

POSTUPUJÍCÍ FLUIDNÍ VRSTVA, VII*)

Výpočet parametrů postupující rovnoměrné
fluidní vrstvy binárních směsí zrnitého materiálu

MILOSLAV HRDINA*), LUBOMÍR NEUŽIL**)

*) Ústav nerostných surovin, Vítězná 425, 284 03 Kutná Hora

**) Vysoká škola chemicko-technologická, Suchbátarova 3, 166 28 Praha 6

Došlo 10. 1. 1979

Je popsán postup pro určení potřebných parametrů postupující rovnoměrné fluidní vrstvy binárních směsí zrnitých materiálů, jako jsou postupné rychlosti tekutiny a zrnitého materiálu, objemový tok tekutiny, mezerovitost vrstvy, koncentrace částic jednotlivých složek v binární směsi ve fluidní vrstvě při různém uspořádání toku a potřebný průřez zařízení. Postup je ilustrován praktickým příkladem hydrotransportu binární směsi křemičitého písku. Obecnější diskuse ukazuje možnosti uplatnění postupující fluidní vrstvy v hydraulické dopravě, v úpravách zrnitých materiálů a v silikátovém průmyslu.

ÚVOD

Postupující fluidní vrstvy je v technologické praxi využíváno např. v případech svislé hydraulické dopravy, při zahušťování suspenzí či při granulometrické úpravě zrnitých materiálů. Zařízení s postupující fluidní vrstvou obvykle neobsahují točivé součásti, proto jsou poměrně nenáročná na obsluhu a údržbu. Tato zařízení se dále vyznačují vysokou výkonností při malé zastavěné ploše.

Přes tyto skutečnosti nebyla dosud problematika postupující fluidní vrstvy binárních a konečně i polydisperzních směsí zrnitých materiálů uspokojivě komplexně řešena. Tak např. Gasparjan a Zaminjan [1] publikovali výsledky výzkumu vertikálního pohybu polydisperzního materiálu v suspenzi. Omezili se však pouze na případ, kdy se zrnitý materiál pohybuje souhlasným směrem s tekutinou. Finkelstein, Letan a Elgin [2] se pokusili o popis různé uspořádaného vertikálního pohybu tekutiny a polydisperzního zrnitého materiálu. Jejich výsledky nelze doporučit, neboť vykazují poměrně značnou a systematickou chybu [4]. Rozdružování a mísení polydisperzní směsi částic stejné hustoty v nepostupující rovnoměrné fluidní vrstvě studoval Neužil [3].

Tato práce navazuje především na dříve uveřejněné články [4] a [5]. V nich byly odvozeny a pokusně ověřeny vztahy popisující rovnoměrnou postupující fluidní vrstvu polydisperzního zrnitého materiálu při různém uspořádání toků tekutiny a pevných částic.

TEORIE

Obecným rozbořen postupující rovnoměrné fluidní vrstvy se zde zabývat nebudeme, protože je dostatečně popsán v předchozím článku [6]. Pouze si připomeňme, že za kladný směr je zvolen směr opačný vůči směru gravitačního zrychlení a že průřezu zařízení je přiřazeno znaménko shodné se znaménkem střední rychlosti tekutiny nebo pevných částic.

*) Sešlání VI. v sérii „Postupující fluidní vrstva“: Silikáty 24, 329 (1980).

Popis postupující rovnoměrné fluidní vrstvy polydisperzního zrnitého materiálu vyjadřující vztah mezi rychlostí tekutiny a jednotlivými složkami polydisperzní směsi, byl podrobně diskutován a pokusně ověřen v práci [4]. Je vyjádřen soustavou rovnic

$$w_f = w_i - u_c \left[1 - \frac{Y_i}{X_i (1 - \varepsilon)} \right], \quad [i = 1, 2, \dots, k], \quad (1)$$

kde w_f je mimovrstvová rychlost tekutiny definovaná vzorcem, vyjadřujícím poměr objemového toku tekutiny $\dot{V}_f$ zařízením o průřezu S_f ,

$$w_f = \dot{V}_f / S_f. \quad (2)$$

Symbol ε značí mezerovitost fluidní vrstvy, což je objemový zlomek tekutiny v suspenzi:

$$\varepsilon = V_f / V = 1 - V_s / V = 1 - c. \quad (3)$$

Zde V_f je objem tekutiny v suspenzi o celkovém objemu V obsahující objem pevných částic V_s . Symbol c označuje objemový zlomek pevných částic v suspenzi.

