

ALGORITHM OF THE CHOICE OPTIMUM STRUCTURE OF THE PACKING MACHINE FOR VISCOUS FOOD PRODUCTS

O.M. Gavva, A.P. Bepalko, S.V. Tokarchuk

National University of Food Technologies

Key words: Packing machines Viscous foodstuff Machine structure Expert assessment Optimization	ABSTRACT The modern sample of any packing equipment for viscous foodstuff is the difficult technical system consisting of a large number of the functional modules, executing different technological and auxiliary operations, with their combination in time. Actual problem for designers of the packing equipment is development of algorithm of a choice of structure of a packing machine. In article results of research connected to a choice of optimum structure of a packing machine using a method of the functional and evaluation analysis and expert estimates are provided. Results of researches can be used at a development stage and design of new samples of packing machines for viscous foodstuff.
Article history: Received 10.02.2014 Received in revised form 11.03.2014 Accepted 12.03.2014	
Corresponding author: tmipt_xp@ukr.net	

АЛГОРИТМ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ФАСУВАЛЬНО-ПАКУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ В'ЯЗКОЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

O.M. Gavva, A.P. Bepalko, S.V. Tokarchuk

Національний університет харчових технологій

Актуальною проблемою сьогодення для конструкторів пакувального обладнання є розробка алгоритму вибору структури фасувально-пакувальної машини. У статті представлено результати дослідження пов'язаних з вибором оптимальної структури пакувальної машини з застосуванням методу функціонально-вартісного аналізу та експертних оцінок.

Результати досліджень можуть бути використанні на етапі розробки і проектування новітніх зразків пакувальних машин для в'язких харчових продуктів

Ключові слова: фасувально-пакувальні машини, в'язкі харчові продукти, структура машини, експертна оцінка, оптимізація.

Вступ. Сучасний зразок будь-якого пакувального обладнання для в'язких харчових продуктів — це складна мехатронно-технічна система, яка складається з значної кількості функціональних модулів, що виконують різні технологічні і допоміжні операції, з суміщенням їх у часі [1].

На рис. 1 наведено схему структури машини-автомата для пакування в'язких харчових продуктів у споживчу тару [3].



Рис. 1. Структура машини для пакування в'язких харчових продуктів у споживчу тару

Машини-автомати для фасування в'язких харчових продуктів у споживчу тару характеризуються широкою різноманітністю конструювальних рішень, які можна класифікувати за цілим рядом характерних ознак (рис. 2) [3]:

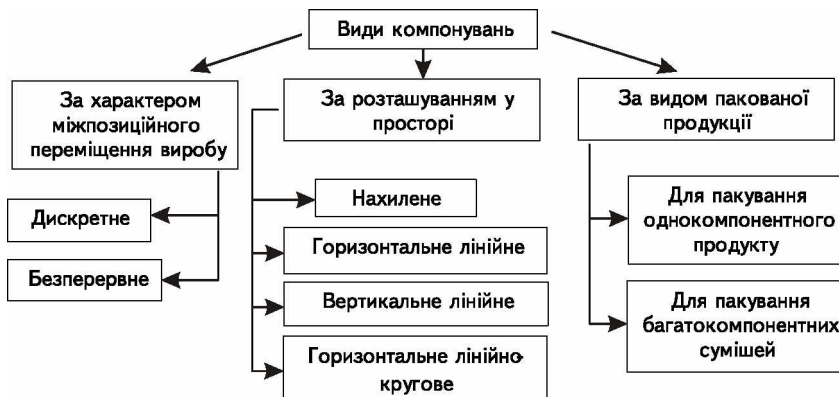


Рис. 2. Класифікація конструювань машин для пакування в'язких харчових продуктів у споживчу тару

Мета досліджень. Складність технологічного процесу пакування в'язких продуктів у споживчу тару, його багатовимірність за кількістю складових елементів зумовлюють певні труднощі дослідного та розрахункового характеру під час вирішення питань, пов'язаних з вибором структури машин даного типу.

Саме тому актуальною проблемою сьогодення для конструкторів пакувального обладнання є розробка алгоритму вибору структури фасувально-пакувальної машини-автомата (ФПМА).

З метою вирішення даної проблеми було розроблено алгоритм вибору раціонального ФПМА, який наведено на рис. 3.

