

Інноваційні технології у створенні нового покоління пакувальних машин

О.М. Гавва, д.т.н., В.Б. Захаревич, к.т.н., О.О. Кохан, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

Новітні пакувальні машини та потокові лінії — інтегральні технічні комплекси, створені на базі мехатронних функціональних модулів, кожен з яких є як функціонально, так і конструктивно самостійним виробом з великою кількістю синергетично зв'язаних між собою характеристик та параметрів, призначені для реалізації технологій пакування.

Для забезпечення запитів ринку на паковану продукцію та з урахуванням тенденцій розвитку економіки країн світу (економічна, соціальна та політична кризи, глобалізація виробництва, асиметричне збільшення населення в різних країнах, зменшення природних ресурсів, екологія) пакувальне обладнання повинне виконувати з достатньою точністю задану функцію, забезпечувати високу продуктивність та гнучкість до переналаштування, реалізовувати енерго- та ресурсощадні технології під час його виготовлення, експлуатації та обслуговування, а також має бути гігієнічно та технічно безпечним. Виконати такий комплекс вимог можливо лише на основі широкого впровадження наукоємних інноваційних технологій, які умовно поділяють на такі напрями:

- виготовлення упаковки, дозування, фасування та пакування продукції;
- агрегатно-модульний принцип побудови пакувальної машини;
- інформаційні технології проектування;
- створення нових та вдосконалення існуючих функціональних модулів машин і формування бази даних з них;
- компоновання пакувальної машини та потокової лінії від одного виробника (all inclusive);
- телекомунікаційна діагностика та обслуговування.

Інноваційні технології виготовлення упаковки, дозування, фасування та пакування продукції

Аналіз ринку упаковки виявив такі важливі тенденції, що впливають на фактори її розвитку в майбутньому:

- глобалізація виробництва, фінансів, людських ресурсів;
- ріст чисельності населення та середнього класу;
- стиль життя;
- зручність;
- мрії про близьке та далеке майбутнє (джерело — ЗМІ);
- брак часу;
- демографічна криза в різних країнах світу;

- безпека харчування, лікування, відпочинку тощо;
- стабільність існування та розвитку;
- урбанізація населення.

Відповідно до цих тенденцій змінюються і функції упаковки у бік збільшення термінів зберігання продукції, порційності, оформлення (повторне закриття, різні конструктивні варіації, контрольований відбір тощо). Брак часу призводить до поширення тенденції споживання «не дома», а «по дорозі» (Ready-to-go). А тому з точки зору споживання харчової продукції спостерігаються такі тенденції:

- зручність у використанні (Ready-to-go, Ready-to-eat);
- здорова та корисна харчова продукція;
- попит на продукти, готові до споживання.

Прогнозуються такі тенденції у сфері пакування і упаковки:

- подальший розвиток упаковки на основі ПЕТФ;
- застосування нанотехнологій під час розробки smart-packaging;
- комплексний захист від підробок упаковки;
- дизайн упаковки має відповідати різним віковим категоріям споживачів;
- розширений асортимент порційної та сімейної упаковки;
- формування малих партій під час пакування напоїв та кондитерських виробів;
- поширення пакувальних тенденцій Shelf-ready;
- подальший розвиток технологій асептичного пакування та пакування в модифікованому газовому середовищі.

На основі статистичного аналізу встановлено, що м'яка упаковка витискує жорстку упаковку, у тому числі і полімерну. Термоусаджувальні полімерні плівки замінюються на стретч-плівки (розтягувальні). Тобто розвиток упаковки відповідає трьом таким напрямкам:

- зменшення витрат на пакувальні матеріали;
- покращення показників якості упаковки;
- опанування нових технологій пакування і виготовлення упаковки.

Проведений аналіз інноваційних розробок в упаковці у 2012 р. показав, що найбільше інновацій у сфері гнучкої упаковки, особливо під час виготовлення пакетів типу «дой-пак». До таких інновацій можна віднести:

- їстівна упаковка на основі желатину (морозиво — Nestle);
- полімерні пакети з ПЕ у вигляді пляшки для Coca-Cola;
- двокамерний пакет із стійким дном (роздільне зберігання сипкої та рідкої продукції);
- саморозігрівні/самоохолодні пакети;
- двосторонній стійкий пакет для пакування горіхів та збирання відходів під час їхнього споживання;
- стійки пакети з легким виливанням з них рідини тощо.

