

DOI <https://doi.org/10.15407/usim.2019.04.014>
УДК 007:330.341

В.Ю. МЕЙТУС, д-р фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник, в.о. зав. відділом, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ 03187, Україна, vmeitus@gmail.com

Г.І. МОРОЗОВА, головний інженер-програміст, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна, der190@irtc.org.ua

Л.Ю. ТАРАН, головний інженер-програміст, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна, der190@irtc.org.ua

В.П. КОЗЛОВА, науковий співробітник, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна, der190@irtc.org.ua

Н.В. МАЙДАНЮК, молодший науковий співробітник, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна, n.maydanyuk@ukr.net

КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ ЯК ОСНОВА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ «РОЗУМНИХ» ПІДПРИЄМСТВ

Розглянуто склад і структуру кіберфізичних систем, які є інформаційною основою «розумних» підприємств. Визначено області застосування кіберфізичних систем і їх завдання як інформаційної складової «розумного» підприємства, запропонована схема переходу до реалізації інтелектуальних можливостей в керуванні підприємством.

Ключові слова: «розумне» підприємство, кіберфізична система, інформаційна модель, інтелектуалізація.

Вступ

Розвиток сучасного промислового виробництва напряму пов'язаний зі зростанням його автоматизації, яка досягається за рахунок модернізації технологій, тісно поєднаних з процесами, які визначаються цифровою економікою. З цього погляду автоматизація та розвиток технологічних процесів одночасно передбачають удосконалення і системи керування, і всіх процесів забезпечення, які підтримують виробництво: економіки, логістики,

постачання, ресурсного розвитку, маркетингу, що інтегруються у виробничі комплекси підприємств майбутнього.

У цих умовах змінюється і ставлення до системи керування, що отримало потужну підтримку за рахунок цифрової інформації, яка представляє виробничі та економічні процеси. Така інформація стає більш детальною, точніше відображає процеси, які виконуються на підприємстві, і дозволяє використовувати у керуванні реальні моделі виробництва. Якщо

раніше людина була основним і незамінним елементом системи керування, то зростання обсягів інформації, яка отримується від виробництва, знижує роль людини як елемента системи керування. Людина не в змозі обробити та використати цю інформацію.

В епоху цифрової економіки виникають загальні вимоги до виконання процесів, пов'язаних з виробничими системами: необхідно, щоб всі елементи системи тривалий час виконували свої функції, одночасно контролюючи хід роботи і виправляючи можливі неполадки, самостійно вирішували виникаючі проблеми, оптимізували можливі варіанти рішень, що приймаються. На перших етапах створення систем ці функції, хоча і не завжди успішно, виконувала людина. Але вже ясно, що обмежені фізіологічні можливості людини не дозволяють їй результативно вирішувати проблеми забезпечення надійності та працездатності сучасних складних систем. Катастрофи на атомних станціях, вибухи на підводних човнах, пожежі та аварії на підприємствах, загибель людей в аваріях — всі ці випадки зумовлюють необхідність переходу до використання систем нового типу, більш надійних і «розумних», здатних з успіхом замінити людину в складних і часто непередбачуваних умовах. Як підвищити надійність та ефективність складних виробничих систем?

Ця окрема проблема стала актуальною в останні роки. Для неї характерні особливості, з одного боку є підвищена складність сучасних систем, а з другого, можливість застосування новітніх технічних та обчислювальних засобів аналізу в реальному часі складних ситуацій, що часто виникають під час виконання роботи будь-якими системами. Ці засоби отримали назву кіберфізичних систем (КФС). І метою цієї статті є розгляд сучасного стану теорії та практики створення КФС, їх роль у сучасній цифровій економіці та напрямки розвитку.

Місце кіберфізичних систем у ієрархії сучасного виробництва

В епоху *Industry 2.0* і *3.0* машинобудівне виробництво було побудовано на основі застосу-

вання різних станків, якими керувала людина. Групи станків об'єднувалися в цехи і заводи. Функції контролю та керування в цій системі виконували люди.

З кінця ХХ століття ситуація почала змінюватися. З'явилися нові технічні засоби: комп'ютери, мережі комп'ютерів, Інтернет, мобільні пристрої, які почали удосконалювати вже сформовану систему керування за рахунок переходу до безпаперової інформатики, використання математичних методів керування та оптимізації, появи станків з ЧПК та гнучких виробництв. Одночасно в промисловості стали впроваджуватись роботи та нові технологічні рішення (ЧПК у вигляді 3D-принтерів), а опис і результати процесів, що виконувались на підприємстві, отримали цифрове подання. Для керування використовувались різні автоматизовані та інтегровані системи (АСКП, АСК ТП, ІАСК), які розглядались як кібернетичне доповнення до існуючого виробництва.

Але з початку ХХІ століття ситуація змінилася. В організації сучасного виробництва відбувся якісний стрибок. Від обробки інформації, яка збирається під час виконання виробничих процесів, система керування переходить до інформації, зібраної в процесі виконання операцій на окремих об'єктах — верстаті, роботі, транспортному пристрої. Причому інформація характеризує і сам об'єкт, включаючи стан його окремих частин, і відповідність його дій технологічним вимогам, що визначають процес обробки деталі, і можливість продовження виробничого процесу після обробки деталі на об'єкті. Ця інформація надходить без затримки до пристрою обробки з використанням безпроводної мережі промислового Інтернету речей (IoT — Internet of Things). Інформація накопичується в базі даних і доступна для обробки і аналізу різним користувачам.

