

ОСНОВИ МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Інтенсивний розвиток пакувальної промисловості вимагає створення функціональних одиниць різних груп пакувальних машин. Існує потреба в проведенні аналізу і синтезу конструктивних схем обладнання. У статті представлена методика проектування пакувального обладнання з використанням модульного методу. Представлено топологічні моделі пакувальних машин, критерієм оптимізації прийнято мінімальне використання енергії.

Ключові слова: функціональний модуль, пакувальна машина, харчові продукти, упаковка, теорія графів.

Сьогодення диктує безповоротний розвиток харчової промисловості у напрямку випуску якісної продукції у сучасній упаковці. З року в рік зростають потреби виробництва фасованих харчових продуктів у споживчій та транспортній тарі, групових пакувань, збільшених вантажних одиниць.

Актуальною є проблема розробки нового обладнання, яке б не лише підвищувало продуктивність праці, було б більш надійним та довговічним, а й дозволило зменшити собівартість продукції. Створення групової упаковки з пакувальних одиниць зумовлене необхідністю забезпечення зручності в користуванні для споживачів, збереження якості та товарного вигляду продукції під час транспортування та зберігання. Існуюча різноманітність конструкцій та варіантів виконання механізмів пакувальних машин зумовлена відмінністю параметрів продуктів, що фасуються, умовами фасування, конструкцією споживчої тари; неузгодженою роботою проектних організацій і відсутністю одного методологічного підходу до проектування машин даного класу.

Створення новітніх зразків потокових ліній або машин потребує розробки загальної методики аналізу та синтезу технологій, конструктивних схем таких машин. Основою такої методики є наукове обґрунтування вибору і реалізації критеріїв ефективності. Для пакувального обладнання важливими критеріями ефективності є точність виконання технологічних операцій, забезпечення високої продуктивності при максимальному суміщенні виконання операцій і руху робочих органів, ступінь гнучкості і переналагоджені, мінімальні витрати енергії на пакування та мінімальні витрати на виготовлення і обслуговування машин.

Реалізувати максимальні значення всіх цих критеріїв в одній машині або в одному її типі досить складно, тому що деякі із них вступають в певне протиріччя. А тому доречно встановити вплив різних факторів на конкретний критерій і на завершальному етапі синтезу створити умови для реалізації максимального значення одного чи кількох критеріїв, а інші критерії повинні бути в межах допустимих значень. Розв'язуванню цього питання і присвячено дані дослідження.

Складність технологічної топології процесу пакування, його багатовимірність за кількістю як складових елементів, так і функцій, високий ступінь взаємозв'язку та параметричного взаємовпливу зумовлюють певні складності дослідного та розрахункового характеру під час розв'язання задач аналізу та синтезу пакувального обладнання [2,3].

Ці складності можна вирішити, застосувавши модульний принцип проектування, в основу якого покладено топологічний метод аналізу технологічних систем [1]. Модульний принцип проектування дає

змогу формальним чином встановлювати функціональний зв'язок між технологічною топологією й кількісними характеристиками функціонування системи у вигляді матеріальних та енергетичних навантажень на елементи технологічної системи. Топологічний метод аналізу технологічних систем базується на аналізі математичних іконографічних моделей систем, якими є початкові і структурні графи, інформаційні та сигнальні графи технологічних систем [4]. Застосування таких топологічних моделей дає змогу значний обсяг інформації про технологічний процес пакування навести у конкретній і наочній формі.

Для розгляду всіх можливих схем технологічного процесу групового пакування доречно створити граф технологічного процесу. Такий граф охоплює майже всі можливі основні операції пакування. На основі аналізу послідовностей виконання основних операцій, у разі потреби, виключенням або заміною деяких операцій можна створити необхідну технологічну схему.

Поряд із забезпеченням заданої продуктивності, структури групової упаковки, одним із головних завдань, яке намагаються вирішити під час синтезу даного типу, є мінімізація витрат на його виробництво та експлуатацію. Вартість обладнання прямо пропорційна його матеріаломісткості та енергозабезпеченості. Крім того, однією з головних складових експлуатаційних витрат є споживання обладнанням енергії. Отже, мінімізація енерговитрат – один із основних шляхів вибору параметрів машини.

