

УДК: 621.798.3:004.4 (043.3)

Четверта промислова революція та розвиток пакувальної індустрії

М.В. Якимчук, д.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

Людство стоїть на порозі розвитку 4 технологічної революції, в основі якої покладена концепція розроблення та використання повністю автоматизованих, адаптованих до зміни навколишніх умов пакувальних комплексів з інтелектуальними системами керування. Розроблення таких технологічних комплексів потребує використання та синергетичного поєднання всього потенціалу сучасних наукових досягнень у напрямках інформаційних технологій (ІТ), електроніки, нанотехнологій, промислового машинобудування тощо. Одним із напрямків, наукові доробки якого суттєво впливають на структуру пакувальних комплексів, є досягнення у створенні мініатюрних мехатронних модулів (smart mechatronic modules). Реалізацію мехатронних технологій протестовано авторами під час створення машин для групового пакування харчових продуктів.

В останні роки сформовано загальні тенденції розвитку технологій і техніки, якими передбачено перебудову всіх сфер людської діяльності, у тому числі і пакувальної індустрії [1]. Ці тенденції отримали назву – четверта промислова революція.

Із точки зору історії, після винаходу машин одним із постійних напрямків людської діяльності стало розроблення машин-автоматів, а в подальшому – і робототехнічних комплексів. У контексті розвитку пакувального обладнання перша промислова революція дала можливість механізувати процеси пакування продуктів, друга – налагодити масовий випуск пакованої продукції. Головною рушійною силою другої промислової революції було масове використання електропривода та електричної системи керування. Третя промислова революція дала поштовх для розвитку та впровадження автоматизованих пакувальних комплексів, конструкції яких формувались шляхом синергетичного зв'язку компонентів механіки, електроніки та інформаційних технологій. Тому сьогодення пакувальної індустрії характеризується активним впровадженням автоматизованого пакувального виробництва [2].

Стрімкий розвиток нанотехнологій, що супроводжуються мініатюризацією приводів, датчиків, робочих органів, дав можливість отримати новий тип технічних засобів пакування. Усе це зумовило появу на технічній арені нової «революційної ситуації».

Для підтвердження проаналізуємо еволюцію проектування пакувальних машин [2]. Для цього порівняємо стан двох основних компонентів – елементного і логічного структурного проектування – на різних етапах еволюції. Під елементним проектуванням розуміють технічні та технологічні можливості комплектуючих, які застосовуються в новому пакувальному обладнанні. Постійний розвиток технологій та матеріалів зумовлює їх модернізацію та появу нових конструкцій пакувальних машин. Використання таких елементів у проектуванні наступних зразків однотипного пакувального обладнання забезпечує розширен-



ня наявних та реалізацію нових технологічних і технічних можливостей. Логічне проектування об'єднує можливі методології, методики та методи систем проектування нового пакувального обладнання, задовольняючи щоразу більші вимоги споживачів щодо його технічних можливостей. Розвиток системи проектування відбувається внаслідок протиріч між елементним та логічним проектуванням. У такому разі в системі проектування утворюється потенціал для розвитку логічного проектування у вигляді удосконалення методології проектування. На певному етапі удосконалення приводить до зміни філософії процесів проектування, яка піднімає його розвиток на новий щабель. Прикладом такої еволюції є шлях від індивідуального проектування обладнання до типового, а далі – до модульного.

На основі аналізу сучасного стану елементного структурного проектування пакувального обладнання встановлено його стрімкий розвиток у напрямках: функціональних модулів шляхом широкого застосування покровових та серводвигунів, безштокових пневматичних циліндрів



Рис. 1. Використання інформаційних технологій для оброблення інформації

тощо; керуючих модулів на рівні застосування мікропроцесорних систем керування різної структури з можливістю реалізації логічного інтелекту; інформаційних модулів для забезпечення зворотного зв'язку шляхом використання значної кількості датчиків різних груп та видів. Сьогодні розвитку логічного проектування пакувального обладнання характеризується критичним відставанням від елементного через його неспроможність розробляти нові зразки пакувального обладнання з функціями швидкого перенастроювання на програмному рівні для реалізації гнучкості виробництва і потребує переходу на нову концепцію проектування. Швидкість, з якою відбуваються такі зміни, їх розмах і системний характер наслідків — це три рушійні сили, які стали початком четвертої промислової революції.

