

# Шляхи технічного та функціонального вдосконалення пакувальних машин

О.М. Гавва, д.т.н., М.В. Якимчук, д.т.н., Л.О. Кривоप'яс-Володіна, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

Залежно від організації виробництва, продуктивності, споживання продукції, типу та виду продукту пакування може виконуватись у чотири основних стадії [1]:

- 1) пакування в споживчу, транспортну тару та упаковку або в спеціальні контейнери;
- 2) формування групової упаковки (вантажної одиниці);
- 3) формування та скріплення збільшених вантажних одиниць (транспортний пакет);
- 4) пакування (заповнення) в універсальні контейнери.

На кожній стадії пакування ставляться відповідні вимоги щодо збереження продукції та мінімізації витрат на виконання операцій логістики. Комплексними та найбільш жорсткими є вимоги до пакування продукції в споживчу та транспортну упаковку й спеціальні контейнери.

Традиційно в процесі пакування взаємодіють чотири основні системи (рис. 1): продукція, що пакується, пакувальний матеріал або тара, пакувальна машина [2], а також оператор, який є його вагомою складовою (залежно від його суб'єктивної поведінки процес пакування може відповідати або не відповідати регламенту). Передбачається, що новітнє пакувальне обладнання не зазнаватиме прямого впливу четвертої системи, а буде комплексно автоматизованим із власною системою самодіагностування й безперервного технологічного контролю виробничого процесу.

Фізико-механічні, хімічні та біологічні властивості продукції як об'єкта пакування суттєво впливають на вибір пакувального матеріалу, конструкції упаковки, технології пакування, режимів роботи пакувальної машини. Усі ці властивості формуються на стадії виробництва сировини, напівфабрикатів та готової продукції.

Основною вимогою до функціонування пакувальної машини є своєчасне з високими показниками якості розміщення заданої кількості продукції в упаковку, забезпе-



Рис. 1. Взаємозв'язок структурних систем у процесі пакування



Рис. 2. Структурна схема пакувальної машини та вимоги до її функціонування

чення умов хіміко-біологічної стабільності, герметизація та переміщення до іншої стадії пакування, або виконання логістичних операцій.

Сучасні зразки пакувального обладнання – це складні технічні системи, які можна навести сукупністю функціонально взаємопов'язаних підсистем: основних, допоміжних і додаткових (рис. 2). Кожна з них, залежно від етапу еволюційного розвитку, набуває свого завершеного вигляду та повинна забезпечувати в пакувальному обладнанні виконання з достатньою точністю заданих функцій пакування, високу продуктивність і гнучкість до перенастроювання, реалізувати енерго- та ресурсоощадні технології під час його виготовлення, експлуатації та обслуговування, а також бути гігієнічно й технічно безпечною.

Виконати такий комплекс вимог можна лише на основі широкого впровадження наукоємних технологій, які умовно поділяють на такі напрями:

- агрегатно-модульний принцип побудови пакувальних машин;
- інформаційні технології проектування;
- створення нових та вдосконалення наявних функціональних модулів машин і формування бази даних із них;
- здатність до виготовлення новітніх видів упаковки та реалізації ефективних технологій пакування;
- виконання вимог гігієни під час виготовлення та експлуатації машин;
- телекомунікаційна діагностика та обслуговування;
- підвищення технічного рівня, продуктивності, універсальності та гнучкості до перенастроювання;
- впровадження прогресивних енергоощадних типів і видів приводів та систем керування ними тощо.

