

Д.В. РИНДЮК, асистент, НУХТ, Київ,

Є.В. ШТЕФАН, канд. техн. наук, доцент, НУХТ, Київ

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЯЦІЇ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ УЩІЛЬНЕННЯМ

У межах задачі нелінійного математичного програмування представлена методика пошуку оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу грануляції дисперсних матеріалів ущільненням. Методика оснований на математичному моделюванні процесу екструзії дисперсних матеріалів крізь отвори матриці гранулятора. Методика дозволяє врахувати конструктивні особливості технологічного обладнання та реологічні властивості сировини.

В рамках задачі нелінійного математичного програмування представлена методика пошуку оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу грануляції дисперсних матеріалів ущільненням. Методика оснований на математичному моделюванні процесу екструзії дисперсних матеріалів через отвори матриці гранулятора. Методика дозволяє врахувати конструктивні особливості технологічного обладнання та реологічні властивості сировини.

In the framework of a nonlinear mathematical programming technique is presented search for optimal design and technological parameters of the process of granulation of materials dispersed seal. The technique is based on mathematical modeling of the extrusion process of dispersed materials through the holes of the matrix pellet. The technique allows to take into account the structural features of the process equipment and rheological properties of raw materials.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими і практичними завданнями. Останнім часом в харчовій та переробній промисловості виникла проблема по раціональному використанню відходів виробництва таких, як лузга соняшника, солома, жом, пивна дробина, деревна стружка та ін. Згідно закону України про стимулювання виробництва біопалива та зважаючи на світову енергетичну кризу подібні відходи доцільно використовувати в якості біопалива, комбікормів та ін. Але, зважаючи на невелику насипну густину таких матеріалів, транспортування їх є економічно не вигідним. Це обумовлює збільшення насипної густини цих матеріалів за рахунок ущільнення брикетуванням, тюкуванням, гранулюванням та ін. Виходячи з аналізу різних технологій ущільнення, процес гранулювання є найбільш раціональним, оскільки реалізується в безперервному режимі, дозволяє отримати ви-

роби найбільшої густини, а також забезпечує універсальність подальшого використання гранул (біопаливо, комбікорм різної фракції).

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1, 2] свідчить, що ефективна реалізація технологій пресування методами екструзії в значній мірі залежить від конструктивних особливостей відповідного обладнання, що забезпечують його необхідні експлуатаційні показники. При цьому використання сучасних інформаційних технологій проектування [3] дозволяє визначити кількісні та якісні закономірності процесів ущільнення дисперсних матеріалів з різними структурно-механічними характеристиками. Враховуючи широку номенклатуру типів сировини, при визначенні конструктивних характеристик відповідного обладнання виникає задача знаходження взаємозв'язку між основними конструктивно-технологічними параметрами конкретного вузла пресування. Оскільки ця задача багатопараметрична то набуває актуальності пошук оптимального розподілу цих параметрів.

Метою даної роботи є створення методики визначення оптимальних параметрів основних елементів технологічного обладнання для грануляції дисперсних матеріалів ущільненням.

Схематично запропонований метод представлений на рисунку.

Технологія ущільнення реалізується шляхом екструзії сировини скрізь отвори матриці.

З рис. 1 видно, що для постановки задачі оптимізації у межах загальної теорії математичного програмування необхідно визначення взаємозалежностей між всіма параметрами, які прийняті для описування конкретного процесу гранулювання.

Тобто виникає необхідність у проведенні відповідних досліджень з метою встановлення кількісних залежностей, що описують термомеханічні та масообмінні процеси у матеріалі при його гранулюванні ущільненням.

Ефективність роботи преса-гранулятора оцінюється по якості (густині) гранул, а також продуктивності і енергоємності (потужності). Це одразу визначає кілька критеріїв оптимізації:

- 1 – максимізувати густину гранул;
- 2 – мінімізувати енергоємність (потужність);
- 3 – максимізувати продуктивність.

$$\rho(\alpha) \rightarrow \max; W(\alpha) \rightarrow \min; Q(\alpha) \rightarrow \max; \quad (1)$$

де $\rho(\alpha)$ – густина гранул; $W(\alpha)$ – потужність привода гранулятора; $Q(\alpha)$ – продуктивність гранулятора.

