

Є.В. ШТЕФАН, С.І. БЛАЖЕНКО, кандидати технічних наук
Б.П. ІВАЩЕНКО, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ШНЕКОВИХ ПРЕСІВ

Запропоновано інформаційну технологію проектування шнекових пристроїв, призначених для пресування дисперсних матеріалів. Показано, що ця технологія дає змогу визначити вплив фізико-механічних властивостей дисперсних матеріалів, геометричних параметрів і режиму роботи шнека на його продуктивність, а також оцінити експлуатаційні навантаження на конструктивні елементи. Розглянуто приклад шнекового маслопреса.

Ключові слова: проектування, шнек, пресування, маслопрес.

В работе предложена информационная технология проектирования шнековых устройств, предназначенных для прессования дисперсных материалов. Технология позволяет определить влияние физико-механических свойств дисперсных материалов, геометрических параметров и режима работы шнека на его продуктивность, а также оценить эксплуатационные нагрузки на конструктивные элементы. Рассмотрен пример шнекового маслопресса.

Ключевые слова: проектирование, шнек, прессование, маслопресс.

У багатьох типах технологічного обладнання харчової промисловості використовуються шнекові пристрої для транспортування або пресування дисперсних матеріалів, залежно від призначення їхньої переробки. Проектуючи такі пристрої, треба визначати співвідношення між конструктивними (розміри міжвиткового простору, частота обертання вала і т. ін.) і технологічними (продуктивність, фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу, тиск в об'ємі пресованого матеріалу і т. ін.) параметрами шнека. Отримання таких співвідношень з урахуванням спіралеподібного характеру руху дисперсного середовища й одночасного проходження в ньому процесів тепломасообміну пов'язано зі значними математичними труднощами.

Використання сучасних комп'ютерних технологій дає змогу розробити інформаційну технологію проектування (ІТП), в основу якої покладено розгляд технологічного процесу як мультикомпонентної системи взаємозв'язаних об'єктів досліджень [3]:

дисперсної суміші, елементів технологічного обладнання, термомеханічного навантаження та ін. Основним елементом ІТП є методика визначення відповідних раціональних конструктивно-технологічних параметрів, схему якої наведено на рис. 1.

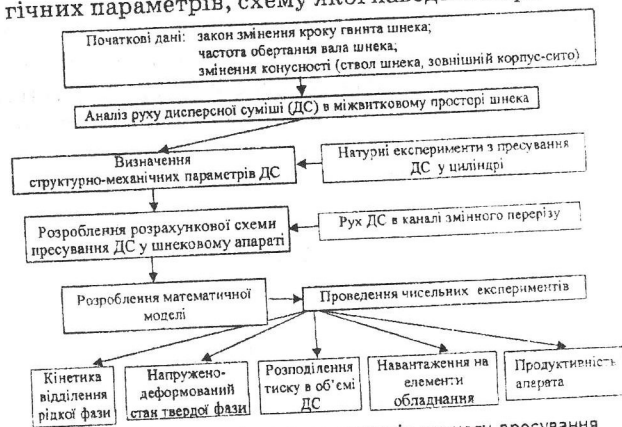


Рис. 1. Схема визначення параметрів процесу пресування

Розглянемо шнековий пристрій з постійною кутовою швидкістю вала ω , схематично наведений

на рис. 2. Основні геометричні параметри шнека (крок витка $H(x)$, діаметр вала $d(x)$, діаметр корпусу $D(x)$) можуть змінюватися по довжині шнека.

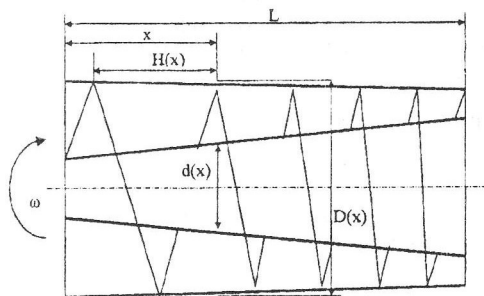


Рис. 2. Схема шнекового преса

Аналітична модель процесу деформування дисперсних матеріалів як складова частина математичної моделі [4, 5] базується на концепції представлення дисперсного матеріалу у вигляді двофазної суміші: твердих часток (твердої дисперсної фази) і газорідкого дисперсійного середовища. Для моделювання поведінки таких матеріалів треба використовувати такі традиційні поняття: напруження, деформація, густина, а також швидкості змінення цих параметрів.

