

УДК 664.1 : 539.376

Є.В. Штефан, канд. техн. наук  
Б.П. Іващенко, канд. фіз.-мат. наук

## РОЗРАХУНОК КІНЕТИКИ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ФАЗ ПРИ ПРЕСУВАННІ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У ШНЕКОВИХ ПРИСТРОЯХ

Подано методикку визначення змінення концентрації фаз у дисперсних матеріалах, що обробляються в шнекових пристроях. Методика враховує конструктивно-технологічні параметри шнека, а також реологічні та структурно-механічні властивості дисперсних систем.

**Ключові слова:** шнековий пристрій, математична модель, аналітична модель, дисперсні матеріали, пресування, деформування.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими прикладними завданнями. Шнекові пристрої застосовуються в багатьох галузях харчової, енергетичної та хімічної промисловості. Як правило, їх використовують для транспортування та пресування дисперсних матеріалів у машинах та апаратах різного технологічного призначення. При проектуванні обладнання такого типу є необхідність урахування впливу конструктивно-технологічних параметрів на закономірності зміни концентрацій фаз у процесі перероблення дисперсних матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень.** Для проектування шнекових пристроїв традиційно використовують теорії, побудовані на емпіричній основі, без урахування параметрів дисперсності оброблюваних матеріалів [2]. У праці [5] започатковано створення наукових основ проектування шнекових пристроїв з урахуванням конструктивних особливостей обладнання та структурно-механічних параметрів матеріалів.

**Метою цієї роботи** є удосконалення математичної моделі процесу транспортування та пресування дисперсних матеріалів у міжвитковому просторі шнеків розробленням методики розрахунку зміни концентрацій фаз.

Математична модель процесу руху та деформування дисперсних матеріалів у шнекових пристроях оснований на визначенні залежностей між конструктивними (розміри міжвиткового простору, частота обертання вала шнека та ін.) і технологічними (продуктивність, фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, тиск в об'ємі пресованого матеріалу, відокремлення рідкої фази та ін.) параметрами шнека [5].

Розглядається модель дисперсної системи, що складається із твердої дисперсної фази та газорідкого дисперсійного середовища. Рівняння збереження маси для окремих фаз мають такий вигляд [1]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_1}{\partial t} \alpha_1 + \operatorname{div}(\rho_1 \alpha_1 u) &= 0; \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial t} \alpha_2 + \operatorname{div}(\rho_2 \alpha_2 v) &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

де  $u, v$  — вектори середньої швидкості переміщень відповідно твердих частинок і рідини;  $\rho_1, \rho_2$  — середні густини відповідних фаз;  $\alpha_1, \alpha_2$  — об'ємна концентрація відповідно твердої та газорідкої фаз.

The technique of the concentration changing definition of phases in disperses materials, which are processed in screw devices is submitted. The technique takes into account the screw constructive - technological parameters, and also reological and structural - mechanical properties of disperse systems.

**Key words:** screw device, mathematical model, analytical model, disperse materials, pressing, deformation.

Рух і деформування дисперсних матеріалів в умовах механічного навантаження описуються рівняннями збереження кількості руху в макро-координатах [3] для фаз:

твердої

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 u) + \operatorname{grad}(\alpha_1 \rho_1 u \times u) - \operatorname{grad}(\alpha_1 \sigma) - F_1 - F^{(1)} = 0; \quad (2)$$

газорідкої

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_2 \rho_2 v) + \operatorname{grad}(\alpha_2 \rho_2 v \times v) - \operatorname{grad}(\alpha_2 P) - F_2 + F^{(2)} = 0, \quad (3)$$

де  $P$  — гідростатичний тиск у газорідкій фазі;  $F_1, F_2$  — вектори об'ємних сил у твердій і рідкій фазах відповідно;  $\sigma$  — тензор напружень у твердій фазі;  $F^{(1)}, F^{(2)}$  — сили міжфазної взаємодії.

Внаслідок рівності

$$Pn = -\sigma n, \quad (4)$$

у точках внутрішніх поверхонь поділу газорідкої та твердої фаз ( $n$  — вектор нормалі до поверхні розподілу) виконується умова:

$$F^{(2)} = F^{(1)} = F^0. \quad (5)$$

Вважається, що швидкості руху точок дисперсійного середовища малі, і це дає підставу нехтувати в рівняннях (2) і (3) конвективними членами.

