

DOI <https://doi.org/10.15407/usim.2020.02.030>  
УДК 007:330

**Н.В. МАЙДАНЮК**, аспірантка,  
Міжнародний науково-навчальний центр  
інформаційних технологій та систем НАН та МОН України,  
просп. Глушкова, 40, Київ 03187, Україна,  
[n.maydanyuk@ukr.net](mailto:n.maydanyuk@ukr.net)

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІоТ В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ "РОЗУМНОГО" ПІДПРИЄМСТВА

---

*Досліджено питання, пов'язані із застосуванням технологій Інтернету речей (ІоТ) для кіберфізичних систем і проаналізовано типи платформ ІоТ та їхнє застосування для «розумних» підприємств. Основою для введення промислового Інтернету речей на сучасному «розумному» підприємстві є платформи автоматизації. Найчастіше вони розробляються відповідно до вимог та інфраструктури кожного окремого підприємства – в такому разі їхню внутрішню структуру успішно зможуть оцінити лише місцеві спеціалісти – розробники.*

**Ключові слова:** Інтернет Речей, кіберфізичні системи, підприємство, промислові ІоТ, платформа, «розумні» підприємства, технології ІоТ.

### Вступ

Цифрові технології завойовують нові й нові позиції на глобальних ринках. Звичні підходи до керування виробництвом, розроблені продукти, проектування підприємств втрачають свою актуальність, стаючи неефективними. Щоб цей процес став організованішим, керованішим і, як наслідок, результативнішим, організується взаємодія в рамках ділової спільноти між державою, наукою та бізнесом. Дедалі більше компаній розробляють власні стратегії цифрового переходу, ІТ-компанії розширюють спектр готових рішень для виробників, формується середовище та інфраструктура для цифрової трансформації на промисловому і соціальному рівнях. Спіймати хвилю й не опинитися серед тих, кого вона лишає позаду, непросто, але ж від розуміння тенденцій, уміння оцінити їх і використати залежить здатність компанії працювати в нових ринкових умовах.

### Актуальність

На сьогодні Інтернет речей (*IoT, Internet of Things*) є однією з найдинамічніших технологій. У наших будинках, автомобілях та офісах підключені пристрої набувають нових можливостей, стають швидшими й ефективнішими. Використання «розумної» технології в нових продуктах стрімко зростає з кожним роком. Розвиваються інновації, створюються зовсім нові бізнес-моделі та послуги для нового покоління споживачів. Технологія *IoT* відкриває безпрецедентні можливості й для бізнесу, й для державного сектора. Тому застосування технологій *IoT* для кіберфізичних систем «розумного» підприємства є актуальним і потребує детальнішого дослідження.

### Огляд останніх публікацій

Питання «розумного» підприємства порушують у своїх працях чимало українських на-

уковців. Значний внесок у дослідження проблем «розумного» підприємства зробили Гриценко В.І., Тимашова Л.А., Цмоць І.Г., Скорохода О.В., Роман В.І., Теслюк Т.В., Машевська М.В., Теслюк В.М., Опотяк Ю. та інші [1–8].

Науковцями [1, 2] розглянуто нові підходи до керування підприємством за умов високої динаміки змін у виробничо-технологічних та ділових процесах цифрової економіки, результатом чого було запропоновано технологію створення «розумних» підприємств – виробничої інновації, заснованої на високому рівні знань про систему, високопродуктивних методах інтелектуалізації процесів керування та моделях образного мислення. Крім цього, запропоновано використання інтелектуальних сенсорних систем як технічної основи «розумного» підприємства цифрової економіки. Проте у згаданих працях не надано конкретних прикладів реалізації запропонованих рішень.

Про запропоновану архітектуру багаторівневої системи керування енергоефективністю регіону та систему керування енергоефективністю технологічних процесів на підприємстві йдеться у працях [3, 4], де також розглянуто структуру підприємства, яка відповідає критеріям «розумного» й передбачає рівень збору даних та керування виконавчими механізмами, що є основою моніторингу.

У працях [5–8] розглянуто сучасні мікроконтролери та мікроконтролерні системи, програмовані логічні контролери, сенсори, провідні та безпровідні засоби зв'язку, які можна використовувати для збору, накопичення та опрацювання даних. Згадані праці частково розкривають питання моніторингу технологічних процесів на підприємствах, проте в них мало уваги приділено питанням розробки системи моніторингу на основі готових апаратно-програмних компонентів.