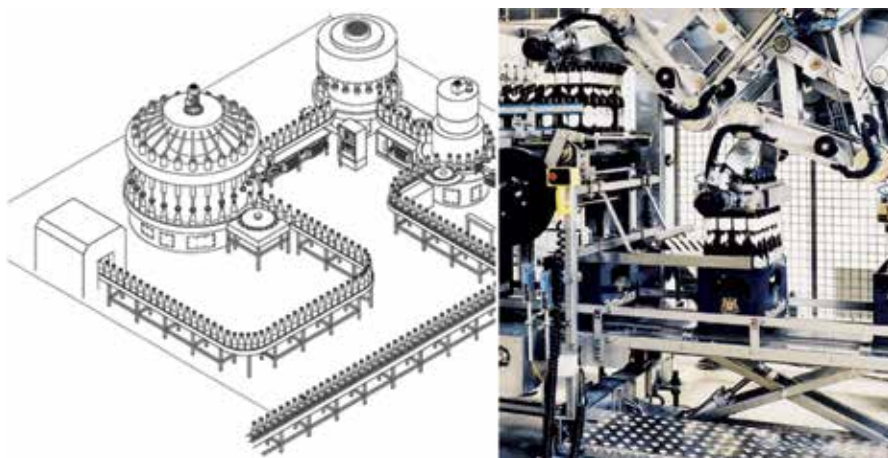


Рис. 3. Новітні пакувальні машини та поточкові лінії пакування

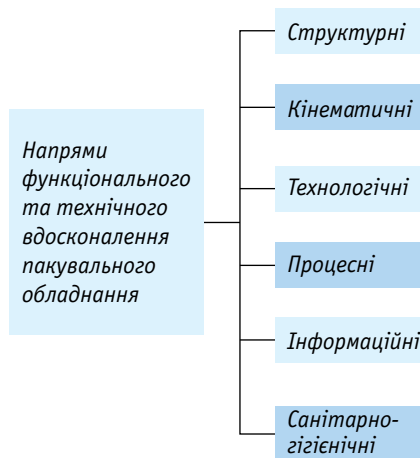


Рис. 4. Напрями вдосконалення пакувального обладнання

Пакувальні машини сьогодення – це машини п’ятого та шостого поколінь автоматизації. Їх можна характеризувати як інтегральні технічні комплекси, створені на базі мехатронних функціональних модулів, кожен із яких є функціонально та конструктивно самостійним виробом із великою кількістю синергетично пов’язаних між собою характеристик і параметрів, призначені для реалізації технологій пакування [3] (рис. 3).

На основі аналізу наявних зразків конструкцій пакувальних машин і тенденцій їх розвитку можна виділити основні напрями їх технічного розвитку та вдосконалення (рис. 4).

Слід зазначити, що конструкція пакувальних машин відповідного функціонального призначення насамперед має забезпечувати багатофункціональні технологічні процеси пакування шляхом послідовної, паралельної та послідовно-паралельної дії їх виконання [1]. Для цього структура пакувального обладнання повинна формуватися на основі модульного принципу проектування як методу побудови різних технічних систем із різноманітними характеристиками шляхом компонування їх із типових модулів визначеним чином для створення матеріальних (переміщення продукції, пакувального матеріалу, тари, допоміжних пакувальних засобів), енергетичних (приводи робочих органів функціональних модулів, пристрої теплотехнічних систем, системи керування та інформування) та інформаційних (управління роботою, контроль, діагностика, облік) зв’язків між ними [4]. Порядок розміщення й кількість цих модулів буде визначатися послідовністю виконання технологічних операцій і кількістю робочих позицій, з яких вони складаються (рис. 5).

Вид, послідовність і кількість операцій та відповідних робочих позицій встановлюються на етапі розроблення, синтезу й аналізу технологічного процесу пакування [5]. Модульне проектування досить добре узгоджується з еволюційним підходом до створення новітніх машин, за якого потрібно будувати й аналізувати сукупність моделей пакувальних машин, що послідовно покращуються функціональними та технічними показниками.

Модульний принцип побудови пакувальної машини дає можливість на основі базового варіанта, доповнюючи

її різними функціональними модулями (опціями) або забираючи їх, створювати універсальні багатофункціональні машини. Для реалізації такого підходу проектування активно розробляються новітні програмні пакети, побудовані на використанні 3D-проектування, в яких буде можливість шляхом нескладних маніпуляцій трансформувати модульні структури пакувальних машин, виявляти їх раціональні параметри за заданими критеріями та параметрами ефективності.

Так, зміна структури пакувальної машини може здійснюватися за рахунок [4]:

- використання змінних функціональних модулів;
- зміни послідовності використання функціональних модулів, тобто їх перестановки;
- створення надлишкової кількості функціональних модулів у машині.

Використання змінних функціональних модулів передбачає можливість заміни одних робочих органів на інші під час переналадження машини на пакування іншої продукції або інший вид упаковки.