Метою четвертої промислової революції, яку ще називають «цифровою», є усунення меж між фізичною, цифровою та біологічною сферами розвитку людства. В основі такого розвитку буде покладено використання останніх досягнень в області штучного інтелекту і робототехніки, нанотехнологій, автономних транспортних засобів, 3D друку, адитивних технологій виробництва тощо.



Рис. 2. Кіберчайка компанії Festo

Для четвертої промислової революції характерною є ідея «сервісноорієнтованого виробництва», що створює систему забезпечення попиту споживачів на паковані продукти від масового виробництва (великими партіями) до постачання індивідуально пакованої продукції (невеликими партіями). Тобто головним трендом впровадження «Індустрії 4.0» є розвиток технологічних платформ, які об'єднують попит і пропозицію.

Провідні світові експерти [3, 4] стверджують, що в основі розвитку «Індустрії 4.0» є комплексне поєднання наукових досягнень дев'яти напрямків.

Перший напрямок характеризується широким використанням інформаційних технологій, які забезпечать оброблення та формування великої кількості інформації у вигляді баз даних (Big Data and Analytics) (рис. 1). Серед актуальних завдань цього напрямку є розроблення програмних інструментів для реалізації процедури інтелектуального аналізу даних (Data Mining).

Другий напрямок — це використання технічних досягнень щодо створення автономних технічних комплексів на основі впровадження кіберфізичних систем (Autonomous Robots), які будуть спроможні самостійно виконувати технологічні завдання без втручання людини (рис. 2).

Третій напрямок базується на використанні новітніх систем моделювання технологічних процесів (Simulation), які будуть активно застосовуватись одночасно з процесом виробництва. Передбачається, що такі системи будуть спроможні моделювати процеси перенастроювання, тестування та моніторингу пакувальних комплексів або окремого пакувального обладнання. Тобто виробництво, що працює у фізичному світі, буде мати ідентичну віртуальну модель (рис. 3). Віртуальна модель виробництва та реальне виробництво будуть тісно пов'язані завдяки паралельному надходженню інформації в реальному часі та будуть повністю відповідати одне одному. Завдяки цьому, наприклад, у разі потреби внести будь-які зміни у виробництво, такі зміни можна буде попередньо промодельовати та оптимізувати на віртуальній моделі, а лише потім перенести в реальний світ виробництва. Такий підхід дасть можливість значно економити час, кошти та підвищити якість інноваційних рішень, адже «у віртуальному світі» наслідком невдалих технічних рішень будуть нематеріальні втрати.

Четвертим напрямком розвитку «Індустрії 4.0» є інтеграція зв'язків структурних підрозділів виробництва в горизонтальному та вертикальному напрямках його функціонування (Horizontal and Vertical System Integration). Наразі сучасні інформаційно-комунікаційні засоби та інформаційні технології уже дають можливість поєднати в межах одного підприємства всі його підрозділи в єдиний інформаційний простір (рис. 4). В «Індустрії 4.0» передбачається поєднання між собою ланок ланцюжка «споживач — виробник — постачальник» в єдиний інформаційний простір. Реалізації цієї мети сприятимуть розвиток та використання промислового Інтернету. Така інформаційна система дасть можливість отримувати потрібну інформацію за короткий час незалежно від інформаційного рівня споживача.

