

УДК 004.738.5:655.4

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

У. П. Пановик, С. А. Кутас

*Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Сучасна виробнича галузь інвестує в нові технології, такі, як Інтернет речей (IoT), аналітика великих даних, хмарні обчислення та кібербезпека. Це дає змогу оптимізувати виробничі процеси, підвищувати ефективність та конкурентоспроможність. Нові досягнення створюють покоління розумного виробництва, яке інтегрує фізичні та віртуальні підприємства.

Розглянуто технології IoT, які сприяють інноваціям у розумному виробництві. Описано використання IoT для прогнозованого технічного обслуговування, відстеження активів, управління запасами, контролю якості та моніторингу виробництва. Запропоновано багаторівневу архітектуру інтелектуальної системи IoT, яка охоплює всі аспекти виробничого процесу. Така архітектура дає можливість ефективно управляти даними та забезпечує гнучкість виробничого середовища. Проаналізовано необхідність трансформації поліграфічного виробництва та цінність використання IoT для покращення якості та оптимізації процесів. Виявлено проблеми, що потребують вирішення, та запропоновано передові методи для вдосконалення поліграфічного виробництва.

Ключові слова: *розумне виробництво, IoT, архітектура, технології IoT, протоколи зв'язку, платформи IoT, моніторинг, кібербезпека.*

Постановка проблеми. У сучасному світі, де швидкість, ефективність та якість є ключовими факторами конкурентоспроможності, технології Інтернету речей (IoT) стають необхідними для багатьох промислових галузей, включно з поліграфією. Друкарні, що виробляють продукцію від каталогів і журналів до упаковки та маркетингових матеріалів, уже починають усвідомлювати переваги IoT.

Для розуміння переваг IoT важливо розібратися, які саме технології вже доступні і як вони можуть бути застосовані в поліграфії. Наприклад, розумні друкарні, обладнані датчиками та під'єднані до Інтернету, можуть автоматично моніторити стан обладнання, передбачати злами та попереджати про них. Це дає можливість уникнути виробничих зупинок і зберегти час та кошти. Однак впровадження IoT також пов'язане з викликами, зокрема забезпеченням кібербезпеки, оскільки збільшується кількість під'єднаних пристроїв, що може створювати додаткові точки входу для потенційних кібератак. Важливо розглянути, як IoT може взаємодіяти з наявними технологіями в поліграфії, такими, як цифрові друкарні, програмне забезпечення для управління виробництвом та автоматизація процесів. Вивчення можливостей

IoT в поліграфії допоможе визначити шляхи їхнього успішного впровадження та перспективи розвитку цих технологій у галузі.

Такі терміни, як Інтернет речей (IoT), Промисловість 4.0, Великі дані, Промисловий інтернет тощо, усе частіше використовуються в поліграфічній галузі. Друкарні починають розуміти, як ці технології впливають на їхню щоденну діяльність та як вони взаємодіють із поточним технологічним середовищем. Багато виробничих систем усе ще виробляють високоякісні продукти за конкурентними витратами, але з погляду інформаційних технологій вважаються застарілими. Одним із ключових аспектів успішного впровадження IoT та Промисловості 4.0 в поліграфії є перенесення наявних виробничих пристроїв і програмного забезпечення в хмару без зміни їхніх інтерфейсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інтернет речей (IoT) як частина Промисловості 4.0 відіграє ключову роль. В основі Промисловості 4.0 лежить великий обсяг даних, що постійно аналізується для прийняття рішень. Завдяки IoT дані розширюються новою інформацією з фізичної лінії виробництва, забезпечуючи зв'язок між фізичними об'єктами та їхніми цифровими представленнями. Застосування IoT охоплює всі етапи діяльності підприємств – від закупівлі сировини до обслуговування клієнтів. IoT як кардинальна технологія Industry 4.0 пропонує нові можливості для створення ефективних сервісів та програм для виробництва. Взаємодія машин через IoT дає змогу їм обмінюватися даними в реальному часі, що критично важливо для прийняття рішень на основі стану виробництва [7].

IoT може революціонізувати поліграфічну промисловість, роблячи її більш ефективною. IoT-пристрої збирають дані про всі аспекти друку, від сировини до готового продукту [10]. Ці дані оптимізують процеси, підвищують якість і знижують витрати. У статті [6] описано, як система моніторингу в реальному часі з IoT підвищує продуктивність. Вона збирає дані про швидкість друку, час простою та витрати матеріалів, аналізуючи їх для оптимізації роботи. Результати: зниження часу простою на 20 %, підвищення швидкості друку на 15 % та зменшення витрат матеріалів на 10 %. Публікація [9] розглядає, як IoT-технології дають можливість збирати дані про стан обладнання, ресурси та процеси, що веде до оптимізації, прогнозування зламів, персоналізації та економії ресурсів. Крім того, IoT створює нові інноваційні послуги та продукти, розширюючи можливості галузі. А звіт від Precedence Research [1] підкреслює вплив IoT на ринок цифрового друку. У ньому зазначається, що глобальне використання IoT та штучного інтелекту стимулюватиме ринок, автоматизуючи процеси друку, покращуючи якість та персоналізацію друкованої продукції.