Варіюванням порядку виконання технологічних дій можна забезпечити розширення асортименту пакувальної продукції. Так, за рахунок зміни порядку наповнення тари

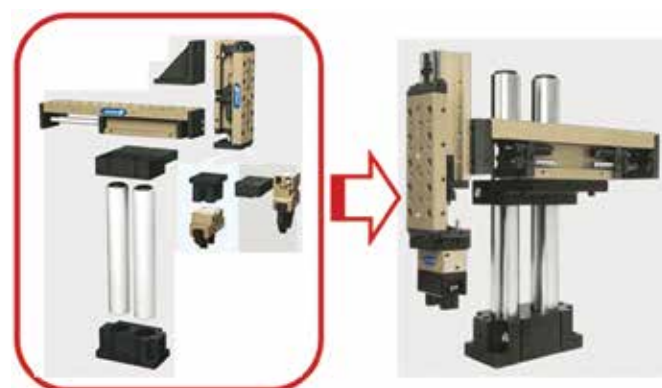


Рис. 5. Модульний принцип проектування: порядок розміщення модулів, модуль-елементів та їх кількість залежать від технологічної схеми пакування

різними компонентами продукту, що може бути реалізовано перестановкою функціональних модулів або заміною порядку підведення тари до них (зміна порядку виконання елементів операції без зміни структури машини), формується новий вид пакувальної одиниці.

Надлишкові функціональні модулі в конструкцію пакувальної машини вводять для того, щоб не витратити час на її переналадження на інший вид продукції чи вид упаковки. Перехід на виробництво іншого виду продукції здійснюється вибором іншої програми в системі керування машиною.

Структура машини суттєво залежить від її компонування. Для забезпечення високих технічних показників застосовують новітні принципи компонування: перехід від лінійних компонок до поверхневих та об'ємних. Одним із характерних параметрів оцінювання якості нових компонок може бути співвідношення між відносною продуктивністю функціональних модулів  $\Pi/\Pi_0$  (де  $\Pi$  – теоретична продуктивність будь-якого модуля,  $\Pi_0$  – теоретична (технічна) продуктивність базового модуля) до їх геометричних параметрів  $\epsilon$  просторових технологічних зон. Аналіз зміни цього параметра підтверджує, що пакувальні машини з поверхневою та об'ємною технологічними зонами мають якісно нові техніко-економічні показники порівняно з наявними машинами-автоматами з лінійним компонуванням.

Саме тому для успішної реалізації еволюційного підходу до створення новітніх машин потрібен подальший розвиток модульної технології проектування й підвищення їх ефективності, у першу чергу – на стадіях побудови та трансформації модулів [5].

Модульний принцип побудови пакувальної машини суттєво змінює підходи до розроблення кінематики. Здебільшого сучасні зразки пакувальних машин мають багатоприводну систему із застосуванням різних видів приводів: електромеханічний, пневмомеханічний, гідромеханічний. У таких машинах замість розподільно-керуючого валу, що обертається від одного приводу, встановлено «електричний» вал, який керується системою управління всієї машини. Застосування новітніх приводів дає можливість виключити з кінематики і виконавчі механізми, що забезпечували заданий закон руху робочим органам. Наявність електричних та електронних систем керування приводами дає можливість забезпечити заданий (оптимальний) рух робочого органу, його позиціонування, вид руху тощо (рис. 6).

Новітня кінематика дає можливість зменшувати динамічні навантаження на деталі складальних одиниць функціональних модулів, що підвищує надійність і довговічність роботи машини.

Загалом модульні технології проектування пакувальних машин зменшують металоємність машини, витрати на виготовлення складних виконавчих і приводних механізмів. Передбачається, що в підґрунтя розробки принципів проектування на основі інформаційних технологій буде покладено функціонально-модульний опис пакувального обладнання (рис. 7). При цьому будуть одночасно моделюватися технологічний процес і пакувальна машина. Інформаційні процедури, які забезпечать моделювання та оптимізацію технологічного процесу в пакувальному

