

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

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЧИМИ СИСТЕМАМИ

Робота присвячена проблемі побудови інтелектуальних систем керування виробництвом. Такі системи дозволяють організувати сучасне ефективне виробництво без безпосередньої участі людини в його управлінні. На прикладі механічного цеху машинобудівного підприємства подано схему використання алгоритму, на підставі якого можна побудувати інтелектуальну систему керування виробництвом. Така система створюється на основі визначення інтелекту та алгоритму інтелектуального моделювання.

***Ключові слова:** інтелект, інтелектуальне моделювання, інтелектуальна система керування, предметна область, кіберфізична система.*

Вступ

Проблеми використання інтелектуальних систем як основного напрямку обробки інформації в цифровій економіці є визначальним фактором розвитку сучасного економічного суспільства. Поведінка економічних структур формується в середовищі, створеному людиною у вигляді правил, норм, структур та угод, які діють в фізичному світі. Це середовище передбачає необхідність безпосередньої участі людини при взаємодії між елементами середовища й економічними об'єктами. У разі технічного ускладнення середовища і підвищення вимог до організації, рівня та якості виконуваних робіт відбувається перехід від ситуації, при якій людина була одним із елементів виробничої системи, до технічних розв'язань проблем керування. Новий рівень визначається заміною людини технічними пристроями, що виконують дії, які раніше були характерні тільки для людини. Поступово здійснюється трансформація до комп'ютерних інтелектуальних систем, які, моделюючи поведінку людини, самостійно діють у навколишньому середови-

щі (предметній області) й розв'язують у ній на цифровому рівні потрібні завдання.

При цьому перехід до цифрового подання інформації, характерний для цифрової економіки, став технічною базою для розробки інтелектуальних систем та їхніх складових. Ці системи, засновані на використанні інтелекту при визначенні їхньої поведінки, можуть застосовуватися в будь-якій пов'язаній з економікою області для розв'язання проблем, що раніше було під силу тільки людям.

До таких проблем належить сукупність питань, що стосуються керування виробництвом, особливо в контексті переходу до «розумних» підприємств, що передбачає максимальне скорочення участі людини та використання робототехніки, кіберфізичних систем й автоматизації у виробничих процесах.

Запропонована робота присвячена дослідженню основних питань, пов'язаних із новим підходом до побудови інтелектуальних систем і серед них — інтелектуальної системи керування виробництвом (ІСК). Цей підхід полягає в тому, що спочатку дається визначення інтелек-

ту. Потім на підставі цього визначення створюється схема розробки системи керування, основна поведінка та риси якої дають можливість називати її інтелектуальною.

Інтелект і його застосування до процесів керування

Є різні підходи до побудови систем, які можна розглядати як інтелектуальні [1–4]. Переважно розглядаються два варіанти. Перший засновано на використанні поняття штучного інтелекту, пов'язаного з діяльністю, яку виконувала тільки людина. Це були задачі аналізу ситуацій, розпізнавання образів, ігри в шашки та шахи, навчання та самонавчання, переклад з природної мови та інші, характерною рисою яких доти була обов'язкова участь людини, оскільки задачі мали творчий характер та складний або ж невідомий алгоритм пошуку розв'язку. Штучний інтелект і зараз використовується для успішного розв'язання складних задач, особливо в умовах застосування великих комп'ютерів та доволі довгого попереднього навчання створеної системи на конкретних прикладах розв'язаних задач.

Але можливим є й інший підхід до побудови інтелектуальних систем, при якому спочатку дається визначення інтелекту як певної якості, якою повинна володіти інтелектуальна система, а вже потім розробляється система, наділена цією якістю. Такий варіант видається природнішим, хоча й припускає, що надане визначення має бути адекватним тому, що люди розуміють як інтелект. Таке визначення має бути достатньо широким і водночас воно має уможливити побудову систем, які можна було би характеризувати як інтелектуальні з погляду людини.

Інтелект — це властивість суб'єкта або системи, що розглядаються як інтелектуальні, та може бути визначений так: «Під інтелектом суб'єкта розуміється властивість, що дозволяє суб'єкту моделювати предметну область, яку він сприймає і з якою взаємодіє, для того, щоб на рівні побудованої моделі успішно розв'язувати

завдання, які можуть бути поставлені перед суб'єктом у цій області» [5, 6].