Тим самим створюється новий шар технічного, взаємопов'язаного через мережі, обладнання (датчики та різні контролери), яке разом з відповідним програмним забезпеченням є базою КФС. А взаємодія окремих компонентів КФС у складі єдиної виробничої лінії здійснюється на основі схеми (технології) M2M та

S2S (*Machine-to-Machine i Systems-to-Systems*) відповідно [1].

КФС стає основою при створенні «розумних» підприємств, забезпечуючи інформаційну підтримку процесів керування.

«**Розумне**» підприємство (РП) — це підприємство цифрової економіки, яке має необхідне обладнання, використовує КФС і інтелектуальне керування для автоматичного виконання виробничих процесів, підтримки працездатності та оптимізації життєвого циклу підприємства. РП є верхнім рівнем ієрархії технічних рішень: від вихідних об'єктів через КФС до РП. А КФС у цій ієрархії є основою формування інформаційної структури РП.

Загальний погляд на кіберфізичні системи

Національний інститут стандартів та технологій США (*NIST*) надав таке визначення КФС: «Кіберфізичні системи можуть бути описані як розумні системи, які включають обчислювальні (тобто апаратні та програмні) і фізичні компоненти, інтегровані та щільно взаємодіючі між собою, щоб відображати змінний стан реального світу. Ці системи високого ступеню складності сполучені у багаточисельних просторових та часових масштабах, а також пов'язані мережею, яка об'єднує обчислювальні та фізичні компоненти» [2].

Іншими словами, КФС є важливою складовою довільного виробництва. Вона дозволяє контролювати як технічні (фізичні) компоненти, так і поточні характеристики процесу, що виконується, його ресурси, елементи забезпечення і надає можливість спрямованої зміни виробничого процесу, включаючи можливі відхилення від заданих умов. Використовуючи КФС, можна не тільки керувати безпосереднім ходом виробничого, технологічного, організаційного процесів, але й одночасно передбачити їх подальший розвиток в умовах існуючих ситуацій і ризиків, визначати необхідне в цьому випадку керування, забезпечувати своєчасне виправлення та коригування можливих порушень до того, як вони виникли в реальності

та зупинили сам процес або викликали його суттєві зміни.

Історично американський інститут стандартів *NIST* спочатку виділив такі напрямки використання КФС [2]:

- Виробництво: «розумне» виробництво та «розумне» виробниче обладнання, процеси, автоматизація, керування та мережеві структури.
- Транспорт: «розумні» транспортні засоби і керування рухом, «розумне» забезпечення організації.
- Інфраструктура: «розумні» електричні мережі та «розумні» будинки.
- Охорона здоров'я: підтримка здоров'я людини та «розумні» допоміжні системи.
- Аварійне реагування: системи виявлення та спостереження, мережі зв'язку і обладнання для аварійного реагування.
- Оборона: «розумні» системи технічного оснащення військовослужбовців, «розумні» системи озброєння та військового керування, «розумна» логістика.

Однак вже перші застосування КФС показали, що за цим підходом сховано великі можливості, тісно пов'язані з сучасною цифровою економікою. Введення неперервного керування в сучасні системи дозволяє принципово по-іншому реалізувати основні функції складних економічних процесів. Реакція на зовнішнє середовище безпосередньо вбудовується у процес, що виконується, підвищуючи його загальний якісний рівень, створюючи єдиний алгоритм, в якому виконання фізичних дій тісно пов'язано зі збереженням умов цього виконання у зовнішньому змінному середовищі. Тому застосування КФС стало стрімко розширюватися. З одного боку, до створення та використання цих систем підключаються нові країни — не тільки розвинуті європейські гранди, такі як Німеччина, Британія, Швейцарія, але й технічні гіганти сучасного світу Китай, Індія і Південна Корея.

З іншого боку, КФС розповсюджуються на нові області застосування — напрямки, які безпосередньо пов'язують з технологією КФС. Це:

- «розумні» структури, які забезпечують існування людей в технічно розвинутому суспільстві: «розумні» будинки, вулиці, райони, міста;

- системи організаційного керування від розподілених організаційних структур до «електронного» уряду;

- системи, пов'язані з великими і диверсифікованими промислово-обслуговуючими комплексами, наприклад, аеропортами [3, 4];

- мережева енергетика, яка дозволяє зменшити збитки і витрати, пов'язані з розподілом і використанням енергетичних складових сучасного світу;

- промислове використання систем як основи успішного керування, що визначає ефективність цифрової економіки в умовах змінюваних технологій та потреб споживачів.

Наприклад, уже зараз, як стверджують іспанські дослідники, існує ієрархія «розумних» міст, яку очолює Лондон, потім Нью-Йорк, Амстердам, Париж, Рейк'явік [5].

Що ж представляє собою КФС, які її основні властивості та можливості?

Кіберфізичні системи

Теорії КФС присвячено багато робіт та досліджень, в яких системи розглядаються під різними кутами зору. Сучасний стан та можливий подальший розвиток теорії КФС подано в роботі [6]. Наведемо декілька підходів, включаючи визначення КФС (роботи [7–13]), які обумовлюють роль КФС в умовах побудови сучасних складних систем, в основу яких покладено електронне обладнання, мережі та обчислювальні елементи.