Термін «Інтернет речей» (*IoT*) було запроваджено Кевіном Ештоном у 1999 році. Ештон запровадив цей термін, щоб проілюструвати можливості радіочастотної ідентифікації (*RFID*), яка використовується в корпоративних системах поставок, щоб порахувати й

відстежити товари без втручання людини [9]. *IoT* є результатом конвергенції бездротових технологій, мікроелектромеханічних систем, мікросервісів і Інтернету. Конвергенція допомогла зруйнувати переділki між операційною технологією та інформаційними технологіями, що дало змогу проаналізувати неструктуровані машинно-генеровані дані для отримання зрозумілих даних для підвищення ефективності. Екосистема *IoT* складається з інтелектуальних пристроїв із підтримкою Інтернету, які використовують вбудовані процесори, сенсори та комунікаційне обладнання для збору, передачі та дії даних, які вони отримують у своїх середовищах. Пристрої *IoT* використовують дані датчиків, які вони збирають, підключившись до шлюзу *IoT* або іншого пристрою, де дані або передаються до хмари для аналізу, або використовуються для локального аналізу. Пристрої виконують більшу частину роботи без втручання людини, хоча люди можуть взаємодіяти з пристроями – наприклад, щоб встановити їх, дати їм інструкції або отримати доступ до даних. Протоколи підключення мереж і комунікацій, що використовуються з цими пристроями за підтримки Інтернету, багато в чому залежать від конкретних розгорнутих додатків *IoT*.

Вивченням «розумних» підприємств займаються окремі наукові інституції, зокрема Штутгартський університет здійснює пошуки методологічних обґрунтувань такого явища, прикладні аспекти досліджує міжнародна консалтингова компанія *McKinsey*, у нашій країні перші кроки щодо впровадження та перспективи розвитку «розумної» промисловості вивчає громадська організація Рух «Індустрія 4.0 в Україні». Фактично науковці лише розпочали процес акумулювання знання щодо «розумних» підприємств, що є складником найбільш значущої на сьогодні концепції розвитку економіки та суспільства «Індустрія 4.0», яка була репрезентована широкому загалу на 46-му Всесвітньому економічному форумі в Давосі в січні 2016 р.

Що стосується аналізу інформаційних джерел платформ *IoT*, то слід зазначити, що

здебільшого аналіз публікацій розглядається компаніями-розробниками, а з погляду науки – науковцями й лише стосовно впровадженнь.

Тому виникає потреба розглядати питання застосування технологій *IoT* з використанням кіберфізичних систем – і для розумного підприємства, і для технічного обслуговуванням.

**Мета:** дослідження питань застосування технологій *IoT* для кіберфізичних систем «розумного» підприємства.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі задачі:

- розглянути технологічні складнощі у формуванні ІТ-систем «розумних» підприємств;
- визначити перелік завдань для *IoT*-платформ: збирання, оброблення, збереження.

### Виклад основного матеріалу

Велику роль у розвитку технологій для "розумного" підприємства відіграють компанії *Cisco, IBM, Huawei* і *Microsoft*. Вони просувають свої хмарні платформи, працюючи з великими замовниками «під ключ». *AT & T, Cisco, GE, IBM* і *Intel* створили консорціум, щоб розв'язати проблему сумісності протоколів і координувати «правила гри» загалом.

«Розумному» підприємству притаманні такі властивості [10]:

1. семантична мультимодальність, що підтримує подачу різної інформації, яка зустрічається у фабричному контексті. Наприклад: дерев-атрибутів, реляційних, сенсорних, табличних, графових і сутнісних даних;
2. багатомірність; інформація щодо кількох вимірів має бути представлена та зафіксована. Наприклад, опис бізнес-процесів і технологічних операцій, що виконуються на різних рівнях структури цифрового виробництва і під різними кутами зору, вивчення просторових ієрархій та активів з погляду географії, аналіз життєвого циклу обладнання та виробничих процесів;
3. мультигранулярність; необхідно передбачити подачі на різних рівнях деталізації:

доступ до даних із сенсорів та обладнання сприяє оцінці технологічного процесу й у разі необхідності надає можливість його регулювання та керування ним. Передбачається створення єдиної подачі експлуатаційних даних і майстер-даних з метою організації єдиного доступу до них, а також комплексне представлення всіх бізнес-одиноць компанії, включаючи їхні ієрархії та обов'язки;

4. простежуваність (прозорість) та інтеграція; сьогодні дані та інформація розподіляються між різними системами, такими, як система автоматизації виробництва, система контролю якості, система планування ресурсів підприємства тощо. Важливо об'єднати всю відповідну інформацію з цих систем, зберігаючи системний характер записів.

Найсерйозніші технологічні складнощі у формуванні ІТ-систем «розумних» підприємств пов'язані зі створенням єдиного середовища та роботою з досить розрізненими даними, які надходять від сенсорних мереж. Дослідники [3–8] «розумних» мереж говорять про таку концепцію, як «озера даних».

«Озера даних» – це елемент інфраструктури *Big Data*, сховище великого обсягу неструктурованих даних, генерованих або зібраних однією компанією чи державною установою. Дані в «озерах» зберігаються, як правило, в несистематизованій формі [11].

Стратегія системи технічного обслуговування та ремонту обладнання на підприємствах пройшла тривалий шлях від ремонту за фактом відмови до індивідуальних тактик, що ґрунтуються на комп'ютерних діагностичних системах. У сучасних умовах потрібно розвивати систему технічного обслуговування обладнання, враховуючи розвиток інформаційних технологій.

Нааявні варіанти систем технічного обслуговування та ремонту обладнання передбачають обслуговування та ремонти, що здійснюються профілактично або після відмови.