Зазначені тензорні й скалярні характеристики мають локальну природу і визначаються за допомогою операцій граничного переходу, коли елементи простору (об'єми та елементи поверхонь) стягуються до точок.

Класичне уявлення про частку в механіці дисперсних систем [1] складається з ототожненням її з твердими зернами різної дисперсності. Виникає такий парадокс: кожна частка дисперсного матеріалу за своєю суттю являє собою деформоване тверде тіло. Оскільки кожна дискретна частка взаємодіє із сусідніми частками, то розподіл напружень в ній неоднорідний. Тому, щоб спростити математичне описання механічної поведінки дисперсних матеріалів, будемо використовувати для відповідних параметрів просторове осереднення за твердою і газорідкою фазами [1]. Повне математичне описання поведінки таких дисперсних матеріалів викладено в роботах [4, 5].

Щоб спростити формулювання граничних умов, ототожнимо рух матеріалу в міжвитковому просторі шнека з рухом матеріалу в каналі змінного перерізу, який відповідає формі розгорнутого у пряму лінію спіралеподібного міжвиткового каналу шнека (рис. 3, а). Розрахункова схема поведінки матеріалу при такому русі базується на

умовному відокремленні процесу стискання матеріалу у каналі (рис. 3, б) від транспортування матеріалу вздовж каналу. Слід зазначити, що стискання матеріалу в каналі зумовлено зміною розмірів його перерізу (рис. 3, б), яке повністю враховує основні конструктивні особливості шнекового преса (рис. 2).

Аналітична модель транспортування матеріалу у шнековому пристрої базується на припущенні, що відносно корпусу шнека частки матеріалу рухаються паралельно осі вала шнека. За один оберт шнека (період $t = 2\pi/\omega$) довільна частка середовища переміщується вздовж осі вала шнека на відстань кроку гвинтової лінії $H(x)$ (рис. 2). Швидкість переміщення цієї частки вздовж осі вала шнека

$$V(x) = \frac{H(x)}{t} = \frac{\omega H(x)}{2\pi}. \quad (1)$$

Оскільки $\frac{dx}{dt} = V(x)$, маємо $dt = \frac{dx}{V(x)}$. Таким

чином, тривалість проходження часткою матеріалу довільної відстані S від початкової точки вала шнека

$$t = \int_0^S \frac{dx}{V(x)}. \quad (2)$$

Тривалість проходження часткою всієї довжини шнека L (рис. 2)

$$T = \int_0^L \frac{dx}{V(x)}. \quad (3)$$

Розглянемо нескінченно малий елемент dy розгортки бокової поверхні корпусу шнека (рис. 3, а). За теоремою Піфагора

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{[\pi D(x)]^2 + [H(x)]^2} \frac{1}{H(x)}. \quad (4)$$

Тобто співвідношення між координатою x вздовж осі вала шнека та координатою y вздовж каналу має вигляд

$$y = \int_0^x \sqrt{[\pi D(z)]^2 + [H(z)]^2} \frac{1}{H(z)} dz. \quad (5)$$

При $x = L$ загальна довжина каналу шнека

$$Y = \int_0^L \sqrt{[\pi D(x)]^2 + [H(x)]^2} \frac{1}{H(x)} dx. \quad (6)$$

Основним параметром, що визначає продуктивність шнекового пристрою, є масова витрата матеріалу під час його руху по каналу з довжиною Y . З урахуванням (1), (4) масова витрата $Q(x)$ дисперсного матеріалу густини ρ у шнеку довільної довжини x (рис. 2) при площі шнекового каналу $F(x)$ визначається так:

$$Q(x) = \frac{\omega \rho(x) F(x) \sqrt{[\pi D(x)]^2 + [H(x)]^2}}{2\pi}. \quad (7)$$

Таким чином, формули (2)–(7) встановлюють взаємозв'язок між геометричними і кінематичними параметрами процесу транспортування матеріалу у шнековому пристрої.

