

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ІНДУСТРІЇ 4.0

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядаються ключові принципи розробки виробів для автоматизованого складального виробництва з урахуванням концепції Індустрії 4.0. Аналізуються переваги застосування стандартизації, конструктивної технологічності, модульності, адаптації до роботизованих систем, а також впровадження цифрових технологій, зокрема цифрового двійника та сенсоризації. Результати дослідження свідчать про те, що комплексне використання сучасних технологій сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зниженню виробничих витрат та забезпеченню високої якості кінцевої продукції.

Ключові слова: автоматизоване складання; Індустрія 4.0; конструкція виробу; цифрові двійники; сенсоризація; модульність; стандартизація

Abstract

This paper examines the key principles in the design of products for automated assembly manufacturing, taking into account the concepts of Industry 4.0. The study analyzes the advantages of standardization, design technological simplicity, modularity, adaptation to robotic systems, as well as the integration of digital technologies such as Digital Twin and sensorization. The results indicate that the integrated application of modern technologies contributes to enhanced manufacturing process efficiency, reduced production costs, and the assurance of high final product quality.

Keywords: Automated assembly; Industry 4.0; Product design; Digital Twin; Sensorization; Modularity; Standardization

Сучасне виробництво зазнає значних трансформацій під впливом автоматизації, цифровізації та інтеграції кіберфізичних систем. В умовах конкурентного ринку розробка виробів, що оптимізують процес складання, набуває особливої важливості. Виробники прагнуть впроваджувати інноваційні технології, які дозволяють знизити витрати, скоротити час циклу виробництва та забезпечити стабільну якість кінцевої продукції. У цьому контексті застосування концепцій Індустрії 4.0 стає невід'ємною частиною процесу проектування виробів для автоматизованого складального виробництва.

Основні принципи розробки виробів для автоматизованого складання включають в себе нижче перераховані елементи елементи.

1. Уніфікація та стандартизація

Використання стандартизованих компонентів дозволяє спростити процес складання за рахунок взаємозамінності деталей. Це сприяє оптимізації технологічного процесу та знижує витрати на налаштування обладнання, оскільки не потрібно адаптувати системи під кожну унікальну частину. Стандартизація також створює основу для розробки універсальних технологічних платформ, що дозволяють скоротити час впровадження нових виробів [1].

Стандартизація сприяє більш ефективній організації виробництва, що є особливо важливим при переході до масового кастомізованого виробництва, характерного для Індустрії 4.0.

2. Конструктивна технологічність

Оптимізація геометричних форм виробу та мінімізація кількості складальних операцій забезпечують технологічну простоту. Чітко структурована конструкція дозволяє

автоматизованим системам швидко орієнтуватися у просторі, знижуючи ризик помилок при позиціонуванні та з'єднанні компонентів. Крім того, технологічність конструкції дозволяє оптимально використовувати матеріали, що позитивно впливає на економічну ефективність виробництва [1].

Цей принцип сприяє впровадженню Lean-технологій у виробництво, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів та скорочення виробничих відходів.

3. Адаптація до автоматизованих систем

При розробці виробів необхідно враховувати специфіку роботи роботизованих маніпуляторів, автоматичних ліній та інших систем автоматизації. Деталі мають бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити легкість захоплення, переміщення та з'єднання. Це досягається через точне визначення розмірів, форми та розташування кріплень, що дозволяє зменшити час налаштування обладнання та підвищити точність операцій [2].

Врахування цього аспекту особливо актуальне при інтеграції систем машинного зору та інших автоматизованих засобів контролю, що є важливою складовою Індустрії 4.0.

4. Модульність

Модульний підхід дозволяє розбивати виріб на окремі функціональні блоки, які виробляються окремо і інтегруються в єдину систему. Така структура забезпечує гнучкість виробництва, дозволяючи швидко адаптувати виріб до змінних вимог ринку, а також полегшує технічне обслуговування та модернізацію систем [3].

Модульність сприяє швидкому оновленню технологій та впровадженню інновацій, оскільки окремі модулі можуть бути замінені чи модернізовані без перебудови всього виробу.

5. Оптимізація доступу до зон складання

Правильне розташування ключових елементів виробу забезпечує легкий доступ для автоматизованих інструментів до зон з'єднання. Це дозволяє скоротити час операцій, забезпечує швидке позиціонування компонентів та підвищує точність процесів складання, що в результаті веде до збільшення продуктивності виробничих ліній [1].