Для керування фізичними активами протягом усього їхнього життєвого циклу в межах

виробничих процесів використовуються такі методології керування:

1. *ERP (Enterprise Resource Planning*, планування ресурсів підприємства, ПРП) – організаційна стратегія інтеграції виробництва та операцій, керування трудовими ресурсами, фінансового менеджменту та керування активами, яка орієнтується на безперервне балансування та оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакету прикладного програмного забезпечення, що надає загальну модель даних і процесів для всіх сфер діяльності [12];

2. *BPM (Business Process Management*, керування бізнес-процесами, КБП) – концепція процесного керування організацією, яка розглядає бізнес-процеси як особливі ресурси підприємства, що безперервно адаптуються до постійних змін; головні принципи даної концепції – зрозумілість і прозорість бізнес-процесів. Досягається це за допомогою їх моделювання з використанням формальних нотацій, використання програмного забезпечення для симуляції, моніторингу, моделювання та аналізу бізнес-процесів, динамічної перебудови моделей бізнес-процесів силами персоналу та засобами програмних систем [13];

3. *RCM II (Reliability-Centered Maintenance II*, обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності обладнання, ОЗНО) – стратегія керування основними виробничими фондами (ОВФ), головним принципом якої є недопущення відхилення параметрів стану обладнання до значень, які призводять до порушення функціонування об'єкта або системи в конкретному виробничому оточенні.

Методологія *RCM* ґрунтується на концепції, згідно з якою метою обслуговування є не підтримка кожної одиниці обладнання в бездоганному стані, а забезпечення надійності критичних для діяльності підприємства виробничих і технологічних процесів.

4. *TPM (Total Productive Maintenance*, загальний догляд за обладнанням, ЗДО) – концепція керування виробничим обладнанням, націлена на підвищення ефективності технічного обслуговування.

Підхід *TPM* є елементом концепції ощадливого виробництва (*Lean Manufacturing*). Головна відмінна риса цієї концепції – постійне прагнення до усунення всіх видів втрат. Відповідно, метою впровадження *TPM* є усунення таких втрат:

- вихід обладнання з ладу;
- тривалий час переналагодження та юстирування;
- холостий (неробочий) хід і дрібні несправності;
- зниження швидкості роботи обладнання;
- випуск дефектних деталей;
- втрати під час введення обладнання в дію.

5. *Lean* (ощадливе виробництво) – концепція керування виробничим підприємством, яка заснована на постійному прагненні до усунення всіх видів втрат. Широко відомі такі системи ощадливого виробництва або їхні складові, як *5S*, *TQM*, *JIT*, *SMED*, *TPM* і інші. Ощадливе виробництво передбачає залучення до процесу оптимізації бізнесу кожного співробітника та максимальну орієнтацію на споживача [14].

Більшість виробничих процесів описується технологічними схемами, специфікаціями, тощо, які визначають чіткі норми витрат ресурсів і можуть бути описані простими моделями. Проте для окремих стадій виробничих процесів ці дані можуть мати нечітку природу або взагалі не можуть бути точно та достовірно визначені. У комплексі ці дії уможливають досягнення певної бізнес-мети підприємства: виготовлення кінцевої чи проміжної продукції, надання послуг тощо. Незалежно від типу виробничого процесу (основний, допоміжний, сервісний) та його кінцевої мети, кожна стадія виробничого процесу пов'язана з переходом предметів (об'єктів) праці з одного якісного стану в інший. Зміни станів предметів праці, необхідних для реалізації стадії виробничого процесу, можуть полягати у: перетворенні на інші ресурси (виготовлення продукції); витратах ресурсів (використання матеріалів у процесі експлуатації, обслуговування чи ремонту інших предметів праці); зміні характеристик ресурсів (наприклад, зношення облад-

нання в процесі експлуатації). Усі зміни станів ресурсів відбуваються на підставі інформації і/або документів, що визначають, як саме здійснюється певне перетворення.

«Індустрія 4.0» стане приводом значних змін у області програмного забезпечення для керування виробництвом. Однак через те, що функціональність традиційних *ERP* і *MES* залишається незамінною в керуванні виробництвом, малоімовірно, що одна система програмного забезпечення замінюватиме іншу. Вірогідніший сценарій – це велика конвергенція цих двох систем, через яку лінія, що розділяє корпоративне ІТ і виробниче ІТ, стає розмитою.

Цей сценарій відповідає суті міждисциплінарної інтеграції та різним етапам життєвого циклу продукту, передбаченим в «Індустрії 4.0» (наприклад, ідея, розробка, виробництво, обслуговування, поступова відмова). Системи програмного забезпечення, що використовуються в «Індустрії 4.0», мають розв'язувати нові завдання, наприклад, кореляцію даних внаслідок збільшення семантичної мережі, вивчення заяв і необхідності керувати більшими і складнішими обсягами даних.

В основі Інтернету речей лежать такі технології:

#### 1. Засоби ідентифікації

Кожен об'єкт фізичного світу, який бере участь в Інтернеті речей, нехай навіть не підключений до Мережі, все одно повинен мати унікальний ідентифікатор. Для автоматичної ідентифікації предметів можуть використовуватися різні вже наявні системи: радіочастотна, при використанні якої до кожного об'єкту прикріплюється радіочастотна мітка; оптична (штрих-коди, *Data Matrix*, *QR*-коди); інфрачервоні мітки тощо. Але для забезпечення унікальності ідентифікаторів різних типів доведеться їх стандартизувати.

