

Аналіз отриманих даних показує, що отриманий розрахунок достатньо точно описує тепло і – масо-обмінні процеси, які протікають у сушарці. Це дозволить вийти на ефективний режим енергозбереження конвективного сушіння фракцій харчових продуктів у вертикальних прямокутних камерах.

Література

1. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1978.– 462с.
2. Мацевытый Ю.М. Гибридное моделирование тепловых процессов. – К.: «Наукова думка», 1987. – 252с.

УДК 62 229. 316. 0002. 51

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Осадчук П. І. канд. тех. наук, доцент
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса

Розглянуті теоретичні основи технології очищення рослинних олій з використанням центробіжних сил та впливу ультразвукового поля. Показані головні діючі фактори інтенсифікації існуючих технологій за допомогою фізичного поля.

Theoretical bases of technology of clearing of vegetable oils with use of centrifugal forces and influences of an ultrasonic field are considered. The main working factors of an intensification of existing technologies with the help of use of a physical field are shown.

Ключові слова: дисипація, дифузійна швидкість, дискретний час, Марковські ланцюги, скалярний потенціал, спектральна щільність, довжина вільного пробігу, дисперсний состав.

Енергія пружних хвиль і відцентрових полів є головними факторами в процесах очищення рослинної олії. Якщо відцентрові сили виводять частки домішки в радіальному напрямку, то ультразвук підсилює процес їхньої коагуляції, що підвищує ефективність центрифугування. Звідси впливає актуальність двох математичних завдань:

1. Дисперсний аналіз коагуляції часток у полі відцентрових сил.
2. Моделювання розподілу ультразвуку в об'ємі робочої зони очищення масла.

Перше завдання вимагає знання гранулометричного складу домішок, обумовленого щільністю ймовірності $f(\delta)$, де δ — розмір частки. Оскільки розмір частки є випадкова величина, то він підлягає спеціальному визначенню. У літературі найбільше поширення одержали діаметр Мартіна, діаметр Фере та еквівалентні діаметри. У даній роботі розглядається еквівалентний по об'єму діаметр. Це дозволяє зв'язати цей діаметр із масою частки рівністю

$$m = \frac{\pi}{6} \rho \delta^3 \quad (1)$$

де ρ — щільність матеріалу домішок.

Тому що при коагуляції двох часток маса нової частки дорівнює сумі їхніх мас

$$m = m_1 + m_2,$$

то з (1) витікає формула діаметра нової частки

$$\delta = \sqrt[3]{\delta_1^3 + \delta_2^3} \quad (2)$$

У загальному випадку теоретичні закони щільності ймовірності $f(\delta)$ невідомі, а емпіричні закони представляються гистограммами ймовірностей p_i з умовою

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1,$$

де p_i — імовірність приналежності частки класовому інтервалу

$$\delta_{i-1} \leq \delta < \delta_i; 0 < i \leq n$$

Границі класів δ_i утворюють деяку послідовність, обрану від конкретних умов дисперсного аналізу.

У цій роботі границі класів визначаються за законом

$$\delta_i = \sqrt[3]{2} \times \delta_{i-1}, \tag{3}$$

що є наслідком дорівненості (2) і вимогою дорівненості нулю діагональних елементів матриці перехідних імовірностей при коагуляції двох часток.

Послідовність (3) однозначно визначає матрицю перехідних імовірностей

$$A = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1i} & \dots & p_{1,n-2} & p_{1,n-1} & p_{1n} \\ 0 & 0 & p_{23} & \dots & p_{2i} & \dots & p_{2,n-2} & p_{2,n-1} & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & p_{n-2,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & p_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

В останньому рядку цієї матриці $p_{nn} = 1$, якщо номер n приписати класовому інтервалу $\delta_{n-1} \leq \delta < \infty$

Обчислення значень P_{ij} утворить алгоритм із послідовності наступних операцій [1].

1. Обчислення довжини інтервалу після злипання часток i -го й j -го класів.
2. Представлення інтервалів після злипання часток лінійною комбінацією класів гистограми.
3. Представлення перехідних імовірностей у вигляді геометричних імовірностей.
4. Обчислення геометричних імовірностей.

У такий спосіб була отримана матриця (4) при $n = 8$. Це значення n має широке поширення в багатьох статистичних дослідженнях, пов'язаних з дисперсним аналізом. Приймаючи, що одночасно брати участь у коагуляції може не більше двох часток, одержимо з матриці A таблицю 1 ймовірностей переходу $p_{ij} (i \geq j)$.