Публікація [3] вказує на те, що IoT-технології революціонізують друкарську галузь, забезпечуючи більш ефективний, зручний та інтелектуальний друк. Інтеграція IoT в друкарські пристрої дозволяє збирати дані про використання, відстежувати рівень витратних матеріалів та автоматизувати замовлення, що призводить до підвищення продуктивності та зменшення витрат. Застосування штучного інтелекту в IoT-принтерах оптимізує друковані зображення та пропонує рекомендації для підвищення ефективності друку. Стаття [5] досліджує ідеї Інтернету речей

(IoT), Industry 4.0, Big Data та промислового Інтернету, а також їхню інтеграцію у виробничі лінії друку. Метою публікації є розроблення базового наукового розуміння нових технологій у поліграфічній індустрії та показ того, як вони співпрацюють з реальним обладнанням для друку.

Отже, IoT розгортає перед поліграфією нові можливості, забезпечуючи збирання даних про весь процес друку, їхній аналіз та автоматизацію завдань. Впровадження IoT може підвищити якість продукції, знизити витрати та покращити обслуговування клієнтів у поліграфії.

Мета статті – визначення основних компонентів, які є необхідними як у сфері IoT, так і в галузі друкування для підвищення ефективності та стимулювання інноваційного розвитку обох секторів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для оптимізації виробничих процесів та забезпечення ефективного управління смарт-виробництвом використовується двосторонній потік даних між системою ERP (системою планування ресурсів підприємства), MES (системою управління виробничими процесами) і PCS (системою контролю та автоматизації процесів). Ця взаємодія (рис. 1) створює інтегровану систему управління, яка дає змогу інтелектуальному підприємству підвищувати продуктивність та якість продукції, а також ефективно використовувати ресурси, допомагає підприємствам досягати своїх цілей у сучасному виробничому середовищі [12].

Системи ERP одержують дані щодо замовлень від клієнтів, ринкового аналізу та прогнозу попиту. Відділи закупівель та логістики формують замовлення на матеріали та відстежують відвантаження. Потім генеруються робочі замовлення та передаються до MES для опису сировини, обсягу замовлень та очікуваного часу виконання. MES розробляє докладний план виробництва, розподіляє ресурси, складає графік роботи операторів та налаштовує параметри устаткування. Під час виконання робочих замовлень система PCS збирає дані процесу, які потім повертаються до MES. На основі аналізу даних MES коригує виробничий процес, щоб вчасно виконувати робочі замовлення. Крім того, MES надає зворотний зв'язок системі ERP, щоб закупівельний відділ міг вносити зміни до переліку матеріалів. Наявність зворотного зв'язку в реальному часі робить аналіз витрат, прогнозування робочого процесу та контроль запасів більш точними та надійними.



Рис. 1. Потік даних між ERP, MES та PCS у смарт-виробництві

Головним інструментом для розв'язування проблем у процесі трансформації виробництва є архітектура розвитку IoT для розумного виробництва. Вона має п'ять рівнів: кіберфізичні системи, мережу, програмне забезпечення, моделювання та оптимізацію (рис. 2). Кожен рівень відповідає за свою функціональність і співпрацює з іншими рівнями для ефективності та оптимізації виробничих процесів. Ця архітектура допомагає управляти великим обсягом даних, забезпечуючи гнучкість та масштабованість виробничого середовища.

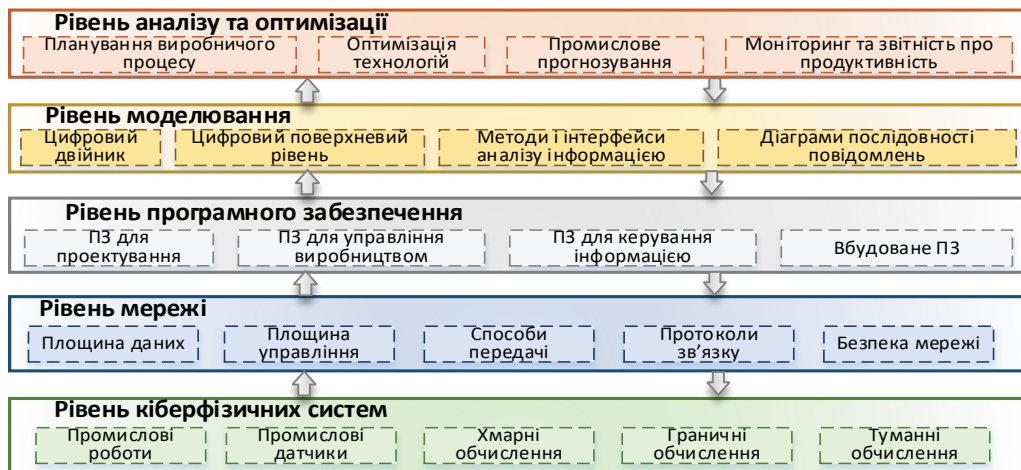


Рис. 2. Архітектура інтелектуальної системи IoT

Рівень кіберфізичних систем є одним із базових компонентів архітектури розумного виробництва, включно з фізичними об'єктами та кібернетичними складовими. Він забезпечує автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. На цьому рівні розглядаються такі складові: сенсори та датчики, які збирають дані про фізичні процеси; актуатори, що взаємодіють із фізичними об'єктами, керуючи рухом обладнання або регулюючи потік рідин; комп'ютерні та вбудовані системи, які керують та контролюють роботу кіберфізичних систем, обробляючи дані та відправляючи сигнали до актуаторів.