#### 2. Засоби вимірювання

Завдання засобів вимірювання – забезпечити перетворення інформації про зовнішнє середовище на дані, придатні для передачі їх засобам обробки. Це можуть бути і окремі датчики температури, освітленості тощо, і

складні вимірювальні комплекси. Для досягнення автономності засобів вимірювання бажано забезпечити електроживлення датчиків за допомогою засобів альтернативної енергетики (сонячні батареї тощо), щоб не витратити час і кошти на підзарядку акумуляторів або заміну батарей.

#### 3. Засоби передачі даних

Для передачі даних може бути використана будь-яка з наявних технологій. У разі використання бездротових мереж особливу увагу приділяють підвищенню надійності передачі даних. При використанні дротових мереж активно використовують технологію передачі даних за допомогою ліній електропередач, оскільки багато «речей» (наприклад, торгові автомати, банкомати тощо) підключено до електромереж.

#### 4. Засоби обробки даних

Тридцять і більше мільярдів пристроїв, які, за прогнозами, буде підключено у 2020 році до Інтернету, згенерують 44 мільярди терабайт даних. Це приблизно в сім разів перевищує кількість оцифрованої інформації в усьому світі станом на 2010-ті роки. Тому в компанії *Microsoft* вважають, що головна частина Інтернету речей – це не датчики та засоби передачі даних, а хмарні системи, що забезпечують високу пропускну здатність і можуть швидко реагувати на певні ситуації (наприклад, вміти за показаннями датчиків з'ясувати, що в будинку вже п'ять хвилин нікого немає, а вхідні двері залишилися відчиненими). Допоможуть впоратися з величезними потоками інформації також туманні обчислення, які не конкуруватимуть із хмарними, а ефективно їх доповнюватимуть.

#### 5. Виконавчі пристрої

Це пристрої, здатні перетворювати цифрові електричні сигнали, що надходять від інформаційних мереж, на дії. Наприклад, для того, щоб через смартфон можна було увімкнути систему опалення в будинку, вона повинна мати відповідний пристрій. Виконавчі пристрої часто конструктивно поєднуються із сенсорами [15].

Впровадження кіберфізичних систем у виробництво породжує «розумні» підприємства. Продукція «розумного» підприємства, ресурси та процеси пов'язані з кіберфізичними системами й у такий спосіб забезпечують високу якість у режимі реального часу й економічні переваги в порівнянні з класичними системами виробництва. «Розумне» підприємство розроблено відповідно до стабільної й орієнтованої на сервіс практики. Цим підприємствам притаманні такі риси, як швидка адаптація, гнучкість, здатність до самоадаптації, вивчення характеристик, відмовостійкість і керовані ризики.

Високі рівні автоматизації входять в основу «розумного» підприємства: це стає можливим завдяки гнучкості кіберфізичних систем, заснованих на виробничих системах, які більшою мірою автоматично контролюють виробничий процес. Гнучкі виробничі системи, які здатні реагувати майже в режимі реального часу, уможливають граничну оптимізацію власних виробничих процесів. Виробничі переваги не обмежуються умовами тільки разового виробництва, а можуть бути оптимізовані відповідно до мережі та самоорганізованих виробничих одиниць, що належать кільком операторам.

Кіберфізичні системи (CPS) – це розумні системи, які включають інтерактивні інженерні мережі з фізичних та комунікаційних компонент. CPS і пов'язані з ними системи (включно з Інтернетом речей (IoT) та індустріальним Інтернетом (IIoT)) є загальноновизнаними інструментами; вони мають величезний потенціал впровадження, що створює шляхи реалізації інноваційних програм, які впливають на безліч секторів світової економіки. Серед цих секторів NIST (National Institute of Standards and Technology) вказує насамперед на промисловість, транспорт, енергетику та охорону здоров'я [16].

Найважливішими технічними передумовами появи кіберфізичних систем є:

- зростання кількості пристроїв із вбудованими процесорами та засобами зберігання даних;

- інтеграція, що уможливорює досягнення максимального ефекту завдяки об'єднанню окремих компонентів у великі системи;

- обмеження когнітивних здібностей людини, які еволюціонують повільніше, ніж машини, тож неодмінно настає момент, коли вони вже не в змозі впоратися з обсягом інформації, необхідної для ухвалення рішень [17].

Кіберфізичні системи (КФС) пов'язують усі елементи (підрозділи) підприємства на основі IoT-платформ, які будуть вибрані відповідно до потреб виробництва.

Це відображає виробничу революцію і з погляду інновацій, і з погляду витрат та економії часу, а також створює «висхідну» модель ціноутворення продукції, яка збільшує ринкові можливості. «Розумне» фабричне виробництво має безліч переваг порівняно зі звичайним виробництвом.

