

МЕТОДИ КОНСТРУЮВАННЯ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ ФАСУВАЛЬНО-ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН ТА АВТОМАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

І.В. Лебединець

Розглянуто інженерні підходи, які застосовуються під час конструювання фасувально-пакувальних машин та автоматів харчових виробництв, переваги і недоліки застосування в їх структурних схемах різноманітних виконавчих механізмів. Досліджено можливість підвищення продуктивності вже існуючого обладнання аналогічного типу.

Ключові слова: виконавчий механізм, автомат, машина, ланка, структурна група, цикл ограда.

МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ФАСОВОЧНО-УПАКОВОЧНЫХ МАШИН И АВТОМАТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

И.В. Лебединец

Рассмотрены инженерные подходы, которые используются при конструировании фасовочно-упаковочных машин и автоматов пищевых производств, преимущества и недостатки использования в их структурных схемах разнообразных исполнительных механизмов. Исследована возможность повышения производительности уже существующего оборудования аналогичного типа.

Ключевые слова: исполнительный механизм, автомат, машина, звено, структурная группа, цикл ограда.

METHODS OF CONSTRUCTING ACTUATING MECHANISMS FOR WEIGHING-AND-PACKING MACHINES AND FOOD PRODUCTION AUTOMATICS

I. Lebedynets

Designing of weighing-and-packing machines and high efficiency automatic machines is an actual task in the conditions of the increasing demand for prepacking and packing of food products. In the process of constructing them, at the first stage, the principle of such machine operation is chosen. The second stage of designing is the search for optimal structure of the automatic machine according to

the chosen principle of action for the implementation of the specified functions. At the third stage, determine optimal values of the parameters of the selected structure of the machine.

Main structural elements of weighing-and-packing automatic machines are the variety of actuators, by means of which the given technological operations are performed. It is possible to apply such mechanisms as gear, lever, cam, with flexible links, with hydraulic and pneumatic connections, with electrical connections, with electro-hydraulic connections, in the process of designing actuating bodies of such equipment.

The type of the first link of the actuating mechanism, attached to the leading link – the basic mechanism – is the most important in the weighing-and-packing automatic machine. Joining additional links to the basic mechanism, and combining them, a set of target mechanisms is formed. They directly perform technological function with the help of a working body, which is the source of the actuator.

For today, during the design of weighing-and-packing automatic machines for food production, basic mechanisms with rigid links are widely used, but pneumatic, hydraulic, electromagnetic and flexible mechanisms are more often being used. Various cam mechanisms with a force or geometric closure are very often used as a basic mechanism.

In order to achieve maximum productivity with minimal costs for the development and design of new packing automatic machines, it is easier and more efficient to optimize the existing similar equipment, which has given a good account of itself. In order to increase productivity of the existing packing machine for 30–40%, it is enough to replace 1–2 actuating mechanisms, to change the cyclogram of work with a more productive operating system.

Keywords: *actuator, automatic machine, machine, link, structural group, cyclogram.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. На сьогодні в усьому світі спостерігається стійкий приріст споживання харчових продуктів в упаковці. Споживач уже звик до появи нових, коригування існуючих упаковок зарозміром, формою та типом матеріалу. Харчові продукти без упаковки майже зникли з торговельних точок або продаються дуже рідко. Індустрія пакування останнім часом розвивається швидкими темпами.

В умовах збільшення попиту фасування та пакування харчових продуктів актуальним завданням є підвищення ефективності відповідного обладнання. Рішенням цього завдання стала розробка та конструювання фасувально-пакувальних автоматів підвищеної продуктивності, функціональності та ступеня автоматизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідниками у сфері проектування використовуються різноманітні підходи до конструювання виконавчих механізмів фасувально-пакувальних машин та автоматів [1–3]. Проте слід відмітити, що цілісної методології їх синтезу на сьогодні не існує.

Метою статті є аналітичний огляд основних етапів та інженерних рішень, які потрібно використовувати під час конструювання виконавчих механізмів фасувально-пакувальних машин та автоматів харчових виробництв і методів підвищення ефективності вже існуючого обладнання

Виклад основного матеріалу дослідження. У процесі конструювання фасувально-пакувальних машин та автоматів на першому етапі вибирають принцип дії такої машини, тобто розробляють технічну ідею. Другий етап проектування – це пошук оптимальної структури автомата згідно з вибраним принципом дії для реалізації заданих функцій. У загальному вигляді на цьому етапі знаходять незалежні змінні, що характеризують машину, яка проектується. Цими змінними можуть бути кількість вузлів одного типу, включення або виключення окремого вузла, їх геометричні розміри. На третьому етапі встановлюють оптимальні значення параметрів вибраної структури машини.

Структурою фасувально-пакувального автомата є набір складових вузлів і зв'язків між ними. Як і кожна виробнича машина, фасувально-пакувальний автомат складається з окремих механізмів: керувального пристрою, рушія, передаточного та виконавчого механізму.