Основні технології Інтернету речей вміщують RFID, бездротові мережі датчиків та хмарні обчислення. RFID – це технологія автоматичного відстеження об'єктів за допомогою радіохвиль. Вона використовує мітки, зчитувачі та системи обробки даних. У виробництві використовується для відстеження процесів, контролю запасів та управління ланцюгом постачання. Бездротові сенсорні мережі (WSN) – мережі з маленьких сенсорів, які збирають дані про довкілля. Вони використовуються для моніторингу стану обладнання, контролю якості продукції, оптимізації енергоспоживання та прогнозування зламів.

Хмарні, граничні та туманні обчислення забезпечують оптимальну обробку даних, ефективне використання ресурсів та швидку реакцію на зміни середовища. Хмарні обчислення зберігають та обробляють великі обсяги даних, виконують складну аналітику та моделювання, забезпечуючи масштабованість і гнучкість.

Послуги хмарних обчислень поділяються на три категорії: Інфраструктура як сервіс (IaaS), Платформа як сервіс (PaaS) і Програмне забезпечення як сервіс (SaaS). Інтеграція хмарних обчислень з IoT дає можливість використовувати спільні обчислювальні та збережені ресурси, підтримуючи інтелектуальне прийняття рішень завдяки машинному навчанню та аналітиці даних через інтернет. Граничні обчислення забезпечують обробку даних безпосередньо на датчиках або вузлах кіберфізичних систем, зменшуючи затримки та забезпечуючи швидку відповідь на зміни в середовищі. Це дає змогу зменшити обсяг трафіку, що передається до центральних обчислювальних ресурсів, полегшуючи навантаження на мережу та ефективно використовуючи обчислювальні ресурси. Туманні обчислення розширюють цю ідею, розміщуючи обчислювальні ресурси не лише на вузлах кіберфізичних систем, але й на проміжних вузлах мережі, забезпечуючи більшу пропускну спроможність та надійність порівняно з централізованими системами.

Отже, кіберфізичні системи поєднують фізичні та цифрові аспекти виробництва, створюючи інтелектуальну та адаптивну систему, яка ефективно функціонує в змінному середовищі та відповідає вимогам ринку. Обчислювальні ресурси в хмарних, розподілених та туманних обчисленнях забезпечують потужність для підтримки розумного виробництва за допомогою IoT.

Рівень мережі забезпечує інфраструктуру для передавання даних між людським та кіберфізичним середовищами. Містить фізичне з'єднання, таке, як комутатори, маршрутизатори, кабельна та бездротова інфраструктура (Ethernet, Wi-Fi) для забезпечення зв'язку між пристроями та компонентами системи. У мережі IoT використовуються різні методи мережування та передавання даних, такі, як TCP/IP, Ethernet, Wi-Fi, PROFIBUS, MODBUS. Ethernet/IP та інші провідні мережі популярні в промисловості за надійність, швидкість та здатність передавати великі обсяги даних. У таблиці 1 перелічені протоколи передавання даних для систем IoT. Такі бездротові протоколи, як Bluetooth, ZigBee, Z-wave, Wi-Fi та NFC, призначені для коротких дистанцій (від 10 см до 100 м). Bluetooth використовується для зв'язку в умовах довкілля, ZigBee – для мереж сенсорів із низьким енергоспоживанням. Інші протоколи, такі, як SigFox, Neul, LoRaWAN, призначені для передавання даних на великі відстані (від 2 до 200 км).

Таблиця 1

Протоколи передавання даних IoT та їхні характеристики

Протокол	Стандарт	Частота	Діапазон	Швидкість передавання даних
Bluetooth	Bluetooth 4.2	2.4 ГГц	50–150 м	1 Мбіт/с
ZigBee	IEEE802.15.4	2.4 ГГц	10–100 м	250 Кбіт/с
Z-Wave	ZAD12837	900 МГц	30 м	9,6/40/100 Кбіт/с
WiFi	IEEE 802.11	2.4–5 ГГц	50 м	150–600 Мбіт/с
NFC	ISO/IEC 18000-3	13.56 МГц	10 см	100–420 Кбіт/с
Sigfox	Sigfox	900 МГц	30–50 км	10–1000 біт/с
LoRaWAN	LoRaWAN	різна	2–15 км	0.3–50 Кбіт/с

Кожному пристрою присвоюється унікальна IP-адреса. Зі збільшенням під'єднаних пристроїв IoT IPv4 вичерпується. IPv6 дозволяє кожному пристрою мати унікальну IP-адресу в глобальній мережі. 6LoWPAN, заснований на IPv6, використовує механізми капсуляції та стиснення заголовків, що не залежать від частотного діапазону та фізичних шарів, даючи змогу сенсорам у різних мережах використовувати пакети IPv6 та бути частиною системи IoT.