Повноцінною IoT-платформою слід вважати таку платформу, яка дає змогу розробляти відповідні додатки/рішення (IoT Application Enablement Platform).

Після аналізу наявних платформ, які називають «IoT-платформами», було виокремлено чотири базові типи платформи, проте вони не цілком підходять під класифікацію IoT Analytics:

- *Connectivity/M2M platforms*. Платформи у своїй роботі фокусуються на зв'язку розумних об'єктів через телекомунікаційні мережі, але рідко на обробці сигналів від сенсорів (приклад такої платформи: *Sierra Wireless* із продуктом *AirVantage*).

- *IaaS backends*. Інфраструктура-як-сервіс-сервери, що надають хостинг-простір та обчислювальні потужності для додатків і сервісів, раніше оптимізували для десктопів і мобільних додатків, але зараз у фокус потрапив і IoT (приклад – *IBM Bluemix*, але не *IBM IoT Foundation*).

- *Hardware-specific Software Platforms*. Деякі компанії, що продають розумні гаджети, створюють власний програмний бекенд і говорять про нього, як про IoT-платформу. Проте оскільки ця платформа має закритий для всіх інших



Рис. 1. Схема платформи *AWS IoT*

характер, правомірність такого найменування є сумнівною (наприклад, *Google Nest*).

▪ *Consumer/Enterprise Software Extensions*. Наявні пакети корпоративного програмного забезпечення та операційні системи типу *MS Windows 10* стають дедалі відкритішими для інтеграції *IoT*-пристроїв. Нині ця царина ще недостатньо розвинена, щоб називатися *IoT*-платформою, але має дуже перспективне майбутнє.

Основою для введення промислового Інтернету речей на сучасному «розумному» підприємстві є платформи автоматизації. Найчастіше вони розробляються відповідно до вимог та інфраструктури кожного окремого підприємства – в такому разі їхню внутрішню структуру успішно зможуть оцінити тільки місцеві спеціалісти-розробники. Однак є багато платформ загального призначення з можливістю адаптації під різні типи завдання. Царину створення платформ поділено між великими компаніями на ринку, найпопулярнішими серед них є *General Electrics*, *IBM*, *Intel*, *Jasper* та інші [18].

Доцільно позначити найважливіші вимоги до платформ:

1. Пристрої. Усі платформи мають не лише отримувати, а й надсилати команди на підключені до мережі пристрої.
2. Безпека. Обмін командами має бути зашифрований.
3. Зв'язок. Крім підключення до *Wi-Fi* або *Ethernet* платформи повинні мати підтримку

мобільного зв'язку або зв'язок на коротких ділянках (*Bluetooth*, *ZigBee* тощо).

4. Протоколи. Мати підтримку протоколів *HTTP*, *MQTT*, черги повідомлень.
5. Аналітика. Мати можливість аналізувати *Big Data* за допомогою спеціальних технологій, наприклад, *Apache Hadoop*, а також роботи з передбачення змін, що виникли на їхній основі.
6. Обробка подій. Можливість створити правила для роботи пристроїв.

Розгляньмо одну з популярних платформ.

### Платформа компанії Amazon.

Платформа називається *AWS (Amazon Web Services, Amazon Web – послуги) IoT*, була випущена в грудні 2015 року [19]. Її схему показано на рис. 1.

Платформа виконує підключення пристроїв до сервісів *AWS* та інших пристроїв, заявлено наявність безпеки даних і забезпечення безпеки взаємодії. Додатки можуть працювати з пристроями навіть без підключення до мережі Інтернет.

Платформу *AWS IoT* представляє (платформа надається) *SDK* для під'єднання апаратних пристроїв і мобільних додатків, у яких підтримуються обмін повідомленнями з платформою *AWS IoT* за протоколами *MQTT*, *HTTP* або *WebSockets*. Пакет *SDK* для пристроїв підтримує мови програмування *C*, *JavaScript* і *Arduino Sketch*, також наявні

клієнтські бібліотеки та керівництво для розробників.

Шлюз пристроїв підтримує обмін повідомленнями за допомогою моделі публікації та передплати, що забезпечують взаємодію за схемами «один-до-одного» та «один-до-багатьох», він автоматично масштабує зміст повідомлення.

Реєстр дає змогу ідентифікувати пристрій і відслідкувати повідомлення в метаданих – такі, як атрибути, параметри або характеристики.

Можливість створити так званого «близнюка» кожного пристрою – тобто його постійну віртуальну версію, яка міститиме останні актуальні дані про пристрій, дає додаткам або іншим пристроям змогу зчитувати повідомлення та взаємодіяти з даним пристроєм, навіть коли він не підключений до мережі.

Розпорядок правил уможливорює виконання дій із додатку IoT для зберігання, обробки й аналізу даних, які генеруються підключеними пристроями, глобально без необхідності керувати будь-якою інфраструктурою.

Однак платформи, які базуються на промисловому IoT: Amazon (AWS), General Electrics і Intel, не відштовхуються від формальних доказів коректності технологічних процесів, що є підставою для розробки платформ для кожного підприємства конкретно, враховуючи його потреби.