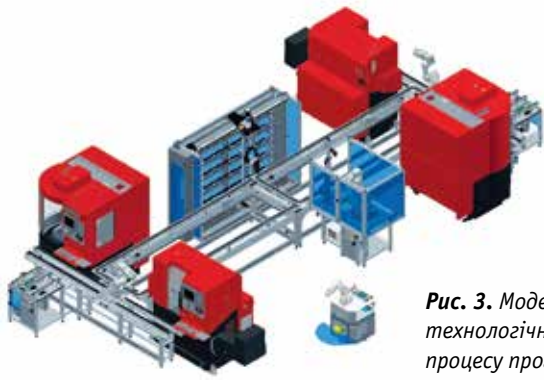


Рис. 3. Моделювання технологічного процесу програмою EPLAN



Рис. 4. Класична піраміда з рівнями керування

П'ятим напрямком є розвиток промислового Інтернету (The Industrial Internet of Things) як технічного засобу для поєднання всіх компонентів виробництва в єдину мережу обміну інформацією в режимі реального часу (рис. 5). Разом із п'ятим напрямком має активно розвиватись **шостий** – кібербезпека (Cybersecurity), який передбачає проведення заходів, пов'язаних із захистом зберігання та оброблення інформації, мереж їх оброблення та передачі. Передбачається, що використання таких технологій надійно убезпечить підприємства від установки шкідливого програмного забезпечення та кібератак. І хоча зараз уже існує низка захищених протоколів та механізмів передачі даних, проте з розвитком можливостей Інтернету потреба в них буде лише зростати.

Сьомим напрямком є використання досягнень інтегральних «хмарних технологій» (The Cloud). За концепцією розвитку «Індустрії 4.0» прогнозують комплексне використання значної кількості інтелектуальних пристроїв, що будуть генерувати великий обсяг різної інформації, яка має надійно зберігатися, швидко оброблятися та бути доступною будь-якому пристрою з різних точок доступу. Передбачається, що саме створення новітніх технологій зберігання і пере-

дачі інформації забезпечить у подальшому майже миттєвий доступ до інформації, швидке її оброблення.

Восьмим напрямком є адитивне виробництво (Additive Manufacturing). Основою такого виробництва є 3D друк, за допомогою якого планують швидко створювати прототи-пи нових зразків обладнання та індивідуально виробляти комплектуючі до них. Такий друк має широкі перспективи у виробництві за індивідуальним замовленням невеликих партій пакувальних машин чи комплектуючих деталей, а в майбутньому дасть можливість суттєво знизити складські запаси та витрати на логістичні послуги тощо (рис. 6).

Дев'ятим напрямком «Індустрії 4.0» є розширена (або віртуальна) реальність (Augmented Reality). Передбачається, що складне технологічне обладнання буде мати функції навчання для обслуговуючого персоналу у вигляді інструментів, наприклад спеціальних окулярів, що дадуть можливість бачити на екрані в об'ємному форматі конструкцію устаткування в режимі реального часу, отримувати інформацію щодо можливих поломок, проглядати інструкції щодо їх усунення тощо (рис. 7).

На наш погляд, в окресленому ланцюгу складних взаємозв'язків між наведеними напрямками, що формують основу розвитку «Індустрії 4.0», не приділено належну увагу технічному напрямку, без якого не можна забезпечити функціонування механізмів та пристроїв нового покоління пакувального обладнання на рівні перетворення інформаційних, енергетичних та матеріальних потоків у паковану продукцію, швидкого механічного переналадження, автоматичного функціонування системи діагностики тощо. Відповідно до концепції функціонування пакувального обладнання в епоху «Індустрії 4.0» таким додатковим ланцюгом є функціональні мехатронні модулі. За визначенням [2], мехатронний модуль – цілісна технічна система, яка поєднує функціональний модуль з керуючим та інформаційним, є конструктивно і функціонально закінченим самостійним виробом, має автоматизовану систему керування з гнучким програмним забезпеченням зміни технологічного процесу, режимів роботи робочих органів та зворотний зв'язок у вигляді використання різних типів датчиків, які забезпечують можливість сприймання інформації про зміну характеристик зовнішнього середовища, характеризується конструк-



Рис. 5. Розвиток промислового Інтернету



Рис. 6. Комплекуючі деталі, виготовлені за допомогою 3D друку

тивно визначеними уніфікованими каналами механічного, енергетичного та інформаційного зв'язку для синергетичного з'єднання з іншими мехатронними модулями.