Зазначмо насамперед, що інтелект — це якість, властивість, якою володіє певний суб'єкт або ж система, пов'язані із заданою предметною областю. Під предметною областю (ПрО) розуміється частина реального світу, в якому перебуває, яку сприймає та в якій розв'язує задачі інтелектуальний суб'єкт. Тобто інтелект пов'язаний та проявляється стосовно певної ПрО, яку він моделює.

Дуже часто залежно від того, якою є ПрО про суб'єкт, що діє в цій області, говорять, що він є літератором, фізиком, математиком, біологом, хіміком, архітектором, художником, військовим, медиком, політиком тощо. Завдання моделювання ПрО пов'язується з однією зі складових інтелекту — інтелектуальним моделюванням. При цьому суттєво, що побудована модель ПрО багато в чому визначає можливість розв'язання завдань, сформульованих у цій моделі, оскільки вважається, що інтелект здатен розв'язувати тільки ті задачі, які можуть бути поставлені в цій ПрО та які відображені в моделі. А побудована ним модель адекватно подає цю область. Сама модель створюється як сукупність знань про ПрО та її елементи — структуру ПрО, її об'єкти та зв'язки між ними. Знання про кожен елемент ПрО подається у вигляді набору з чотирьох компонент: {атрибутив елемента, його логічного опису, зв'язків між елементом та іншими сутностями ПрО, онтологічного подання елемента} [5].

Розробка методів інтелектуального моделювання становить окрему проблему в напрямку побудови інтелекту для даної ПрО [6]. Це не просте завдання, оскільки треба визначити як математичну форму подання структури ПрО, так і обрати логіку, яку буде закладено в модель. Нагадаймо, що навіть створення людством моделі сонячної системи пройшло довгий шлях від системи Птолемея через гео-геліоцентричну систему до системи Коперника.

Зв'язок з ПрО передбачає, що суб'єкт взаємодіє з областю в рамках певного контексту, який задає цю область та є відомим суб'єкту. Під контекстом розуміється сукупність по-

нять, форм, образів, залежностей, відносин, ситуацій, що описують ПрО та її елементи, і сприймаються суб'єктом.

Згідно з визначенням інтелекту, суб'єкт сприймає ПрО або на рівні своїх почуттів — бачить, чує, відчуває, або за допомогою технічних засобів — мікроскопів, телескопів, технічних приладів, або описово, на рівні пов'язаних понять, які формують контекст, наприклад, математик вивчає нескінченну множину, багатовимірні простори, операції у функціональних просторах, топологічні конструкції, алгебраїчні категорії.

При розгляді систем керування виробництвом ПрО складається зі структур та їх складових, якими потрібно керувати, плюс безліч можливих операцій між цими об'єктами. Операції використовуються при побудові керуючих впливів. ПрО може бути фірма, організація, завод, цех, інститут, міністерство. Якщо розглядається завод, то відповідна йому ПрО сприймається як множина структурних елементів, що визначають економічний об'єкт, який сьогодні має назву підприємства. Це — відділи, бюро, цехи, служби та інші підрозділи разом з поєднуючими їх відносинами та залежностями. Іноді розглядається ширше уявлення про ПрО на рівні зовнішнього і внутрішнього середовища підприємства [7]. Відзначимо, що можливі й інші варіанти побудови моделі ПрО. Але розглянутий варіант є перехідним між сучасною структурою, в якій прийняте керування трансформується в інтелектуальне, та можливістю створення іншої, більш продуктивної моделі.