КФС — це «система наступного покоління, що вимагає тісної інтеграції обчислювальних, комунікаційних і керуючих технологій для досягнення стабільності, продуктивності, надійності, і ефективності при роботі з фізичними системами багатьох областей застосування».

Одночасно, КФС — це нова дисципліна, яка включає в себе інженерні обчислювальні і комунікаційні системи, які взаємодіють з фізичним світом. Але широке застосування КФС зіштовхується з величезними проблемами через відсутність теоретичних основ їх побудови.

КФС — інтеграція обчислень з фізичними процесами. Вбудовані комп'ютери і мере-

жі контролюють фізичні процеси, зазвичай за допомогою контурів зворотного зв'язку, де фізичні процеси впливають на обчислення і навпаки.

КФС — це міждисциплінарні системи для управління зворотним зв'язком в широко поширених вбудованих обчислювальних системах шляхом поєднання обчислювальних, комунікаційних і керуючих технологій. Це трансформація та інтеграція існуючих мережевих і традиційних вбудованих систем. Завдяки інтеграції КФС можуть здійснювати в реальному часі безпечно, надійно і динамічно взаємодію з фізичними системами, представленими вбудованими системами.

Теорії створення КФС за останні 20 років присвячено багато робіт, з яких в статті наведено тільки невелику кількість. Як приклад наводимо роботу [12], де спочатку надані поняття і характеристики КФС включаючи аналіз поточної ситуації досліджень КФС. А потім обговорюється шлях розробки КФС з точки зору моделі системи, технології обробки інформації і створення програмного забезпечення.

Існують різні варіанти визначення та формування КФС, які у кожному випадку залежать від напрямку використання цієї системи. Але водночас основні принципи побудови залишаються стабільними, хоча з часом відбуваються деякі структурні зміни, в основному пов'язані зі зміною технологій, які реалізовані на економічному об'єкті з КФС. Розглянемо, насамперед, внутрішню структуру КФС.

Архітектура кіберфізичних систем

Основні архітектурні компоненти тим чи іншим чином присутні у кожній КФС версії 1.0 (КФС 1.0). Надалі розглядається КФС саме цієї версії, якщо додатково не вказано, що розглядається інша.

Перша компонента КФС — фізична — це та частина системи, яка включає об'єкти, інформацію про які збирає КФС. Наприклад, у випадку КФС, пов'язаної з виробництвом, це можуть бути верстати, преси, інструменти, конвейєри, 3D-принтери, різні роботи, виробниче

та транспортне обладнання разом з їх забезпеченням, яке застосовується при обслуговуванні виробничих, логістичних та допоміжних процесів в ході створення продукту на підприємстві.

Інші фізичні об'єкти розглядаються при створенні КФС для «розумного» будинку. До них відноситься все обладнання будинку, пов'язане з його обслуговуванням: годинники, сантехніка, кухонне обладнання, домашні роботи, засоби чистки та прибирання будинку, вода та електроприлади, включаючи телевізори, комп'ютери, смартфони, сонячні батареї або інші засоби доставки енергетичних ресурсів.

Суттєво складнішою виявляється фізична компонента КФС, яка відповідає виробничому комплексу типу «розумного» міста або крупного аеропорту з різноманітною постійною і перемінною структурами, нестабільного зовнішнього середовища, яке змінюється залежно від пори року, погоди, природного розташування. Загальний підхід до створення першої компоненти КФС зазвичай полягає у використанні архітектурних принципів, аналогічних тим, на основі яких при застосуванні інтелекту будується предметна область [14].

При побудові КФС до першої компоненти віднесемо і персонал, який виконує відповідні процеси. І перед тим, як переходити до наступних компонент КФС, підкреслимо, що перша компонента більш-менш стандартна, але саме вона виступає фізичним базисом системи і від того, як буде реалізована ця компонента на підприємстві, багато в чому залежить загальний успіх використання КФС надалі.

Друга компонента КФС — кібертехнічна — це кібернетична частина системи, яка дозволяє перебудувати принципи керування системою, долучивши надходження інформації та керування у кожний складовий об'єкт. Ця область включає безліч датчиків та сенсорів, мікроконтролерів різного виду і форм застосування, які для кожного об'єкта структури КФС збирають інформацію про стан цього об'єкта, характер його взаємодії з іншими об'єктами, можливості виконання об'єктом функцій, для реалізації яких він був включений до КФС.

Припускається, що датчики (та інші аналогічні пристрої в КФС) є «розумними» датчиками. Ця властивість передбачає, що датчик не тільки збирає інформацію в місці свого знаходження, але й аналізує її і оцінює, формуючи характеристику цієї інформації, пов'язану з місцем знаходження відповідного об'єкта та датчика в процесі (організаційному, технологічному, виробничому), що виконується системою. Така розподілена обробка підвищує можливості та рівень використання цифрової інформації.

Принциповою особливістю кіберкомпоненти КФС є те, що датчики, сенсори, контролери, які входять в цю область, не тільки самі обробляють зчитану інформацію, але й одночасно об'єднуються обчислювальною мережею в єдину цілісну структуру. Ця мережа також є частиною кіберкомпоненти КФС, і в сукупності з датчиками виступає основою побудови інформаційної системи, що відображає робочий процес та його ресурсне, технічне, організаційне забезпечення. Крім того, в кіберкомпоненту КФС включаються комп'ютери, контролери та програмне забезпечення, які обробляють і розподіляють інформацію, отриману від датчиків і сенсорів у режимі реального часу, трансформуючись в інформаційну модель відповідного процесу.

