

Ing. RUDOLF GRÉE, Výzkumný ústav potravinářského průmyslu, Praha

Suspenze je kapalná heterogenní směs tvořená kapalnou fází a dispergovanou tuhou fází. Podle velikosti částic tuhé fáze jsou suspenze členěny na suspenze jemné, hrubé, rmuty a koloidní roztoky. Separace podílu tuhé fáze lze uskutečnit pomocí obecného tíhového pole či gradientu tlaku.

Nejpoužívanější operací je tlaková filtrace. Hnací silou filtrace je gradient filtračního tlaku. Při filtraci překonává kapalná fáze odpor porézní filtrační přepážky a odpor narůstajícího filtračního koláče, který se vytváří ukládáním částic dispergované tuhé fáze na filtrační přepážce. Vlastnosti filtračního koláče jsou určeny kvalitou tuhé fáze, a to především hustotou tuhé fáze, tvarem částic a dále množstvím tuhé fáze v dané suspenzi.

Množství tuhé fáze je veličina, která podmiňuje vlastnosti suspenze. V některých případech separace (filtrace) je technologickým cílem získat samostatnou tuhou fázi (ve formě filtračního koláče), v jiných případech je cílem získání čisté kapalné fáze. Avšak v obou případech množství tuhé fáze a její textura podstatně ovlivňuje průběh separace.

Filtrační testy při tlakové koláčové filtraci umožňují získat základní poznatky o chování suspenze při tomto způsobu separace. Při detailním vyhodnocení experimentálních dat lze takto získat řadu poznatků z oboru základních fyzikálních veličin suspenze.

Z hlediska filtrace je účelné vyjadřovat množství dispergované tuhé fáze v suspenzi hmotovým zlomkem  $X$ , který je definován jako hmotnost tuhé fáze připadající

na hmotovou jednotku kapalné fáze. Vzhledem k tomu, že je reálné zjistit toto množství pouze ve hmotě koláče (filtrační, sedimentační), užívá se k jejímu určení objemových zlomků. Objemový zlomek  $C$  je definován jako objemový podíl tuhé fáze připadající na objemovou jednotku suspenze. Technicky je tato veličina neměřitelná, a proto je definována výrazem

$$C = C_k \cdot (1 - \varepsilon) \quad (1)$$

kde  $C_k$  je objemový zlomek daný objemem filtračního koláče připadající na objemovou jednotku suspenze (1),  
 $\varepsilon$  – porozita koláče (1)

Hmotovou koncentraci tuhé fáze lze vyjádřit i hmotovým zlomkem  $X_s$ , který značí hmotu tuhé fáze připadající na hmotovou jednotku suspenze a  $X$  kapalné fáze.

Relace hmotových koncentrací  $X$ ,  $X_s$  pak je

$$X = \frac{X_s}{1 - X_s} \quad (2)$$

## Ředění suspenze

Především je nutno konstatovat, že ředění je vesměs prováděno kapalnou fází původní suspenze. Ředěním se změní pouze hustota suspenze a objemový, resp. hmotový zlomek tuhé fáze. Z důvodů snadnější manipulace je voleno ředění objemovým způsobem v poměru

1 : (n - 1), kde n je počet objemových dílů zředěné suspenze a (n - 1) je počet objemových dílů ředící kapalné fáze.

Z hmotové bilance zředěné suspenze plyne následující hodnota její hustoty

$$\rho_{sn} = \frac{(n-1) \cdot \rho + \rho_s}{n} \quad (3)$$

kde n je stupeň zředění (1),  
 $\rho$  je hustota kapalné fáze ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  
 $\rho_s$  je hustota neředěné (původní) suspenze ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  
 $\rho_{sn}$  je hustota suspenze zředěné ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

Podle definice hmotového zlomku tuhé fáze suspenze lze i pro zředěnou verzi psát

$$X_{sn} = \frac{X_n}{1 + X_n} \quad (4)$$

A pro hodnotu objemového zlomku ředěné verze  $C_{kn}$

$$C_{kn} = \frac{1}{n} \cdot C_k \quad (5)$$

Vztah mezi hmotovými a objemovými zlomky tuhé fáze suspenze je dán

$$X_s = \frac{\rho_k}{\rho_s} \cdot C_k \quad (6)$$

Na základě hmotové bilance byl pro hustotu filtračního koláče odvozen (5) výraz

$$\rho_k = \frac{\rho_s - (1 - C_k + \varepsilon C_k) \cdot \rho}{C_k} \quad (7)$$

Z bilančního hlediska je účelné znát množství tuhé fáze. Ze vztahu (6) a (7) lze vyloučit objemový zlomek  $C_k$ . Pak porovnáním a užitím vztahu (2) lze po úpravě obdržet výraz pro hmotový zlomek tuhé fáze suspenze

$$X = \frac{\rho_k}{\rho} \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho_k - (1 - \varepsilon) \cdot \rho} \quad (8)$$

nebo pro zředěnou verzi

$$X_n = \frac{\rho_k}{\rho} \cdot \frac{\rho_{sn} - \rho}{\rho_k - (1 - \varepsilon) \cdot \rho} \quad (8a)$$

Ve výrazu [8] jsou zastoupeny všechny veličiny určující vlastnosti sledované suspenze i vlastnosti jejího filtračního koláče. Pro zředěnou suspenzi a suspenzi původní platí tento vztah jejich hmotových zlomků

$$X_n = \frac{X \cdot \rho_s}{\rho \cdot (n-1)(X+1) + \rho_s} \quad (9)$$

Průběh této závislosti pro různé stupně zředění je naznačen na obr. 1.