Система керування підприємством подається у вигляді ієрархічної структури, компонентами якої є системи керування окремими підрозділами. Ця структура разом зі зв'язками та операціями в ній якраз і визначає ПрО, яка моделюється, під час побудови ІСК. Основна функція цієї системи керування — це інтелектуальне керування. В основі побудови ІСК лежить припущення про можливість керування підприємством без участі людини як необхідного компонента системи керування. Крім того, можна припустити, що всю необхідну

інформацію про стан керованого об'єкта — ПрО — можна отримати, використовуючи різноманітні датчики, сенсори, контролери, встановлені на компонентах ПрО. Одночасно керівні складові впливу в інформаційному вигляді можна представити за допомогою інформаційної складової системи керування. А механічні дії виконуються, віддаючи накази роботам, які замінюють людину, й устаткування, що безпосередньо виконує ці дії. Те, якими мають бути відповідні команди, вирішує ІСК, аналізуючи і використовуючи інформацію, що надходить до неї.

Інтелект системи проявляється в тому, що вона моделює ПрО, тобто наповнює готову задану структуру інформацією від показників, встановлених на елементах структури. А потім на підставі цієї моделі виробляє відповідні команди в разі, якщо виникла ситуація, яка реально відрізняється від тієї, що визначається побудованою моделлю. Можливим є варіант, коли ІСК використовує готову модель. Тобто, модель побудувала група розробників системи, а конкретне наповнення моделі інформацією визначили датчики, встановлені на різних елементах структури. У цьому разі системний рівень інтелекту є доволі низьким і визначається вихідною розробкою ІСК, але все одно ІСК замінює людей, які керують на виробництві.

Розгляньмо процес побудови такої системи на прикладі керування цехом машинобудівного заводу в умовах, коли модель цеху визначається наявною структурою,

Система керування таким цехом передбачає, що ПрО — це цех, який має тривірневу структуру (хоча можливі й інші організації виробничої системи). Він складається з окремих ділянок, а кожна ділянка визначається сукупністю верстатів та устаткування, використовованого при виконанні технологічних процесів для виготовлення продукції, що випускається на цій ділянці. Своєю чергою кожен верстат характеризується окремими елементами, які використовуються при виконанні на ньому технологічних операцій. Наприклад, на свердильному верстаті для виконання відповідної операції необхідно встановити й закріпити

свердло заданого діаметра та заданої заточки і з певного матеріалу. Крім того, передбачається задана кількість обертів свердла, що використовується для виконання операції, та задана швидкість вертикальної подачі свердла у процесі виконання операції. Всі ці або аналогічні показники, що характеризують верстат, складають відповідні знання про ПрО та входять в опис третього рівня структури ПрО для кожного верстата, на якому виконуються технологічні операції.

Тепер ІСК цехом повинна спочатку побудувати модель ПрО, використовуючи інтелектуальне моделювання. А потім в цій моделі розв'язувати поточні завдання керування, які виникають під час виробничих процесів, та забезпечити реалізацію заданих технологій в умовах можливих виробничих відхилень. Сам техпроцес створюється інженером-технологом, який визначає, які операції, на якому верстаті та в якому порядку мають виконуватися над заготовкою, що надходить у цех, щоб в результаті отримати потрібну деталь. Для ІСК передбачається, що всі операції на верстатах можуть виконуватися роботом певного виду без участі людини (або верстат має свою додаткову систему керування, яка забезпечує його самостійну роботу). Робот отримує команди з системи керування. Він встановлює на верстаті необхідне для обробки обладнання та деталь або заготовку, яка має оброблятися, запускає в заданому режимі верстат і відстежує параметри виконання операції, виконуючи необхідні для цього виміри. При цьому робот передає інформацію про початок, перебіг виконання та кінець операції в систему керування. Тому система керування паралельно контролює всі операції, що виконуються на ділянках і в цеху.

Після завершення операції робот знімає деталь з верстата і передає інформацію про це в систему керування, яка фіксує закінчення виконання операції, і відправляє деталь або на подальшу обробку, або на склад для тимчасового зберігання з наступним формуванням партії деталей для обробки. В останньому разі в системі керування зберігається інформація про місце зберігання деталі, виконаної части-

ни технологічного процесу та операцій, які ще слід виконати для завершення процесу обробки даної деталі.

Інтелектуальне моделювання ПрО

В поданий вище процес моделювання цеху закладено існуючу структуру, яка при моделюванні тільки наповнюється необхідною інформацією. З цим випадком асоціюється досить низький рівень інтелекту. Вищий рівень інтелекту пов'язаний з системою, яка самостійно моделює ПрО, якою є цех. Для побудови такої системи можна використати, наприклад, інформацію про технологічні процеси, які виконуються в цеху.