Питання застосування технологій IoT для кіберфізичних систем «розумного» підприємства є вкрай важливим сьогодні, оскільки стрімкий розвиток інформаційних технологій і зростання питомої ваги

операцій віддаленого технічного обслуговування в загальному обсязі підприємств зумовлює підвищення вимог щодо рівня технічного застосування для «розумного» підприємства.

Для уникнення технологічних складнощів у формування ІТ-систем «розумних» підприємств потрібно всі підрозділи підприємства звести в єдине цифрове поле для надання керівникам цілісного погляду на цифрове підприємство.

Основою для IoT-платформ є безпроводні сенсорні мережі, які забезпечують збір даних у реальному часі.

На підставі здійсненого аналізу технологій IoT і платформ планується розробка кіберфізичної системи для «розумного» підприємства з технічного обслуговування обладнання.

## Висновки

У статті здійснено аналіз застосування технологій IoT і платформи промислового IoT, який показав, що актуальність розглянутих питань зумовлено і тим фактом, що в Україні лише починають розглядатися та застосовуватися технології IoT в кіберфізичних системах «розумного» підприємства. Саме тому потрібно продовжувати дослідження в цьому напрямку й розробляти нові прогресивні IoT-платформи, які будуть ефективними на підприємствах. Згодом це буде взято за основу під час розробки системи для технічного обслуговування обладнання, яке може бути застосоване на «розумному» підприємстві

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гриценко В. И., Тимашова Л. А. «Умное предприятие» как базовый объект цифровой экономики. УСиМ. 2016. № 5. С. 54–66. doi: 10.15407/usim.2016.05.054.
2. Гриценко В. И., Тимашова Л. А. Интеллектуальные сенсорные системы – техническая основа «Умного предприятия» цифровой экономики. УСиМ. 2017. № 1. С. 23–24. doi:10.15407/usim.2017.01.019
3. Цмоць І. Г., Скорохода О. В., Роман В. І. Сховищаданих багаторівневих систем управління енергоефективністю. Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці. 2016, Вип 77. С. 192–197.



4. Цмоць І. Г., Теслюк Т. В., Машевська М. В., Теслюк В. М. Модель організації обміну та збереження даних у багаторівневих системах управління технологічними процесами. Науковий вісник Нац. лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. 2017. Т. 27, № 1. С. 197–202.
5. Теслюк Т., Цмоць І., Опотяк Ю., Теслюк В. Архітектура багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону. Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Львів, 2017. № 864. С. 201–209.
6. Цмоць І., Стрямець С. П., Зербіно Д. Д. Багаторівнева система управління технологічними процесами. Вісник Хмельницького нац. ун-ту, 2016. Технічні науки. С. 139–145.
7. Медиковський М. О., Цмоць І. Г., Цимбал Ю. В. Інформаційно-аналітична система для управління енергоефективністю підприємств Львова. Актуальні проблеми економіки: наук. екон. журнал. № 1(175) 2014. К., 2016. С. 379–384.
8. Teslyuk Taras, Tsmots Ivan, Teslyuk Vasyl, Medykovsky Mykola and Opotyak Yuriy. Architecture and Models for System-Level Computer-Aided Design of the Management System of Energy Efficiency of Technological Processes at the Enterprise. *Advances in Intelligent Systems and Computing II, Advances in Intelligent Systems and Computing* 689. Springer International Publishing AG 2018. pp. 538–557.
9. Howling Pixel. Інтернет речей [Електронний ресурс]/Howling Pixel. Інтернет речей [Online]. Available: [https://howlingpixel.com/i-uk/Інтернет\\_речей](https://howlingpixel.com/i-uk/Інтернет_речей) [Accessed 18 Sept. 2019].
10. Что такое умная фабрика? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://postnauka.ru/faq/80111> [Accessed 20 Aug. 2019].
11. Что такое «озера данных» и почему они должны быть чистыми? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aboutdata.ru/2017/06/01/data-lakes/> [Accessed 20 Aug. 2019].
12. О'Лири, Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация/Д. О'Лири; пер. с английского Ю. И. Водяновой. М.: ООО «Вершина», 2004. 272 с.
13. Основа для цифровой трансформации бизнеса. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comindware.com/ru/> [Accessed 28 Aug. 2019].
14. Антоненко, И. Н. ЕАМ-система TRIM: от автоматизации ТООР к управлению активами/И. Н Антоненко. Автоматизация в промышленности. 2015. №1. С. 40–43.
15. Digital Transformation Business [Online]. Available: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/internet-veshej-internet-of-things-iot> [Accessed 15 Oct. 2019].
16. В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Синягов. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики. *International Journal of Open Information Technologies* ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 2, 2016. С. 18–25.
17. Грищенко В.И., Бажан Л.И., Ершова О.Л. Киберфизическая система – распределенная система интеллектуального управления. УСИМ. 2019. № 2. С. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2019.02.003>.
18. M&S Consulting. Industrial Internet of Things Platform Comparison. April 4, 2017. [Online]. Available: <https://www.mandsconsulting.com/industrial-iiotplatform-comparison/> [Accessed 18 Sept. 2019].
19. Amazon Web Services, Inc. AWS IoT – Amazon Web Services. December 2015. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/ru/iiot/> [Accessed 18 Sept. 2019].