Таблиця 1 – Імовірності переходу

J \ i	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0,165	0,168	0,145	0,135	0,131	0,129	0,127
2	0	0	0,199	0,180	0,165	0,157	0,150	0,150
3	0	0	0	0,231	0,210	0,194	0,181	0,183
4	0	0	0	0	0,276	0,252	0,249	0,221
5	0	0	0	0	0	0,347	0,317	0,339
6	0	0	0	0	0	0	0,462	0,538
7	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	1

Так як процес коагуляції відображає миттєве значення щільності ймовірності $f(\delta)$, що визначається миттєвою гистограмою $p_i(t)$, необхідно ввести дискретний час, який дорівнює

$$\tau = \left[\frac{t}{\tau_0} \right], \quad (5)$$

де $[x]$ — ціла частина числа x ,

t — момент часу

τ_0 — час вільного пробігу частки до зіткнення з іншою часткою.

Тоді миттєва гистограма процесу коагуляції дорівнює вектору \overline{p} .

$$\overline{p} = \overline{p} A^k,$$

де $k = \left[\frac{t}{\tau_0} \right],$

$\overline{p}_0 = (p_1(0); p_2(0); \dots; p_i(0); \dots; p_n(0))$ — початковий вектор гистограми.

Формула (5) відображає метод марковських ланцюгів для опису процесу коагуляції домішок. Альтернативний метод використовують марковські процеси з дискретним числом станів і безперервним часом. У цьому випадку i -й стан позначає приналежність частки домішки i -му класу, а значення $p_i(t)$ визначає рішення системи рівнянь Колмагорова при початкових умовах

$$p_i(0) = q_i; \sum_{i=1}^n q_i = 1$$

Обидва методи виходять із одного джерела інформації: дисперсного складу домішок у початковий момент часу коагуляції. Априорно функція $f(\delta)$ невідома і її треба побудувати по даним емпіричної гистограми. Найбільше поширення при побудові гистограм дисперсного складу одержали ситові, седиментаційні і фотометричні методи. При використанні ситового методу треба перерахувати гистограму класових інтервалів діаметрів осередків сит у гистограму класових інтервалів відповідно до формули (3). Застосування методу марковських ланцюгів зроблено за допомогою поняття дискретного часу (параметр до формули (5)), де використовується поняття часу вільного пробігу. Тут варто підкреслити, що це поняття принципово відрізняється від аналогічного поняття в молекулярно-кінетичній теорії, у якій швидкості молекул одного газу розподілені по одному закону. У частках домішок закони розподілу швидкостей відрізняються залежно від маси частки, а одиниця дискретного часу дорівнює відношенню довжини вільного пробігу до дифузійної швидкості, яка залежить від дисперсного складу часток. Помітивши, що частота зіткнень часток залежить від дифузійної швидкості та концентрації часток, виділяємо важливий фактор процесу коагуляції: дифузію.

Беручи до уваги відомий факт, що ультразвуки прискорюють дифузію [2], формулюємо логічний ланцюжок із трьох ланок:

1. Ультразвук прискорює дифузію
2. Дифузія прискорює коагуляцію
3. Коагуляція прискорює видалення домішок.

Так виникає постановка завдання поширення ультразвуку в рослинній олії в процесі його очищення. Теоретичною основою вивчення ультразвуку є хвильове рівняння, що утвориться з розкладання векторного поля швидкостей на суму градієнта деякої скалярної функції φ та ротора деякої векторної функції \overline{A} , тобто

$$\overline{v} = \text{grad } \varphi + \text{rot } \overline{A}, \quad (6)$$

Де \overline{v} — вектор швидкості,

φ — скалярний потенціал поля \overline{v}

\overline{A} — векторний потенціал цього поля

Тут скалярний потенціал характеризує поздовжні пружні хвилі, а векторний — поперечні. Обидва потенціали визначаються із хвильового рівняння

$$\Delta \varphi = \frac{1}{c_1^2} \times \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2},$$

$$\Delta \bar{A} = \frac{1}{c_2^2} \times \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} \quad (7)$$

Тут c_1 і c_2 – швидкості поздовжніх і поперечних хвиль відповідно.

Скалярний потенціал характеризує коливальний рух часток рослинної олії, у якій поширюється ультразвук. Відомо, що тиск p' , надлишковий над рівноважним, зв'язаний зі скалярним потенціалом рівністю [2]

$$p' = -\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (8)$$

і задовольняє умові

$$\Delta p' = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2}$$

Аналогічне відхилення щільності від рівноважної задовольняє рівнянню

$$\Delta \rho' = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \rho'}{\partial t^2},$$

а його значення також виражається через скалярний потенціал

$$\rho' = \frac{p'}{c^2} = -\frac{\rho}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (8a)$$

Формули (8,8a) показують, що амплітуда тиску в ультразвукових хвилях може в багато разів перевищити відповідні величини акустичних хвиль. Завдяки великій амплітуді тиску в рідині утворюються та зникають внутрішні розриви суцільності (явище кавітації). Коли розриви, що мають вид дрібних пухирців, зникають, короточасне підвищення тиску, що може досягати сотень і навіть тисяч атмосфер. Цим пояснюється дія, що дробить, у цей час руйнуються домішки та живі організми що перебувають у рідині. Зникнення живих організмів сприяє пастеризації, що також є корисним чинником при обробці рослинної олії ультразвуком.

