

УДК 664.1:539.376

ас.Риндюк Д.В., канд.техн.наук, доц. Штефан Є.В. (НУХТ, м. 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.

Ключові слова: оптимізація процесу грануляції, математичне моделювання, екструзія, дисперсні матеріали.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими і практичними завданнями. Останнім часом в харчовій та переробній промисловостях 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 вироби 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 рис.1. 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.

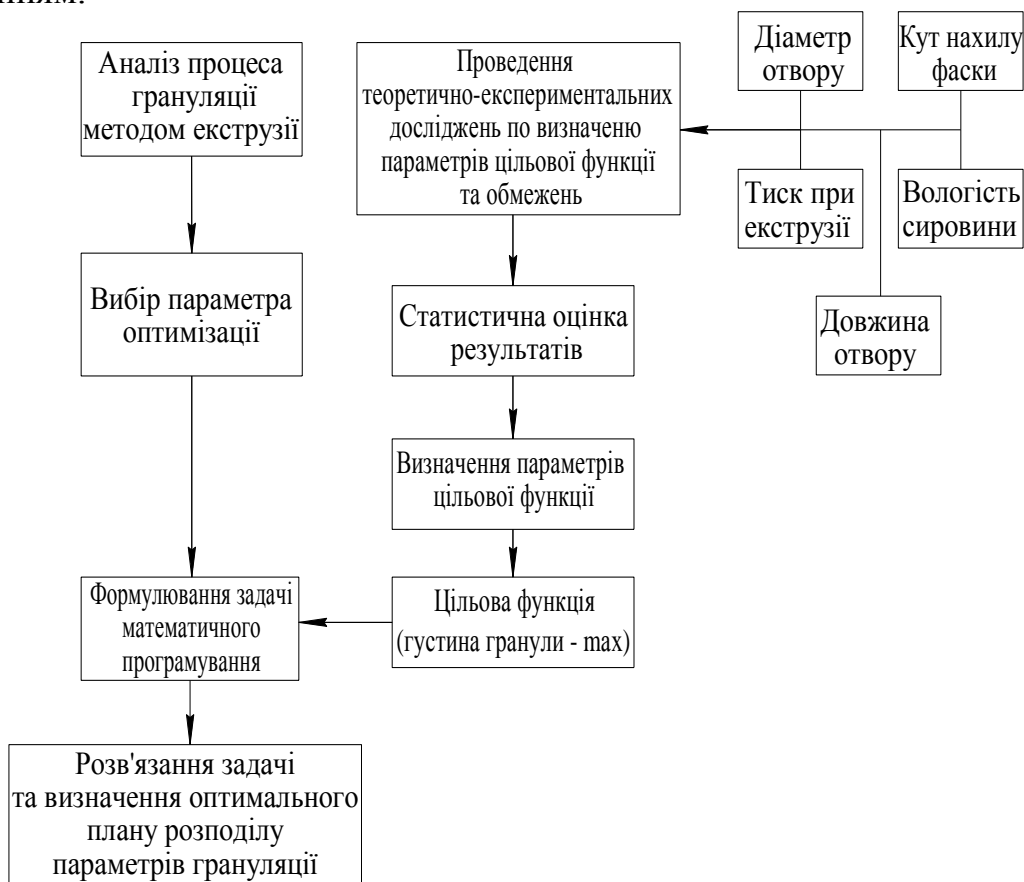


Рис.1. Схема визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу грануляції дисперсних матеріалів ущільненням

При розгляданні технології екструзії дисперсних матеріалів приймаємо концепцію подання сировинних мас як двохфазних сумішей пористої або зернистої твердої деформованої структури з рідиною чи газом. Для описування поведінки матеріалів, що пресуються використано поняття напружень, деформацій, щільності, а також швидкості зміни цих параметрів [4].

Розглянуто одну з типових конструктивних схем гранулювання екструзією, в якій пресуючий ролик розташований усередині кільцевої матриці [2] (рис. 2.)