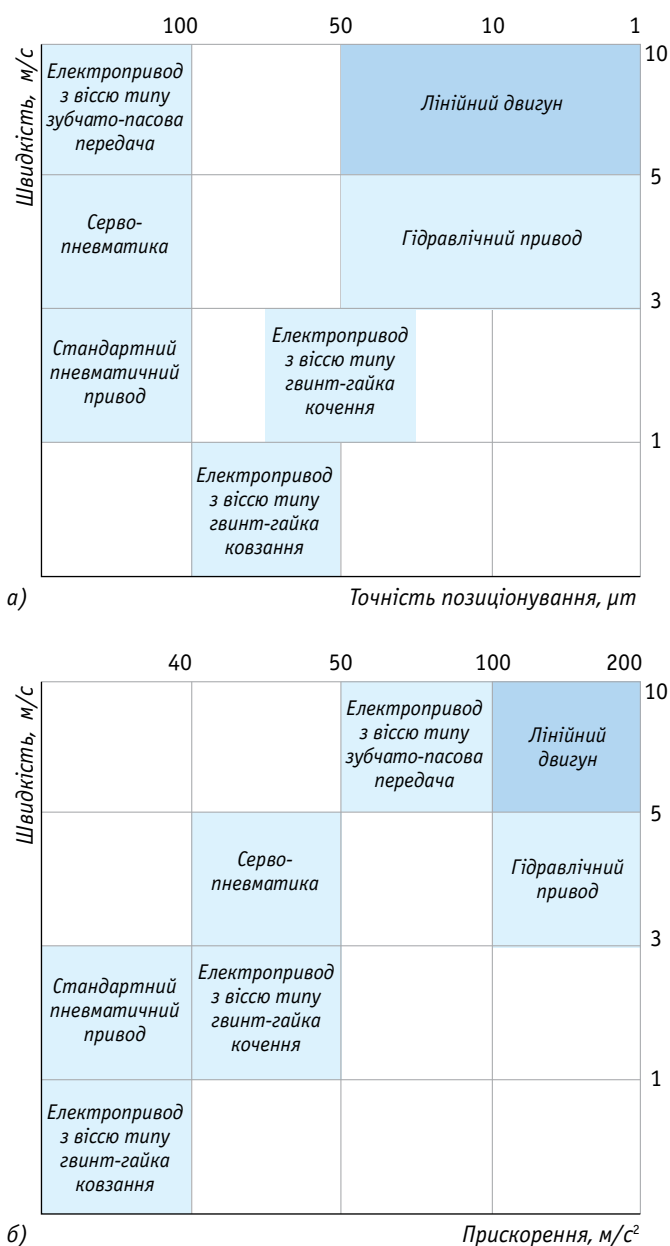


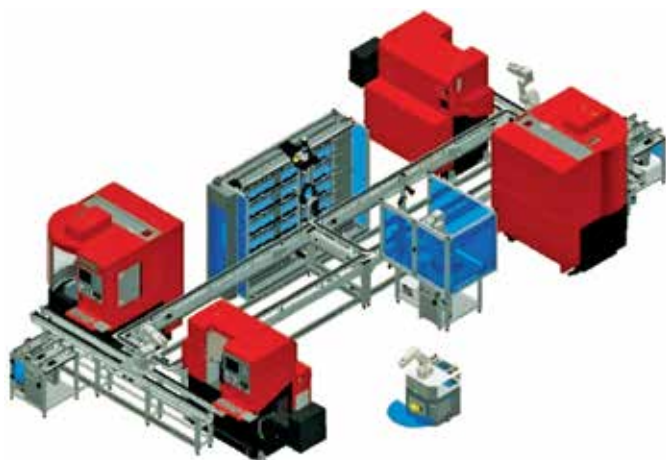
Рис. 6. Залежність точності позиціонування робочих органів (а) та їх прискорення (б) від їх швидкості

обладнанні, будуть об'єднуватися, буде оптимізуватися його функціонально-модульна структура з отриманням робочої документації [6, 7]. Інформаційні технології проектування дадуть можливість правильно підібрати матеріал для виготовлення деталей машин та вдосконалити їх конфігурацію.

Особливістю новітніх методів проектування пакувальних машин, застосування інформаційних технологій є використання штучного інтелекту та можливість удосконалення машин шляхом постійного навчання й самонавчання [1].