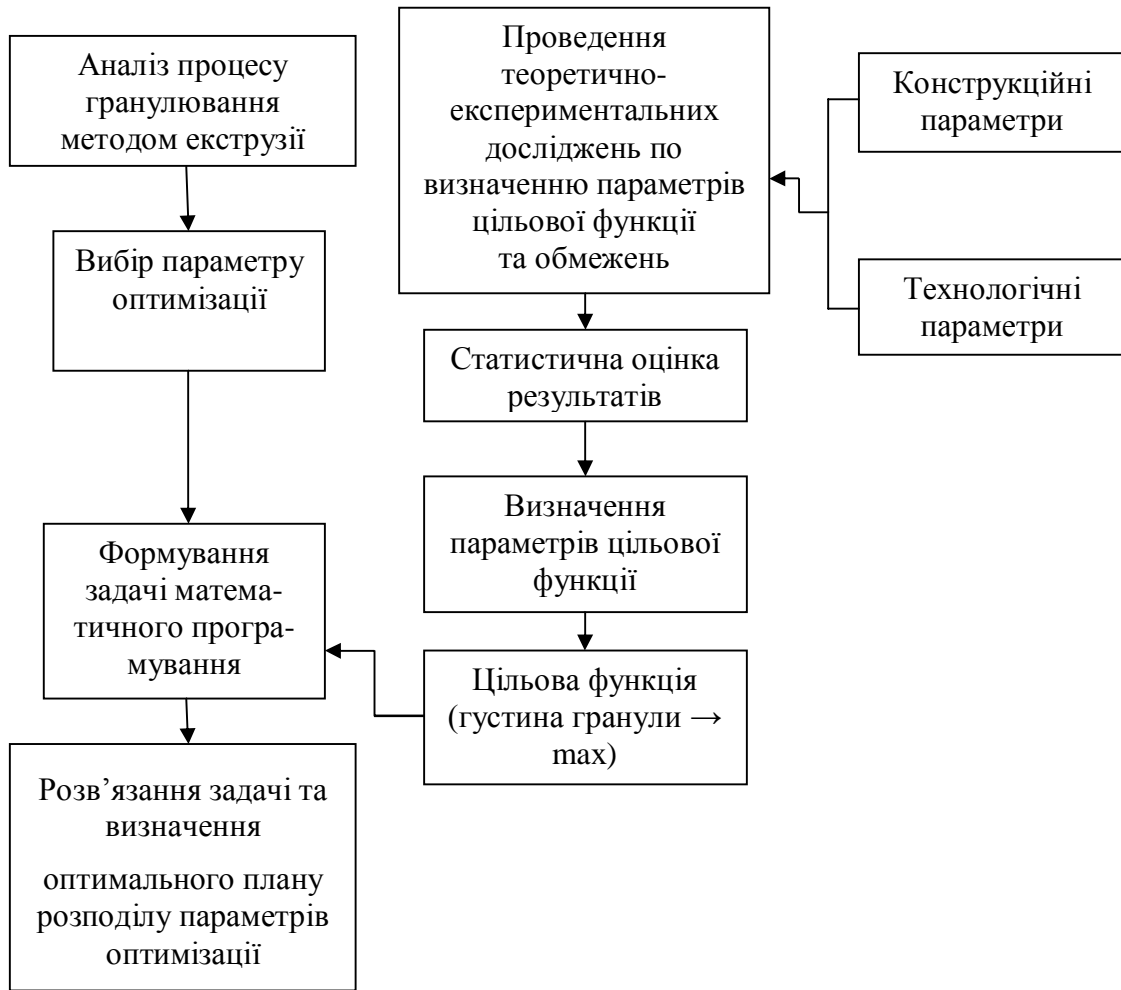


Рис. – Схема визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу грануляції дисперсних матеріалів ущільненням