Оптимізація доступу також сприяє зниженню витрат на енергію та підтримку обладнання, оскільки зменшується час циклу кожного операційного процесу.

6. Контроль якості в режимі реального часу

Інтеграція систем візуального контролю, датчиків та камер дозволяє здійснювати безперервний моніторинг виробничого процесу. Такий підхід забезпечує оперативне виявлення дефектів і дає змогу негайно впроваджувати коригувальні заходи. Завдяки цьому підвищується загальна якість кінцевої продукції та знижуються витрати на усунення дефектів [2].

Системи контролю якості, що працюють в режимі реального часу, дозволяють проводити аналіз даних для постійного вдосконалення процесів, що є ключовим чинником у концепції «розумного виробництва».

7. Цифрове проектування (Digital Twin)

Впровадження концепції цифрового двійника дозволяє створити віртуальну модель виробу, яка точно відображає всі його фізичні та функціональні характеристики. Ця модель використовується для симуляції виробничих процесів, тестування конструктивних рішень та прогнозування можливих збоїв. Завдяки цьому скорочуються витрати на прототипування, а час розробки нового продукту значно зменшується [4].

Цифрове проектування сприяє інтеграції даних з різних етапів виробництва, що дозволяє створювати більш адаптивні та інноваційні продукти в умовах динамічно змінного ринку.

8. Сенсоризація та Smart-компоненти

Інтеграція сучасних сенсорних технологій у виріб дозволяє збирати дані про експлуатаційні умови (температура, вібрації, навантаження тощо) в режимі реального часу. Це забезпечує можливість впровадження систем передбачуваного обслуговування, що знижує ризик несправностей і продовжує термін експлуатації. Отримані дані також використовуються для оптимізації виробничих процесів [4].

Використання smart-компонентів відкриває можливості для інтеграції з хмарними платформами та аналізу великих даних, що є однією з основних складових Індустрії 4.0.

9. Взаємодія в кіберфізичних системах

Кіберфізичні системи інтегрують фізичні виробничі процеси з інформаційними технологіями, що забезпечує безперебійну взаємодію всіх елементів виробництва. Це дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз і оптимізацію процесів у режимі реального часу, забезпечуючи оперативне управління ресурсами та адаптацію виробничих процесів до змін умов [2].

Взаємодія в межах кіберфізичних систем дозволяє ефективно управляти як внутрішніми процесами підприємства, так і інтегрувати зовнішні дані (наприклад, інформацію про ланцюг постачання), що сприяє більш гнучкому реагуванню на ринкові виклики.

10. Трасування та ідентифікація

Впровадження технологій RFID, QR-кодів та інших засобів ідентифікації забезпечує повний контроль над переміщенням компонентів протягом виробничого циклу. Це дозволяє оперативно виявляти відхилення у якості та сприяє підвищенню ефективності управління ланцюгом постачання, забезпечуючи прозорість логістичних процесів [3].

Системи трасування сприяють також аналітиці даних, що дозволяє виявити вузькі місця в логістиці та оптимізувати процеси постачання компонентів на всіх етапах виробництва.

Висновки

Комплексний аналіз принципів розробки виробів для автоматизованого складального виробництва з урахуванням вимог Індустрії 4.0 свідчить про те, що інтеграція стандартних компонентів, технологічно простих конструкцій, модульного підходу та сучасних цифрових технологій створює сприятливі умови для підвищення ефективності виробництва. Впровадження цифрових двійників, систем сенсоризації та кіберфізичних систем забезпечує оптимізацію виробничих процесів, зниження витрат та підвищення якості кінцевої продукції. Результати дослідження підтверджують, що сучасні інноваційні технології є ключовими факторами для досягнення високої конкурентоспроможності на ринку.

Список використаних джерел

1. BOOTHROYD G., DEWHURST P., KNIGHT W.A. *Product Design for Manufacture and Assembly* : 3rd ed. – London : CRC Press, 2010. – 560 p.
2. LEE J., BAGHERI B., KAO H.A. *A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems // Computers in Industry*. – 2015. – Vol. 69, pp. 70–80.
3. KAGERMANN H., WAHLSTER W., HELBIG J. *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 : Final Report*. – 2013. – Available from: <http://www.plattform-i40.de> (accessed 15.03.2025).
4. TAO F., ZHANG H., LIU A., NEE A.Y.C. *Digital Twin Driven Smart Manufacturing // Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 140, Issue 4, Article ID 042001, pp. 1–13.