je dosazována v Kelvinech.

***Výsledek*:** Teplota vzduchu se může měnit od 84,2°C do 95,6°C.

U 7-7 Stanovte hodnotu Archimedova kritéria, při které je maximální relativní odchylka ve výpočtu Reynoldsova kritéria na prahu fluidace daného podle literatury [N1] rovnicí

$$Re_0 = Ar / \left(1400 + 5{,}22\sqrt{Ar}\right)$$

od jeho hodnoty vypočtené ze vztahu (7-13a) při prahové mezerovitosti 0,40. Jaká je tato odchylka?

***Výsledek*:** Maximální relativní odchylka Reynoldsova kritéria na prahu fluidace stanoveného z uvedené rovnice [N1] od jeho hodnoty vypočtené z rov. (7-13a) je 19,7% při hodnotě Archimedova kritéria Ar = 32 400.

U 7-8 K výpočtu Reynoldsova kritéria Re_0 na prahu fluidace se používá rovnice (7-13a). Tuto rovnici lze zjednodušit zavedením předpokladu

$$7\,\varepsilon_0^3\,Ar / \left[150^2\left(1-\varepsilon_0\right)^2\right] \quad >> \; 1$$

Zjednodušená rovnice je

$$Re_0 = \frac{Ar}{75\left(1-\varepsilon_0\right)/\varepsilon_0^3 + \sqrt{\left(1{,}75Ar/\varepsilon_0^3\right)}}$$

Její tvar je shodný s tvarem vzorce doporučovaného v literatuře [N1] (viz úloha U7-7).

Určete, ve které oblasti Archimedova kritéria Ar bude odchylka mezi hodnotami Re_0 vypočtenými jednak podle původní rov. (7-13a), jednak z rovnice zjednodušené menší než 5%. Odvoďte vzorec zahrnující vliv prahové mezerovitosti ε_0 pro výpočet kritické hodnoty Archimédova kritéria Ar, při níž má tato odchylka mezní hodnotu 5%.

***Výsledek*:** Odchylky 5% v hodnotách Reynoldsova kritéria Re_0 vypočítaných z uvedených vztahů je dosaženo při kritické hodnotě Archimedova kritéria daného vztahem

$$Ar \;=\; 2{,}256\cdot 10^4\,\frac{\left(1-\varepsilon_0\right)^2}{\varepsilon_0^3}$$

Při větších hodnotách Ar než jaké poskytuje tento vzorec, obdržíme hodnoty Re_0 ze zjednodušené rovnice uvedené v zadání vzhledem k rov. (7-13a) s odchylkou vždy menší než 5%. S rostoucí hodnotou Archimedova kritéria tato odchylka klesá.

U 7-9 Granulovaná močovina se fluidně suší vzduchem při teplotě 50°C a tlaku 98 kPa. Rychlost vzduchu v koloně je 2,1 m s^{-1}. Močovina má hustotu 1 390 kg m^{-3} a průměr granulí je 1,9 mm. Vypočítejte mezerovitost fluidní vrstvy.
***Výsledek*:** Mezerovitost fluidní vrstvy je 0,65.

U 7-10 Ve fluidační koloně průměru 0,1 m je 400 g materiálu, jehož částice mají průměr 0,8 mm a hustotu 1 590 kg m^{-3}. Vypočtěte výšku fluidní vrstvy při fluidaci vzduchem o teplotě 35°C a tlaku 98 kPa. Mimovrstvová rychlost vzduchu je 1,2 m s^{-1}.
***Výsledek*:** Výška fluidní vrstvy je 91,5 mm.

U 7-11 Jaký musí být průtok kapaliny (kg h^{-1}) jednou trubkou reaktoru s fluidní vrstvou, aby koncentrace katalyzátoru ve vrstvě byla 30 obj.%. Průměr částic katalyzátoru je 0,68 mm a hustota 4 260 kg m^{-3}. Ve vrstvě je teplota 150°C. Za těchto podmínek má kapalina hustotu 1260 kg m^{-3} a viskozitu 0,0004 Pa s. Průměr trubek je 0,04 m.
***Výsledek*:** Průtok kapaliny jednou trubkou reaktoru je 333,5 kg h^{-1}.