Таке архітектурне вирішення дозволяє створити із кіберкомпоненти і зв'язаної з нею інформаційної моделі новий тип неперервної системи керування, яка у реальному часі не тільки перевіряє правильність виконання передбачених процесів, але й підтримує в заданому робочому стані весь механізм отримання відповідного продукту. Особливістю такої моделі керування є те, що вона відстежує задане виконання процесу, яке визначає отримання продукту або послуги.

Одночасно така система перевіряє можливість виконання процесу. Дійсно, зміни, наприклад, виробничого процесу, можливі не тільки в силу порушення технології виконання операцій виконавцями, але й тому, що обладнання, яке використовується, технічно не може здійснити необхідну технологічну операцію.

Наприклад, двигун станка не дає потрібних обертів, або зламано різець токарного станка: зробити те, що людина відслідковує і легко виконує — зупинить станок, замінить різець або заточить свердло — сама система керування не завжди може вирішити самостійно. В ній повинна бути передбачена така можливість і повинно існувати обладнання, яке здійснює таку операцію без людини. Якщо верстатник може сам заточити зламаний різець, то в автоматичній системі такий різець повинен бути на складі або в комірці, а система керування повинна його зажадати і отримати.

Одночасно інформаційна система застосовується для аналізу стану обладнання та підтримки його працездатності. Нарівні з аналізом технологічних процесів, що забезпечують виробництво, КФС інформаційно підтримує життєздатність підприємства, на якому вона встановлена, своєчасно попереджує про необхідність ремонту та відновлення обладнання, можливих поломок і збоїв при виконанні основних процесів на підприємстві, пов'язаних з продуктом, що випускається.

Третя компонента КФС — програмна — визначається програмним забезпеченням для зберігання, обробки та аналізу тієї інформації, яка збирається від мереж, датчиків, сенсорів, контролерів та інших пристроїв, які входять до другої компоненти. Передусім, обсяг цієї інформації надзвичайно великий, оскільки в КФС дуже багато технічних пристроїв і, крім того, вони надають дані, розгорнуті у часі. Одночасно накопичуються проміжні дані, отримані після переробки вихідних даних, які надходять із кіберкомпоненти КФС.

Оскільки в основу діяльності КФС покладено постійну обробку та аналіз великих обсягів даних, зазвичай на рівні обробки цих даних будується кластерна система організації обчислювального середовища (кластери), а сам процес обробки орієнтовано на одночасну паралельну роботу великої кількості окремих обчислювальних складових, які організовані у кластер, та готують рішення, зводячи дані індивідуальних розрахунків у загальну картину, що визначає поточний стан підприємства.

Така програмна система включає не тільки засоби обробки самих даних, але й спеціальну розподілену базу даних і систему керування цими даними (планування завдань і керування кластером). В програмну систему додається також своя мова програмування завдань.

Прикладом системи, на якій може реалізуватися КФС, виступає система *Hadoop* з відповідними програмними підсистемами [15]. На цей час *Hadoop* розглядається як універсальне рішення організації та виконання розподіленої обробки даних. Більш того, саме використання технології *Hadoop* постійно розвивається, створюються інтегровані аналітичні платформи, які полегшують роботу з *Hadoop*, наприклад, *Hunk* фірми *Splunk*. Більш того, існує цілий ряд компаній, які будують свою роботу на розширенні аналітичної взаємодії з платформою *Hadoop* (*Cloudera*, *MapR*, *Hortonworks*, *Datameer*, *Karmasphere*).

Виникають проблеми: не тільки де зберігати всі ці дані, але й як організувати їх обробку в реальному часі, і у який спосіб обробляти велетенські масиви інформації? Як ефективно скористатись вилученими масивами цих даних для поліпшення спільної роботи? Як зробити так, щоб доступ до даних і результатів їх переробки був у реальному часі забезпечений для чисельних користувачів КФС?

Вже існують окремі рішення, пов'язані з цими проблемами. Насамперед, активно розробляється окрема область технологій з обробки великих масивів інформації, що отримала назву *Big Data*. Зокрема *NIST* випустив низку стандартів, які відносяться до цієї технології [16, 17].

Загальні підходи до технологій *Big Data* можна знайти у роботі [18] і в списку робіт, наведених в [18], випущених видавництвом *Wiley*.

Для зберігання та організації доступу до даних, зібраних КФС, і відповідних баз даних, у які ці дані організовано, пропонується використовувати хмарні технології, що розширюють можливі обсяги інформації, яка використовується, спрощують доступ для різних користувачів, прискорюють обробку користувачами системи великих масивів.

Насамкінець, існує ще одна, відносно перспективна **четверта компонента КФС — аналітична**, в основу якої покладено аналітику — алгоритми та методи обробки інформації, які збираються «розумними» датчиками КФС. КФС збирає набагато більше інформації, ніж це, безпосередньо, необхідно для керування виробничими процесами. Не кажучи вже про те, що існує додаткова інформація, пов'язана з маркетинговими, технологічними рішеннями та рішеннями користувачів. Ця інформація дозволяє суттєво розширити представлення про предметну область, яке закладається в інформаційну систему. А сама система керування КФС може додатково перейти до застосування операційної аналітики Френкса [19] з усіма перевагами, що витікають із її застосування.