Надійшла 23.09.2019

## REFERENCES

1. *Gritsenko, V.I., Timashova, L.A.*, 2016. “Smart Enterprise” as a Basic Object of the Digital Economy”. *Control Systems and Computers*, 5, pp. 54-66 (In Russian), doi: 10.15407/usim.2016.05.054.
2. *Gritsenko, V.I., Timashova, L.A.*, 2017. “The Internet of Things in the Structure of the Clever Enterprise”. *Control Systems and Computers*, 1, pp.19-25 (In Russian), doi:10.15407/usim.2017.01.019
3. *Tsmots, I.H., Skorokhoda, O.V., Roman, V.I.*, 2016. “Skhovyshcha danykh bahatorivnyykh system upravlinnia enerhoefektyvnistiu”, Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii: zb. nauk. prats Instytutu problem modeliuvannia v enerhetysti, 77, pp. 192–197.
4. *Tsmots, I.H., Tesliuk, T.V., Mashevska, M.V., Tesliuk, V.M.* Model orhanizatsii obminu ta zberezhenia danykh u bahatorivnyykh systemakh upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy, Naukovyi visnyk Nats. lisotekh. un-tu Ukrainy: zb. nauk.-tekhn. prats, Lviv: RVV NLTU Ukrainy, 2017, V. 27, No 1, P. 197–202.
5. *Tesliuk, T., Tsmots, I., Opotyak, Yu., Tesliuk, V.* Arkhitektura bahatorivnevoi systemy upravlinnia enerhoefektyvnistiu rehionu, Visnyk Nats. un-tu “Lvivska politekhnika” “Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii”, Lviv, 2017, 864, pp. 201–209.

6. Tsmots, I.H., Stryamets, S.P., Zerbino, D.D., 2016. “Bahatorivneva systema upravlinnya tekhnolohichnymy protsesamy”, Visnyk Khmelnytskoho nats. un-tu, Tekhnichni nauky, pp. 139–145. (in Ukrainian).
7. Medykovskyy, O., Tsmots, I.H., Tsybal, Yu.V., 2016. “Informatsiyno-analitychna systema dlya upravlinnya enerhoefektyvnisty pidpryyemstv Lvova”, Aktualni problemy ekonomiky : nauk. ekon. zhurnal, 2014, 1 (175), Kyiv, pp. 379–384. (In Ukrainian).
8. Teslyuk, I., Tsmots I.T., Teslyuk, V., Medykovskyy, M., Opotyak, Y., 2018. “Architecture and Models for System-Level Computer-Aided Design of the Management System of Energy Efficiency of Technological Processes at the Enterprise”, Advances in Intelligent Systems and Computing II, CSIT 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer International Publishing AG, 689, pp. 538–557. DOI: 1007/978-3-319-70581-1\_38.
9. *Howling Pixel*. Internet rechey. [online] Available at: <[https://howlingpixel.com/i-uk/Internet\\_rechey](https://howlingpixel.com/i-uk/Internet_rechey)> [Accessed 18 Sept. 2019]. (in Ukrainian).
10. *Chto takoye umnaya fabrika?* [online] Available at: <<https://postnauka.ru/faq/80111>> [Accessed 20 Aug. 2019]. (in Russian).
11. *Chto takoye “ozera dannnykh” i pochemu oni dolzhny byt chistymi?* [online] Available at: <<https://aboutdata.ru/2017/06/01/data-lakes/>> [Accessed 20 Aug. 2019]. (in Russian).
12. O’Liri, D., 2004. ERP sistemy. Sovremennoye planirovaniye i upravleniye resursami predpriyatiya. Vychor, vnedreniye, ekspluatatsiya / per. s angl. Yu. I. Vodyanovoy, OOO “Vershina”, Moskva, 272 p. (in Russian).
13. *Osnova dlya tsifrovoy transformatsii biznesa*. [online] Available at: <<https://www.comindware.com/ru/>> [Accessed 20 Aug. 2019]. (in Russian).
14. Antonenko, I.N., 2016. “EAM-sistema TRIM: ot avtomatizatsii TOiR k upravleniyu aktivami. Avtomatizatsiya v promyshlennosti”, 1, pp. 40–43. (in Russian).
15. *Digital Transformation Business*. [online] Available at: <<https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot>> [Accessed 15 Oct. 2019].
16. Kupriyanovskiy, V.P., Namiot, D.Ye., Sinyagov, S.A., 2016. “Kiber-fizicheskiye sistemy kak osnova tsifrovoy ekonomiki”, International Journal of Open Information Technologies, 4 (2), pp. 18–25. (in Russian).
17. Gritsenko, V.I., Bazhan, L.I., Yershova, O.L., 2019. “Kiberfizicheskaya sistema – raspredelennaya sistema intellektualnogo upravleniya”, Control Systems and Computers, 2, pp. 3–15. DOI: 10.15407/usim.2019.02.003. (in Russian).
18. *M&S Consulting*. Industrial Internet of Things Platform Comparison. 2017. [online] Available at: <<https://www.mandsconsulting.com/industrial-iiotplatform-comparison/>> [Accessed 18 Sept. 2019].
19. *Amazon Web Services, Inc.* AWS IoT – Amazon Web Services, 2015. [online] Available at: <<https://aws.amazon.com/ru/iiot/>> [Accessed 18 Sept. 2019].