Тому пропонуємо визначити як **десятий напрямок** використання наукових досягнень у технічній сфері щодо створення мініатюрних мехатронних модулів (smart mechatronic modules) (рис. 8). Мотивацією процесу мініатюризації є відмінність у розмірах (принцип 3/2) об'ємних 3 і поверхневих 2 явищ. Оскільки міцність матеріалів і конструкцій визначається поверхневими параметрами, а внутрішні навантаження під дією інерційних сил – об'ємними, зменшення габаритів елементів машини збільшує їх стійкість до перенавантажень, розширює область застосування і збільшує надійність.

Переваги мехатронно-модульного підходу дають можливість реалізувати синергетичний ефект функціональ-

ного інтегрування у вигляді покращення технічних і експлуатаційних параметрів пакувальних машин, таких як надійність, ефективність, питоме енерговикористання і використання подібних технологій розроблення та виготовлення [5, 6]. На рис. 9 наведено послідовність створення мехатронних пакувальних машин та комплексів. Основними компонентами, що створюють подальшу мініатюризацію технічних систем, є силові компоненти. Вони до сьогодні базуються в основному на технічних ідеях двигунів XIX ст. Їх майбутній процес пов'язаний із створенням мікромініатюрних механізмів типу штучних м'язів на базі 3D – мікросистемних технологій.

Проектування мехатронних модулів, з яких створюють нове покоління пакувальних машин, не є єдиним втіленим принципом мехатроніки. Технічні системи, у тому числі і пакувальні машини, створені із мехатронних модулів, не можуть називатися мехатронними, якщо в їх основі лежить декомпозиція з локальною оптимізацією окремих функціональних складових, а не загальносистемна оптимізація.

Для того щоб синтезовану за загальними критеріями технічну систему можна було б віднести до класу мехатронних, результатом її оптимізації має бути конструктивне злиття окремих функціональних компонентів різної фізичної природи: механічних, електронних, електротехнічних та оптичних.

Проектування пакувальних машин з мехатронних модулів – це спосіб оптимізації функціональних груп пакувальних машин, близьких за призначенням.

Одиначне застосування мехатронної технології, з одного боку, і модульного принципу побудови пакувальних машин, з другого, потребує визначення мінімального елемента (модуля). Створення мехатронного модуля, який є таким елементом, передбачає єдиний системний підхід до його розробки і не може здійснюватись без тісного взаємоузгодження компонентів інтерфейсу.

Реалізацію мехатронних технологій протестовано авторами під час створення машин для групового пакування харчових продуктів. Методологію та теоретичні розробки викладено в роботі [2]. Сформовану концепцію і методо-



Рис. 7. Окуляри віртуальної реальності для ремонту обладнання

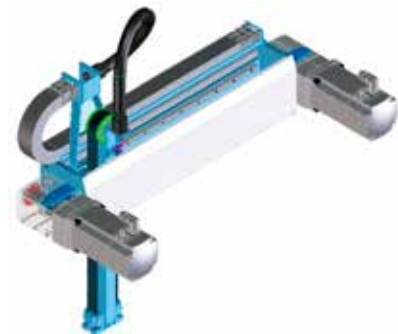
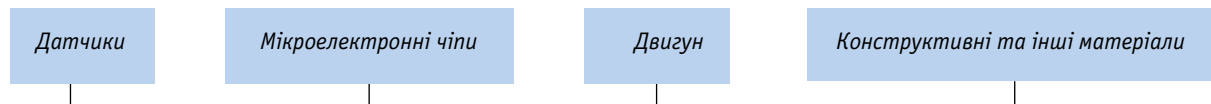


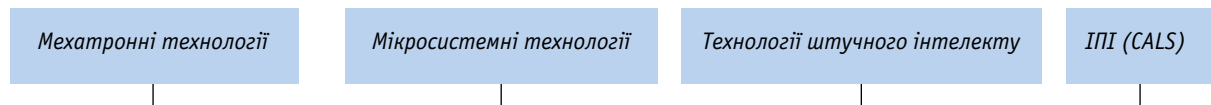
Рис. 8. Мехатронний модуль горизонтального та вертикального переміщення