Всі розглянуті компоненти КФС об'єднуються разом єдиною системою керування, яка організовує взаємодію між областями. Ця система забезпечує:

- задане функціонування складових елементів кожної компоненти і взаємодію в цілому;
- інформаційний та керівний зв'язок між різними компонентами КФС;
- необхідні керівні дії у випадку відхилень від заданого процесу, що виникають при виконанні робіт;
- аналіз функціонування КФС;
- розподілену обробку інформації, що створюється у кожній компоненті КФС.

Загальна схема КФС версії 1.0 представлена на рис.1 (обведено товстою рамкою).

Версія 1.0 може бути розширена до КФС версії 1.1 за рахунок додавання до системи спеціального блоку інтелектуального аналізу і керування (інтелектуальної області). На рис.1 цей блок винесено окремо від КФС (1.0). Саме використання цього блоку визначає інтелектуалізацію КФС та її розвиток. Іншими словами, до кожної складової області КФС додаються алгоритми, які дозволяють змінювати та переналаштовувати цю область в залежності від умов зовнішнього середовища, що змінюється, та внутрішніх проблем, пов'язаних з роботою КФС. У звичайних умовах це робить людина або група людей, яким доручено керівництво

та виконання робіт у організації, для якої створено КФС.

Інтелектуальна область кіберфізичних систем

Сукупність тих задач, які повинна вирішувати КФС, тісно пов'язані з задачами, які відносяться до інтелектуальних. Тому природно припустити, що КФС повинна бути поповнена окремою компонентою, яку будемо називати надалі інтелектуальною областю КФС. Додавання до цієї області розширює першу версію КФС 1.0 до версії КФС 1.1.

У версії КФС 1.0 система виконує основні завдання, на які вона була розрахована при своєму створенні. Ці завдання допускають можливі відхилення, які зв'язані з ризиками функціонування системи, можливими збоями та порушеннями виконання основних процесів. Але в цілому можна вважати, що і самі режими роботи КФС, і можливі відхилення від правил були передбачені та запрограмовані виробниками системи — вони входять як складова в версію 1.0. Об'єкти та можливі варіанти перетворень складають предметну область, в рамках якої існує інтелект нульового рівня [14]. Цей інтелект дозволяє КФС вибирати потрібний порядок дій, що якраз і складають задачі, які вирішує КФС.

Водночас, інколи, зустрічаються випадки, коли виникають кардинальні зміни оточуючого середовища. Наприклад, змінився склад можливих ресурсів, шляхи та країни їх поставки, виявились зміни в технології обробки виробу. Або у конкурентів з'явилися нові технології виробництва продукту. Або закуповуються нові роботи, які потрібно використовувати на виробництві. Сама КФС достатньо дорога, щоб замінити її повністю або починати суттєві переробки. Тому бажано, щоб система мала можливість аналізувати ситуацію, що склалась, моделювати її зміни і приймати необхідні рішення, які б відповідали цим змінам. А це означає, що вже на цьому рівні КФС може бути наділена інтелектом більш високого рівня, спроможним забезпечити роботу КФС у

змінних умовах. Використання цього інтелекту дозволяє вирішити задачі, що виникли, без суттєвої переробки КФС.

Якщо з самого початку перед КФС була поставлена задача ефективної роботи в умовах можливих змін (які проаналізовано та оцінено під час розробки КФС), то тепер задача розширюється. Інтелектуальна область КФС постійно аналізує та моделює оточуючі умови виробництва. На основі нової моделі предметної області вибираються оптимальні рішення, які включаються в систему керування як частина поведінки КФС.

Для цього необхідний деякий процес «навчання» системи, який виконується за участю людини. Або методи рішення можуть бути закладені в КФС при розробці її інтелектуальної області. Іншими словами, в КФС включається інтелект рівня 1, який орієнтований на перетворення вихідної моделі предметної області та доповнений інтелектом людини, щоб уникнути процесу навчання системи. Інтелектуальна область взаємодіє з аналітичною компонентою КФС. Вона включає методи та алгоритми, які дозволяють КФС аналізувати і враховувати ситуації, пов'язані з роботою виробництва (організації) в цілому.

Алгоритм інтелектуалізації кіберфізичних систем

Розглянемо наступний алгоритм збору та використання інформації, необхідний для підвищення інтелекту КФС в процесі її роботи. Для створення цього алгоритму залучено схему, запропоновану в роботі [14]. Для цього, в першу чергу, необхідно, щоб до КФС підключались датчики, які дозволили б програмній області створити уявлення про ситуації, що можуть виникнути. Це уявлення може бути описано у вигляді набору деяких базових елементів і пов'язаних з ними ознак, які визначають образ ситуації.

Так, для механоскладального цеху базовими елементами є станки різного виду, роботи, 3D-принтери, транспортні засоби, портативні крани і інше обладнання, яке забезпечує вико-



Рис. 1. Загальна схема КФС версії 1.0

нання окремих технологічних операцій в цеху та їх об'єднання в єдиний технологічний процес виготовлення деталей і вузлів продукту, що випускається. При цьому передбачається, що роботи виконують всі операції з налаштування та керівництва обладнанням. Але роботи не ремонтують обладнання, оскільки вони тільки частина технологічної підтримки основного процесу виробництва.