U 7-12 Ve fluidní vrstvě je katalyticky spalováno malé množství spalitelné příměsi ve vzduchu. Koncentrace příměsi ve vzduchu se mění od 0,45 do 0,55 hmot.%. Při koncentraci příměsi 0,5 hmot.% je ve vrstvě teplota 180°C a mimovrstvová rychlost 0,5 m s^{-1}. Teplota přiváděného vzduchu je 40°C a tlak 1 at. Zrna katalyzátoru mají průměr 0,5 mm a hustotu 4 100 kg m^{-3}. Hmotnostní tok vzduchu kolonou je konstantní.

Předpokládejte, že plyn má stejné fyzikální vlastnosti jako čistý vzduch a že platí stavová rovnice ideálního plynu. Zjistěte, zda uvedené proměnné množství spalitelných příměsí bude mít významný vliv na mezerovitost fluidní vrstvy katalyzátoru. K výpočtu použijte rov. (7-15).
***Výsledek*:** Mezerovitost fluidní vrstvy se mění v rozmezí od 0,485 do 0,488. Vliv změny koncentrace spalitelných látek na mezerovitost není významný.

U 7-13 Je navrženo kontinuální vyluhování zrnitého materiálu ve fluidní vrstvě. Fluidační kolona má podle návrhu průměr 1 m. Přívod materiálu je v hlavě kolony a odvod přepadem ve výšce 0,85 m nad roštem. Jsou známy tyto údaje: k fluidaci se bude používat voda o teplotě 30°C, mimovrstvová rychlost vody je trojnásobkem prahové rychlosti fluidace, částice materálu jsou kulové a mají průměr 1,5 mm a hustotu 2 750 kg m^{-3}. Předpokládejte, že vlastnosti vody se průchodem fluidní vrstvou téměř nezmění. Vypočtěte, jaká bude zádrž materiálu v koloně a denní kapacita zařízení (za 24 hodin), jestliže průměrná doba prodlení částic ve fluidní vrstvě má být 310 s.

***Výsledek*:** V koloně bude zádrž materiálu 624 kg. Denní kapacita zařízení bude činit 173,9 t zpracovaného materiálu.

U 7-14 Pískové filtry na čistění vody se regenerují tak, že se nehybná vrstva písku převede na fluidní proude vody a zachycené nečistoty se odplaví. Voda se ze zařízení odvádí přepadem, který je umístěn 3 m nad pórovitou přepážkou, na níž leží nehybná vrstva písku. Výška nehybné vrstvy je 2,4 m a její mezerovitost 0,415. Částice písku mají prakticky tvar koule o průměru 2,1mm a hustotě 2 640 kg m^{-3}. Teplota promývací vody je 15°C. Průměr filtru je 2 m.

Vypočtěte: a) Minimální tok vody (v m^3 min^{-1}) potřebný k vytvoření fluidní vrstvy.

b) Maximální tok vody (v m^3 min^{-1}), kterým lze ještě vrstvu promývat, aby horní hladina fluidní vrstvy byla nejvýše 5 cm pod přepadem.

c) Tlakovou ztrátu ve fluidní vrstvě.

***Výsledek*:** a) Minimální tok vody je 4,93 m^3 min^{-1}.

b) Tok vody, kterým lze ještě vrstvu promývat , je 8,46 m^3 min^{-1}.

c) Tlaková ztráta ve fluidní vrstvě je 22,6 kPa.

U 7-15 Krystalový cukr ekvivalentního průměru 0,65 mm se suší vzduchem ve fluidační koloně průřezu 1 m^2. Průtok vzduchu je 1,8 m^3 s^{-1} při teplotě 80°C a tlaku 760 Torr ve vrstvě.

Jaký musí být průtok vzduchu, jestliže se bude sušit cukr ekvivalentního průměru 1,6 mm (za jinak stejných podmínek sušení), aby mezerovitost fluidní vrstvy byla stejná jako v prvním případě? Předpokládejte, že dynamický tvarový faktor krystalů je v obou případech stejný.

***Výsledek*:** Potřebný průtok vzduchu bude 3,75 m^3 s^{-1}.