З точки зору економії ресурсів та безпеки харчових продуктів цікавою інновацією під час формування м'якої упаковки з полімерів є застосування ультразвуку для герметизації пакета як у повздовжньому, так і у поперечному напрямках (компанія Bosch Packaging Technology). Застосування ультразвуку для герметизації упаковки забезпечує такі переваги:

- високочастотна вібрація сприяє видаленню залишків продукції із зони герметизації шва;
- високі надійність і міцність швів упаковки;
- відсутність негативного впливу температури на продукцію, що знаходиться в зоні герметизації;
- відсутність ризику високотемпературного пошкодження пакувального матеріалу у випадку аварійної зупинки машини;
- застосування відносно дешевих пакувальних матеріалів для холодного зварювання;
- економія енергії у 1,5–1,7 разу;
- економія пакувального матеріалу до 16 мм на упаковку по її довжині;
- усунення ефекту прилипання плівки до нагрітого інструменту тощо.

Основними тенденціями в технологіях дозування і формування порції є [1]:

- застосування волюметричних методів (ультразвук, магнітно-індуктивні ефекти тощо);
- розділення частин дози у просторі і часі із статичним зважуванням (комбінаційні дозатори);
- примусове переміщення продукції по каналах дозувального пристрою;
- застосування індивідуальних приводів для забезпечення руху робочих органів та елементів керування матеріальними потоками;
- централізоване керування процесом із зворотним зв'язком.

Безперервний процес науково-технічного прогресу постійно потребує удосконалення сучасних технологій, у тому числі і технологій пакувального машинобудування, до тенденцій прогресивного розвитку яких можна віднести [2]:

- підвищення концентрації і паралельності технологічних зон оброблення матеріальних потоків (упаковка, продукція), що забезпечує зростання продуктивності і нові можливості пакувального обладнання;
- створення нетрадиційних прогресивних просторових структур технологічних зон оброблення (створення багатовимірних циклічних структур), які реалізують підвищені технологічні можливості виробничого простору і середовища;
- забезпечення компонування технологічних зон оброблення з лінійною, поверхневою та об'ємною структурою;
- створення і впровадження потоково-просторових технологічних модулів;

- підвищення ступеня компактності структури за рахунок збільшення щільності технологічних зон оброблення;
- створення нових класів пакувальних машин, розроблення і функціонування яких буде базуватися на нових принципах (генетичний підхід);
- організація поточності функціонування технологічних зон оброблення на базі багатовимірних замкнених рекурентних груп, які виконані на базі їхніх складних рухів та підвищення ефективності;
- забезпечення одночасного або паралельного виконання функцій пакувальними машинами;
- підвищення безперервності і стабільності функціонування пакувальних машин (ліній) відповідно до заданого алгоритму;
- підвищення інформативності технологій, зменшення маси пакувальних машин і підвищення їхнього енергозбереження;
- спрощення функціональної структури пакувальних машин за рахунок суміщення різних функцій, тобто виконання технологічних функцій за рахунок транспортних функцій і навпаки;
- створення технологій і пакувальних машин та ліній з використанням принципів мехатроніки і адаптроніки.

Створюючи пакувальні машини нового покоління, потрібно враховувати, що машина експлуатується і живе значно довше, ніж сам продукт, термін присутності на ринку якого не перевищує 2–3 роки. А тому багатоманітність форм і розмірів упаковки потребує пакувальних машин з достатньо великою швидкістю переналаштування. Поряд із цим пакувальні машини повинні бути високопродуктивними, надійними і забезпечувати: швидку зміну форматів упаковки; дозування і поділ на порції; можливість повторного закриття упаковки, а також високу доступність під час експлуатації. Сучасне обладнання має забезпечувати виробництво економічної упаковки шляхом інтеграції в одну машину значної кількості операцій (формування упаковки: дозування і фасування, закупорювання, маркування). Поряд із цим потрібно забезпечити безпеку продукції, особливо якщо пакуються харчові продукти, завдяки виконанню гігієнічних вимог до конструкції та експлуатації машин.