В останні роки було запропоновано кілька передових мережевих технологій для промислового IoT. 5G-мережі забезпечують високу швидкість, низьку затримку та великий обсяг під'єднань, ідеально підходять для виробничих середовищ із великою кількістю пристроїв. LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) призначені для під'єднання багатьох пристроїв із мінімальним споживанням енергії на великі відстані. Мережі промислового бездротового зв'язку, такі, як WirelessHART, розроблені для промислових застосувань із надійним та безпечним зв'язком. MTConnect – це стандартизований протокол для відкритого зв'язку між обладнанням та програмним забезпеченням на заводі, що сприяє моніторингу та керуванню виробничими процесами. Використання цих передових технологій дає можливість побудувати надійну та ефективну мережу для зв'язку в розумному виробництві.

Для взаємодії між реальними об'єктами та цифровими додатками важливі платформи Інтернету речей (табл. 2), такі як GE Predix, ThingWorx, IBM Watson, Azure, C3 IoT та AWS. Вони об'єднують у собі хмарне обчислення, вбудовані системи, інтеграцію з доповненою реальністю, управління даними, програмні застосунки, машинне навчання та аналітичні сервіси.

Застосування сенсорів у Інтернеті речей збільшує обсяг даних. Більшість платформ надають панелі інструментів для відображення цих даних, що спрощує моніторинг і створення звітів. Проте більшість платформ не призначені для виробничих потреб, що ускладнює впровадження розумного виробництва. Інтеграція експертизи виробництва з платформами Інтернету речей є важливою для ефективного аналізу даних та їхнього використання в цьому секторі.

Рівень програмного забезпечення. Промислове програмне забезпечення (ППЗ) забезпечує цифрове відображення промислових процесів через збирання та аналіз даних. Інтелектуальний IoT базується на обладнанні та мережах, потребує ефективного програмного забезпечення для управління цими даними та процесами. ППЗ поєднує промислові знання та технології, але стикається зі складнощами через різноманіття галузей та потребу професійних знань. Розвиток ППЗ відбувається через системні платформи, хмарні рішення та розроблення, що відповідає потребам сучасного виробництва. Воно може вміщувати САД для проектування та CAE для симуляції, ERP для управління підприємством, зміцнюючи контроль за промисловими процесами та сприяючи оптимізації виробництва.

Рівень моделювання. Технології моделювання в IoT допомагають аналізувати промислові процеси та цифрові дані, полегшують навчання персоналу та виявлення проблем. Інтеграція віртуальної та доповненої реальності з IoT поліпшує роботу з активами та розуміння зв'язків між об'єктами та мережею. В архітектурі IoT моделювання виконує дві основні функції: відображення фізичних процесів у

цифровому середовищі та переведення рішень у реальний світ. Розвиток цих методів сприяє створенню нових інтелектуальних застосувань, таких, як дистанційне керування та прогнозування обслуговування. Цифровий двійник – перспективна технологія, яка дає можливість описувати, аналізувати та прогнозувати фізичні процеси. Окрім цього, є ще інші методи моделювання, наприклад, карти використання та діаграми послідовності повідомлень, які допомагають описувати промислові сценарії.

Таблиця 2

Платформи Інтернету речей

Платформа	Компанія	Особливості
Predix	GE	Хмарна платформа для створення програм для промисловості; підтримує понад 60 нормативних баз, містить аналітику промислового масштабу для управління ефективністю активів
ThingWorx	PTC	Вміщує Coldlight – IoT Аналітика, інтеграція доповненої реальності, віддалений моніторинг і обслуговування між машинами
Watson IoT	IBM	Машинне навчання та компромісна аналітика: допомагає користувачам приймати рішення, статистика в реальному часі: контекстуалізує та аналізує дані IoT, містить візуальне розпізнавання, підтримка Raspberry Pi
Azure IoT	Microsoft	Інтегрує Azure IoT Suite зі своїми системами та програмами, включно з Salesforce, SAP, Oracle Database і Microsoft Dynamics; послуги: обчислення, мобільні послуги, керування даними та обмін повідомленнями; дозволяє пристроям автоматично аналізувати невикористані дані
AWS IoT	Amazon	Платформа IoT для розробки корпоративних додатків, підтримує HTTP, WebSockets і MQTT; Rules Engine може направляти повідомлення до кінцевих точок AWS; створює віртуальну модель кожного пристрою
Google IoT Cloud	Google	Модульні послуги: обчислення, додаток, запити, хмарні функції, хмарна база даних; використовує основну інфраструктуру Google
Machineshop	Machine Shop	Проміжне програмне забезпечення; інтеграція за допомогою стандартних RESTful API; гранична обчислювальна платформа
Cisco IoT Cloud	Cisco	Платформа як послуга (PaaS); REST API для надсилання та отримання потоків даних; доступ до сторонніх API
Oracle Cloud	Oracle	Розширені можливості під'єднання: хмарні та локальні конектори; вбудований механізм рекомендацій для вказівок; виявлення помилок: зміни та керована обробка помилок

Рівень аналізу та оптимізації містить інтелектуальні алгоритми та методи оптимізації для розв'язування промислових проблем на основі великих даних та моделей. Він допомагає у вирішенні таких завдань, як планування та розклад виробництва, топологічна оптимізація та промислові прогнози.