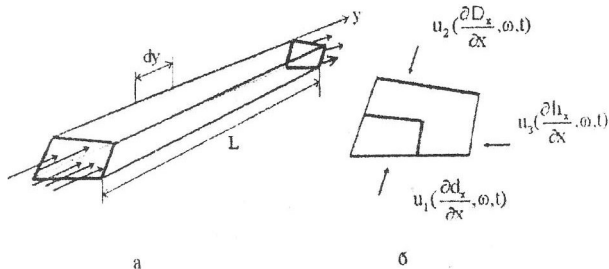


Рис. 3. Канал міжвиткового простору (а) та закон змінення його перерізу (б)

Алгоритмічна модель шнекового пресування базується на:

розв'язанні крайової задачі пружно-в'язко-пластичності дисперсного матеріалу у межах розрахункової схеми на рис. 3 з використанням методів скінченних елементів та скінченних різниць;

розрахунку процесу транспортування матеріалу у міжвитковому просторі шнека.

Розроблені алгоритми реалізовано у вигляді числової моделі з базовим обчислювальним блоком PLAST-002 [5].

З використанням розробленої методики (див. рис. 1) розглянуто процес пресування соняшникової мезги у маслопресі РЗ-МШП (рис. 4).

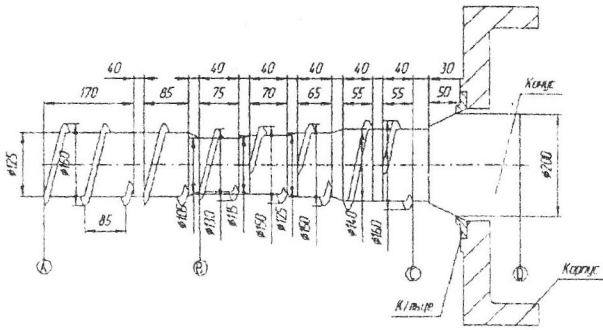


Рис. 4. Схема шнекового пристрою РЗ-МШП

Розглядаємо процеси руху та пресування мезги на ділянці шнека ВС (рис. 4) при кутовій швидкості вала $1,047 \text{ с}^{-1}$ (10 об/хв).

Процес пресування мезги відповідно до розрахункової схеми (рис. 3) визначається змінням розмірів перерізу каналу (u_1, u_2, u_3) по довжині шнека (рис. 5).

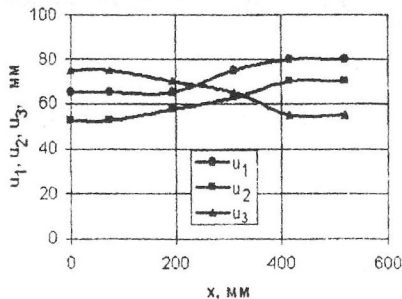


Рис. 5. Зміння розмірів перерізу каналу шнека

Структурно-механічні параметри мезги на вході у пресувальну ділянку шнека такі [2]: густина 570 кг/м^3 , модуль пружності твердої фази 17 МПа, граничні напруження зсуву твердої фази 1,8 МПа, об'ємна частка твердої фази 40 %. Результати розрахунку параметрів пресування (максимальних значень тиску в об'ємі дисперсної суміші p та швидкості відділення рідкої фази u , середнього значення густини мезги ρ) по довжині шнекового каналу наведено на рис. 6. Характер розподілення тиску по перерізу каналу свідчить, що максимальний тиск залежить від кута між поверхнями витка та вала шнека. Градієнтом тиску по перерізу каналу згідно з законом Дарсі [5] визначається швидкість u виходу рідкої фази (олії) крізь частки