Розвиток пакувального обладнання відповідає тенденціям товарного ринку, де головною вимогою до машин є зменшення витрат виробництва, зменшення кількості пакувального матеріалу для пакування одного виробу або дози продукції, висока продуктивність і переробка широкого діапазону різних видів упаковки.

Пакувальне машинобудування — одна із провідних галузей із застосування інновацій: силових пристроїв (приводів); систем автоматизованого керування і автоматизації; наукоємних фізичних ефектів; телекомунікаційних систем інформування і діагностики тощо.

Агрегативно-модульний принцип побудови пакувальної машини

Пакувальні машини відповідного функціонального призначення (рис. 1) належать до багатофункціональних технологічних машин послідовної, паралельної та послідовно-паралельної дії [2]. Їхня структура формується на основі модульного принципу як методу побудови різних технічних систем з різноманітними характеристиками шляхом комбонування їх з типових модулів визначеним чином для створення матеріальних (переміщення продукції, тари, пакувальних матеріалів, допоміжних пакувальних матеріалів), енергетичних (приводи робочих органів, пристрої теплотехнічних пристроїв системи керування) та інформаційних (управління роботою, контроль, діагностика) зв'язків між ними.



Рис. 1. Структура пакувального обладнання

Порядок розміщення і кількість цих модулів визначаються послідовністю виконання технологічних операцій та числом робочих позицій, з яких вони складаються. Вид, послідовність і кількість операцій та відповідних робочих позицій встановлюються на етапі розроблення, синтезу і аналізу технологічного процесу пакування.

Модульне проектування достатньо добре погоджується з еволюційним підходом створення новітніх машин, за якого потрібно будувати і аналізувати

сукупність моделей пакувальних машин, що послідовно покращуються за функціональними і технічними показниками. Під час проектування складних технічних систем (багатофункціональних пакувальних машин) ланцюг послідовних покращень моделей машин може бути достатньо довгим. У цьому випадку застосування імітаційного моделювання є проблематичним, тому що втрати на розробку одного варіанта імітаційної моделі співрозмірні з витратами на розроблення програмного забезпечення для проектування технічної системи. А тому для успішної реалізації еволюційного підходу створення новітніх машин потрібний подальший розвиток модульної технології проектування і підвищення її ефективності, у першу чергу на стадіях побудови і трансформації моделей.

Проведеними дослідженнями [3] встановлено, що значного просування під час вирішення завдання послідовного трансформування моделей машин у разі еволюційного підходу до проектування можна досягти тоді, коли представлення пакувальної машини буде базуватися на двох таких основних принципах:

- дискретність моделі;
- форма представлення моделі у вигляді графа.

Принцип дискретності дає можливість завдання трансформації таких моделей звести до завдань композиції дискретних елементів.

Графова форма в цьому випадку є природною формою відображення дискретних елементів (модулів) і відношень між ними у представлених алгоритмах. Якщо модулі графової моделі мають ієрархічну структуру, що характерно для більшості пакувальних машин, то в цьому випадку достатньо легко змінити рівень деталізації опису моделі пакувальної машини.

Центральне місце в цій технології проектування відводиться визначенню модулів, із яких компонується пакувальна машина, або їхньому набору. Сукупність зв'язаних між собою модулів утворює модульну структуру машини.

Для проектування важливим є те, що шляхом нескладних маніпуляцій модульні структури відносно легко трансформуються, що дає можливість здійснювати пошук раціональних, за заданими критеріями ефективності, модульних структур.

Процес еволюційного проектування пакувальних машин, відповідно до модульної технології, виконується в три етапи (рис. 2) [4].

Перший етап моделювання відповідає рівню аналітичних розрахунків. Результати розрахунків дають можливість прийняти рішення щодо технологічної схеми пакувальної машини на основі аналізу службової функції і принципу її роботи. На цьому етапі проводиться декомпозиція на елементарні технологічні функції, з яких здійснюється синтез фізичного процесу пакувальної машини таким чином, щоб для кожної технічної функції було очевидно, який тип функціональних модулів потрібний.