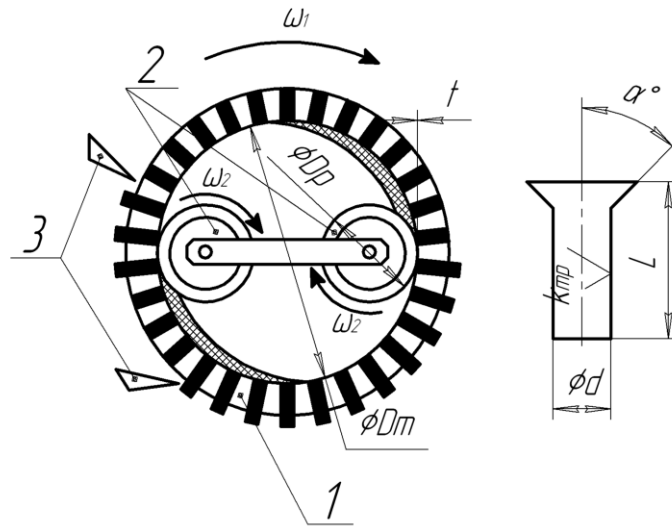


Рис. 2. Схема роботи вузла пресування
(1-кільцева матриця з отворами; 2-пресуючий ролик; 3-ніж)

Для прийнятої конструктивної схеми гранулятора можна виділити наступні основні параметри, що визначають протікання процесу: геометричні розміри роликів та матриці, геометричні розміри отворів в матриці, шорсткість поверхні отворів, частота обертання матриці гранулятора, тиск при екструзії крізь отвір, реологічні властивості сировини, продуктивність та якість готової продукції.

Для прийнятої схеми грануляції пропонується задача оптимізації, яка полягає у визначенні такого розподілу конструктивно-технологічних параметрів процесу, що забезпечують максимальну густину гранул.

Таким чином, в якості цільової функції задачі оптимізації прийнято густину матеріалу (гранули) на виході з матриці [5].

$$\rho(x_i) = \prod_{i=1}^n C_i \cdot X_i \rightarrow \max \quad (1)$$

де C_i – коефіцієнти при невідомих параметрах оптимізації у цільовій функції;
 n – кількість параметрів.

Функція (1) повинна бути максимізована за рахунок оптимального вибору значень X_1, X_2, \dots, X_n , які повинні задовольняти певним обмеженням виду:

$$\Gamma_j(x_i) \cdot R_j \leq b_j, \quad j=1 \dots m \quad (2)$$

де $\Gamma_j(x_i)$ – функції обмежень;

b_j – задані граничні значення обмежень;

m – кількість обмежень;

R_j – один зі знаків “ \geq ”, “ $=$ ” або “ \leq ”.

Головна складність при формулюванні задачі (1),(2) полягає у визначенні коефіцієнтів C_i та функцій обмежень $\Gamma_j(x_i)$. Для конкретизації цих параметрів розроблена спеціальна методика на основі методів чисельного моделювання (методу скінченних елементів і методу скінченних різниць), яка передбачає аналіз процесу ущільнення дисперсного матеріалу, що гранулюється [5]. Кількість проведених обчислювальних експериментів визначалась кількістю

варіантів почергового варіювання певних конструктивних параметрів вузла пресування (рис.2) при фіксації решти, а також кількістю матеріалів сировини. Результати проведених обчислювальних експериментів узагальнені графіками на рис.3-8.

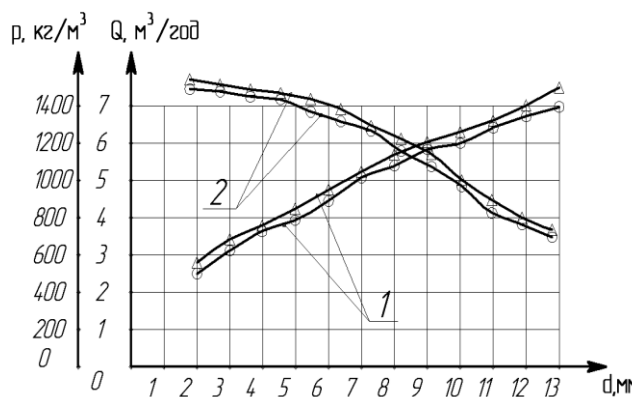


Рис. 3. Залежності продуктивності (1) та густини (2) від діаметра каналу d для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●).

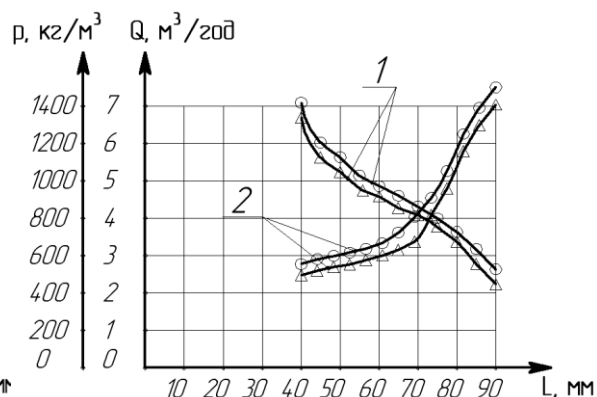


Рис. 4. Залежності продуктивності (1) та густини (2) від довжини каналу L для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●).