Планування та розклад виробництва визначають, як краще організувати процеси зменшення часу та витрат. Для цього використовуються такі методи, як мережі Петрі, експертні системи та евристичні алгоритми. Топологічна оптимізація стосується оптимізації розміщення матеріалів у виробничому процесі. Цей математичний метод допомагає знайти оптимальні рішення для структури продукту. Промислові прогнози використовуються для передбачення подій та оцінки роботи процесів. Вони базуються на аналізі даних і допомагають у керуванні активами та оптимізації процесів.

На великих виробничих лініях використання IoT-технологій створює потоки даних у реальному часі. Ці дані є великими, постійно надходять та мають різні характеристики. Їхня обробка потребує передових систем моніторингу [4]. Система моніторингу (рис. 3) містить збирання даних за допомогою сенсорів та їхню обробку. Потім дані проходять аналіз, де використовуються алгоритми для виявлення відхилень та трендів. Після аналізу оцінюється ефективність процесів та знаходяться можливості для їхнього покращення. Моніторинг за допомогою IoT-датчиків містить збирання ключових показників ефективності з виробничих ліній та обладнання. Це сприяє оптимізації процесів, зменшенню простоїв обладнання та підвищенню якості продукції. Керівники можуть оперативно виявляти проблеми та затори завдяки моніторингу в реальному часі. IoT-датчики також допомагають відстежувати запаси та моніторити ланцюг постачання, що сприяє оптимальним умовам виробництва та зменшенню витрат. Загалом IoT допомагає виробникам контролювати та оптимізувати виробничий процес у реальному часі, що призводить до підвищення ефективності, контролю якості та зниження витрат.

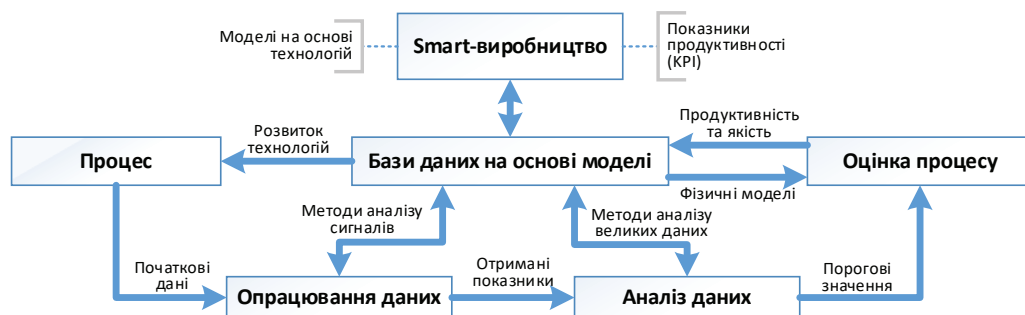


Рис. 3. Система моніторингу процесів смарт-виробництва

Впровадження IoT у поліграфії автоматизує більше процесів, що підвищує оперативність. Наприклад, цифровий друк дає можливість перевіряти результати в реальному часі за допомогою схвалених файлів ілюстрацій. Використання камер, датчиків, штучного інтелекту та машинного навчання допускає моніторити якість продукції, виявляти такі дефекти, як кольорові відхилення чи зміщення, та реагувати на них швидше, що покращує якість і зменшує браковану продукцію.

Промислові роботи, які оснащені датчиками, бездротовими пристроями та граничним обчисленням, можуть автономно виконувати різноманітні завдання: збирання

надрукованої продукції, виявлення дефектів, сортування та маршрутизація до різних ділянок постдрукарської обробки, таких, як фальцювання чи брошурування. Інтелектуальна автоматизація забезпечує збирання даних про продуктивність обладнання, запаси матеріалів та інші метрики, що дає змогу оптимізувати процеси та приймати обґрунтовані рішення. У традиційних друкарнях інформація про час простою таких друкарських машин, як офсетні преси чи цифрові принтери, вноситься вручну, що може призводити до неточностей. IoT змінює цей процес, надаючи точну та надійну інформацію для виявлення прихованих проблем. Це сприяє встановленню простежуваності матеріального потоку та запобіганню плутанини матеріалів, особливо у великих виробництвах.

IoT автоматизує процеси та забезпечує контроль за різними параметрами друкарського обладнання, такими, як тривалість роботи машин, час змін, кількість перемикачів, ламання та зміни рулонів паперу. Використання датчиків дає змогу виявляти можливі несправності, передбачати проблеми та уникати незапланованих зупинок, що підвищує продуктивність та заощаджує час і кошти. Крім того, IoT контролює стан машин, виявляючи відхилення параметрів, що дає можливість планувати технічне обслуговування. Аналіз часу простою допомагає виявляти проблеми, а ефективна робота обладнання забезпечує оптимальне використання ресурсів. Застосування IoT дає змогу моніторити якість друку, аналізувати ефективність обладнання та забезпечувати зворотний зв'язок у реальному часі для підтримки високих стандартів якості та своєчасного виконання замовлень.