Якщо задати силу міжфазної взаємодії у формі [4]

$$F^0 = F^{(1)} = F^{(2)} = R + P \operatorname{grad} \alpha_2, \quad (6)$$

то, враховуючи, що  $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$ , рівняння відносного руху твердої фази набуває вигляду:

$$\alpha_1 \left( \rho_1 \frac{du}{dt} - \rho_2 \frac{dv}{dt} \right) - \operatorname{grad} \sigma' - \frac{R}{\alpha_2} - \alpha_1 (\rho_1 - \rho_2) G = 0, \quad (7)$$

де  $R$  — ефективна сила в'язкого опору,  $R = \frac{\mu}{a^2} \alpha_1 \alpha_2 (v - u)$ ;  $\sigma'$  — тензор ефективних напружень.

Рівняння відносного руху рідкої фази можна подати у вигляді [4]:

$$\rho_2 \frac{dv}{dt} = -\operatorname{grad} P - \frac{R}{\alpha_2} + \rho_2 G, \quad (8)$$

де  $G$  — вектор прискорення вільного падіння.

Зазначимо, що для процесів, які проходять повільно (відсутні інерційні ефекти:  $\rho_2 \frac{dv}{dt} = 0$ ;  $\rho_2 G = 0$ ),

рівняння (8) описує закон фільтрації в пористому ізотропному середовищі:

$$w = v - u = -\frac{a^2}{\mu\alpha_1} \text{grad}P. \quad (9)$$

Отримане співвідношення аналогічне закону Дарсі з теорії фільтрації

$$v - u = -\frac{k^p}{\alpha_1} \text{grad}P, \quad (10)$$

де  $k^p$  — коефіцієнт проникності скелета твердої фази.

Розрахункова схема процесу руху матеріалу в міжвитковому просторі шнека побудована на принципі його ототожнення з рухом матеріалу в каналі змінного перерізу [5] (рис. 1).

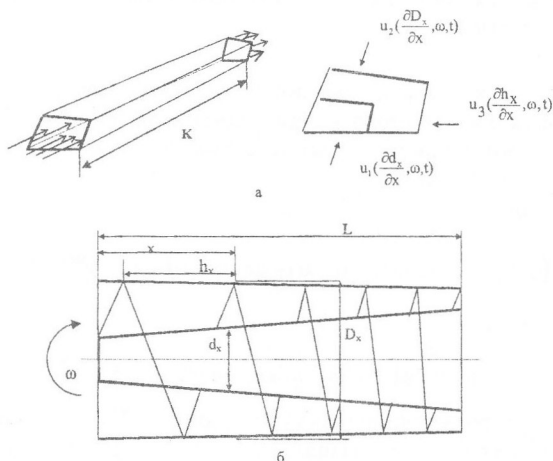


Рис. 1. Розрахункова схема руху та пресування дисперсного матеріалу (а) у шнековому пристрої із заданими конструктивними параметрами (б)

У праці [5] наведено кінематичні співвідношення, які забезпечують зв'язок між законами руху частинок матеріалу у міжвитковому просторі шнеку та умовно розпрямленому каналі (див. рис. 1).

Згідно з методом скінченних різниці процес пресування матеріалу в міжвитковому просторі об'єму  $V^0$  умовно розділяємо на фіксовані часові кроки  $\Delta t$ . На кожному  $i$ -му кроці  $\Delta t_i$  виконується така послідовність дій.

1. Задаємо початкові умови (геометричні розміри каналу та закон їх зміни, структурно-механічні характеристики матеріалу).

2. Згідно з методикою [5] досліджуємо рух та деформування матеріалу по каналу змінного перерізу та визначаємо розподілення тиску та швидкостей руху частинок твердої та рідкої фаз в об'ємі міжвиткового простору шнека.

3. Визначаємо об'єм  $\Delta V^i$  та маси  $\Delta m^i$  рідини, що виходить через поверхню шнекової камери:

$$\Delta V^i = \Delta t_i \alpha_2 C_f \int v n dF; \Delta m^i = \rho^i \Delta V^i,$$

де  $C_f$  — коефіцієнт проникності поверхні шнекової камери, який дорівнює відношенню площі отворів до загальної площі поверхні.