На другому етапі визначають структурну схему-компонування пакувальної машини, обравши на підставі критерію ефективності оптимальну із множини

можливих варіантів. Проектування компоновання є вузловою проблемою проектування пакувальної машини. Структура пакувальної машини утворюється набором складових її елементів — функціональних модулів і зв'язків між ними. Структурний синтез пов'язаний з варіюванням цих елементів. Завдання структурного синтезу полягає у пошуку оптимальної структури пакувальної машини.

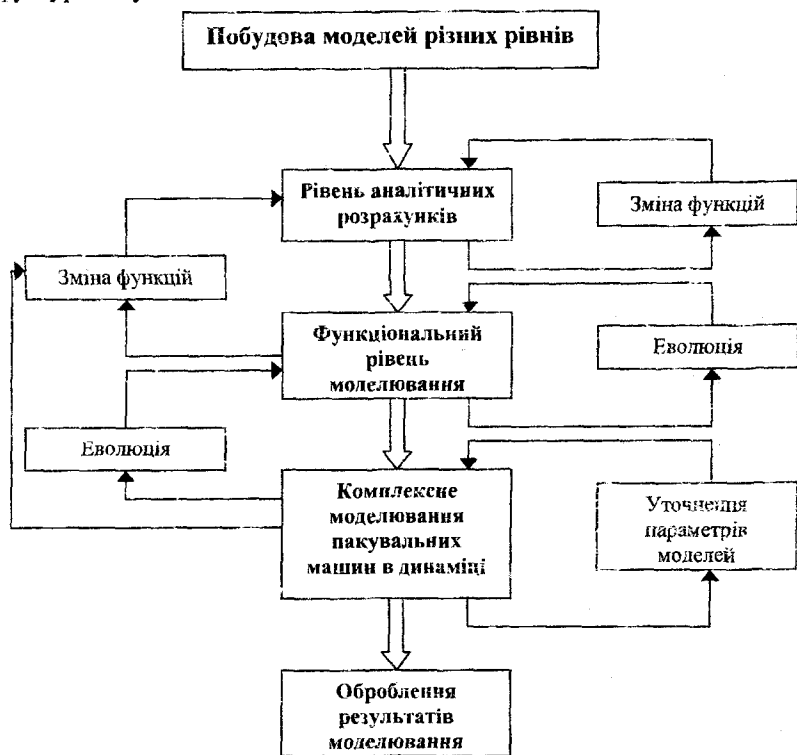


Рис. 2. Етапи модульного проектування пакувальних машин

На третьому етапі визначають найкращі значення внутрішніх (конструктивні параметри машини і технологічні режими роботи), зовнішніх (умови роботи, параметри матеріальних потоків) і вихідних (продуктивність, надійність, точність функціонування) параметрів вибраної структури пакувальної машини.

Ідеологія функціонально-модульної побудови пакувальної машини формує і вдосконалює систему проектування в міру накопичення досвіду і розширення банку елементарних графічних моделей функціональних модулів.

Інформаційні технології проектування

Найвищим рівнем розвитку методів проектування пакувального обладнання є створення і розвиток наукоємної комп'ютерної технології проектування з використанням сучасних інформаційних технологій [5]. Використання інформаційної технології комбінаторного синтезу у поєднанні з технологією аналізу і оптимізації технічного рішення є науковою основою будь-якого творчого процесу проектування.

У основу розробки принципів проектування на основі інформаційних технологій покладено функціонально-модульний опис проектованого пакувального обладнання.

Для визначення оптимальних рішень у процедуру проектування потрібно ввести інформаційні евристичні процедури зменшення потужностей множин, отриманих на різних етапах синтезу, а саме [6]:

- технологію направленої синтезу (встановлюється послідовність виконання технологічного процесу);
- технологію синтезу з обмеженням множини варіантів на основі типових математичних моделей (генерування варіантів структури пакувальних машин);
- технологію синтезу з обмеженням множини варіантів структур за допомогою використання двозначних дерев «і — або»;
- технологію покрокового синтезу і оптимізації (оцінювання і вибір кращої структури);
- технологію ієрархічного синтезу (кожній укрупненій функції відповідає блок функціональних модулів).