Postupná (fiktivní) rychlost kompaktní vrstvy zrnitého materiálu (pro $\varepsilon = 0$) u_c je dána podílem objemového toku zrnitého materiálu $\dot{V}_s$ a průřezu zařízení S_s

$$u_c = \dot{V}_s / S_s. \quad (4)$$

Přitom platí rovnost absolutních hodnot

$$|S_f| = |S_s| = S, \quad (5)$$

kde S je absolutní hodnota průřezu zařízení. Obě veličiny S_f a S_s se mohou lišit pouze znaménky.

Veličina w_i v rovnici (1) představuje mimovrstvovou rychlost tekutiny, při které se vytvoří nepostupující fluidní vrstva i -té složky polydisperzní směsi ($u_c = 0$) o mezerovitosti ε . Hodnotu w_i můžeme pro jednotlivé složky určit buď empiricky nebo výpočtem pomocí publikovaných vztahů [6].

Symbol X_i v rovnici (1) označuje objemový zlomek i -té složky polydisperzního materiálu o k složkách v pevné fázi fluidní vrstvy. Symbol Y_i značí objemový zlomek i -té složky polydisperzního materiálu v pevné fázi na vstupu, popř. na výstupu z fluidní vrstvy. V ustáleném stavu představuje veličina Y_i rovněž poměrný objemový tok i -té složky $\dot{V}_{si}$ polydisperzního materiálu v pevné fázi postupující fluidní vrstvy o objemovém toku celé polydisperzní směsi $\dot{V}_s$ podle vzorce

$$Y_i = \dot{V}_{si} / \dot{V}_s, \quad [i = 1, 2, \dots, k]. \quad (6)$$

Pro hodnoty X_i a Y_i platí

$$\sum_{i=1}^k X_i = 1, \quad \sum_{i=1}^k Y_i = 1. \quad (7), (8)$$

Soustava rovnic (1) spolu s rovnicí (7) a veličinami w_i vypočtenými z expanzních vztahů pro nepostupující fluidní vrstvu všech složek polydisperzní směsi o mezerovitosti ε slouží k popisu postupující rovnoměrné fluidní vrstvy polydisperzních zrnitých materiálů a o známém složení. Pro počet složek polydisperzní směsi $k > 1$ je tedy nutno řešit $(2k + 1)$ rovnic. Z této skutečnosti pak vyplývá, že výpočet pro tři a více složek polydisperzní směsi je velmi pracný a je nutné použít samočinného počítače. Pro tyto účely byl vyvinut výpočtový program, jehož popis je obsažen

v práci [5]. Program dovoluje pro polydisperzní směs o známém složení a maximálně deseti složkách vypočítat koncentrace složek pevné fáze ve fluidní vrstvě a hodnotu jedné veličiny z množiny $\{w_f, u_c, \varepsilon\}$, přičemž dvě z nich musí být zadány.

Početní řešení bez samočinného počítače je únosné nejvýše pro výpočet parametrů postupující rovnoměrné fluidní vrstvy binární směsi. Tímto problémem se také budeme nadále zabývat. Pro tento případ uvažujeme složku jemnou (označení indexem J) a složkou hrubou (označení indexem H). Postupující rovnoměrnou fluidní vrstvu této binární směsi je možno popsat pomocí soustavy pěti nezávislých rovnic:

$$\left. \begin{aligned} w_f &= w_J - u_c \left[1 - \frac{Y_J}{X_J(1 - \varepsilon)} \right], \\ w_f &= w_H - u_c \left[1 - \frac{Y_H}{X_H(1 - \varepsilon)} \right], \end{aligned} \right\} \quad (1a)$$

$$X_J + X_H = 1 \quad (7a)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= a_J(w_J/w_{0J})^{b_J}, \\ \varepsilon &= a_H(w_H/w_{0H})^{b_H}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Rovnice (9) jsou empirickými expanzními vztahy pro jednotlivé složky binární směsi pevné fáze. V těchto vztazích jsou a_J , a_H , b_J , b_H pokusně stanovené konstanty a w_{0J} , w_{0H} jsou sedimentační rychlosti izolovaných částic jemné a hrubé složky binární směsi. Obě rovnice (9) je možno nahradit jinými vhodnými expanzními vztahy, publikovanými v literatuře (viz např. [6]).