Під час моделювання ми використовуватимемо алгоритм інтелектуального моделювання, запропонований в [6]. Нагадаємо, що цей алгоритм засновано на використанні наявної в інтелектуального суб'єкта системи знань про ПрО. Ця система знань лежить у фундаменті створюваної моделі. Тому питання про те, наскільки адекватною до реальності є створена на основі знань модель ПрО, може розглядатися як окрема проблема. Але інтелект завжди пов'язаний тільки з тією інформацією, яку він отримав із ПрО. Природно, що в разі неточності цієї інформації вона відіб'ється на наступних висновках.

Так Ньютон, який формулював закони механіки, виходячи зі своїх знань, побудував модель зовнішнього світу, що відрізняється від моделі світу, яку розробив Ейнштейн, хоча б тому, що обсяг наявних у них знань був різним, а, отже, різними були й підходи до аксіоматики математичного скелета, покладеного в основу розробки, й уявлення про те, якими є фундаментальні риси навколишнього світу.

Алгоритм інтелектуального моделювання передбачає як інформаційну основу саме знання про ПрО. На рівні знань описуються елементи, що входять до ПрО, зв'язки між ними та відносини, що визначають можливість взаємодії цих елементів. Крім того, мають бути вказані ті взаємозв'язки, якими ПрО пов'язана із зовнішнім середовищем, оскільки розгляну-

тий цех є складовою частиною підприємства. Наприклад, суттєву роль відіграє фінансування робіт, які виконуються в цеху, але залежать від підприємства як цілого. Або це забезпечення робіт необхідними ресурсами, матеріалами, обладнанням. Ці зв'язки мають враховуватися під час моделювання.

Відповідно до алгоритму інтелектуального моделювання спочатку для ПрО, якою в цьому прикладі є цех, пропонується математична схема, що лежить в основі майбутньої моделі ПрО. Вибір математичної схеми залежить від того, який вид повинна мати майбутня модель. Розгляньмо тут ситуацію (хоча можливі різні варіанти), коли основою моделі буде обрано план роботи цеху в часовому розрізі. Іншими словами, як математичну структуру для моделювання обираємо скінченномірний векторний простір із відповідними операціями між його точками.

Далі необхідно виокремити основні сутності, які використовуються в цеху під час виконання технологічних процесів. Ці сутності розбито на низку класів в залежності від їхніх конструктивних особливостей. Задамо основні класи:

(0) Роботи, для яких вказано всі можливі дії та набори дій, які можуть бути виконані роботом; вказано також засоби спостереження та вимірювання, які використовуються під час виконання операцій роботом, а також засоби зв'язку, які робот може використовувати під час виконання своїх дій.

(1) Верстати, опис яких деталізовано для виконання роботом окремих дій на верстаті; додатково вказано можливості виконання паралельних дій на верстаті під час обробки деталей.

(2) Необхідне обладнання, інструменти, пристосування, свердла, різці, використовувані для виконання операцій.

(3) Заготовки, комплектуючі, матеріали, частково оброблені деталі, які зберігаються на складах і в коморах.

(4) Засоби виконання логістичних операцій для встановлення взаємозв'язків між верстатами в цеху.

(5) Засоби контролю та відображення станів роботів і верстатів перед початком, під час виконання та після закінчення технологічних операцій.

(6) Засоби інформаційного наповнення датчиків і сенсорів для контролю виконаних операцій.

(7) Засоби зміни установок роботів і верстатів для підготовки їх до нових операцій.

(8) Засоби виконання ремонтних операцій.

Усі сутності, розглянуті в цеху, об'єднано комп'ютерною мережею, що поєднає кіберфізичне устаткування, встановлене на сутностях. Це устаткування уможливує отримання та видачу в систему даних про стан окремих сутностей у цеху, передачу даних системі керування й отримання від неї керівних сигналів, які визначають необхідні операції.