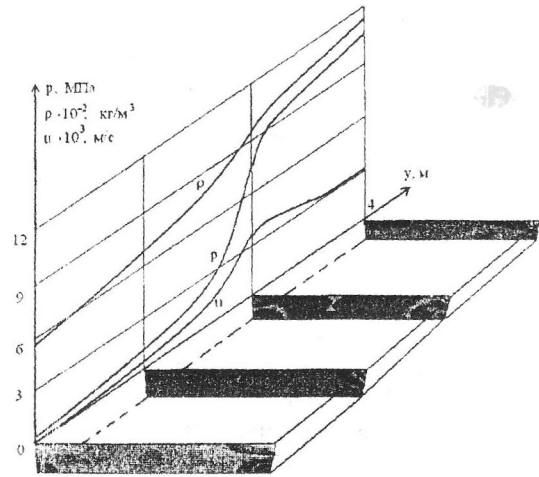


Рис. 6. Зміння параметрів пресування мезги по довжині каналу

твердої фази мезги. Внаслідок відокремлення рідкої фази відбувається ущільнення матеріалу, яке кількісно оцінюємо густиною матеріалу. Для перерахунку розподілу параметрів пресування по довжині шнека використовують рівняння (5), графічну інтерпретацію якого для шнекового пристрою РЗ-МШП наведено на рис. 7. Таким чином, розподілення

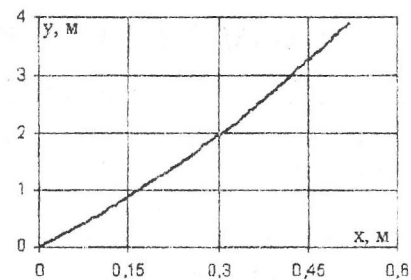


Рис. 7. Співвідношення між довжинами шнека та шнекового каналу

параметрів пресування по довжині шнека перетворюються у графіки на рис. 8.

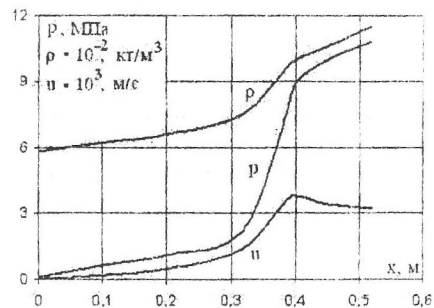


Рис. 8. Зміння параметрів пресування мезги по довжині шнека

Тривалість проходження частки матеріалу по ділянці шнека ВС (див. рис. 4) згідно з (3) становить 39,38 с. Відповідна довжина шнекового каналу згідно з (6) дорівнює 3,907 м. Графік переміщення часток мезги вздовж осі шнека залежно від часу згідно з (2) наведено на рис. 9.

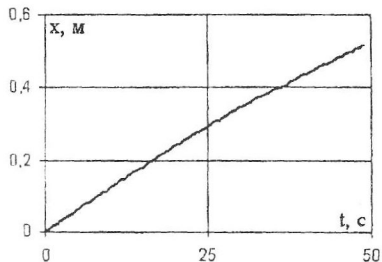


Рис. 9. Закон руху матеріалу у шнеку

Продуктивність шнекового преса залежно від його конструктивно-технологічних параметрів визначається співвідношенням (7).

Висновок. Запропоновано наукові основи проектування шнекових пресів з урахуванням їхніх конструктивних параметрів та структурно-механічних властивостей матеріалу, що пресується.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Механика насыщенных пористых сред* / В.Н. Николаевский, К.С. Басинев, А.Т. Горбунов и др. — М.: Недра, 1970. — 339 с.
2. *Структурно-механические характеристики пищевых продуктов* / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др. — М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. — 296 с.
3. *Штефан Е.В.* Информационные технологии проектирования технологического оборудования для механической обработки дисперсных материалов // *Международ. период. сб. науч. тр. "Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование"*. — О.: НПО "ВОТУМ". — 2002. — Вып. №12. — С. 124-128.
4. *Штефан Е.В., Блаженко С.И.* Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов // *Международ. период. сб. науч. тр. "Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование"*. — О.: НПО "ВОТУМ". — 2003. — Вып. №13. — С. 26-33.
5. *Штефан Е.В.* Моделирование поведения дисперсных систем у неравновесных процессах харчових виробництв // *Наук. пр. УДУХТ.* — 2000. — №8. — С. 63-66.

Одержана редколлегією 28.05.05 р.