Для оцінювання енерговитрат різними функціональними модулями пакувальних машин, наведемо їх топологічні моделі у вигляді графа зв'язків. Основою його побудови є енергетично-потоківий граф, для побудови якого потрібно звести всі структурні елементи системи до їх енергетичних еквівалентів або до блоків, у яких здійснюється введення, перетворення, розгалуження та розсіювання потоків енергії та маси (рис. 1). Блоки графа показують зв'язки системи із зовнішнім середовищем, а також витрати енергії у складових елементах системи. На основі енергетично-потоківий графа (кодова діаграма) побудовано граф зв'язків (рис. 2), який є основою для подальшої обробки та перетворень. Наступним етапом моделювання є перетворення графа зв'язків до вигляду, який надає можливість одержати розв'язок розробленої моделі. Одним із різновидів таких перетворень є побудова сигнального графа. Сигнальний граф – це орієнтований граф, що відповідає лінійним або лінеаризованим системам рівнянь математичної моделі технічної системи й відображає причинно-наслідковий зв'язок між елементами системи. На рис.3 наведено сигнальний граф, зведений до його елементарного кінцевого вигляду, що не підлягає подальшому спрощенню.

Один із способів застосування кінцевого графа базується на положенні, що графи – це топологічна форма інтерпретації системи компонентних рівнянь. З отриманого компонентного рівняння масово енергетичні потоки в системі співвідносяться між собою за такими залежностями (на прикладі обладнання для пакування в'язких продуктів):

$$Sf_{\Sigma} = Sf_c + Sf_{n1} + Sf_{n2} + Sf_k \quad (1)$$

Тобто загальні витрати енергії дорівнюють сумі енергій, що споживаються усіма джерелами системи:

$$Se_{\Sigma} = Sf_c \times (h_1 + h_{11}) + Sf_{n1} \times (h_3 + h_{11}) + Sf_{n2} \times (h_4 + h_{11}) + Sf_k \times (h_5 + h_{11}), \quad (2)$$

де h_1-h_{11} – передатні функції відповідних гілок елементарного сигнального графа (рис.3 б).

Використавши отримане рівняння для визначення витрат енергії у функціональних модулях пакувальної машини встановлено, що одним з найбільш енергомістких функціональних модулів є дозатор (18 % спожитої енергії). З метою дослідження даного функціонального модуля та подальшої його оптимізації за обраним критерієм було застосовано програмний комплекс Flow Vision, який призначений для моделювання тривимірних потоків рідини і газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. FlowVision базується на кінцево-об'ємному методі вирішення рівнянь гідродинаміки і використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю FlowVision використовує технологію підсіткового подібнення геометрії. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію з систем САПР і обмінюватися інформацією з системами кінцево-елементного аналізу.

Поставлену задачу було розв'язано за допомогою моделі турбулентної рідини, що не стискається. Дана модель описує течію пластичного продукту при малих і великих (турбулентних) числах Рейнольдса, при цьому допускаються малі зміни об'ємної маси. В модель входять рівняння Нав'є-Стокса, енергії і рівняння конвективно-дифузійного переносу концентрації домішок.

На першому етапі досліджень було створено геометрію робочих органів дозувального пристрою. Для цього в програмі Компас було побудовано моделі дослідної установки та у подальшому розміщено дані зображення в програмному комплексі FlowVision (рис.4).

На наступному етапі досліджень було обрано розрахункову модель, яка відповідає процесу дозування, створено граничні умови та задано вхідні реологічні параметри – температуру, щільність та ефективну в'язкість продукту у вигляді функціональної залежності від швидкості його переміщення. Для визначення величини ефективної в'язкості досліджуваних продуктів використано ротаційний віскозиметр PEOTECT2.

Під час проведення досліджень варіювались такі геометричні параметри дозувального пристрою, як: D – діаметр дозувального циліндра, d – діаметр насадки, r – радіус заокруглення при вершині насадки, f – величина фаски, α – кут при вершині фаски. Отримані результати експерименту зберігались та оброблялись за розробленою методикою математико-статистичних методів дослідження з отриманням емпіричної залежності - математичної моделі, залежність, що виражає як саме і в якій мірі впливатимуть на швидкість дозування геометричні параметри, в'язкість продукту.