Передбачається, що новітні пакувальні комплекси стануть «відчувати та бачити технологічний процес» подібно до людини, яка отримує основну частину інформації про зовнішній світ за допомогою дотику й зору і далі обробляє





**Рис. 7.** Новітні програмні пакети – створення ідентичної віртуальної моделі пакувального комплексу, що працює в реальному світі

отриману інформацію за допомогою інтелектуального апарату – аналізу та інтерпретації візуальної інформації.

У сучасному пакувальному обладнанні системи машинного зору традиційно створюються шляхом використання та взаємодії датчиків визначення об'єктів або їх положення. Перспективним напрямком розвитку технічного зору є використання камер. У пакувальному обладнанні камери виконують такі технологічні операції: пошук за шаблоном об'єктів, що можуть бути неправильно орієнтованими, частково прихованими іншими об'єктами або відрізнитися розмірами чи формами; визначення розмірів об'єктів; пошук координат розташування об'єктів; аналіз властивостей через функції (і/або); зчитування штрих-кодів або тексту тощо.

Однією з основних переваг камер технічного зору є реалізація ними одночасно кількох операцій, наприклад, вимірювання рівня рідини в ПЕТ-пляшці, зчитування штрих-коду та перевірка якості закручування кришки (рис. 8). Такі пристрої є незамінними в сучасному пакувальному обладнанні для контролю виконання технологічних операцій. Вони забезпечують високу точність позиціонування упаковки, тари, аналізують та контролюють товарний вигляд упаковки, якість нанесення на неї інформації, наявність допоміжних пакувальних засобів, збирання інформації щодо кількості пакувальних одиниць тощо.

Поряд із новітніми технологіями проектування в машинобудуванні особливу увагу надають smart materials (рис. 9). Прикладом використання таких елементів з новими

функціональними можливостями, створених на основі smart materials, є розробка п'єзопропорційних клапанів із вбудованим датчиком тиску компанії Festo, який забезпечує постійне регулювання на виході тиску повітря, пропорційного до вхідного значення електричного сигналу.

Smart materials – це матеріали, які змінюють свої властивості під впливом електричного або магнітного поля, тепла чи світла, напружень стискання або розтягу. Застосування їх у пакувальному машинобудуванні дає змогу створювати нові високоефективні технічні системи. Нові функціональні матеріали широко застосовують у пакувальних машинах як сенсори та робочі органи для боротьби із шумом і вібрацією, для сприйняття ударних навантажень, а також у пристроях дозування.

Важливим аспектом сучасного пакувального машинобудування є застосування функціональних модулів, що серійно виготовляються, апробовані у виробництві, мають високі показники надійності й відповідають показникам функціонального призначення. До таких модулів можна віднести платформи горизонтального й вертикального переміщення, повороту, захоплення, живлення та дозування продукції тощо.

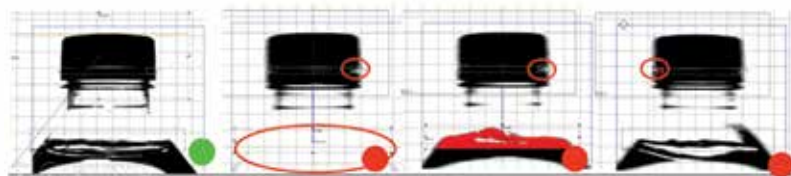
Під час створення пакувальних машин потрібно враховувати, що машина експлуатується й живе значно довше, ніж сам продукт, термін присутності на ринку якого не перевищує двох-трьох років. А тому багатоманітність форм і розмірів упаковки, технологій пакування потребує пакувальних машин із малою тривалістю проведення переналадження. Сучасне обладнання забезпечує виробництво економічної упаковки шляхом інтеграції в одну машину значної кількості операцій (формування упаковки, дозування й фасування, створення відповідного газового середовища в упаковці, герметизація, маркування тощо). Поряд із цим потрібно забезпечити безпеку продукції, особливо при пакуванні харчових продуктів, завдяки виконанню гігієнічних вимог до конструкції та експлуатації машин.

В умовах ринкової економіки динамічно формуються тенденції щодо вдосконалення пакувальної одиниці з урахуванням високого ступеня зручності для споживача. Не в останню чергу вимоги споживача стосуються й тривалості використання продукції, а це тісно пов'язано з гігієнічними аспектами проектування пакувального обладнання, гігієнічними вимогами до пакувального матеріалу, тари.