Není-li předem stanoveno, jakou požadujeme mezerovitost postupující fluidní vrstvy ε , lze pro výpočty podle rovnic (9) doporučit při vzestupném toku tekutiny hodnotu ε alespoň o 25 % vyšší, než je mezerovitost nehybné (volně sypané) vrstvy zrnitého materiálu. Např. nehybná vrstva kulových a obličejových částic má mezerovitost přibližně 0,4. V takových případech volíme pro postupující fluidní vrstvu se vzestupným tokem tekutiny minimálně $\varepsilon \approx 0,5$. Tím je zajištěno, že nedojde k ucpání dopravní trasy zrnitým materiálem. Současně zvolíme poměr rychlosti při souproudu $w_f/w_H \approx 2$ a při protiproudu $w_f/w_J \approx 0,5$.

PŘÍKLAD VÝPOČTU

Uplatnění popsané teorie k praktickým výpočtům podobně jako v minulém článku [6] ilustruje příklad hydraulické dopravy $\dot{m}_s = 1000 \text{ kg h}^{-1}$ binární směsi křemičitého písku i složení $Y_J = Y_H = 0,5$. Jemná složka obsahuje zrna o ekvivalentním průměru $d_{eJ} = 0,619 \text{ mm}$ a hustotě 2624 kg m^{-3} . Hrubá složka obsahuje zrna o ekvivalentním průměru $d_{eH} = 0,990 \text{ mm}$ a hustotě 2629 kg m^{-3} . Pro zjednodušení výpočtů a s ohledem na nepatrný rozdíl v hustotách složek je možno uvažovat $\rho_{sJ} = \rho_{sH} = 2626,5 \text{ kg m}^{-3}$. K hydrotransportu se má používat voda o teplotě 23°C ($\rho_f = 997,5 \text{ kg m}^{-3}$, $\nu = 0,9381 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$). Dopravní trasa má mít vzestupné i sestupné vertikální úseky. Pro uvedené podmínky byly pokusně stanoveny hodnoty konstant v rovnicích (9): $a_J = 1,012$; $b_J = 0,323$; $a_H = 1,070$; $b_H = 0,381$; $w_{0J} = 0,086 \text{ m s}^{-2}$; $w_{0H} = 0,1362 \text{ m s}^{-1}$.

Úkolem je určit spotřebu dopravní vody $\dot{V}_f$, postupnou rychlost vody w_f a zrnitého materiálu u_c , složení pevné fáze fluidní vrstvy ve vzestupném X'_f a sestupném úseku X'_s , mezerovitost fluidní vrstvy v sestupném úseku ε'' a na výstupu ze zařízení ε_e za

předpokladu, že ve vzestupném úseku bude $\varepsilon' = 0,5$. Dále má být stanoven potřebný průřez S a průměr D dopravní trasy.

Nejprve vypočteme rychlosti tekutiny w'_j a w'_H potřebné k dosažení mezérovitosti nepostupující fluidní vrstvy $\varepsilon' = 0,5$ pro obě složky binární směsi. Rovnice (9) upravíme a dosadíme:

$$w'_j = w_{0j}(\varepsilon'/a_j)^{1/b_j} = 0,086(0,5/1,012)^{1/0,323} = 9,693 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1},$$

$$w'_H = w_{0H}(\varepsilon'/a_H)^{1/b_H} = 0,1362(0,5/1,07)^{1/0,381} = 1,849 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}.$$

Zvolíme $w'_j/w'_H = 2$, takže

$$w'_j = 2w'_H = 2 \cdot 1,849 \cdot 10^{-2} = 3,698 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}.$$

Výpočet složení pevné fáze ve fluidní vrstvě ve vzestupné části provedeme pomocí rovnice (10), která vznikla úpravou a spojením rovnic (1a) a (7)

$$X_H'^2(w'_H - w'_j)(1 - \varepsilon') + X_H' \{ (w'_H - w'_j) - (w'_H - w'_j) [Y_H + (1 - \varepsilon')] \} - (w'_j - w'_j) Y_H = 0. \quad (10)$$