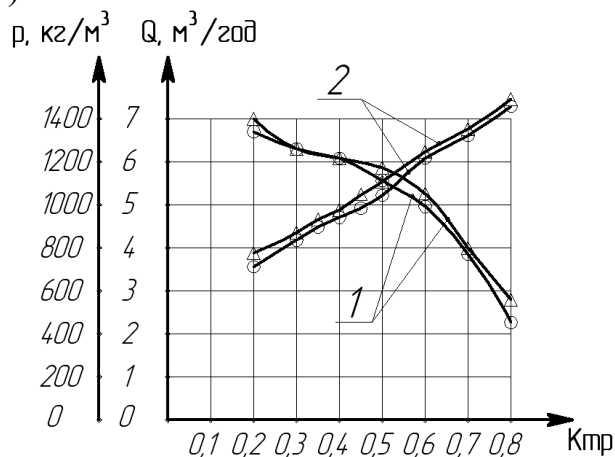


Рис.5. Залежності продуктивності (1) та густини (2) від коеф. тертя між сировиною та поверхнею каналу для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●).

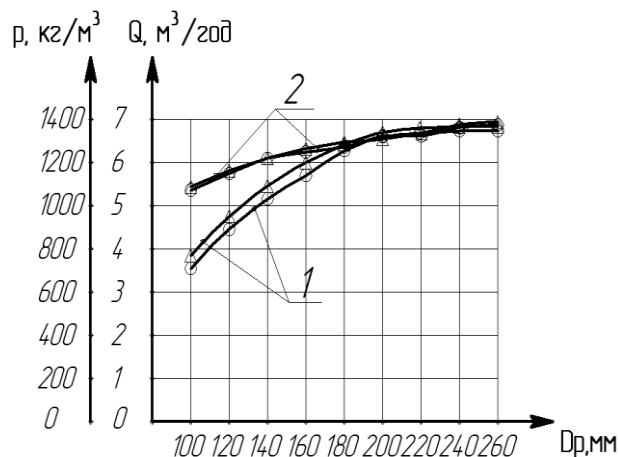


Рис. 6. Залежності продуктивності (1) та густини (2) від діаметра ролика D_p для деревної стружки (▲) та лузги соняшника (●).

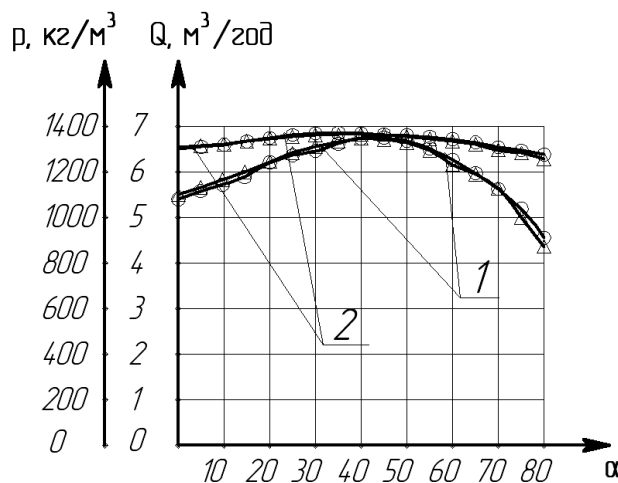


Рис.7. Залежності продуктивності (1) та густини (2) від кута фаски каналу α для деревної стружки (\blacktriangle) та лузги соняшника (\bullet).

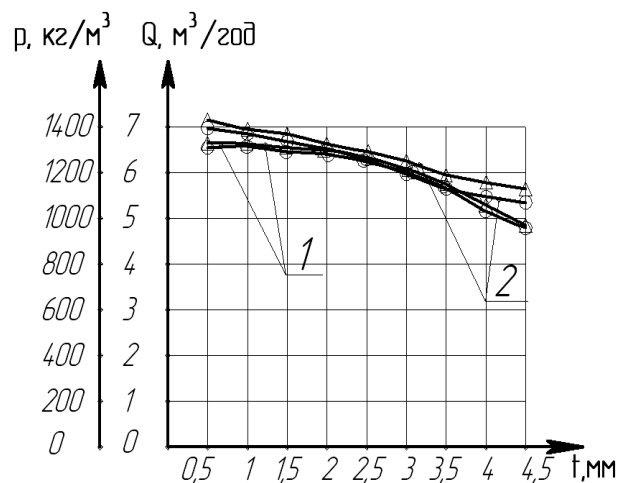


Рис. 8. Залежності продуктивності (1) та густини (2) від зазору t між роликком та матрицею для деревної стружки (\blacktriangle) та лузги соняшника (\bullet).