Як рушій, як правило, застосовуються електричні двигуни, у яких вал обертається з постійною кутовою швидкістю, або гідравлічні та пневматичні приводи, у яких основний елемент – циліндр із поршнем, на який діє тиск із постійним зусиллям. Передаточні механізми в автоматах можуть бути жорсткі, гнучкі, пружні та інерційні.

У фасувально-пакувальних автоматах основними структурними елементами є різноманітні виконавчі механізми, за допомогою яких виконуються задані технологічні операції. Існують такі види механізмів: завантажувальні, робочі, транспортні, встановлювальні.

Під час конструювання фасувально-пакувальних автоматів інженер-проектувальник повинен вибирати найбільш раціональні типи та схеми механізмів для відповідних операцій, розраховувати розміри ланок відповідно до конкретного завдання. Це найбільш трудомістка початкова стадія проектування, особливо якщо не існує прототип пакувальної машини чи автомата.

У процесі проектування виконавчих органів фасувально-пакувальних машин харчових виробництв можна застосовувати такі механізми: зубчасті, важільні, кулачкові, із гнучкими ланками, із гідравлічними та пневматичними зв'язками, електричними зв'язками, електрогідравлічними зв'язками [1]. Кожна з груп важільних механізмів має такі види: шарнірно-важільні, кулісно-важільні,

кривошипно-повзунні, важільно-кулачкові, важільно-зубчасті, важільно-храпові, важільно-клинові, гвинтово-важільні. Зубчасті механізми бувають евольвентними, черв'ячними, рейковими та ін.

Незважаючи на те, що конструкції механізмів дуже різноманітні, у розрахунках фасувально-пакувальних автоматів найважливішим є тип першої ланки виконавчого механізму, приєднаного до ведучої ланки. Сукупність ведучої ланки та першої структурної групи складає основу всього механізму – це базовий механізм. При всьому різноманітті багатоланкових виконавчих механізмів число базових механізмів порівняно невелике. Приєднуючи до базового механізму додаткові ланки, та їх комбінуючи, утворюють множину цільових механізмів, які безпосередньо здійснюють технологічну функцію за допомогою робочого органу, який є вихідною ланкою виконавчого механізму.

Один базовий механізм, наприклад кулачковий, здатний приводити в дію різноманітні цільові механізми, зокрема дозатор, пакувальник, маніпулятор та ін. При цьому окремий цільовий механізм, наприклад маніпулятор, може приводитися в дію різними базовими механізмами, не тільки кулачковим, а й зубчастим, гідравлічним або кривошипно-повзунним.

Сьогодні під час проектування фасувально-пакувальних машин харчових виробництв широко застосовують базові механізми із жорсткими ланками, проте все частіше використовують пневматичні, гідравлічні, електромагнітні, а також механізми з гнучкими ланками. Як правило, завданням базових механізмів із жорсткими ланками є перетворення обертального руху з постійною кутовою швидкістю вхідної ланки машини в зворотно-поступальний рух безпосереднього приводу циклічних робочих органів. Інколи необхідно зворотно-поступальний або коливальний рух перетворити в обертальний, наприклад, це реалізується в повзункових двигунах, гідравлічних або пневматичних приводах.

У пакувальних машинах та автоматах харчових виробництв більшість робочих органів здійснюють прості або складні рухи в площині за заданими траєкторіями. Вони рухаються безперервно або із зупинками з постійною або змінною швидкістю. Із метою зміни кутової швидкості рівномірного обертального руху застосовують зубчасті та фрикційні механізми. Важільно-зубчасті та еліптичні зубчасті механізми зі змінним передаточним відношенням застосовують для отримання нерівномірної обертального руху виконавчого механізму. Планетарні та диференціальні механізми використовують для утворення складного планетарного руху.

Досить часто для роботи виконавчого механізму виникає потреба в утворенні зворотно-коливального руху без зупинки. Для цього використовують шарнірні чотириланкові кривошипно-коромислові механізми, у яких час робочого та холостого ходу рівні $t_{p-x} = t_{x-x}$. Якщо необхідно значно збільшити час робочого ходу порівняно з холостим, тоді застосовуються кривошипно-кулісні механізми різних видів. Якщо необхідно створити зворотно-коливний рух із зупинками, потрібно застосовувати багатоланкові важільно-шарнірні механізми, зокрема ті, що складаються з шести ланок.

Для передачі великих зусиль під час утворення зворотно-поступального руху застосовують рейкові та шарнірні механізми з поступальною парою, зокрема кривошипно-повзункові, у яких інтервали робочого та холостого ходу, як правило рівні між собою $t_{p-x} = t_{x-x}$. Для таких самих цілей можна застосовувати механізми з гнучкими ланками, проте вони можуть передавати невеликі зусилля.

Інколи у виконавчому механізмі необхідне отримання обертального руху із зупинками. Із цією метою використовують неповнозубі зубчасті, мальтійські, цівкові або храпові механізми.