Датчики і контролери, які фіксують виконання окремих операцій, спостерігають за справністю обладнання і збереженням режимів роботи, зберігають параметрів окремих операцій і всього процесу в цілому. Датчики забезпечують моніторинг та діагностику операцій, що виконуються, відслідковують можливі похибки та порушення роботи, які можуть привести до зниження якості цих операцій. Сумарно датчики та сенсори дозволять відстежити використання та завантаження обладнання, час сумарних операцій, стан і необхідність ремонту, необхідність технічного обслуговування, стан критично важливого обладнання, необхідного при виконанні виробничого процесу. Припускаються такі ситуації:

- Стан стабільний — всі показники обладнання, що працює, знаходяться у заданих та передбачених межах.

▪ Можливі відхилення — окремі показники наближаються до своїх меж.

▪ Порушення — відмова окремого обладнання.

▪ Помилкові показники — обладнання працює, але датчики КФС показують відхилення.

Кожна ситуація включає в себе набір інформації, яку отримують від існуючих датчиків, включаючи інтервал можливих змін значень датчиків. Причому одна і та ж ситуація може задаватися власним інтервалом значень. Для кожного об'єкта інформація включає: статус об'єкта, стан вузлів і забезпечення, стан самих датчиків, перевірку стану внутрішньої та зовнішньої мережі передачі сигналів, стан обладнання, яке безпосередньо обслуговує об'єкт. Дані про ситуації зберігаються протягом всього технологічного процесу і використовуються при різних варіантах аналізу забезпечення цеху [20].

Для опису ситуації розробляється своя онтологія, у рамках якої визначається набір знань про можливі ситуації. Підкреслимо, що не будеться універсальна система. Вважаємо, що задано вихідний набір ситуацій, в яких можливі зміни завдань, в усякому разі, за своїми ознаками. Тим самим виключається процес навчання, в рамках якого звичайно набуваються знання про предметну область.

Надалі визначається множина задач, які задаються переходами від ситуацій, що склалися, до ситуацій, які бажані для КФС. Вирішення цих задач, як складова інтелекту, визначається методами, що були закладені до інтелектуальної області при розробці інтелекту. Причому інтелект є розподіленим, тому що він зачіпає різні об'єкти, із яких складається підприємство. Таким чином, вирішення кожної задачі може бути використано для реформатування роботи КФС у ситуації, що змінилася.

«Розумне» підприємство та інтелектуалізація

КФС є важливою складовою, яка визначає новий підхід до створення РП. Як охарактеризувати цей тип підприємств? Вище розглядалось визначення РП. Можливі й інші визначення. РП — «це гнучка система автоматизації з

розподіленим інтелектом промислової автоматизації, яка обумовлює в комплексі ефективне функціонування та життєзабезпечення підприємства» [21]. Або РП — «це підприємство цифрової економіки, засноване на універсальному застосуванні методів, обладнання, технологій КФС та застосуванні інтелектуального керування для забезпечення автоматичного виконання «розумних» технологічних процесів підприємства, підтримки його оптимальної життєздатності та працездатності» [22].

Виходячи з останнього визначення, відзначимо, що включення КФС до діяльності РП, є необхідною умовою його існування, оскільки тільки в цьому випадку існує можливість доповнити роботу РП інтелектом, який є необхідною складовою пристосування підприємства до оточуючого середовища, і тим самим автоматично виконувати більшу частину виробничих процесів. До того ж система керування за рахунок розподіленого інтелекту може оптимізувати процеси, що виконуються на підприємстві, вибрати виробничу стратегію, яка максимально ефективно використовує виробничі можливості підприємства.

На підприємстві інтелектуальна система керування всередині підприємства повинна відстежувати зміни бізнес-процесів, заміни застарілого і необхідність в новому обладнанні для виконання робіт, зміни технологій, стану індивідуальних виконавців, забезпечення виконання бізнес-процесів. У зовнішньому середовищі відстежуються тенденції та ситуації, пов'язані з забезпеченням процесів, що виконуються на підприємстві, зміни в глобальному економічному просторі, поява новітніх технологій, матеріалів, потреби в продуктах, що випускаються, або мають потенційну можливість бути випущеними на підприємстві. КФС збирає і на нижньому рівні обробляє інформацію, забезпечуючи потенційну можливість для створення інтелектуальної системи керування.

Висновки

Запропоновано загальну схему використання можливостей КФС, які є складовою і важливою

частиною «розумного» підприємства. КФС дозволяє до найменших деталей відстежувати виробничі процеси, які виконуються на підприємстві, причому не тільки сам процес, але й складові, що його супроводжують: логістичні, ресурсні та забезпечуючі. Таким чином, саме існування КФС виступає системостворюючим інформаційним фактором, який підтримує на-

дійність та оптимальність процесів, що виконуються на підприємстві.