Особливість застосування інформаційних технологій у проектуванні пакувальних машин полягає у використанні їх для моделювання пакувального обладнання і технологічного процесу в ньому. У такому випадку можна говорити про інформаційний процес проектування, що об'єднує послідовний ланцюжок інформаційних процедур, які забезпечують моделювання і оптимізацію технологічного процесу у пакувальному обладнанні, оптимізувати його функціонально-модульну структуру, а також забезпечити отримання робочої документації [7].

Створення нових та вдосконалення існуючих функціональних модулів машин

Термін «функціональний модуль» застосовується до частини виробу або системи, яка виконує одну або декілька функцій, за установочними та приєднувальними розмірами може легко з'єднуватись з іншими функціональними модулями, створюючи складну технічну систему, а також може легко роз'єднуватись і замінятись з метою отримання системи з іншими функціональними характеристиками під час їхнього ремонту або модернізації.

З розвитком електронних засобів контролю, функціональні модулі стали комплектуватись новітніми системами керування, які у процесі приєднання модулів теж легко з'єднуються в єдину систему керування.

Взаємопроникнення електричної системи в механічну та синергетична апаратно-програмна інтеграція складових елементів функціонального модуля, які мають різну фізичну природу, надають функціональним модулям вищого рівня розвитку — мехатронний модуль, який за визначенням [2] є функціонально і конструктивно самостійним виробом. До елементів різної фізичної природи відносяться механічні, електричні, електронні, цифрові, пневматичні, гідравлічні, інформаційні та інші складові.

Мехатронні модулі, як і функціональні, можуть об'єднуватись в мехатронну систему. Формування мехатронних модулів відбувається шляхом поєднання між собою окремих модуль-елементів з виконавчими, керувальними та інформаційними функціями. До виконавчих модуль-елементів відносяться механізми із пневматичним, гідравлічним або електричним приводом. Керувальні модуль-елементи включають в себе блоки керування приводом і є закінченим виробом з уніфікованими каналами зв'язку. Інформаційні модуль-елементи забезпечують отримання інформації, необхідної для функціонування системи керування та визначення стану навколишнього середовища. Аналіз інноваційних розробок у пакувальному обладнанні показав, що відносно нову конструкцію пакувального обладнання можна розробити на базі модулів лінійного переміщення, модулів підйому, модулів повороту, які в комплексі створюють модульну систему з додатковим набором змінних захоплювальних пристроїв різного виду та систем керування.

Так, компанія Schubert комплектує пакувальні машини різних функціональних груп трансмодулями. Трансмодулі — це рухомі каретки з інтелектуальним керуванням та приводом на основі серводвигуна. Такі модулі забезпечують рух робочих органів у різних напрямках і площинах. Фіксація робочих органів та продукції, що пакується, здійснюється різними способами (механічний, вакуумний електромагнітний).

Результати міжнародних виставок показали, що в останні роки масово використовують серводвигуни на основі електродвигуна. Електропривод завдяки значній швидкодії, високому ККД, добрій керованості витискає пневмопривод.

Структура мехатронного модуля лінійного переміщення з електроприводом наведена на рис. 3.

До складу мехатронного модуля входять: мікропроцесорна система керування, підсилювачі потужності, механізми передачі інформації, датчики зворотного зв'язку. Як приводи використовуються покрокові або серводвигуни, постійного та змінного струму. Кожен модуль комплектується датчиками зворотного зв'язку для контролю швидкості та положення.