Існують загальні гігієнічні вимоги до пакувальних машин [9]. Усі пакувальні машини повинні бути спроектовані таким чином, щоб їх обриси запобігали накопиченню, затриманню вологи, бруду, а також утворенню



**Рис. 8.** Вимірювання рівня рідини в ПЕТ-пляшці та перевірка якості закручування кришки за допомогою системи технічного зору компанії Festo



джерел накопичення, розмноження небажаних мікроорганізмів, а отже, забезпечували легке очищення, огляд, обслуговування. При цьому під час проектування необхідним є етап технологічного дизайну, що має забезпечувати оптимальну конфігурацію поверхонь і застосування відповідних конструкційних матеріалів. Розробникам слід мати на увазі: якщо деякі поверхні пакувальної машини контактують із продуктом навіть випадково (капання, сплески тощо), вони все одно підлягають санітарному обробленню (миття, дезінфекція) і тому повинні бути зручними для цього [10]. Водночас, залежно від групи харчових продуктів (мікробіологічно сприятливі; мікробіологічно несприятливі), на пакувальне обладнання вводяться додаткові обмеження, що впливають на цикл роботи, конструктивні виконання робочих органів тощо. Так, за наявності мікробіологічно несприятливих продуктів машина не повинна містити вологу (включаючи конденсат), а за наявності мікробіологічно сприятливих має бути повний контроль за часом їх перебування в пакувальному обладнанні та режимами температурної дії.

Відповідно до [9], встановлено п'ять рівнів гігієни пакувальних машин (таблиця). Застосування вимог гігієни до проектування та обслуговування пакувальних машин частково вирішує проблему безпечності харчових продуктів.

Розроблені технології пакування, що реалізуються або можуть реалізуватися в пакувальних машинах, повинні враховувати основні тенденції розвитку ринку упаковки. До таких тенденцій нині належать:

- стиль життя;
- зручність;
- мрії про близьке та далеке майбутнє;
- брак часу;
- демографічна криза в деяких країнах;
- безпека харчування, лікування, відпочинку тощо;
- стабільність існування та розвитку;
- урбанізація населення;
- зростання чисельності населення у світі;
- глобалізація виробництва, фінансів, людських ресурсів.

Відповідно до цих тенденцій змінюються й функції упаковки в бік збільшення термінів використання продукції, порційності, оформлення (повторне закриття, різні конструктивні варіації, контрольований відбір тощо). Брак часу призводить до поширення тенденції споживання «не вдома», «по дорозі». А тому, з погляду 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.

Безперервний еволюційний процес формування запитів на упаковку постійно потребує вдосконалення технологій пакування. Із розвитком електронних засобів конт-

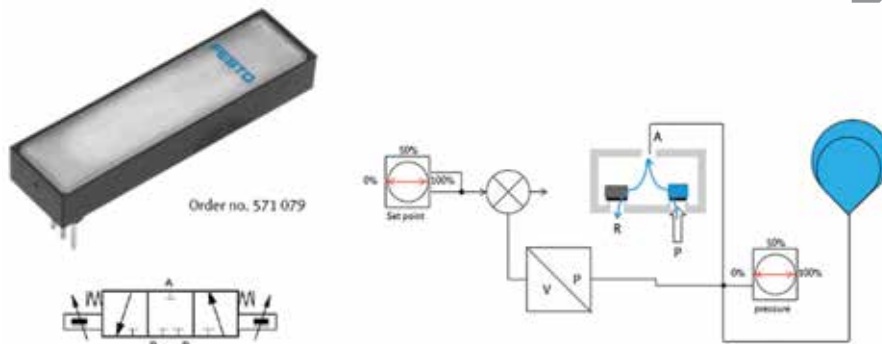


Рис. 9. Технологія smart materials – перспектива для отримання елементів із новими технічними можливостями

ролю функціональні модулі комплектуються новітніми системами керування, які в процесі приєднання модулів теж легко поєднуються в єдину систему керування [7, 8]. Суттєвим поштовхом для подальшого розвитку новітнього пакувального обладнання є впровадження «цифрової» системи керування, яка розвивається в контексті четвертої промислової революції. Першим етапом в ланцюжку змін є розроблення нових стандартів проектування для реалізації тенденцій розвитку «Індустрії 4.0» (рис.10).