Received 23.09.2019

N.V. Maidaniuk, PhD student,  
Department virtual systems, International Research and Training Centre  
of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine,  
Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine,  
n.maidanyuk@ukr.net

#### APPLICATION OF IOT TECHNOLOGIES FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS OF A SENSIBLE ENTERPRISE

**Introduction.** In the issues connected with the use of Internet of Things (IoT) technologies for cyber-physical systems and analyzes the types of IoT platforms and their application to “smart” enterprises.

Today, the Internet of Things (IoT) is one of the fastest growing industries. The use of “smart” technology in new products is growing rapidly every year. Innovation is being developed and brand new business models and services are being created for the next generation of consumers. IoT technology offers unprecedented business and public sector opportunities. Therefore, the use of IoT technologies for cyber-physical systems of a “smart” enterprise is relevant and needs more investigation.

**Purpose:** show how the application of IoT technologies to cyber-physical systems accelerates the development and transition to “smart” enterprises.

**Methods:** the methodology for the application of IoT technologies for cyber-physical systems of “smart” enterprise is considered. The types of platforms and basic principles for building “smart” enterprises are considered and the concept of “Data Lake” for “smart” enterprise is considered.

**Results.** IoT platforms and the feasibility of using management methodologies for a smart enterprise are discussed. The basis for the introduction of the industrial Internet of things in the modern “smart” enterprise is platform automation. Often they are developed in accordance with the requirements and infrastructure of each enterprise – in this case their internal structure can successfully evaluate only local professionals – developers.

**Conclusion.** The rapid development of information technology and the increasing share of remote maintenance operations in the total volume of enterprises causes an increase in requirements for the level of technical application for a “smart” enterprise due to the use of IoT technologies for cyber-physical systems of a “smart” enterprise.

The relevance of these issues is also due to the fact that in Ukraine are just beginning to consider and apply IoT technologies for cyber-physical systems of a smart enterprise. It is therefore necessary to continue research in this area and develop new advanced IoT platform that will be effective for enterprises.

**Keywords:** *Internet of Things, cyber-physical systems, enterprise, industrial IoT, platform, «smart» enterprise, technology IoT.*

Н.В. Майданюк, аспирант,  
Международный научно-учебный центр  
информационных технологий и систем НАН и МОН Украины,  
просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,  
n.maydanyuk@ukr.net

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ *IoT* В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ «УМНОГО» ПРЕДПРИЯТИЯ

**Введение.** В работе исследованы вопросы, связанные с применением технологий Интернета вещей (*IoT*) для киберфизических систем и проанализированы типы платформ *IoT*, и их применение для «умных» предприятий.

На сегодняшний день Интернет вещей (*IoT, Internet of Things*) – одна из наиболее быстро развивающихся отраслей. Использование «умных» технологий в производстве новых продуктов стремительно растет с каждым годом. Развиваются инновации и создаются абсолютно новые бизнес-модели и услуги для нового поколения потребителей. Технология *IoT* открывает беспрецедентные возможности в разных сферах деятельности, как в государственных, так и в коммерческих структурах. Поэтому применение технологий *IoT* для киберфизических систем «умного» предприятия является актуальным и требует более детального исследования.

**Цель статьи** – показать, как применение технологий *IoT* для киберфизических систем ускоряет развитие и переход к «умным» предприятиям.

**Методы:** рассмотрена методология применения технологий *IoT* для киберфизических систем «умного» предприятия. Также рассмотрены типы платформ и основные принципы построения «умных» предприятий и рассмотрена концепция «озеро данных» для «умного» предприятия.

**Результат.** Рассмотрены платформы *IoT* и целесообразность использования методологий управления для «умного» предприятия. Основой для ввода промышленного Интернета вещей на современном «умном» предприятии является платформы автоматизации. Чаще всего они разрабатываются в соответствии с требованиями и инфраструктурой каждого отдельного предприятия – в таком случае их внутреннюю структуру успешно смогут оценить только местные специалисты-разработчики.

**Вывод.** Развитие информационных технологий и рост удельного веса операций удаленного технического обслуживания в общем объеме предприятий приводит к повышению требований по уровню технического применения для «умного» предприятия. Это обусловлено применением технологий *IoT* для киберфизических систем «умного» предприятия.

Актуальность рассматриваемых вопросов обусловлена и тем фактом, что в Украине только начинают рассматриваться и применяться технологии *IoT* для киберфизических систем умного предприятия. Именно поэтому нужно продолжать исследования в этом направлении и разрабатывать новые прогрессивные *IoT*-платформы, которые сделают предприятия эффективными.

**Ключевые слова:** *Интернет Вещей, киберфизические системы, предприятие, промышленные IoT, платформа, технологии IoT, «умные» предприятия.*