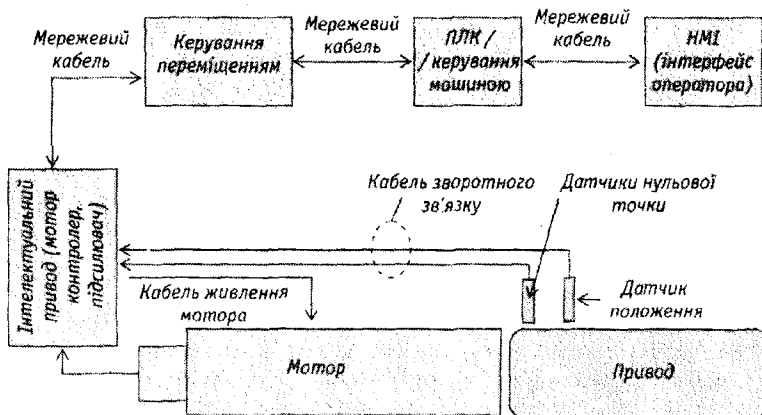


Рис. 3. Структура мехатронного модуля лінійного переміщення з електроприводом

На вибір конструкції мехатронного модуля впливає багато факторів, серед яких межі кінематичних та динамічних характеристик роботи, ефективність використання приводу та системи керування ним у напрямках реалізації заданих законів руху, точність позиціонування; гнучкість зміни технологічного циклу, собівартість системи керування.

Компонування пакувальної машини та потокової лінії від одного виробника (all inclusive)

Від продукції до сервісу — увесь набір технологічних рішень та послуг, потрібний сучасним підприємствам продуктового ринку, від одного постачальника.

Однією з важливих тенденцій розвитку пакувального машинобудування є об'єднання і укрупнення підприємств. Ця тенденція має кілька характерних напрямків:

- об'єднання фірм у потужну корпорацію за однотипністю обладнання;
- включення компаній до складу промислових груп з подальшою відповідною самостійністю;
- об'єднання фірм, що працюють у суміжних галузях з правом значної самостійності;
- тимчасове об'єднання компаній для вирішення конкретного завдання.

Інтенсивність розвитку цих напрямків здебільшого залежить від довіри споживачів. В останні роки намітилась тенденція постачання пакувального обладнання у вигляді комплексних поточкових ліній від одного виробника. А тому потужні корпорації розширюють спектр пакувального обладнання, достатній для формування поточкових ліній, пакувальних дільниць і в деяких випадках — виробництв.

Телекомунікаційна діагностика та обслуговування

Тенденція покращення якості і розширення сервісного обслуговування викликана жорсткою конкуренцією учасників ринку пакувального обладнання. Ця тенденція характерна і для України. Протягом останніх років спостерігається суттєве покращення якості обслуговування не тільки у період гарантійного терміну, але і під час подальшої експлуатації пакувального обладнання. Для розширення можливостей сервісного обслуговування реалізуються такі заходи:

- створюються сервісні центри в різних регіонах країни та ринку реалізації;
- об'єднуються регіональні сервісні центри кількох фірм в один;
- створюються телекомунікаційні системи сервісного обслуговування.

Висновки

Застосування інноваційних технологій у пакувальному машинобудуванні дає можливість забезпечити широкі запити ринку на паковану продукцію та вирішити науково-технічну проблему щодо ресурсо- і енергозберігання у пакувальній індустрії.

Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
2. Гавва О.М. Шляхи вдосконалення та розвитку технологій і обладнання пакування: Матеріали науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія України (стан та перспективи)» (22–25 травня 2007 р., м. Алушта, Україна). — Додаток до часопису «Упаковка». — 2007. — № 3. — К., ІАЦ «Упаковка». — С. 162–174.
3. Пальчевський Б.О. Принципи побудови і сучасні тенденції розвитку методів проектування технологічного обладнання / Технологічні комплекси. — 2010. — № 1. — С. 3–9.
4. Крилов І.В. Інформаційні технології: теорія і практика. — М.: Центр, 1996. — 256 с.
5. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології керованого синтезу функціонально-модульної структури технологічного обладнання / Технологічні комплекси. — 2013. — № 1. — С. 19–28.
6. Божидарник В.В., Пальчевський Б.О. Інформаційні аспекти оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури технологічного обладнання / Технологічні комплекси. — 2013. — № 1. — С. 3–9.
7. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів). — Львів: Світ, 2007. — 392 с.