#### Určování hmotového zlomku tuhé fáze metodou tlakové filtrace

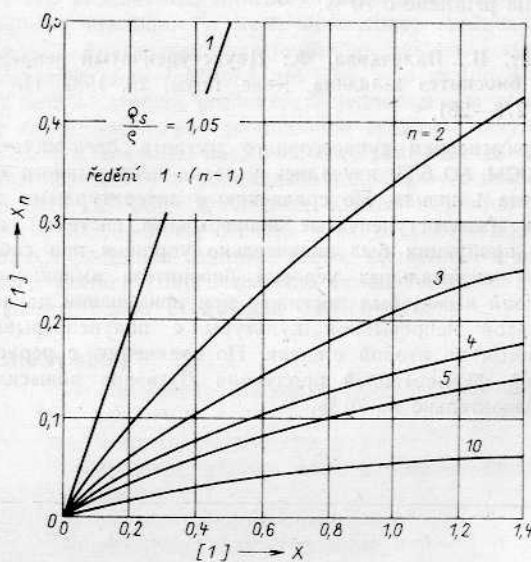
Z teorie filtračních přímek lze odvodit [1, 11, 5] pro filtrační přímky stejné suspenze, které se liší pouze rozdílnými hmotovými zlomky tuhé fáze, jejich speciální průběh. Filtrační přímky těchto suspenzí, získané zpracováním experimentálních dat filtračních testů za stejných podmínek filtrace, tvoří svazek přímek s bodem svazku na svislé ose souřadného systému. Filtrační přímky

lze získat zpracováním dat např. metodou lineární regrese [1].

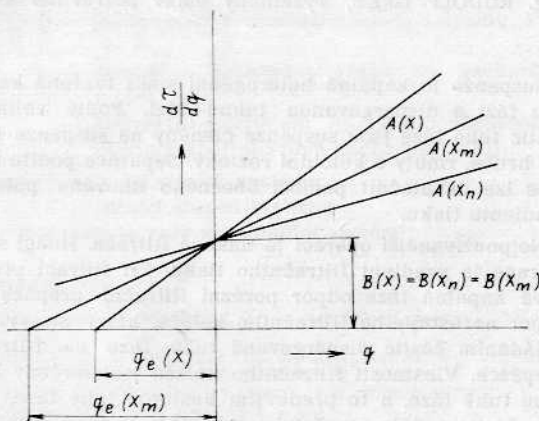
Označme symbolem  $A(X)$  směrnici filtrační přímky základní, tj. neředěné suspenze a symbolem  $B(X)$  její úsek na ose převrtných rychlostí filtrace. Potom pro definované hodnoty přímek platí [obr. 2]

$$B(X) = B(X_n)$$

$$\frac{A(X)}{A(X_n)} = \frac{X}{X_n} \quad (10)$$



Obr. 1. Závislost hmotového zlomku  $X_n$  tuhé fáze ředěné suspenze a hmotového zlomku  $X$  tuhé fáze původní suspenze



Obr. 2. Filtrační přímky ředěné suspenze

Je tedy poměr směrnic filtračních přímek stejných suspenzí s rozdílnými hodnotami hmotových zlomků rovný právě poměru těchto zlomků.

Budiž dána suspenze s hmotovým zlomkem  $X$  a její zředěná verze se zlomkem  $X_n$ . Podle (10) lze psát, že

$$A(X) \cdot X_n = A(X_n) \cdot X \quad (11)$$

Po dosazení vztahu (11) do (9) a úpravou se obdrží závislost mezi hodnotami směrnic filtračních přímek, hustotou kapalné fáze, hustotou původní suspenze a hmotovým zlomkem tuhé fáze ve tvaru

(12)

$$X = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot \frac{A(X) - A(X_n)}{A(X_n) \cdot (n-1)} - 1$$

Při filtračních testech, pro určení zlomku tuhé fáze dané suspenze, lze užít dvou jejích zředěných verzí. Podle dohodnutého objemového způsobu ředění ať je první verze zředění v poměru 1 : (m - 1) a druhá verze 1 : (n - 1). Pak pro hmotový zlomek X tuhé fáze platí

(12a)

$$X = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot \frac{A(X_m) - A(X_n)}{A(X_n)(n-1) - A(X_m)(m-1)} - 1$$

Výraz (12a) tedy dovoluje určit množství tuhé fáze původní suspenze na základě filtračních přímek dvou zředěných verzí této suspenze. Toto je cenná vlastnost, která se především uplatní u obtížně filtrovatelných suspenzí, kdy propustnost filtračního koláče je nízká. A podle (10) je možné při známém zlomku X jednoduše přepočítávat odpovídající obsahy dispergovaných tuhých částic u různých modifikací stejné suspenze. Snadno se lze přesvědčit, že vztah (12a) přejde ve vztah (12) např. pro m = 1 (tj. neředěná suspenze). V rozsahu technických měření lze pro ředění použít vlastní filtrát suspenze.