Po dosazení obdržíme kvadratickou rovnici

$$X_H'^2(1,849 \cdot 10^{-2} - 9,693 \cdot 10^{-3})(1 - 0,5) + X_H' \{ (1,849 \cdot 10^{-2} - 3,698 \cdot 10^{-2}) - (1,849 \cdot 10^{-2} - 9,693 \cdot 10^{-3}) [0,5 + (1 - 0,5)] \} - (9,693 \cdot 10^{-3} - 3,698 \cdot 10^{-2}) 0,5 = 0,$$

jejímž řešením vypočteme fyzikálně reálný kořen

$$X_H' = 0,5485.$$

Za pomoci rovnice (7a) potom určíme

$$X_j' = 1 - 0,5485 = 0,4515.$$

Postupnou rychlost binární směsi u'_c vypočteme uplatněním jedné z rovnic (1a), kterou si upravíme na tvar

$$u'_c = \frac{w'_H - w'_j}{1 - \frac{Y_H}{X_H'(1 - \varepsilon')}}. \quad (1b)$$

Dosazením a výpočtem dostaneme

$$u'_c = \frac{1,849 \cdot 10^{-2} - 3,698 \cdot 10^{-2}}{1 - \frac{0,5}{0,5485(1 - 0,5)}} = 2,246 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}.$$

Z rovnice (4) s ohledem na vztah (5) vypočteme potřebný průřez zařízení hydraulické dopravy a dále z rovnice (2) určíme spotřebu dopravní vody.

●bjemový tok binární směsi:

$$\dot{V}_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s} = \frac{1000/3600}{2626,5} = 1,0576 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}.$$

Průřez dopravního potrubí:

$$S = S_f = S_s = \frac{\dot{V}_s}{u_c} = \frac{1,0576 \cdot 10^{-4}}{2,246 \cdot 10^{-2}} = 4,709 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2.$$

Objemový tok tekutiny:

$$\dot{V}_f = w'_f S_f = 3,698 \cdot 10^{-2} \cdot 4,709 \cdot 10^{-3} = 1,741 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}.$$

Průměr dopravního potrubí D :

$$D = (4S/\pi)^{1/2} = (4 \cdot 4,709 \cdot 10^{-3}/3,14)^{1/2} = 7,74 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

V sestupném úseku hydrotransportu uvažujeme tentýž průřez potrubí S , stejn^í absolutní rychlosti tekutiny w_f a částic u_c binární směsi. Vzhledem k souproudu směrem dolů musí platit

$$w'_f = -w'_f, \quad u''_c = -u'_c.$$

Nyní je předmětem výpočtu mezerovitost vrstvy ε'' a složení pevné fáze ve fluidn^í vrstvě X''_J a X''_H na základě známých hodnot w''_f , u''_c , Y_J a Y_H .

Vyjdeme z rovnic (1a), (7a) a (9). Výpočet ε'' provedeme iteračně, s výhodou graficky. Za tímto účelem si nejprve upravíme rovnice (9) na tvar

$$\left. \begin{aligned} w''_J &= w_{0J}(\varepsilon''/a_J)^{1/b_J}, \\ w''_H &= w_{0H}(\varepsilon''/a_H)^{1/b_H}. \end{aligned} \right\} \quad (9a)$$

Dále spojením a úpravou rovnic (1a) a (7a) získáme vztah, např. pro w''_J

$$w''_J = w''_f + u''_c \left[1 - \frac{Y_J}{(1 - \varepsilon'') - \frac{Y_H u''_c}{u''_c - w''_H + w''_f}} \right]. \quad (11)$$

Nyní volíme řadu ε'' . Pro každou zvolenou hodnotu ε'' vypočteme w''_J a w''_H podle rovnic (9a). Poté pomocí těchže volených hodnot ε'' a odpovídajících vypočtených hodnot w''_H vypočteme z rovnice (11) hodnoty w''_J . Z grafu závislosti w''_J z rovnice (9a) a w''_J z rovnice (11) proti ε'' nalezneme hledanou hodnotu ε'' pro případ, kdy w''_J z (9a) se rovná w''_J z (11).