4. Визначаємо об'ємну концентрацію рідкої фази дисперсної суміші в міжвитковому просторі у даний момент часу:

$$\alpha_2^i = \alpha_2^{i-1} - \Delta V^i / V^0. \quad (11)$$

З використанням розробленої методики розглянуто процес пресування соняшникової м'язги в шнековому маслопресі РЗ-МШП, схему якого наведено на рис. 2. Було розглянуто процес пресування, що відбувається в зоні стискання на ділянці ВС. Відповідно до розрахункової схеми (див. рис.1) процес пресування м'язги визначається зміною розмірів ( $u_1, u_2, u_3$ ) перерізу каналу довжиною 3,96 м [5]. Зміна цих розмірів по довжині шнека зображена графіком (рис.3). За заданої кутової швидкості вала шнека  $1,047 \text{ с}^{-1}$  (10 об/хв) частинки проходження частки твердої фази матеріалу по ділянці ВС становить 39,4 с [5].

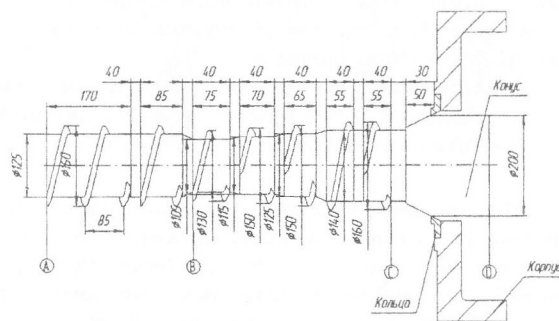


Рис. 2. Схематичне зображення шнекового преса

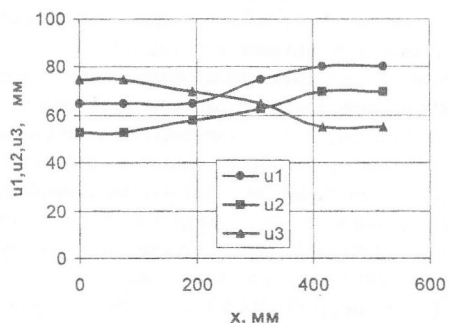


Рис. 3. Змінення розмірів перерізу каналу шнека

Структурно-механічні параметри м'язги на вході у пресувальну ділянку шнека прийнято [5] такі: густина —  $570 \text{ кг/м}^3$ , модуль пружності твердої фази —  $17 \text{ МПа}$ , граничні напруження на зсув твердої фази —  $1,8 \text{ МПа}$ , початковий об'ємний вміст твердої фази —  $40\%$ .

Змінення об'ємних концентрацій твердої та рідкої фаз м'язги в процесі пресування на ділянці шнека ВС подано на рис. 4.

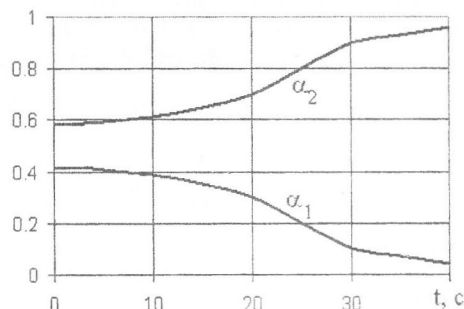


Рис. 4. Графік змінення концентрацій твердої та рідкої фаз

**Висновок.** Розроблений метод дає змогу визначити кінетику відокремлення рідкої фази в процесах пресування дисперсних матеріалів у шнекових пристроях. У подальшому планується опробувати подану методику для різних типів шнекового обладнання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. — М.: Дрофа. — 2003. — 840 с.
2. Радченко Л.Б., Сівецький В.І. Основи моделювання і конструювання червячних екструдерів: Навч. посіб. — К.: Політехніка, 2002. — 152с.
3. Штефан Е.В., Блаженко С.И. Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов // Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование. — Вып. № 13: НПО "ВОТУМ". — 2003. — С. 26—33.
4. Штефан Е.В. Моделирование поведения дисперсных систем у неравноважных процессах харчових виробництв // Наук. пр. УДУХТ. — 2000. — №8. — С. 63—66.
5. Штефан Е.В., Блаженко С.І., Іващенко Б.П. Розроблення інформаційної технології проектування шнекових пресів // Харч. пром-сть. — 2005. — № 4. — С. 159—162.

Надійшла до редколегії 23.02.06 р.