Použití zředěné verze suspenze pro účely filtračních testů je zdůvodněno zrychlením filtrace, a tím i zrychlením experimentální práce. Menší hodnota tangenty filtrační přímky zředěné suspenze (obr. 2) zvětšuje hodnotu ekvivalentního jednotkového toku filtrátu. Vzhledem k tomu, že ekvivalentní doba filtrace je úměrná ploše trojúhelníka o odvěsnách B(X), q<sub>e</sub>, probíhá filtrace ředěné suspenze v časovém intervalu vhodném pro experimentální práci.

Postup pro určování množství tuhé fáze X metodou tlakové filtrace

1. Vzorek suspenze se zředí kapalnou fází suspenze (filtrátem) v objemových poměrech 1 : (m - 1) a 1 : (n - 1). Zředěné suspenze se přefiltrují za stejných podmínek (gradient filtračního tlaku, překážka, teplota). Vyhodnocením experimentálních dat filtrace se určí regresní přímky filtrace a určí se hodnoty A(X<sub>m</sub>), A(X<sub>n</sub>) směrnic. Lze i uvažovat zředění pro m = 1, tj. původní suspenzi.

2. Pyknometricky se stanoví hustota suspenze a hustota její kapalně fáze.

3. Dosazením do (12), (12a) se určí hmotový zlomek X tuhé fáze, který značí hmotové množství tuhé fáze připadající na hmotovou jednotku filtrátu.

## Literatura

[1] DOHNAL, J.: Hydraulické pochody. SNTL, Praha 1966

- [2] ŽUŽIKOV, I.: Filtrovanie. GCHI — Moskva, 1961  
[3] HÁLEK, V.: Hydrotechnický výzkum. SNTL, Praha 1965  
[4] MKA a kol.: Sbírnka příkladů z chemického inženýrství. SNTL, Praha 1978  
[5] GRÉE, R.: Hustota tuhé fáze mikrobiálních suspenzí. Kvas. prům. 28, 1982, 10, s. 229—233  
[6] HORÁK, Z.: Základy technické fyziky. Práce, 1954  
[7] GRAHAM, W. - LAMA, R.: Sedimentation in inclined Wessels the Canadian Journal of Chemical Engineering, Febr. 1963  
[8] BROWN, G. G.: Unit operations. Michigan 1951  
[9] SIKYTA, B.: Metody technické mikrobiologie. Praha SNTL 1978  
[10] SLAVÍČEK, E.: Teoretické základy chemického inženýrství. SNTL, Praha 1969  
[11] KASATIN, A. G.: Základní pochody a zařízení chemické technologie. SNTL, Praha 1957  
[12] HLAVÁČEK, F., LHOTSKÝ, A.: Pivovarství. SNTL, Praha 1972

Grée, R.: Filtrace ředěných suspenzí. Kvas. prům., 28, 1982, č. 12, s. 281—283.

V předložené práci je řešen způsob určování množství tuhé fáze dispergované v kapalině metodou tlakové filtrace. Množství tuhé fáze suspenze je určováno na základě průběhu filtračních přímek dvou zředěných verzí původní suspenze a pyknometrického určení hustoty suspenze a její kapalně fáze.

Грє, Р.: Фильтрование разбавленных взвесей. Квас. прум., 28, 1982, № 12, стр. 281—283.

В представленной работе решен способ определения количества твердой фазы, диспергированной в жидкости методом фильтрации под давлением. Количество твердой фазы взвеси определяется на основе хода кривых фильтрации двух разбавленных версий первоначальной суспензии и пикнометрического установления плотности взвеси и ее жидкой фазы.

Grée, R.: Filtration of Diluted Suspensions. Kvas. prům. 28, 1982, No. 12, p. 281—283.

A procedure for the estimation of the quantity of a solid phase dispersed in a liquid using a method of pressure filtration is described. The quantity of solid phase in a suspension is determined from courses of filtration straight lines obtained with the two diluted suspensions and from determination of the suspension density and the density of the liquid phase only using a pycnometric method.

Grée, R.: Filtration verdünnter Suspensionen. Kvas. prům. 28, 1982, Nr. 12, S. 281—283.

In der Arbeit wird das Problem der Mengenbestimmung der festen Phase, die in der Flüssigkeit durch Druckfiltration dispergiert wurde, gelöst. Die Menge der festen Phase der Suspension wird aufgrund des Verlaufs der Filtrationsgeraden von zwei verdünnten Versionen der ursprünglichen Suspension und der pyknometrischen Bestimmung der Dichte der Suspension und ihrer flüssigen Phase bestimmt.