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky pro námi řešený příklad:

ε''	w''_H z (9a)	w''_J z (9a)	w''_J z (11)
0,900	0,0860	0,0598	0,4334
0,800	0,0635	0,0415	0,0439
0,790	0,0614	0,0400	0,0365
0,700	0,0447	0,0275	-0,0010

Graficky bylo určeno jako řešení:

$$w''_J = 0,0409 \text{ m s}^{-1},$$

$$\varepsilon'' = 0,796.$$

Složení pevné fáze fluidní vrstvy X''_J a X''_H vypočteme pomocí jedné z rovnic (1a) a ze vztahu (7a). Za tímto účelem upravíme potřebné rovnice na tvar

$$X_J'' = \frac{Y_J}{(1 - \varepsilon'') \left(1 - \frac{w_J'' - w_f''}{u_c''} \right)} \quad (1c)$$

a

$$X_H'' = 1 - X_J'' \quad (7b)$$

Po dosazení příslušných hodnot obdržíme

$$X_J'' = \frac{0,5}{(1 - 0,796) \left[1 - \frac{0,0409 - (-0,03698)}{(-0,02246)} \right]} = 0,5486$$

a

$$X_H'' = 1 - 0,5486 = 0,4514.$$

Mezerovitost fluidní vrstvy na výstupu z dopravní trasy ε_e je dána celkovým množstvím protékajících fází, tj. toky $\dot{V}_s$ a $\dot{V}_f$.

$$\varepsilon_e = \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_f + \dot{V}_s} = \frac{1,741 \cdot 10^{-4}}{1,741 \cdot 10^{-4} + 1,0576 \cdot 10^{-4}} = 0,622.$$

DISKUSE

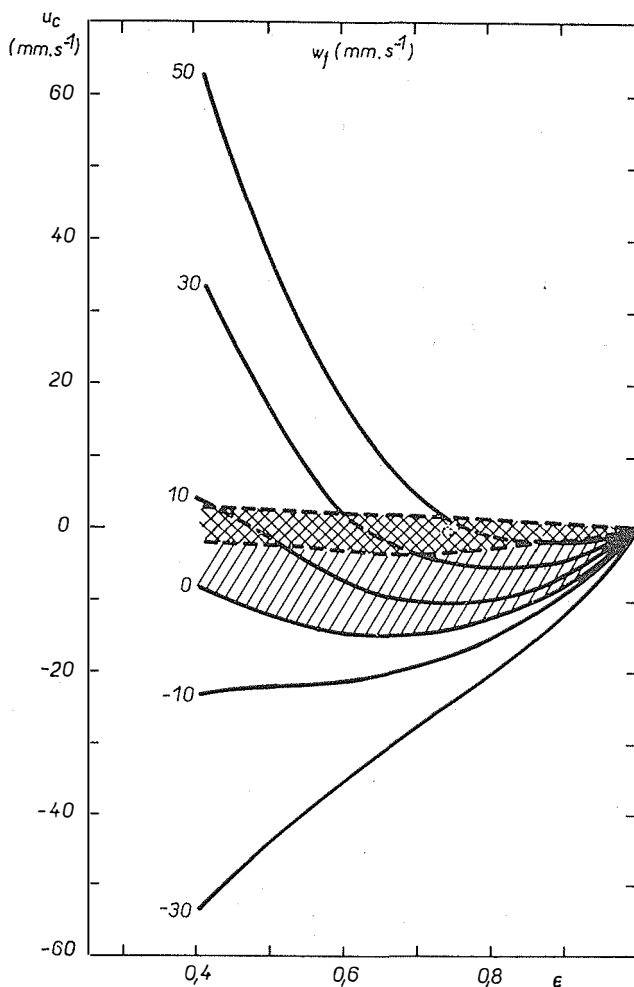
Na základě výsledků ilustrativního příkladu je vidět, že se značně liší mezerovitost vrstvy ve vzestupném i sestupném úseku trasy a na výstupu ze zařízení. Dále je vidět, že se v těchto úsecích liší i složení pevné fáze binární směsi. Tyto rozdíly jsou dány odehlnými hodnotami postupných rychlostí pevných částic a tekutiny při vertikálním toku. Bez použití vztahů (1a), (7a) a (9) nelze z pouhého poměru objemových toků fází $\dot{V}_f/\dot{V}_s$ spolehlivě usuzovat na koncentraci zrnitého materiálu v postupující fluidní vrstvě. Taktéž nelze ze složení pevné fáze vstupující nebo vystupující z postupující fluidní vrstvy usuzovat na složení pevné fáze v této vrstvě. Z toho také plyne, že vzorkování fluidní vrstvy neposkytuje přímo údaje o složení vstupujícího nebo vystupujícího materiálu. Při nezávislé volbě poměru hmotnostních toků zrnitého materiálu a dopravní tekutiny bychom se mohli dostat do sporu s fyzikálními skutečnostmi a mohlo by dojít k ucpání zařízení.