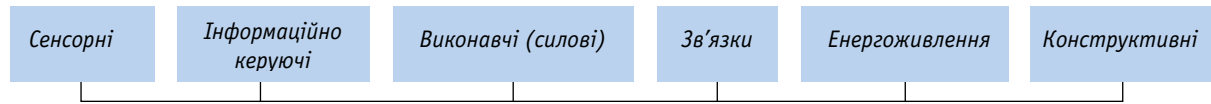
Елементна база



Технології проектування та уніфікації



Мехатронні модулі та інші компоненти



Мехатронні машини та комплекси

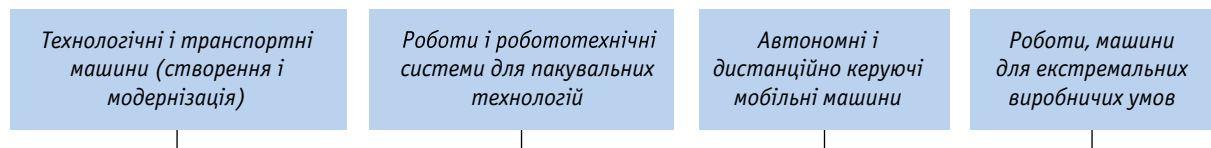


Рис. 9. Послідовність створення мехатронних пакувальних машин і систем

логію мехатронної технології в подальшому буде використано під час проектування новітніх зразків інших функціональних груп пакувальних машин.

Література

1. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. – 746 с.
2. Якимчук М.В. Науково-технічні засади розвитку обладнання для групового пакування харчових продуктів на основі мехатронних модулів: автореф. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв». – К.: НУХТ, 2016. – 40 с.
3. Индустрия 4.0: интеграция будущего [Электронный ресурс] // Деловой журнал «Энергополис». – Режим доступа: <http://energy/polis.ru/soderzhanie/2646/industriya/40/integraciya/buduschego.html>.
4. Хель И. Индустрия 4.0: что такое четвертая промышленная революция? [Электронный ресурс] / И. Хель. – 2015. – Режим доступа: <http://hi/news.ru/business/analitics/industriya/4/0/chto/takoe/chet/vertaya/promyshlennaya/revolyuciya.html>.
5. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част.: навч. посіб. для ВНЗ / Під заг. ред. Ю.М. Кузнецова. – Ч. 1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. – Кіровоград, 2003. – 422 с.
6. Пашков Е.В. Промышленные мехатронные системы на основе пневмопривода: учебн. / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский. – Сев.: СевНТУ, 2007. – 401 с. ✓

Четвертая промышленная революция и развитие упаковочной индустрии

Н.В. Якимчук, д.т.н., А.Н. Гавва, д.т.н.

Человечество стоит на пороге развития четвертой технологической революции, в основе которой лежит концепция разработки и использования полностью автоматизированных, адаптированных к изменению окружающих условий упаковочных комплексов с интеллектуальными системами управления. Разработка таких технологических комплексов требует использования и синергетического сочетания всего потенциала современных научных достижений в направлениях информационных технологий, электроники, нанотехнологий, промышленного машиностроения и т.д. Одним из направлений, научные исследования которого существенно влияют на структуру упаковочных комплексов, является достижение в технической сфере по созданию миниатюрных мехатронных модулей (smart mechatronic modules). Реализация мехатронных технологий опробована авторами при создании машин для групповой упаковки пищевых продуктов.

Ключевые слова: промышленная революция; робототехника; мехатронный модуль; индустрия 4.0.

The fourth industrial revolution and the development of packaging industry

M.V. Yakymchuk, Dr., O.M. Gavva, Dr.

Humanity is on the verge of the fourth technological revolution, which is based on the concept of developing and implementing a fully automated, adapted to changing environmental conditions packaging systems with intelligent control systems. The development of technological systems and requires the use of a synergistic combination of the full potential of modern scientific achievements in the areas of IT-technologies, electronics, nanotechnology, industrial machinery and so on. One of the areas of scientific research portfolio which significantly affect the structure of packaging systems is to achieve a technical field to create miniaturized mechatronic modules (smart mechatronic modules). Implementation of mechatronic technologies tested by the authors when creating a machine for packaging food products.

Keywords: industrial revolution; robotics; mechatronic module; industry 4.0.