Слід зазначити, що на сьогодні під час проектування пакувальних машин та автоматів харчових як базові механізми найбільш широко застосовують різноманітні кулачкові механізми із силовим або геометричним замиканням. Основними перевагами кулачкових механізмів є можливість отримання практично будь-якого закону руху вихідної ланки робочого органу. Застосування кулачкових механізмів дає можливість дуже просто перетворювати рівномірний обертальний або прямолінійний поступальний рух в зворотно-поступальний або коливальний рух відомої ланки з різними швидкостями та прискореннями. За рахунок зміни профілю кулачка змінюють характер зміни швидкостей та інтервали циклів руху.

Але існує і суттєвий недолік застосування кулачкових механізмів – це наявність вищої кінематичної пари (кулачок і штовхач), елементи якої стикаються по лінії. При цьому питомий тиск під час такого спряження ланок досягає значної величини, яка дорівнює максимальним значенням на одній і тій самій ділянці профілю кулачка. Усе це призводить до нерівномірного та відносно швидкого зношування профілю кулачка, особливо у швидкохідних машинах. Тому інженеру-проектувальнику під час конструювання швидкохідних пакувальних машин харчової промисловості потрібно намагатися замінювати кулачкові механізми багатоланковими важільними.

Слід зазначити, що з метою отримання максимальної продуктивності з мінімальними затратами на розробку та

конструювання нових фасувально-пакувальних автоматів простіше та ефективніше оптимізувати вже існуюче аналогічне обладнання, яке себе добре зарекомендувало. Для цього інженер-проектувальник повинен зафіксувати характеристики та зняти циклограму всіх механізмів існуючого фасувально-пакувального автомата та звести її в єдиний графік. Це дозволяє наочно отримати висновки про роботу всієї машини та виявити елементи і вузли, які обмежують роботу. Потім потрібно побудувати оптимальну циклограму роботи автомата з точки зору продуктивності, одночасно врахувати безпечне накладення циклів окремих механізмів. Потім згідно з циклограмою збільшують продуктивність окремих елементів, що обмежували роботу автомата різноманітними способами, наприклад, заміною асинхронних електричних двигунів сервоприводами, пневматичних – високодинамічними електро механічними приводами.

За однакових номінальних характеристик потужності сервоприводи порівняно з асинхронними двигунами мають більш точне позиціонування виконавчих органів, більшу навантажувальну здатність, суттєво менший момент інерції ротора та більший ККД (до 98%). Електромеханічний привід, порівняно з пневматичним відрізняється гнучким позиціонуванням в будь-якій точці з високою динамікою та точністю й повним контролем над траєкторією переміщення продукту. Зокрема в механізмах об'ємного дозування рідин застосування електромеханічних приводів дозволяє скоротити час повного циклу за рахунок відсутності спінювання та розплескання, у механізмах переміщення продукту – оптимізувати алгоритми та траєкторію руху, що підвищує швидкість.

У передаточних механізмах доцільно замінювати загальнопромислові редуктори на планетарні, що мають менші габарити, менший момент інерції та високий ККД (92–96%).

Як показують практичні дослідження, із метою підвищення продуктивності існуючого фасувально-пакувального автомата на 30–40% достатньо замінити 1–2 виконавчих механізми, змінити циклограму роботи з більш продуктивною системою управління.

Висновки. Таким чином, наведені методи та інженерні підходи можуть знайти застосування під час проектування виконавчих механізмів різноманітних фасувально-пакувальних машин та автоматів харчових виробництв, зокрема таких як лінійні та роторні автомати фасування рідких і пастоподібних продуктів, вертикальні автомати фасування сипких продуктів, видувні автомати ПЕТ-тари, лінії розливання та пакування.

Список джерел інформації / References

1. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин : монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук [та ін.]. – К. : Сталь, 2015. – 547 с.

Gavva, O.M., Kryvoplyas, Volodina, L.O., Tokarchuk, S.V. et al. (2015), *Functional modular design of packing machines*, Steel, Kiev, 547 p.

2. Феклин К. Основы структурно-параметрического синтеза упаковочных машин / К. Феклин // Тара и упаковка. – 2001. – № 6. – С. 2–8.

Feklin, K. (2001), "Fundamentals of the structural-parametric synthesis of packaging machines", *Packaging*, No. 6. pp. 28.

3. Сапрыкин В. Н. Техническая механика / В. Н. Сапрыкин. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 560 с.

Saprykin, V.N. (2003), *Technical mechanics*, Phoenix, Rostov n/D: 560 p.

Лебединец Ігор Володимирович, канд. техн. наук, доц., кафедра холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки, Навчальний науково-технічний інститут харчових технологій та бізнесу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)337-86-35, 0661307091; e-mail: igor13lebedinec@gmail.com.

Лебединец Игорь Владимирович, канд. техн. наук, доц., кафедра холодильной и торговой техники и прикладной механики, Учебный научно-технический институт пищевых технологий и бизнеса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)337-86-35, 0661307091; e-mail: igor13lebedinec@gmail.com.

Lebedinec Igor, Cand of Techn. Sc., Associate Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)337-86-35, 0661307091; e-mail: igor13lebedinec@gmail.com.

DOI: 10.5281/zenodo.1306646