Aby si bylo možno učinit obecnější představu o významu rovnic (1a) pro řešení technických úloh, byl pomocí těchto rovnic sestaven na obr. 1 graf závislosti u_c na ε a w_f v rozsahu existence fluidní vrstvy ($0,4 \leq \varepsilon < 1$). Graf byl vytvořen na základě fyzikálních dat z ilustrovaného příkladu.

Jak je vidět z obr. 1, lze pro $\varrho_s > \varrho_f$ rozlišit tyto typické případy:

1. $u_c > 0$, $w_f > w_H$: Jde o souproutně uspořádanou postupující fluidní vrstvu binární směsi s pohybem pevných částic a tekutiny v kladném směru. Pro $w_f = \text{konst.}$ má závislost $u_c = f(\varepsilon)$ pro rostoucí hodnotu ε klesající průběh. Maximální tok pevných částic je dosažen při hodnotě mezerovitosti odpovídající prahu fluidace.

2. $w_H < w_f < w_J$: Tato oblast je na obr. 1 vyznačena dvojmo šrafovanou plochou. V tomto případě dochází k třídění binární směsi, kdy jemná složka postupuje vzhůru společně s tekutinou a složka hrubá sedimentuje proti proudící tekutině. Za těchto podmínek nelze binární směs jako celek vertikálně transportovat tekutinou v jednom směru. Rovnice (10) spolu se soustavou rovnic (1a) a (9) neposkytuje reálné řešení. V této oblasti pro $u_c = 0$, tedy v případě nepostupující fluidní vrstvy je binární



Obr. 1. Závislost mimovrstvové rychlosti w_f (voda 23 °C) na postupné rychlosti kompaktní vrstvy zrnitého materiálu u_c (binární směs křemičitého písku; jemná frakce: hustota 2624 kg m⁻³, ekvivalentní průměr zrn 0,619 mm; hrubá frakce: hustota 2629 kg m⁻³, ekvivalentní průměr 0,990 mm) a na mezerovitosti suspenze ϵ ;

— $w_f = \text{konst.}$, // // // // // oblast protiproudu, XXXX oblast třídění binární směsi, kdy nelze zrnitý materiál jako celek transportovat tekutinou, - - - - - ohraničení oblasti třídění, resp. fiktivní průběh křivek $w_f = \text{konst.}$

směs částic rozdělena na dvě vrstvy monodisperzní, jak je uvedeno v literatuře, např. [3].

3. $u_c < 0$, $0 < w_f < w_f$: Jde o postupující fluidní vrstvu binární směsi protiproudě uspořádanou s postupem pevných částic v záporném směru a s postupem tekutiny ve směru kladném. Tato oblast je na obr. 1 vyznačena jednoduchým šrafováním. Z obr. 1 je vidět, že závislost $u_c = f(\epsilon)$ pro $w_f = \text{konst.}$ není v této oblasti monotónní a vykazuje minimum.

4. $u_c < 0$, $w_f = 0$: Jde o postupující fluidní vrstvu binární směsi, která je dělicí hranicí mezi protiproudým a souproudým uspořádáním. Tento stav lze považovat i za sedimentaci s nepostupující tekutinou.

5. $u_c < 0$, $w_f < 0$: Jde o postupující fluidní vrstvu binární směsi souproudě uspořádanou s pohybem materiálu i tekutiny v záporném směru. Snižujeme-li v této oblasti rychlost tekutiny w_f od hodnoty $w_f = 0$, objevuje se na jednotlivých křivkách vedle minima ještě inflexní bod, popř. i maximum. Při dalším snižování rychlosti w_f se rozdíly mezi maximem a minimem veličiny u_c zmenšují a oba extrémní body se přibližují k bodu inflexnímu, kde zaniknou.

Minima na křivkách $u_c(\varepsilon; w_f)$, vyskytující se v oblasti protiproudu a částečně i v souproudu ($u_c < 0$, $w_f < 0$) vyznačují, podobně jako při monodisperzní postupující fluidní vrstvě [6], rozmezí podmínek, za kterých musí být použito nosného roštu (vlevo od minima — nižší mezerovitost ε) a při nichž probíhá děj bez nosného roštu (vpravo od minima — vyšší mezerovitost ε). V oblasti protiproudu vyznačují minima situaci, kdy je při dané rychlosti w_f dosaženo maximální absolutní hodnoty u_c , aniž by byly pevné částice unášeny ve směru toku tekutiny.