З аналізу конструкції вузла пресування гранулятора та технології процесу гранулювання [4 – 6] маємо наступні обмеження для загальної задачі оптимізації:

$$40 \text{ мм} \leq L \leq 90 \text{ мм}, 8 \text{ мм} \leq d \leq 28 \text{ мм}, 50 \text{ МПа} \leq P \leq 300 \text{ МПа}, \quad (2)$$

де L – довжина філь'єри матриці, d – діаметр філь'єри, P – тиск пресування. Отже, враховуючи (2) перепишемо (1):

$$\rho(L, d, P) \rightarrow \max; W(L, d, P) \rightarrow \max; Q(L, d, P) \rightarrow \max; \quad (3)$$

$$40 \leq L \leq 90, \quad 8 \leq d \leq 28, \quad 50 \leq P \leq 300 \quad (4)$$

Отже, сформульовано задачу оптимізації, що має три цільових функції. Перед нами постає проблема багатокритеріальності – тобто вибору рішення при наявності множини цільових функцій $f = \{f_i(a)\}$ ($I = 1, 2, \dots, M$), де α деяка альтернатива, під якою розуміють безперервну векторну змінну, що належить випуклій замкнутій області, яка, зазвичай, задається системою нерівностей [5]. Зрозуміло, що оптимум за кожним критерієм для сформульованих цільових функцій не завжди можна досягти при тому самому значенні керуючого параметру α , то необхідно обумовити, як приймати рішення. Виникає проблема вибору однієї з ефективних альтернатив, тобто задача пошуку компромісу (компромісного рішення).

Альтернатива α^0 називається ефективною якщо не існує інших альтернатив, кращих хоча б по одному критерію і не гіршим по інших [5].

В нашому випадку критерії множини f мають різний фізичний зміст, а також одні з них мінімізуються, а інші максимізуються. Відмітимо, що якщо α^0 ефективна альтернатива множини критеріїв $f = \{f_i(a)\}$ ($I = 1, 2, \dots, M$), то α^0 – ефективна альтернатива множини функції $\psi = \{\omega_i(f_i(a))\}$ ($I = 1, 2, \dots, M$), де $\omega_i(f_i(a))$ – монотонна функція $f_i(a)$.

Для знаходження ефективних точок необхідно перетворити функції $\omega_i(f_i(a))$ на безрозмірні та такі що $\omega_i(f_i(a)) \rightarrow \min$. Для цього введемо наступні монотонні перетворення: для критеріїв, що максимізуються

$$\omega_i(f_i(a)) = \frac{f_i^0 - f_i(a)}{f_i^0 - f_{i(\min)}}, \quad i = 1, \dots, m. \quad (5)$$

для критеріїв, що мінімізуються:

$$\omega_i(f_i(a)) = \frac{f_i(a) - f_i^0}{f_{i(\max)} - f_i^0}, \quad i = m + 1, \dots, M. \quad (6)$$

де f_i^0 – оптимальне значення i -го критерію, $f_{i(\min)}$ – найменше значення максимізуючого критерію, $f_{i(\max)}$ – найбільше значення мінімізуючого критерію.

Отже, необхідно розв'язати параметричну задачу:

$$\max \psi(\alpha) = \min_{\substack{\alpha \in U \\ \alpha \in V}} \left\{ \sum_{i=1}^m \gamma \frac{f_i^0 - f_i(a)}{f_i^0 - f_{i(\min)}} + \sum_{i=m+1}^M \gamma \frac{f_i(a) - f_i^0}{f_{i(\max)} - f_i^0} \right\} \quad (7)$$

для всіх $\gamma_i \in \gamma^+ \{ \gamma_i > 0, \sum_{i=1}^M \gamma_i = 1 \}$

Використаємо підхід при якому під компромісним розв'язком розуміють такий, що дає мінімальне відносне відхилення від оптимальних значень параметрів по всім критеріям в залежності від вагових коефіцієнтів δ_i , таких, що $\delta_i \in \delta^+ \{ \delta_i > 0, \sum_{i=1}^M \delta_i = 1 \}$

Розв'яжемо поставлену задачу, використавши даний підхід.