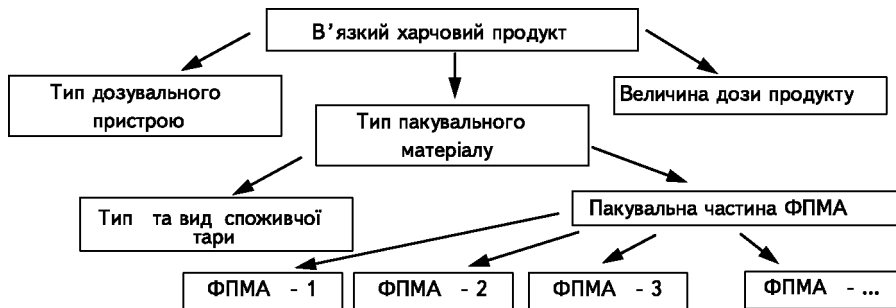


Рис. 3. Алгоритм вибору раціональної структури ФПМА

В основу розробленого алгоритму покладено:

1. Використання класифікаційних ознак основних стадій технологічного процесу, що впливають на вибір ФПМА:

- вид в'язкої продукції, що пакується;
- тип дозатора;
- тип і вид пакувального матеріалу;
- тип і вид споживчої тари.

Дані класифікаційні ознаки дають можливість для конкретного в'язкого продукту із заданою масою дози визначити необхідний дозатор (або тип дозатора) і підібрати пакувальний матеріал (або тип матеріалу); залежно від маси дози визначити вид упаковки і по ньому встановити пакувальну частину (або пакувальні частини) ФПМА.

2. Створення банку даних в'язких продуктів за розробленими класифікаційними ознаками.

3. Створення банку даних дозаторів для в'язких продуктів за розробленими класифікаційними ознаками.

4. Створення банку даних пакувальних матеріалів за розробленими класифікаційними ознаками.

5. Створення банку даних ФПМА за розробленими класифікаційними ознаками.

6. Оптимізація вибору ФПМ та функціональних модулів ПА.

Зі всієї різноманітності виявлених моделей ФПМА в результаті комбінування різних дозаторів і пакувальних частин обладнання необхідно вибрати оптимальну структуру ФПМА. Ця оптимізація може здійснюватися в два етапи:

1 етап — вибір необхідного типу ФПМА з ряду різнотипних ФПМА за допомогою функціонально-вартісного аналізу;

2 етап — вибір оптимального ФПМА за допомогою критеріального аналізу з ряду подібних до нього, вибраного на першому етапі.

Для того щоб користуватися представленим алгоритмом, потрібно:

- скласти структурну схему ФПМА;
- провести аналіз класифікаційних ознак в'язких харчових продуктів у взаємозв'язку з ФПМА;
- створити класифікований банк даних в'язких харчових продуктів;
- провести аналіз класифікації дозаторів стосовно в'язких харчових продуктів;

- створити класифікований банк даних дозаторів фасувально-пакувальних машин-автоматів;
- створити класифікований банк даних фасувально-пакувальних машин-автоматів;
- провести аналіз з вибору пакувальних матеріалів для в'язких харчових продуктів;
- створити банк даних пакувальних матеріалів для в'язкої харчової продукції;
- розробити алгоритм вибору раціонального ФПМА за допомогою методів критеріального або функціонально — вартісного аналізу.

Методика досліджень. Для правильної оцінки і вибору оптимального ФПМА з ряду подібних необхідно з'ясувати, які параметри є найбільш важливими і на які слід перш за все звернути увагу при аналізі аналогічного обладнання. Деякі параметри, що впливають на вибір ФПМА, мають яскраво виражений пріоритетний характер. Багато параметрів рівнозначні, і важко віддати якому-небудь з них перевагу. Є параметри, що в явній або неявній формі протирічають один одному. Для вирішення подібних задач доречно застосовувати метод функціонально-вартісного аналізу (ФВА).

Об'єктом досліджень вибрано ФПМА, призначену для пакування продукції у споживчу упаковку типу «Доу-пак».

Для оцінки ФПМА було означено 33 параметри, що характеризують її за економічними, економіко-організаційними, технічними і додатковими показниками [3]:

Характеристики, пов'язані з пакувальною продукцією:

- 1) різноманітність видів пакованих продуктів (X_1);
- 2) ємкість завантажувального бункера (X_2);
- 3) точність дозування (X_3);
- 4) діапазон дозування (X_4);
- 5) час переналагодження обладнання з одного продукту на інший (X_5).