ZÁVĚR

Uvedený popis postupující rovnoměrné fluidní vrstvy binární směsi pevných částic umožňuje určit podmínky pro spolehlivou funkci zařízení na fluidní dopravu (hydrotransport), třídění, či jinou jejich úpravu ve fluidní vrstvě. Práce je hlavně zaměřena na binární směsi monodisperzních materiálů, tj. na směsi dvou úzkých frakcí částic. Vytvořený výpočtový postup je použitelný k řešení praktických problémů v silikátovém průmyslu po vyjádření vlastností jednotlivých úzkých frakcí středními hodnotami.

SYMBOLY

- a empirická konstanta v rovnici (9)
- b empirická konstanta v rovnici (9)
- c objemový zlomek pevné fáze v suspenzi ve fluidní vrstvě, definovaný rovnicí (3)
- D průměr zařízení
- d_e ekvivalentní průměr pevných částic
- k počet složek směsi pevných částic
- $\dot{m}$ hmotnostní tok
- S příčný průřez zařízení
- u_c střední postupná rychlost kompaktní vrstvy pevných částic ($\varepsilon = 0$), definovaná rovnicí (4)
- V objem
- $\dot{V}$ objemový tok
- w střední relativní mimovrstvová rychlost tekutiny vůči částicím
- w_f střední mimovrstvová rychlost tekutiny
- w_0 pádová rychlost částice v neomezeném prostředí
- X objemový zlomek složky polydisperzního materiálu v pevné fázi fluidní vrstvy
- Y objemový zlomek složky polydisperzního materiálu v pevné fázi na vstupu, popř. na výstupu z fluidní vrstvy, definovaný rovnicí (6)
- ε mezerovitost fluidní vrstvy definovaná rovnicí (3)
- ρ hustota
- ν kinematická viskozita

Dolní indexy

- e vztaženo k výstupu ze zařízení
- f tekutina
- H hrubá složka
- i pořadové číslo složky
- J jemná složka
- s pevná fáze

Horní indexy

- x' veličina x ve vzestupném proudu
- x'' veličina x v sestupném proudu

Literatura

- [1] Gasparjan A. M., Zaminjan A. A.: Dokl. Akad. nauk Arm. SSR, 31, [3], 153 (1960).
- [2] Finkelstein E., Letan R., Elgin J. C.: AIChE Journal 17, [4], 867 (1971).
- [3] Neužil L.: Coll. Czechosl. Chem. Commun. 28, 293 (1963).
- [4] Hrdina M., Neužil L.: Coll. Czechosl. Chem. Commun. 39, 3631 (1974).
- [5] Hrdina M., Neužil L., Procházka F.: Coll. Czechosl. Chem. Commun. 44, 2790 (1979).
- [6] Neužil L., Hrdina M.: Silikáty 24, 329 (1980).

ДВИЖУЩИЙСЯ ПСЕВДООЖИЖЕННЫЙ СЛОЙ, VII

Расчет параметров равномерно движущегося псевдоожигенного слоя
бинарных смесей зернистого материала

Милослав Грдина, Любомир Неужил*)

Научно-исследовательский институт минерального сырья, Кутна Гора

*Химико-технологический институт, Прага

Авторами приводится описание вертикально текущей суспензии зернистого материала, состоящего из двух узких фракций. Далее приводится система уравнений, с помощью которых можно проводить расчет поступательной скорости твердой фазы, скорости транспортной жидкости, сечения трубопровода, порозности суспензии или концентрации твердых частиц в установке или взаимного отношения обоих компонентов зернистого материала в суспензии на основании состава бинарной смеси, поступающей в гидротранспорт. Способ расчета некоторых параметров иллюстрируется на рассчитанном примере.

Из результатов расчета видно, что порозность суспензии (объемная доля жидкости в суспензии) в этапе вертикального гидротранспорта отличается от величины, которую рассчитывают из объемного потока твердой и жидкой фаз. Это дано отклоняющейся поступательной скоростью жидкости и твердых частиц в вертикальном направлении. Из расчетов далее следует, что зернистость состава бинарной смеси до входа в этап вертикального гидротранспорта не совпадает со взаимным отношением обоих компонентов зернистого материала в вертикально протекающей суспензии. Поэтому отбор проб смеси при входе в установку или при выходе из установки с движущимся псевдоожигенным слоем не даст непосредственной информации относительно состава бинарной смеси зернистого материала внутри движущегося псевдоожигенного слоя.