Ефективність застосування ультразвуку може одержати аналітичну оцінку за допомогою скалярного потенціалу, по якому розраховується спектр частот. Інформація про спектр частот має важливе значення, тому що при збільшенні частоти довжина хвилі ультразвуку наближається до величини, порівнянної з міжмолекулярними відстанями, що впливає на структуру та енергетику середовища. Це є причиною зміни її фізико-хімічних і біологічних властивостей. Таким чином, показано, що головним джерелом інформації про вплив ультразвуку на обробку рослинної олії є скалярний градієнт. Дійсно, знаючи скалярний градієнт, можна визначати амплітудно-частотні характеристики пружних хвиль, що змінюють властивості рослинної олії.

Рішення рівняння (7) для вісесиметричного завдання отримано у вигляді

$$\varphi(r, z, t) = \sum b_n J_0(k_n r) (\sin \sqrt{\lambda_n^2 + k_n^2 z}) \sin k_n ct, \quad (9)$$

Де $r = \frac{R}{R_0}$ — безрозмірний радіус

$z = \frac{Z}{H}$ — безрозмірна висота,

R_0 — радіус внутрішньої стінки робочої зони

H — довжина (висота) робочої зони.

Модуль пружності вібратора та швидкість поширення ультразвуку в рослинному маслі, а також геометричні параметри вібратора h і l пов'язані з кутовою частотою ω формулами

$$b_n = (-1)^{n-1} \frac{2\alpha\omega}{El\gamma_n},$$

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{1}{l} \arcsin \frac{\sin \gamma_n l}{\omega^2 - \alpha^2 \gamma_n^2}}$$

Тут

$$\gamma_n = \frac{\pi(2n+1)}{2l}, k_n = \frac{\alpha_n}{R_0}$$

α_n — позитивний корінь нульової функції Бесселя,

$J_0(x)$ — нульова функція Бесселя.

Функцію (9) можна представити у вигляді суперпозиції гармонік, а потім вибрати ті з них, у яких довжина хвилі порівнянна з довжиною вільного пробігу частки домішки. Цим доведена принципова можливість прогнозувати ефективність очищення рослинних масел за допомогою ультразвуку.

Висновки

Отримані результати показують головні діючі фактори інтенсифікації технології очищення рослинної олії: відцентрове силове поле і ультразвукова хвиля. Обидва фактора можна застосовувати одночасно або послідовно. Поскільки коагуляція домішок прискорює видалення їх із зони, то в технології очищення олії керуючими факторами треба прийняти кутову швидкість ротора та кругову частоту вібратора.

Література

1. П. І. Осадчук, В. Я. Гамоліч Математичний опис коагуляції домішок у дисперсних потоках. /Аграрний вісник причорномор'я. Технічні науки. Вип. 48. Одеса, 2009 с.18-28
2. Б. М. Яворський і А. А. Демлаф Довідник по фізиці для інженерів і студентів вузів. М.: Наука, 1974. — 240с.

УДК 66.069.833 :532.62

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ МАСОПЕРЕНОСУ В НАСАДКОВИХ АПАРАТАХ

В.П. Волочнюк, Л.Г. Воронін, В.Л. Ракицький.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Розглянуто математичну модель абсорбції в апаратах з регулярною насадкою, що має низький гідравлічний опір і високі масообмінні коефіцієнти у газорідних системах.

The mathematical model of absorption in devices with the regular nozzle having low hydraulic resistance and high mass-transfer factors in gas-fluid systems is considered.

Ключові слова: абсорбція, газова суміш, математична модель

Для проведення масообмінних процесів в насадкових апаратах витрачаються значні кошти, що пов'язано, найбільшою мірою, з високою вартістю енергетичних ресурсів, які спрямовуються на подолання гідравлічного опору при проходженні газової фази крізь апарат, а також забезпеченням умов максимально тісного контакту газу з рідиною [1, 3]. Оскільки кількість енергетичних ресурсів обмежена, а вартість їх постійно і безперервно зростає, то зменшення витрат на проведення технологічних процесів є важливим завданням не тільки для України, але й для світової економіки.