На основі проведених експериментів з різними варіантами насадок було отримано ряд залежностей зміни тиску, які показали, що найбільш ефективними з точки зору критерію енергоефективності є варіант із фаскою при основі під кутом 45° (рис. 5 б) та варіант із заокругленням при основі насадки (рис. 5 а).

Як видно з отриманих залежностей форма насадки є найменш впливовим фактором із досліджуваних, проте зі збільшенням швидкості фасування її роль значно зростає. Найістотніше впливає на опір переміщенню пластичної продукції співвідношення діаметрів мірного циліндра та вихідного каналу. Застосування закону руху поршня з постійною швидкістю дає можливість зменшити енерговитрати під час дозування, в той же час синусоїдальний закон руху дозволяє забезпечити безударний режим руху.

Висновки. Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що:

- використання системи модульного проектування дає можливість створити параметричні ряди функціональних модулів машин, на основі яких стане можливим створення пакувального обладнання з найоптимальнішими параметрами та показниками;
- складності дослідного та розрахункового характеру які виникають під час розв'язання задач аналізу та синтезу фасувального обладнання можна усунути застосувавши топологічний метод аналізу технологічних систем;
- використання теорії графів дає змогу визначити раціональну технологічну та конструктивну схеми пакувальної машини за умови мінімальних витрат енергії.

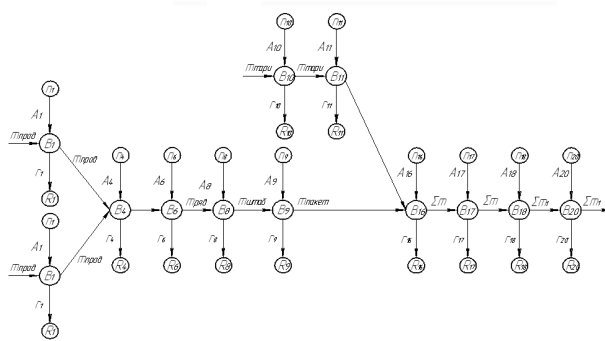


Рис.1. Енергетично-потоківий граф процесу групового пакування лінії ПД24-ЛЛА

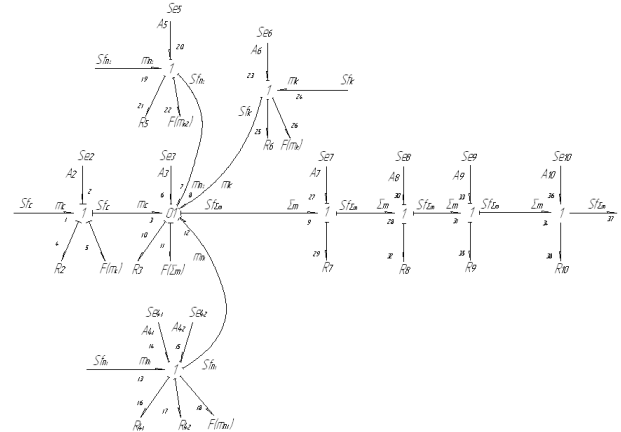
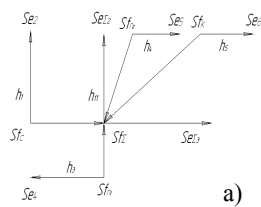
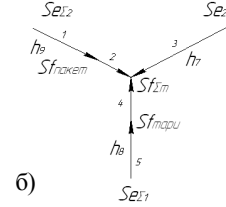


Рис.2. Граф зв'язків технологічного процесу фасування в'язкої продукції



а)



б)

Рис.3. Сигнальний граф приведений до елементарного кінцевого вигляду: а) пакування в'язких харчових продуктів у споживчу тару; б) групове пакування споживчих упаковок

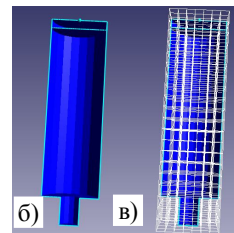
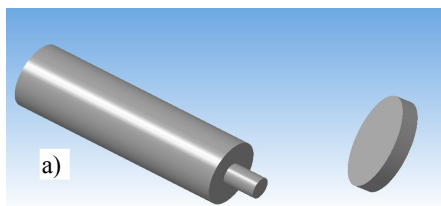


Рис.4. Моделі дослідної установки та її зображення у програмному комплексі FlowVision: а) циліндр з насадкою та поршень; б) завантажена модель з поршнем; в) задана розрахункова сітка.