Компанія Heidelberg впроваджує IoT-технології у своє устаткування серії Speedmaster, зокрема машини Speedmaster XL 106. Вони можуть під'єднуватися до хмарних сервісів Heidelberg Cloud та Heidelberg Assistant, що дає змогу віддалено моніторити роботу машини, отримувати повідомлення про стан обладнання та аналізувати дані про продуктивність. Heidelberg Cloud – це інноваційна платформа з різноманітними інструментами для дистанційного обслуговування та управління друкарським устаткуванням. До послуг Heidelberg Cloud належать дистанційне обслуговування для віддаленого моніторингу та діагностики проблем з обладнанням, eCall – сервіс аварійного виклику, портал клієнтів Heidelberg, що надає доступ до різних сервісів та інструментів управління, Print Shop Analytics для аналізу продуктивності та ефективності роботи друкарень, звіт про стан обладнання з детальною інформацією про його ефективність, система моніторингу та аналізу виробничих процесів Netprofiler, а також прогнозний моніторинг для аналізу даних та прогнозування можливих зламів або проблем з обладнанням [2].

Інтеграція друкарського устаткування Heidelberg з IoT автоматизує виробничі процеси в поліграфії, підвищуючи ефективність та якість друку. Система аналізує такі дані з датчиків, як рівень витрати фарби та якість друку, й автоматично коригує параметри друку для оптимальних результатів. IoT також допомагає прогнозувати можливі злами устаткування та уникнути незапланованих зупинок у виробництві, забезпечуючи надійність роботи.

Компанія Xerox впроваджує технологію IoT у своїх пристроях для друку серії VersaLink та AltaLink. Це дає можливість забезпечити віддалений моніторинг,

діагностику стану пристроїв та вчасне усунення проблем. Наприклад, функція Xerox Remote Control Panel дозволяє операторам віддалено керувати та налаштувати устаткування через вебінтерфейс. Це особливо корисно під час управління великими парками машин у корпоративних середовищах, де своєчасне виявлення та усунення проблем може значно знизити час простою та підвищити ефективність.

Принтери AltaLink та VersaLink інтегровані з рішеннями IoT для підвищення продуктивності та під'єднання. Можливості IoT дають змогу здійснювати віддалений моніторинг та управління, допомагаючи IT-відділам ефективніше вирішувати проблеми. Технологія ConnectKey сприяє безперешкодній інтеграції з хмарними сервісами, дозволяючи користувачам друкувати та сканувати безпосередньо до і з хмарних сховищ (Xerox). Xerox ConnectKey перетворює багатофункціональні принтери на інтелектуальних помічників для робочого місця [8]. Вона надає широкий спектр можливостей для полегшення роботи з документами, підвищення продуктивності та забезпечення безпеки, включно з мобільним і хмарним друком, перетворення документів, інтуїтивний інтерфейс користувача, інтеграцію з додатками, безпеку та покращену продуктивність. Отже, серії Xerox AltaLink і VersaLink пропонують рішення, спрямовані на потреби сучасних робочих місць. Їхня інтеграція з IoT забезпечує підвищену продуктивність і гнучкість, а також безпечне та ефективне виконання офісних завдань через автоматизацію та оптимізацію процесів.

EFI (Electronics For Imaging) – глобальна технологічна компанія, яка розробляє цифрові рішення для промисловості. Їхня продукція містить інноваційні технології друку та рішення IoT, спрямовані на перетворення аналогових процесів на ефективні цифрові. EFI пропонує передові цифрові струменеві принтери для вивісок, упаковки, текстилю, кераміки та будівельних матеріалів. Ці принтери розроблені для підвищення продуктивності та якості зображення. Фірма пропонує і технологію Fiery – цифровий сервер, що забезпечує швидкість обробки, управління кольором та автоматизацію робочих процесів [13]. Fiery інтегрується з різними друкарськими машинами, допускаючи точну кольорову репродукцію та оптимізацію друку. Сервер підтримує різноманітні мережеві з'єднання, що дає можливість керувати процесом друку декільком користувачам одночасно. Отже, EFI інтегрує свої друкарські технології з IoT для підвищення ефективності та під'єднання. Сюди належать дистанційний моніторинг, прогнозне обслуговування та аналітика даних для оптимізації виробництва, що допомагає бізнесу зменшувати простой, підтримувати якість та покращувати продуктивність.

Компанія Kodak використовує IoT для покращення свого бізнесу, зокрема в серії цифрових друкарських пристроїв Kodak Nexpress. Вони впроваджують рішення IoT для таких цілей: віддалений моніторинг стану пристроїв, автоматизація управління запасами й матеріалами, збирання даних для діагностики та обслуговування, оптимізація друкарських завдань і персоналізована підтримка клієнтів та аналіз даних для їхньої оптимізації. Впровадження рішень IoT дає можливість покращити продуктивність та ефективність пристроїв Kodak Nexpress і підвищити конкурентоспроможність компанії на ринку цифрового друку.