Залежності для цільових функцій ρ , Q та W отримуємо згідно методики показаній в [4, 6].

Згідно (5) та (6) зведемо отримані для ρ , Q та W залежності до безрозмірних та таких, що мінімізуються.

$$\rho^* = \frac{\rho_{opt} - \rho}{\rho_{opt} - \rho_{min}}, \quad (8)$$

де $\rho = 58.04 + 9.8d + 15.72L + 4.25P - 0.049d \cdot P - 0.53d^2 - 0.09L^2 - 0.0065P^2$,
 ρ_{opt} – оптимальне значення функції ρ , ρ_{min} – мінімальне можливе значення функції ρ з урахуванням обмежень (2):

$$Q^* = \frac{Q_{opt} - Q}{Q_{opt} - Q_{min}}, \quad (9)$$

де $Q = 1745.5 + 35.78d + 18.2L + 10.96P + 0.132d \cdot P - 0.0443L \cdot P - 0.298L^2 - 0.018P^2$,
 Q_{opt} – оптимальне значення функції Q , Q_{min} – мінімальне можливе значення функції Q з урахуванням обмежень (2):

$$W^* = \frac{W - W_{opt}}{W_{max} - W_{opt}}, \quad (10)$$

де $W = 126.1 - 1.29L + 0.76P - 0.0013P^2$, W_{opt} – оптимальне значення функції W , W_{max} – максимально можливе значення функції W з урахуванням обмежень (2).

Тоді для випадку (4) попередньо врахувавши (5), (6) та (7) маємо:

$$\min \psi(d, L, P) = \min_{\substack{d \in [8, 30] \\ L \in [40, 90] \\ P \in [50, 300]}} \left\{ \gamma_1 \frac{\rho_{opt} - \rho}{\rho_{opt} - \rho_{min}} + \gamma_2 \frac{Q_{opt} - Q}{Q_{opt} - Q_{min}} + \gamma_3 \frac{W - W_{opt}}{W_{max} - W_{opt}} \right\} \quad (11)$$

де $\{\gamma_i > 0, \sum_{i=1}^3 \gamma_i = 1\}$.

Основоючись на алгоритмі Левенберга-Марквардта, в програмному пакеті Mathcad 14, було створено програму для обчислення компромісних значень керуючих параметрів згідно запропонованої методики.

Висновки. Представлений підхід дозволяє сформулювати та вирішити задачу багатокритеріальної оптимізації для заданого набору керуючих параметрів вузла пресування у межах методів нелінійного математичного програмування.

Розв'язання поставленої задачі дозволяє отримати відповідні оптимальні параметри пресуючого вузла гранулятора для формулювання подальших проектних рішень.

Список літератури: 1. Штефан Є.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора / Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк // Механіка та інформатика. – 2005. – С. 172 – 175. 2. Штефан Є.В. Визначення конструктивно-технологічних параметрів процесів переробки харчових матеріалів холодною екструзією / Є.В. Штефан, Ю.О. Засць, Д.В. Риндюк // Комбікормова промисловість України. – 2006. – № 5 (18). – с. 16 – 20. 3. Штефан Є.В. Моделювання поведінки дисперсних систем у нерівноважних процесах харчових виробництв / Є.В. Штефан // Наукові праці УДУХТ. – 2000. – № 8. – С. 63 – 66. 4. Пат. 30058 U Україна, МПК (2006) B01J2/00. Спосіб визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора / Штефан Є.В., Риндюк Д.В.; заявник і патентовласник НУХТ. – № u200711256; заявл. 11.10.07; опубл. 11.02.08. 5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – 534 с. 6. Риндюк Д.В. Методика визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу грануляції дисперсних матеріалів ущільненням / Д.В. Риндюк, Є.В. Штефан // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2009. – Вип. 22. – С. 295 – 300.

Надійшла до редколегії 26.07.11