Технічні характеристики:

- 1) циклова продуктивність (X_1);
- 2) продуктивність з продуктом (X_2);
- 3) напруга живлення обладнання (X_3);
- 4) споживана електрична потужність (X_4);
- 5) витрати повітря (X_5);
- 6) тиск повітря (X_6);
- 7) ступінь автоматизації (X_7);
- 8) маса обладнання (X_8);
- 9) габаритні розміри обладнання (довжина, ширина, висота) (X_9);
- 10) матеріал виготовлення обладнання (корозійно-стійкий і тощо) (X_{10}).

Характеристики, що пов'язані з пакувальним матеріалом та упаковкою:

- 1) необхідна точність до товщини пакувального матеріалу (плівки) (X_1);
- 2) діапазон ширини плівок (X_2);
- 3) різноманітність типів упаковки (X_3);
- 4) різноманітність розмірів упаковки (X_4);
- 5) тип зварювання (X_5);
- 6) діапазон температур зварювання (X_6).

Економіко-організаційні показники:

- 1) вартість обладнання (X_1);
- 2) економія матеріалу машиною (X_2);
- 3) термін окупності обладнання (X_3);
- 4) кількість обслуговуючого персоналу (X_4);
- 5) вимога до кваліфікації персоналу (X_5);
- 6) умови підписання контракту (X_6).

Додаткові характеристики:

- 1) зовнішній вигляд обладнання (X_1);
- 2) наявність системи захисту обслуговуючого персоналу під час роботи обладнання (X_2);

- 3) наявність системи управління (X_3);
- 4) наявність системи змашування (X_4);
- 5) наявність додаткового обладнання (X_5);
- 6) доступність комплектуючих (X_6).

Таким чином, ФПМА є складною багатофакторною системою, що складається, як мінімум, з 33 чинників, яка вимагає комплексного підходу для виділення первинних характеристик, що впливають на вибір ФПМА.

Розроблення багатофакторної моделі для дослідження системи пов'язане з вирішенням суперечливої задачі. З одного боку необхідно прагнути до того, аби отримана статистична модель була максимально подібна до системи, що вивчається, та передбачає врахування якомога більшої кількості досліджуваних чинників під час її побудови. З іншого боку, для спрощення розрахунків, існує потреба в скороченні об'єму експериментальних досліджень, здійснюваних з метою побудови моделі.

Для вибору основних параметрів, що характеризують фасувально-пакувальні машини-автомати, необхідно провести оцінку цих параметрів із залученням ряду експертів пакувальної індустрії, що мають безпосереднє відношення до досліджуваного обладнання, і застосувати метод експертних оцінок [4].

Для цього створюються експертні комісії, які складаються з робочої і експертної груп. Робоча група здійснює підготовку і проведення експертної оцінки, а також аналізує її результати. Експертна група виконує оцінювання перерахованих вище операцій. У зв'язку з перерахованими обставинами під час проведення експертної оцінки виникає завдання відсіювання чинників (параметрів), вплив яких на досліджувану цільову функцію (вибір ЦФ) є неістотним. Експерименти, що виконані для вирішення цієї задачі, в теорії багатофакторних експериментів прийнято називати відсіюючими. Однією з основних вимог, що пред'являються до відсіюючих експериментів, є вимога економічності, тобто малий об'єм експериментальних досліджень, завдань. При плануванні відсіюючих експериментів чинники (параметри) необхідно розташовувати в ряд по мірі їх впливу (проранжировують). Один з методів вирішення цієї задачі полягає в залученні деякого числа фахівців (експертів), які повинні кожному з досліджуваних чинників привласнити ранг (порядковий номер). Для ранжування чинників рекомендується залучати не менше 7 експертів, що виходить з таких міркувань. Якщо прийняти, що ймовірність правильного рішення одного експерта складає 0,70, то ймовірність прийняття правильності рішення при 5 експертах складає 0,528 ($\tau_c > 4$), при 7 експертах - 0,647 ($\tau_c > 5$), при 10 експертах — 0,65 ($\tau_c > 7$). Отже, для проведення експертної оцінки необхідно залучати 6–8 фахівців, думки яких повинні збігатися [1]. Для вирішення поставленої задачі було вибрано 7 експертів. Кожному із них був присвоєний індивідуальний шифр, що відповідає порядковому номеру.