Апроксимація отриманих графіків дозволила отримати математичні залежності для відповідних конструктивно технологічних параметрів процесу грануляції. Для деревної стружки ці залежності представлені в табл.1.

Таблиця 1

Залежність технологічних параметрів від параметрів оптимізації

Густина гранули	Параметр оптимізації
$Y_1 = 2.4079x_1^3 - 20.066x_1^2 - 14.19x_1 + 1223.6$	зазор t між роликком та матрицею (x_1)
$Y_2 = -3.9144x_2^2 + 5.7866x_2 + 1238.7$	діаметр каналу d (x_2)
$Y_3 = 0.3012x_3^2 - 29.247x_3 + 1164.3$	довжина каналу L (x_3)
$Y_4 = -205.91x_4^3 + 531.36x_4^2 + 629.09x_4 + 559.53$	коєф. тертя (x_4)
$Y_5 = 243.87 \ln(x_5) - 239.93$	діаметр ролика D (x_5)
$Y_6 = -0.0004x_6^3 - 0.0339x_6^2 + 4.6769x_6 + 946.49$	кут фаски каналу α (x_6)
Об'ємна продуктивність	
$\phi_1 = -6e^{-0.05x_3^3} + 0.0129x_3^2 - 0.9092x_3 + 26.869$	довжина каналу L (x_3)
$\phi_2 = 1.8844x_2^{0.5263}$	діаметр каналу d (x_2)
$\phi_3 = -0.0002x_5^2 + 0.0786x_5 - 2.2853$	діаметр ролика D (x_5)

$\phi_4 = -0.0011x_6^2 + 0.0792x_6 + 5.232$	кут фаски каналу α (x_6)
$\phi_5 = -26.806x_4^3 + 29.348x_4^2 - 13.654x_4 + 8.5866$	коефіцієнт тертя (x_4)

Отримані залежності (табл.1.) дозволяють сформулювати задачу оптимізації відповідно (1), (2) для обраного набору параметрів x_1, x_2, \dots, x_6 .

Цільова функція згідно (1) має вигляд

$$\rho(x_{1,2,\dots,6}) = Y_1(x_1) \cdot Y_2(x_2) \dots Y_6(x_6), \quad (3)$$

де $Y_1(x_1) \dots Y_6(x_6)$ апроксимовані функції, що представлені в табл.1.

Обмеження згідно (2) представимо у вигляді

$$a \leq Q(x_i) \leq b \quad c \leq W(x_i) \leq d, \quad (4)$$

де $Q(x_{1,2,\dots,6}) = \phi_1(x_1) \cdot \phi_2(x_2) \dots \phi_6(x_6)$ - об'ємна продуктивність.

Аналогічно формулюються функції обмежень на інші параметри, наприклад, для потужності приводу:

$$W(x_{1,2,\dots,6}) = \mu_1(x_1) \cdot \mu_2(x_2) \dots \mu_6(x_6). \quad (5)$$

Висновки. Представлені залежності (табл.1) дозволяють сформулювати задачу оптимізації для заданого набору параметрів відповідної конструкції вузла пресування у межах методів нелінійного математичного програмування.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямі показують, що розв'язання поставленої задачі (3)-(5) дозволить отримати відповідні оптимальні параметри пресуючого вузла гранулятора для формулювання подальших проектних рішень.

Література:

1. *Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора/ Штефан Є.В., Риндюк Д.В. "Механіка та інформатика" Збірник наукових праць молодих вчених, Хмельницький ,ХНУ 2005 -С.172-175.*

2. *Штефан Є.В., Засць Ю.О., Риндюк Д.В. Визначення конструктивно-технологічних параметрів процесів переробки харчових матеріалів холодною екструзією/ Комбикормова промисловість України. №5(18),2006,с.16-20.*

3. *Моделювання поведінки дисперсних систем у нерівноважних процесах харчових виробництв/ Штефан Є.В. Наукові праці УДУХТ,2000, № 8, с.63-66.*

4. *Валентас К.Д. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов: Пер. с англ./ К.Д. Валентас, С. Ротштейн, Р.П. Сингх. – С.Пб.: Профессия, 2004.-848с.:ил.*

5. Патент на корисну модель № 30058 МПК(2006), В01J2/00 Спосіб визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора //Штефан Є.В., Риндюк Д.В., зареєстровано 11.02.2008.