Висновки. IoT – нова технологія, яка змінює виробничу промисловість, об'єднуючи різні пристрої та об'єкти. Це відкриває нові можливості та сприяє промислового розвитку. IoT полегшує виробництво та забезпечує більшу продуктивність у глобальному масштабі.

У поліграфічному інтелектуальному виробництві IoT забезпечує покращення якості та ефективності. Сенсори відстежують параметри та регулюють умови для оптимального результату. IoT також моніторить стан обладнання в реальному часі, запобігаючи несправностям через прогнозоване обслуговування. Датчики виявляють зношеність деталей та автоматично сповіщають про необхідність їхньої заміни, зменшуючи простой та підвищуючи продуктивність. IoT автоматизує управління запасами, відстежуючи рівні матеріалів і забезпечуючи їхнє своєчасне поповнення. Дані аналізуються для прогнозування попиту та оптимізації закупівель. Це також дає змогу налаштовувати завдання під потреби клієнтів, покращуючи якість обслуговування.

Загалом IoT може значно змінити поліграфічне виробництво, підвищуючи ефективність, знижуючи витрати та покращуючи якість продукції. Це також відкриває нові бізнес-можливості. Наразі активно розробляють системи, що відповідають концепції Print 4.0, яка містить такі передові технології, як 3D-друк та цифровий друк. Однак здебільшого увага зосереджена на цих напрямках, тоді як розвиток розумного виробництва в контексті офсетного чи флексографічного друку залишається недостатньо вивченим.

У більшості друкарень, особливо в Україні, обладнання та системи поки що не повністю підготовлені для використання IoT, що створює виклик для галузі. Для повної цифрової трансформації необхідно інтегрувати розумні технології з наявним обладнанням. Прискорити цей процес допоможе вирішення ключових проблем:

1. Стандартизація інтерфейсів: різні типи інтерфейсів та протоколів зв'язку ускладнюють інтеграцію обладнання із системами IoT. Стандартизація може спростити цей процес [11].

2. Забезпечення кібербезпеки: перехід до цифрових технологій пов'язаний із ризиками. Для успішної інтеграції IoT необхідно розробити ефективні заходи забезпечення кібербезпеки.

3. Навчання персоналу: розумне виробництво вимагає нових навичок. Компанії мають інвестувати в навчання персоналу з питань IoT та цифрової технології.

4. Економічна доцільність: впровадження IoT може бути витратним. Важливо розробляти економічно обґрунтовані моделі впровадження.

Розв'язання цих проблем сприятиме ефективнішому впровадженню IoT в галузі друкарства, підвищить продуктивність, якість та конкурентоспроможність компаній у цьому секторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Digital Printing Market Size 2023 To 2032. Report 2023. Precedence Research. URL: <https://www.precedenceresearch.com/digital-printing-market> (дата звернення 20.02.2024).

2. IT security and data privacy. Heidelberg Cloud. Heidelberger Druckmaschinen AG. URL: https://www.heidelberg.com/global/en/software/heidelberg_customer_portal/heidelberg_cloud/heidelberg_cloud.jsp (дата звернення 22.02.2024).
3. Kapadiya Roma. IoT Technology: An Era of Smart Printing. 2022. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/iot-technology-era-smart-printing-saumya-nawab> (дата звернення 03.03.2024).
4. Küpper U. et al. Evaluation of the Process Performance in Wire EDM Based on an Online Process Monitoring System. *Procedia CIRP*. 2020. (95). 360–365. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.325>.
5. Meissner S. Internet of Things (IoT) in the printing industry. *International Circular of Graphic Education and Research*. 2021. No. 13. URL: https://www.internationalcircle.net/wp-content/uploads/2022/12/IC_Journal-No13-online-Meissner.pdf.
6. Psawat P., Apiwat M., Phisan K. An improvement of productivity by real time machine monitoring system: A case study of printing industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1163 (1). DOI:10.1088/1757-899X/1163/1/012002.
7. Santhosh N., Srinivsan M., Ragupathy K. Internet of Things IoT in smart manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 764 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/764/1/012025.
8. Streamline workflow for greater efficiency. Xerox Corporation. URL: <https://www.xerox.com/en-us/connectkey> (дата звернення 03.03.2024).
9. The Future of Print: How IoT is Transforming Printers and Copiers. 2024. Printers & Copiers. URL: <https://commercialcopierleasingsouthflorida.com/the-future-of-print-how-iot-is-transforming-printers-and-copiers/> (дата звернення 22.02.2024).
10. Villalba-Diez J et al. Deep Learning for Industrial Computer Vision Quality Control in the Printing Industry 4.0. *Sensors*. 2019. 19. 3987. URL: <https://doi.org/10.3390/s19183987>.
11. Пановик У. П. Стандартизація Інтернету речей: сучасний стан та перспективи розвитку. *Поліграфія і видавнича справа*. 2023. 1 (85). С. 51–64. doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-51-64.
12. Пановик У. П., Кутас С. А. Трансформація поліграфічної індустрії за допомогою цифровізації та Інтернету речей. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку* : тези доп. Всеукр. науково-практ. Інтернет-конф. Черкаси, 2024. С. 119–121.
13. Підвищте якість офісного друку за допомогою Fiery. Canon Ukraine. URL: <https://www.canon.ua/business/products/solutions/fiery-server/> (дата звернення 05.03.2024).