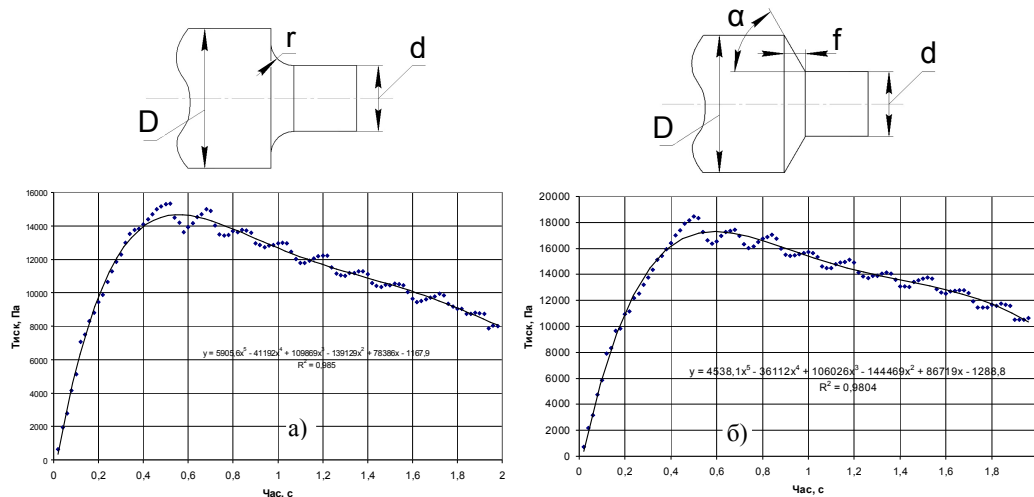


Рис.5.Варіанти виконання дозатора та результати досліджень: а) модель з насадкою із увігнутим заокругленням R20 та графік зміни тиску на осі поршня від часу; б) модель з фаскою 10 мм ($\alpha=45^\circ$) та графік зміни тиску на осі поршня від часу.

Список використаних джерел

1. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 240 с.
2. Гавва О.М. Пакувальне обладнання: підручник / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. – Київ: ІАЦ "Упаковка", 2010. – 744 с.
3. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для групового пакування – К. ІАЦ «Упаковка», 2007 – 136с.
4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / Изд. 2 – е, стереотип. – Киев.: Техника, 1977. – 768 с.

Оснoвы модульной системы проектирования упаковочного оборудования

А.Н. Гавва, С.В. Токарчук, А.И. Волчко

Национальный университет пищевых технологий

Интенсивное развитие упаковочной промышленности требует создания функциональных единицы различных групп упаковочных машин. Существует потребность в проведении анализа и синтеза конструктивных схем оборудования. В статье представлена методика проектирования упаковочного оборудования с использованием модульного метода. Представлено топологическую модель упаковочной машины, критерием оптимизации принято минимальное использование энергии.

Ключевые слова: функциональный модуль, упаковочная машина, пищевые продукты, упаковка, теория графов.

A modular system design packaging machines

A.N. Gavva, S.V. Tokarchuk, A.I. Volchko

National university of food techniques

The intensive development of a packing machine industry requires creation of functional units of different groups of packing machines. It is necessary to spend the analysis and synthesis of the constructive schemes of the equipment. In the article presents a methodology for the design of packaging machinery using the modular method. For this purpose the topological model of the machine is developed and makes it synthesis by criterion of minimum usage of energy.

Key words: functional module, packing machine, food foods, packaging, theory of the graphs.