Передбачається, що конструкції пакувальних машин будуть змінюватися в контексті зміни філософії процесів пакування. Для четвертої промислової революції характерною ідеєю є сервіс-орієнтоване виробництво, що створює систему забезпечення попиту споживачів на паковані продукти від масового виробництва (великими партіями) до постачання індивідуально пакованої продукції (невеликими партіями). Це означає, що головним трендом розвитку новітнього пакувального обладнання в епоху «Індустрії 4.0» буде розвиток технологічних платформ, які поєднують попит і пропозицію.

Таблиця. Класифікація пакувальних машин за рівнем гігієни	
Рівень гігієни	Характеристика пакувальної машини
I	Машини, які після оцінювання ризику гігієни спроможні тільки частково відповідати вимогам стандарту, щоб виконати ідентифікований ризик і виробляти безпечний продукт
II	Машини, які після оцінювання ризику гігієни повністю відповідають вимогам стандарту, але потребують запланованого розбирання для очищення
III	Машини, які після оцінювання ризику гігієни повністю відповідають вимогам стандарту та можуть бути очищені без розбирання
IV	Машини, які після оцінювання ризику гігієни повністю відповідають вимогам стандарту й призначені для очищення машини від шкідливих мікроорганізмів шляхом застосування певної теплоти, хімічного або фізичного оброблення
V	Машини, які після оцінювання ризику гігієни повністю відповідають вимогам стандарту, запобігають мікробному входу та призначені для очищення машини від шкідливих мікроорганізмів шляхом застосування певної теплоти, хімічного або фізичного оброблення

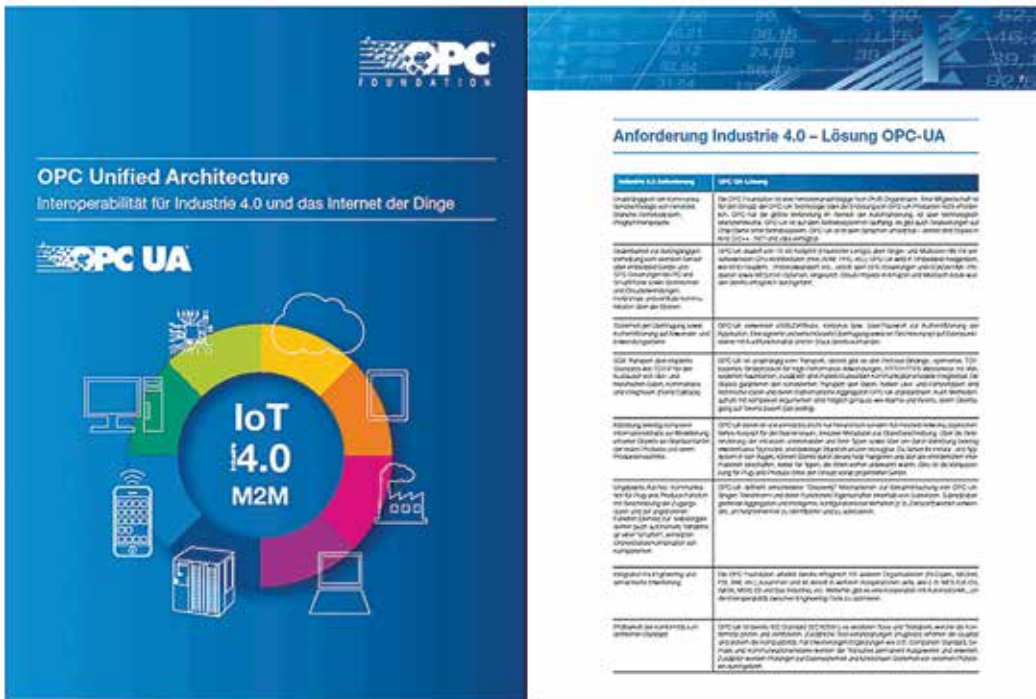


Рис. 10. Створення та реалізація стандартів для «Індустрії 4.0» – перспектива розвитку пакувальної індустрії