REFERENCES

1. Digital Printing Market Size 2023 To 2032. Report 2023. Precedence Research. Retrieved from <https://www.precedenceresearch.com/digital-printing-market> (in English).
2. IT security and data privacy. Heidelberg Cloud. Heidelberger Druckmaschinen AG. Retrieved from https://www.heidelberg.com/global/en/software/heidelberg_customer_portal/heidelberg_cloud/heidelberg_cloud.jsp (in English).
3. Kapadiya, Roma. (2022). IoT Technology: An Era of Smart Printing. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/iot-technology-era-smart-printing-saumya-nawab> (in English).

4. Küpper, U. et al. (2020). Evaluation of the Process Performance in Wire EDM Based on an Online Process Monitoring System. *Procedia CIRP*, (95), 360–365. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.325> (in English).
5. Meissner, S. (2021). Internet of Things (IoT) in the printing industry. *International Circular of Graphic Education and Research*, No. 13. Retrieved from https://www.internationalcircle.net/wp-content/uploads/2022/12/IC_Journal-No13-online-Meissner.pdf (in English).
6. Psawat, P., Apiwat, M., & Phisan, K. (2021). An improvement of productivity by real time machine monitoring system: A case study of printing industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1163 (1). DOI:10.1088/1757-899X/1163/1/012002 (in English).
7. Santhosh, N., Srinivsan, M., & Ragupathy, K. (2020). Internet of Things (IoT in smart manufacturing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 764 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/764/1/012025 (in English).
8. Streamline workflow for greater efficiency. Xerox Corporation. Retrieved from <https://www.xerox.com/en-us/connectkey> (in English).
9. The Future of Print: How IoT is Transforming Printers and Copiers. 2024. Printers & Copiers. Retrieved from <https://commercialcopierleasingsouthflorida.com/the-future-of-print-how-iot-is-transforming-printers-and-copiers/> (in English).
10. Villalba-Diez, J. et al (2019). Deep Learning for Industrial Computer Vision Quality Control in the Printing Industry 4.0.: Sensors, 19, 3987. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s19183987> (in English).
11. Panovyk, U. P. (2023). Standartyzatsiia Internetu rechei: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku: Polihrafiia i vydavnycha sprava, 1 (85), 51–64. doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-51-64 (in Ukrainian).
12. Panovyk, U. P., & Kutas, S. A. (2024). Transformatsiia polihrafichnoi industrii za dopomohoiu tsyfrovizatsii ta Internetu rechei: Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii u vyrobnytstvi ta osviti: stan, dosiahnennia, perspektyvy rozvytku : tezy dop. Vseukr. naukovo-prakt. Internet-konf. Cherkasy, 119–121 (in Ukrainian).
13. Pidvyshchte yakist ofisnoho druku za dopomohoiu Fiery. Canon Ukraine. Retrieved from <https://www.canon.ua/business/products/solutions/fiery-server/> (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2024-1-87-61-74

INTERNET OF THINGS FOR SMART PRINTING PRODUCTION

U. P. Panovyk, S. A. Kutas

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
ulianapanovuk@gmail.com*

Modern production industries are making significant investments in emerging technologies such as the Internet of Things (IoT), big data analytics, cloud computing, and

cybersecurity. These technologies form a network of interconnected devices, sensors, and software that monitor and optimize production processes. By leveraging these advancements, industries can effectively manage complex systems, enhance information visibility, improve production metrics, and gain competitive advantages in the global market. This progression is leading to a new era of smart production, characterized by cyber-physical systems that seamlessly integrate physical and virtual enterprises.

This article delves into the IoT technologies and systems that are driving innovation in smart production. It examines various IoT applications in smart factories, including predictive maintenance, asset tracking, inventory management, quality control, and production process monitoring. The proposed intelligent IoT system architecture consists of five levels: cyber-physical systems, network, software, modeling, and optimization. Each level has distinct functionalities and interacts with the others to ensure the efficiency and optimization of production processes. This architecture facilitates the systematic management and processing of large data volumes, providing flexibility and scalability within the production environment. Furthermore, the article analyzes the inevitable transformation of the printing industry through IoT. It highlights the value of IoT devices in industrial functions, operations, and implementations. The discussion identifies unresolved challenges for the complete transformation of the industry and suggests advanced methods for improving quality control and optimizing printing processes. By adopting these technologies, the printing industry can achieve significant advancements in efficiency, productivity, and overall process optimization.

In conclusion, IoT is not just a technology trend but a fundamental shift that is reshaping the production landscape. As industries continue to embrace IoT and related technologies, they unlock new potentials for innovation, efficiency, and competitiveness. The detailed examination of IoT applications and architectures in this article underscores the transformative impact of these technologies on modern production, paving the way for the future of smart, data-driven production environments.

Keywords: smart printing production, IoT, architecture, IoT technologies, communication protocols, IoT platforms, monitoring, cyber security.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2024.

Received 03.05.2024.