Сума S_j рангів R_{ij} і середня сума рангів $S_{\text{серед}}$, привласнених групою експертів кожному j -му параметру, визначається за формулами і ступенем їх впливу на ознаку:

$$S_j = \sum R_{ij} \quad (1)$$

відповідно

$$S_{\text{серед}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j. \quad (2)$$

Для з'ясування значущості кожного параметру необхідно визначити коефіцієнт значущості (вагомості):

$$k_j = \frac{mn - S_j}{0,5mn(n-1)}, \quad (3)$$

де m — число експертів, n — число параметрів, S_j — значення суми рангів, привласнених i -м експертом j -му параметру. Із n параметрів виділяють n_0 найбільш значущих, для яких $k_j \geq k_{\text{кр}}$, $k_{\text{кр}} = 1/n$, і розраховують для них коефіцієнт значущості $K_{\text{кpo}}$:

$$k_{\text{кро}} = \frac{mn - S_j}{m n n_0 - \sum_{k=1}^N S_j}, \quad (4)$$

де N — число видів зв'язаних рангів, даних i -м експертом; t_k — кількість рангів N -го виду в i -п рядку ранжування.

Природно, що окремі експерти по різному розташують чинники в ранжированому ряду. Думки експертів мають бути перевірені на узгодженість. Правильність отримуваних висновків при такому ранжуванні чинників визначається кваліфікацією експертів і їх числом.

Для перевірки гіпотези про узгодженість думок експертів при $t > 2$ використовується ранговий (непараметричний) критерій згоди Кендаля. Він позначається W і називається коефіцієнтом конкордації. Величина коефіцієнта конкордації змінюється в межах від 0 до 1.

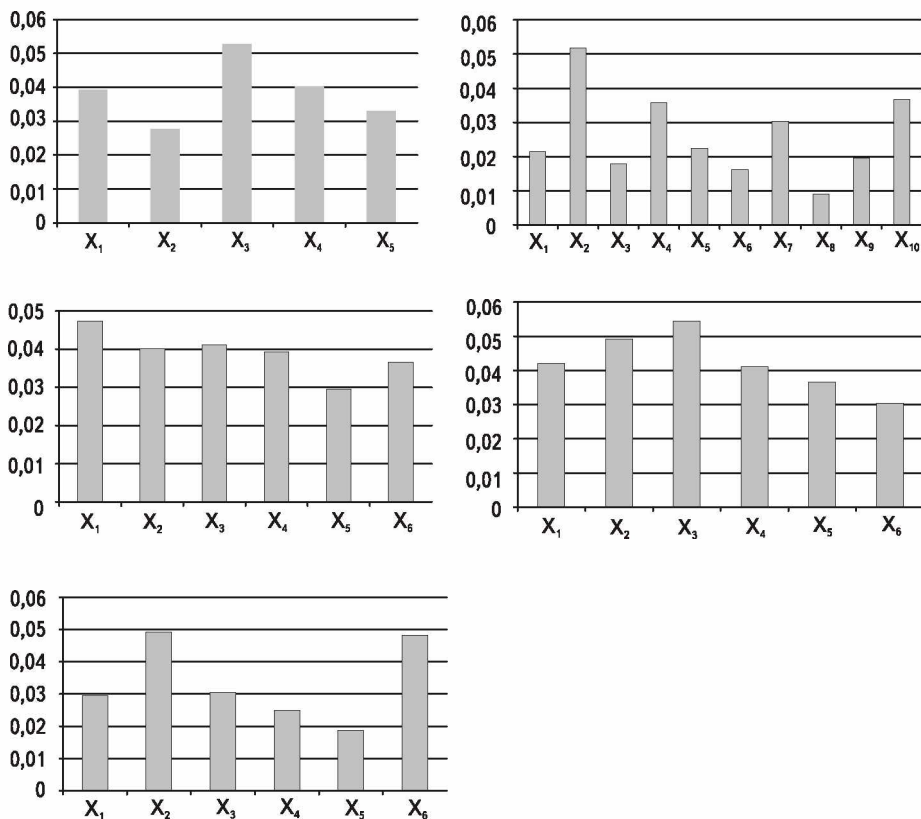


Рис. 4. Діаграми ранжування характеристик: а) пов'язаних з пакованим продуктом; б) технічних; в) пов'язаних з пакувальним матеріалом та упаковкою; г) економіко-організаційних; д) додаткових; X_i — i -та характеристика, яка належить до кожної конкретної групи характеристик

Значення критерію W обчислюють за формулами:

а) якщо всі чинники значущі, тобто кожному з них може бути приписаний певний ранг:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^N (S_j - S_{\text{серед}})^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (5)$$