Крім того, КФС збирає інформацію, якою можна скористатися для інтелектуалізації виробничих процесів, переходячи тим самим від звичайного до «розумного» підприємства, і якісно нової форми виробництва, характерної для ери цифрової економіки, що наступила.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Gurjanov A.V., Zakoldaev D.A., Shukalov A.V., Zharinov I.O., Kostishin M.O.* Industry 4.0 digital production organization based on cyber and physical systems and ontologies. Scientific and Technical J. of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2018. Vol. 18, N 2. pp. 268–277 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-2-268-277.
2. Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems. Workshop Report, Energetics Incorporated Columbia, Maryland. 2013.
3. Airport with us, Everything lands where it belongs too – Airfreight, Baggage, in-board catering and Yourself. SICK Sensor Intelligence, 2015.
4. *Arthur D.* Little. Digital Transformation on Airport Economics, 2015.
5. Электронный ресурс: <https://www.epravda.com.ua/news/2019/07/14/649642/>
6. *Летичевский А.А., Летичевский А.А. мл., Скобелев В.Г., Волков В.А.* Киберфизические системы. Кибернетика и системный анализ. 2017. Т.53, №6. С. 3–19.
7. *Bradley J.M., Atkins E.M.* Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems. Sensors (Basel). 2015. Sep. 15(9). P. 23020–23049.
8. *Lee E.A.* Cyber Physical Systems: Design Challenges. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.156.1012&rep=rep1&type=pdf>.
9. *Song Z., Chen Y.Q., Sastry C.R., Tas N.C.* Optimal Observation for Cyber-Physical Systems: A Fisher-Information-Matrix-Based Approach. London: Springer-Verlag, 2009.
10. *Rajkumar R.* A cyber-physical future, Proc. IEEE, vol.100, no.Special Centennial Issue, pp.1309–1312, May, 2012.
11. *Tricaud C., Chen Y.Q.* Optimal mobile actuator/sensor network motion strategy for parameter estimation in a class of cyber physical systems, in Proc.2009 American Control Conf., St.Louis, MO, 2009, pp.367–372.
12. *Yang Liu, Yu Peng, Bailing Wang, Sirui Yao, Zihe Liu.* Review on Cyber-physical Systems. IEEE/CAA J. of Automatica Sinica, 2017,4(1). P. 27–40.
13. *Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А.* Кибер-физические системы как основа цифровой экономики. Int. J. of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4, N 2. С.18–25. ISSN: 2307-8162.
14. *Мейтус В.Ю.* Проблемы построения интеллектуальных систем. Уровни интеллекта. Кибернетика и системный анализ. 2018. №4. С. 32–44.
15. *Урсатьев А.А.* Некоторые программные среды аналитики больших данных и машинного обучения. УСиМ. 2016. № 5. С. 62–75.
16. NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions Final Version 1. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-1>.
17. DRAFT NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 2, Big Data Taxonomies. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-2>.
18. *Dean J.* Big Data, Data Mining, and Machine Learning: Value Creation for Business Leaders and Practitioners. Wiley, Copyright © 2014 by SAS Institute Inc.
19. *Franks B.* The Analytics Revolution: How to Improve Your Business By Making Analytics Operational In The Big Data Era. Wiley, Hoboken, NJ. 2014. 304 p.
20. *Кулагин М., Волков И.* Промышленный интернет на практике. Удаленная диагностика станков с ЧПУ с помощью технологии Winnum. controlengrussia.com/internet=veshhej/winum-iot/.
21. *Гриценко В.И., Тимашова Л.А.* «Умное» предприятие как базовый объект цифровой экономики. УСиМ. 2016. № 5. С.54–61.
22. *Гриценко В.И., Мейтус В.Ю.* «Умное» предприятие — внешний концептуальный подход (в печати).