На основании приводимых уравнений предоставляется возможность расчета примера графической зависимости (рис. 1) скорости жидкости вне слоя w_f (вода), поступательной скорости компактного слоя зернистого материала u_c (бинарной смеси кварцевого песка) и порозности суспензии ϵ . Из рисунка следуют условия, при которых проходит проток суспензии в верх ($u_c > 0$, $w_f > 0$), при которых проток в низ ($u_c < 0$, $w_f < 0$) и при которых проходит противоток ($u_c < 0$, $w_f > 0$). На рисунке также обозначены условия, когда бинарная смесь разделяется: тонкий компонент поступает вверх вместе

с жидкостью, крупнозернистый компонент оседает в противоположном направлении жидкости. При таких условиях нельзя бинарную смесь как целое транспортировать с помощью жидкости в вертикальном направлении.

Рис. 1. Зависимость скорости жидкости вне слоя w_f (вода 23 °C) от поступательной скорости компактного слоя зернистого материала u_c (бинарная смесь кварцевого песка; тонкая фракция: плотность 2624 кг м⁻³, эквивалентный диаметр зерен 0,619 мм; крупнозернистая фракция: плотность 2629 кг м⁻³, эквивалентный диаметр 0,990 мм) и от порозности суспензии ϵ :

----- $w_f = \text{const.}$
 ||||| область противотока
 XXXXXXX область разделения бинарной смеси, когда зернистый материал как целое нельзя транспортировать с помощью жидкости,
 - - - - - выделенная область разделения, или ложный ход кривых $w_f = \text{const.}$

MOVING FLUIDIZED BED, VII

CALCULATION OF PARAMETERS OF A MOVING UNIFORM FLUIDIZED BED COMPRISING BINARY MIXTURES OF GRANULAR MATERIAL

Miloslav Hrdina, Lubomír Neužil*

Institute of Mineral Raw Materials, Kutná Hora

**Institute of Chemical Technology, Prague*

The paper deals with vertically flowing suspension of granular material comprising two narrow size fractions. The suggested system of equations allows to calculate superficial velocity of the solid phase, velocity of the transport liquid, the piping diameter, intergranular porosity of the suspension or concentration of solid particles, or mutual ratio of both granular material components in suspension on the basis of the binary mixture composition entering the hydrotransport section. The calculation procedure for some of the parameters is illustrated on an example.

The calculation results imply that the suspension porosity (the volume fraction of the liquid in suspension) in the vertical hydrotransport section differs from the value obtained from volume rate of flow of the liquid and of the solid phase. This is due to different velocities of liquid and solid particles in vertical direction. The calculation further shows that the grain size distribution of a binary mixture before entry into the vertical hydrotransport section is not identical with the mutual ratio of the two granular components in vertically flowing suspension. This is why sampling the mixture at plant entry or at its exit does not provide direct information on the composition of a binary granular material mixture inside the moving fluidized bed.

The respective equations allowed to calculate an example of graphic dependence (Fig. 1) of superficial fluid velocity w_f (water), superficial velocity of granular material u_c (binary mixture of quartz sand) and suspension porosity ϵ . The diagram shows conditions for co-current suspension flow upwards ($u_c > 0$, $w_f > 0$) for co-current suspension flow downwards ($u_c < 0$, $w_f < 0$) and those for counter-current flow ($u_c < 0$, $w_f > 0$). The diagram also indicates conditions under which a binary mixture is demixed: the fine component advances upwards together with the fluid while the coarse one settles in the opposite direction. Under these conditions a binary mixture cannot be transported as a whole with the fluid upwards, but separation can be effected.

Fig. 1. Superficial fluid velocity w_f (water 23 °C) vs. superficial velocity of granular material u_c (binary quartz sand mixture; fine fraction: density 2624 kg m⁻³, equivalent grain diameter 0.619 mm; coarse fraction: density 2629 kg m⁻³, equivalent diameter 0.990 mm) as suspension porosity ϵ :

----- $w_f = \text{const.}$
 ||||| counter-current region,
 XXXXXXX classification (separation) region where granular material as a whole cannot be transported by the fluid,
 - - - - - delimitation of the demixing (separation) region, or the fictive course of curves $w_f = \text{const.}$