**Література**

1. Гавва О.М., Захаревич В.Б., Кохан О.О. Інноваційні технології у створенні нового покоління пакувальних машин // Пакувальна індустрія України (ринок, інновації, бізнес-практики) : Матеріали VIII науково-практичної конференції (24–25 вересня 2014 р., м. Київ). Київ, 2014. С. 41–53.
2. Шредер В.Л., Гавва А.Н., Кривошей В.Н. Упаковывание пищевых продуктов в гибкие материалы // Упаковка. 2011. № 3. С. 23–25.
3. Гавва О.М. Мехатроніка і адаптроніка – нові підходи до конструювання пакувальних машин // Пакувальна індустрія України (стан та перспективи) : Матеріали II Науково-практичної конференції (20–23 травня 2008 р., м. Алушта). Київ, 2008. С. 176–186.
4. Пальчевський Б.О. Основні принципи функціонально-модульного проектування пакувального обладнання // Пакувальна індустрія України (стан та перспективи) : Матеріали Науково-практичної конференції (22–25 травня 2007 р., м. Алушта). Київ, 2007. С. 175–190.
5. Пальчевський Б.О., Власюк С.В. Оптимізація структури автоматизованих ліній пакування // Упаковка. 2002. № 4. С. 24–26.
6. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем. Львів : Світ, 2001. 238 с.
7. Якимчук М.В., Гавва О.М. Основи методології створення пакувальних машин із мехатронних модулів // Пакувальна індустрія України (інноваційні технології) : Матеріали VII Науково-практичної конференції (21–24 травня 2013 р., м. Алушта). Київ, 2013. С. 39–50.
8. Пашков Е.В. Промышленные мехатронные системы на основе пневмоприводов. Севастополь, 2007. 401 с.
9. ISO 14159:2002, IDT. Безпечність машин. Вимоги гігієни до проектування машин.
10. Гігієнічне пакування харчових продуктів. Звіт Європейської групи гігієнічних розробок та проектування. Пакувальні машини. 1993. 121 с.

**Пути технического и функционального совершенствования упаковочных машин**

А.Н. Гавва, д.т.н., Н.В. Якимчук, д.т.н., Л.А. Кривопляс-Володина, к.т.н. Современные образцы упаковочных машин – это интегральные технические комплексы, созданные на базе мехатронных функциональных модулей. Каждый модуль является функционально и конструктивно самостоятельным изделием с большим количеством синергетически связанных между собой характеристик и параметров. Совокупность таких модулей в техническом комплексе предназначена для реализации технологий упаковки. В современных условиях производства и реализации готовой продукции к упаковочным машинам предъявляются значительное количество требований, которые можно выполнить только на основе внедрения наукоемких технологий проектирования.

В статье выделены и обоснованы следующие основные направления функционального и технического совершенствования упаковочных машин: структурные, кинематические, технологические, процессные, информационные и санитарно-гигиенические. Широкое внедрение этих направлений будет способствовать развитию технологической платформы, которая объединяет спрос и предложение.

**Ключевые слова:** упаковочные машины; функциональные модули; мехатронные модули; синергетика; компоновка; смарт-материалы; технические комплексы; машинное зрение; искусственный интеллект.

**Ways of technical and functional perfection of packaging machines**

O.M. Gavva, Dr., M.V. Yakimchuk, Dr., L.O. Krivoplyas-Volodina, PhD Modern models of packaging machines are integrated technical complexes created on the basis of mechatronic functional modules. Each module is a functionally and constructively independent product with a large number of synergistically related characteristics and parameters. The totality of such modules in the technical complex is intended for the implementation of packaging technologies. In modern conditions of production and sale of finished products to packaging machines make a significant number of requirements that can be met only through the introduction of high technology design.

In the article the authors identified and substantiated the following main directions of functional and technical perfection of packaging machines: structural, kinematic, technological, process, information and sanitary-hygienic. Wide implementation of these areas will contribute to the development of a technological platform that unites demand and supply.

**Key words:** packing machines; functional modules; mechatronic modules; synergetics; layout; smart materials; technical complexes; machine vision; artificial intelligence.