Надійшла 18.08.2019

REFERENCES

1. Gurjanov, A.V., Zakoldaev, D.A., Shukalov, A.V., Zharinov, I.O., Kostishin, M.O., 2018. "Industry 4.0 digital production organization based on cyber and physical systems and ontologies". Scientific and Technical J. of Information Technologies, Mechanics and Optics, 18 (2), pp. 268–277 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-2-268-277.
2. Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems. Workshop Report , Energetics Incorporated Columbia, Maryland, 2013, 60 p.
3. Airport with us, Everything lands where it belongs too – Airfreight, Baggage, in-board catering and Yourself. SICK Sensor Intelligence, 2015.
4. Arthur, D., 2015. Little. Digital Transformation on Airport Economics.
5. Elektronnyy resurs. [online] Available at: <<https://www.epravda.com.ua/news/2019/07/14/649642/>> [Accessed 17 Jan. 2019]. (In Russian).
6. Letichevskiy, A.A., Letichevskiy, A.A. ml., Skobelev, V.G., Volkov, V.A., 2017. "Kiberfizicheskiye sistemy". Kibernetika i sistemnyy analiz, 53 (6), pp. 3 –19. (In Russian).
7. Bradley, J.M., Atkins, E.M., 2015. "Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems". Sensors (Basel), 15(9), pp. 23020–23049.
8. Lee, E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. [online] Available at: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.156.1012&rep=rep1&type=pdf>> [Accessed 20 Jan. 2019], doi= 10.1.1.156.1012&rep=rep1 &type=pdf.
9. Song, Z., Chen, Y.Q., Sastry, C.R., Tas, N.C., 2009. Optimal Observation for Cyber-Physical Systems: A Fisher-Information-Matrix-Based Approach. London: Springer-Verlag, 171 p.
10. Rajkumar, R., 2012. "A cyber-physical future", Proc.IEIEEE, Special Centennial Issue, 4 (1), pp.1309–1312.
11. Tricaud, C., Chen, Q., 2009. "Optimal mobile actuator/sensor network motion strategy for parameter estimation in a class of cyber physical systems", Proc. American Control Conf., St.Louis, MO, pp.367–372.
12. Liu, Ya., Peng, Yu, Wang, B., Yao, S., Liu, Z., 2017. Review on Cyber-physical Systems. IEEE/CAA J. of Automatica Sinica, 4(1), pp. 27–40.
13. Kupriyanovskiy, V.P., Namiot, D.Ye., Sinyagov, S.A., 2016. "Kiber-fizicheskiye sistemy kak osnova tsifrovoy ekonomiki". Int. J. of Open Information Technologies, 4 (2), pp.18–25. (In Russian).
14. Meytus, V.Yu., 2018. "Problemy postroyeniya intellektual'nykh sistem. Urovni intellekta". Kibernetika i sistemnyy analiz, 4, pp. 32–44. (In Russian).
15. Oursatyev, A.A., 2016. "Some Frameworks for Big Data Analytics and Machine Learning". Upr. sist. ma ., 5, pp. 62–75. (In Russian).
16. NIST Big Data Interoperability Framework: V. 1, Definitions Final Version 1. [online] Available at: <<http://dx.doi.org/10.6028/SP.1500-1>> [Accessed 5 Apr. 2019].
17. DRAFT NIST Big Data Interoperability Framework: V. 2, Big Data Taxonomies. [online] Available at: <<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-2>> [Accessed 5 Apr. 2019].
18. Dean, J., 2014. Big Data, Data Mining, and Machine Learning: Value Creation for Business Leaders and Practitioners. Wiley, 2014 by SAS Institute Inc.
19. Franks, B., 2014. The Analytics Revolution: How to Improve Your Business By Making Analytics Operational In The Big Data Era. Wiley, Hoboken, NJ, 304 p.
20. Kulagin, M., Volkov, I. Promyshlennyy internet na praktike. Udalennaya diagnostika stankov s CHPU s pomoshch'yu tekhnologii WInnum. [online] Available at: <https://controlengrussia.com/internet-veshhej/winum_iiot/> [Accessed 15 Apr. 2019], (In Russian).
21. Gritsenko, V.I., Timashova, L.A., 2016. ""Smart Enterprise" as a Basic Object of the Digital Economy, Upr. sist. ma ., pp. 54-61. (In Russian).
22. Gritsenko, V.I., Meytus, V.Yu., 2018. "Umnoye" predpriyatiye — vneshniy kontseptual'nyy podkhod, (in print) (In Russian).

Received 18.08.2019

V. Yu. Meytus, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Researcher Associate, head of the department, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine, vmeitus@gmail.com

A. I. Morozova, chief engineer-programmer, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine, dep190@irtc.org.ua

L. Yu. Taran, chief engineer-programmer, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine, dep190@irtc.org.ua

V. P. Kozlova, Research Associate, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine, dep190@irtc.org.ua

N. V. Maidaniuk, Junior Research, 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.maydanyuk@ukr.net

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS AS THE BASIS FOR THE INTELLECTUALIZATION OF «SMART» ENTERPRISES

Introduction. The work is devoted to the composition, structure and content of cyber-physical systems, which are the information basis of “smart” enterprises.

Purpose. The purpose of the work is to detail the use, presentation and role of cyber-physical systems, and based on such systems to consider the transition to the intellectual capabilities of the enterprise.

Method. The research method is based on the structuring of the main functions performed by the cyber-physical system. The concept of a “smart” enterprise is considered, proceeding from the possibility of constructing intelligent algorithms using the information model.

Results. Areas of application of cyber-physical systems and their tasks as an information component of a “smart” enterprise are determined, a scheme of transitions to the implementation of intellectual capabilities in enterprise management is proposed.

Conclusion. Cyber-physical systems are the basis for building an enterprise information model. In the future, this model is used to improve management and the transition to algorithms associated with human intellectual abilities.

Keywords: «smart» enterprise, cyber-physical systems, information model, intellectualization.

В.Ю. Мейтус, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, и.о. зав. отделом
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН
и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
vmeitus@gmail.com

А.И. Морозова, главный инженер-программист,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН
и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
dep190@irtc.org.ua

Л.Ю. Таран, главный инженер-программист,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН
и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
dep190@irtc.org.ua

В.П. Козлова, научный сотрудник,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН
и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
dep190@irtc.org.ua

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

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК ОСНОВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ «УМНЫХ» ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение. Статья посвящена рассмотрению состава, структуры и содержания киберфизических систем, которые являются информационной основой «умных» предприятий.

Цель работы – детализировать использование, представление и роль киберфизических систем, и на основе таких систем рассмотреть переход к интеллектуальным возможностям предприятия.

Метод исследования основан на структуризации основных функций, выполняемых киберфизической системой. Рассмотрено представление об «умном» предприятии, исходя из возможности построения интеллектуальных алгоритмов на основе информационной модели.

Результаты. Определены области применения киберфизических систем и их задачи как информационной составляющей «умного» предприятия, предложена схема переходы к реализации интеллектуальных возможностей в управлении предприятием.

Выводы. Киберфизические системы являются основой для построения информационной модели предприятия. В дальнейшем эта модель применяется для совершенствования управления и перехода к алгоритмам, ассоциируемым с интеллектуальными возможностями человека.

Ключевые слова: «умное» предприятие, киберфизическая система, информационная модель, интеллектуализация.