б) якщо вплив деяких чинників є невивражним, тобто коли деякому числу чинників привласнюється один і той же ранг, то в цьому випадку значення характеристики W визначається за формулою

$$W = \frac{\sum_{j=1}^N (S_j - S_{\text{серед}})^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^l T_j}, \quad (6)$$

де l — число рядків, що містять однакові ранги. Для оцінювання значущості W застосовують критерій Пірсона χ^2 :

$$\chi^2 = Wm(n-1) \quad (7)$$

і порівнюють його з табличним значенням χ^2 при вибраному рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числі степеня свободи $\nu = n-1$. Для узгодженості думок експертів для двох видів параметрів була виконана нерівність:

$$\chi^2_{\text{розрах}} \leq \chi^2_{\text{табл.}}$$

Результати досліджень. Результати опрацювання рейтингових оцінок експертів та аналітичних залежностей (1–7) представлено на рисунку 4.

Виділення сукупності найвагоміших показників проводили з урахуванням вагомостей першого та другого рівня шляхом знаходження добутку коефіцієнтів значущості відповідних рівнів. Виконання однієї з умов побудови ефективного комплексного показника — сума коефіцієнтів значущості одиничних показників повинна дорівнювати одиниці. В зв'язку з цим було виділено показники, найбільш вагомі за результатами розрахунків. Їх коефіцієнти значущості в загальній оцінці найбільш важливих складових оптимальної структури машини показано на рисунку 5.

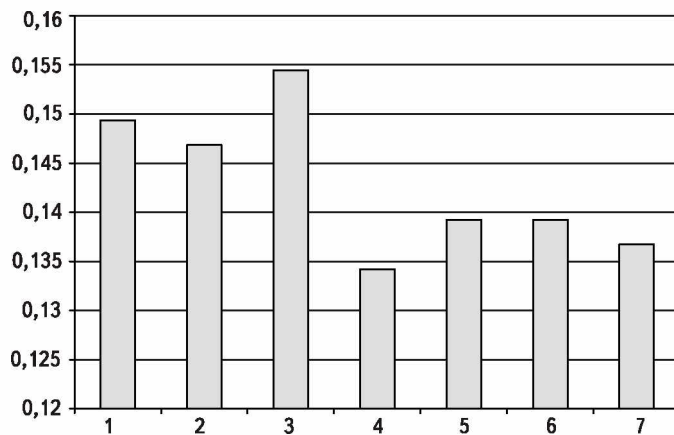


Рис. 5. Діаграма ранжування найбільш впливових характеристик:
 1) точність дозування; 2) продуктивність з продуктом; 3) термін окупності обладнання; 4) необхідна точність до товщини пакувального матеріалу (плівки); 5) економія матеріалу машиною;
 6) наявність системи захисту обслуговуючого персоналу під час роботи обладнання; 7) доступність комплектуючих

Висновки. Аналіз отриманих діаграм ранжування дає змогу виділити найбільш важливі з запропонованих характеристик та параметрів ФПМА. Акцентуючи увагу саме на цих параметрах, на етапах проектування та розробки, стає можливим створення оптимальної структури ФПМА для в'язкої харчової продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Башняков О.М. Практична стійкість, оцінки та оптимізація / О.М. Башняков, Ф.Г. Гаращенко, В.В. Пічкур. — К.: Київський університет, 2008. — 383 с.
2. Вступ до теорії складності дискретних задач [Текст] / А.В. Панішев; Житомирський держ. технологічний ун-т. - Житомир: ЖДТУ, 2004. — 326 с.

3. Гавва О.М. Пакувальне обладнання: підручник для студентів ВНЗ / О.М. Гавва, А.І. Волчко, А.П. Беспалько. — Київ: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 744 с.

4. Курицкий Б.Я. Оптимизация вокруг нас / Б.Я. Курицкий. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. — 144 с.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ФАСОВОЧНО–УПАКОВОЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВЯЗКОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

А.Н. Гавва, А.П. Беспалько, С.В. Токарчук

Национальный университет пищевых технологий

Актуальной проблемой для конструкторов упаковочного оборудования является разработка алгоритма выбора структуры фасовочно-упаковочной машины. В статье представлены результаты исследования связанных с выбором оптимальной структуры упаковочной машины с применением метода функционально-оценочного анализа и экспертных оценок.

Результаты исследований могут быть использованы на этапе разработки и проектирования новых образцов упаковочных машин для вязких пищевых продуктов

Ключевые слова: *упаковочные машины, вязкие пищевые продукты, структура машины, экспертная оценка, оптимизация.*