Зазначмо, що процес виокремлення сутностей може мати свої особливості, які залежать від того, що інтелектуальна система керування має враховувати в процесі своєї діяльності. Наприклад, серед розглянутих сутностей відсутні складові, пов'язані із соціальними відносинами (характеристиками співробітників), або фактори, пов'язані із зовнішніми відносинами, що визначають виробництво.

Перший спосіб побудови моделі цеху засновано на використанні календарного планування, як основи організації роботи в цеху. У цьому разі математична модель може базуватися на методах, що використовують теорію розкладів [8], як основу побудови календарних планів. Наприклад, вирішується, чи застосовуватимуться методи лінійного або динамічного програмування, імовірнісний підхід або метод статистичних випробувань. А операції в математичній моделі ПрО обираються так, щоб вони підтримували відповідні методи.

Після вибору математичної моделі — природньо, що тут ідеться про те, що в пам'яті ІКС закладено різні варіанти майбутньої моделі ПрО та способи вибору варіанту, узгоджені з наявними знаннями про моделі окремих сутностей, які виокремлені в цеху. І, нарешті, ці моделі об'єднуються в складні-

ші структури на основі зв'язків, наявних між окремими класами сутностей.

Наприклад, роботи зв'язуються з тими верстатами або групами верстатів, на яких виконуються відповідні операції, визначені технологічним процесом. Або в моделі вказується, у який спосіб відбувається настроювання роботи на виконання певних операцій на верстаті, які засоби та обладнання при цьому використовуються. У такій моделі кожен технологічний процес задано певною програмою, яка виконується комп'ютерною системою й організовує взаємодію окремих сутностей між собою. Іноді одночасно в цеху реалізуються декілька процесів обробки, при програмуванні яких має враховуватися, що обладнання в цеху може залучатися в різні процеси.

Ця модель цеху складається зі статичної частини, яка визначається матеріальними сутностями цеху, та динамічної частини у вигляді виконуваної програми, інформація для якої задана зовнішніми умовами, — замовленнями та взаємозв'язками з іншими підрозділами заводу. Завдяки цим зв'язкам модель динамічно підлаштовується під конкретні дані. Таким є перший варіант побудови інтелектуальної моделі.

Але можливим є і другий варіант побудови інтелектуальної моделі, який передбачає, що модель не лише задається за допомогою процесу календарного планування, а й уже включає готовий календарний план виконання робіт в цеху за всіма замовленнями, які мають бути здійснені в цеху. У цьому плані вказано, які роботи за яким замовленням, в яких ділянках, на якому обладнанні й у які терміни виконуються в цеху. Такий план пов'язує всі сутності, наявні в цеху з роботами, для яких цей цех призначено. І цей план розглядається як модель того процесу, для якого будується функція керування. А сама модель має динамічний характер, оскільки в ній закладено можливості зміни взаємодій між окремими сутностями цеху. Зазначмо, що в цьому разі модель ПрО (цеху) змінюється в часі, оскільки вона включає й поточні замовлення.

Крім календарного плану, але на його основі, одночасно з ним планується залучення необхідних ресурсів, матеріально-технічне постачання, керування складськими комплексами та керування фінансами, планування випуску готових виробів. Уся ця сукупність планів — знання про те, що має виконати цех, — становить складову сутність моделі ПрО в першому варіанті. Відстеження виконання планів дає змогу динамічно моделювати хід виробництва.

У другому варіанті спосіб побудови календарного плану і супутніх йому планів і завдань вже виконано перед запуском самої системи керування. Іншими словами, обрано певний метод побудови планів, що в сукупності розглядаються як складова частина процесу моделювання. Цей метод закладено в ІС у вигляді програми, яка для заданих даних розраховує, яким має бути календарний та інші пов'язані плани. Після цього побудована сукупність рішень розглядається для поточних умов як формулювання задачі керування на основі моделі ПрО. А ІСК на підставі цієї моделі розв'язує поставлені перед нею поточні завдання.

Система керування

Процес керування цехом залежить від того, яку інтелектуальну модель побудовано для даної ПрО — інструментального цеху машинобудівного заводу. Оскільки було запропоновано дві схеми побудови інтелектуальної моделі, то, відповідно, потрібно розглядати два підходи до інтелектуального керування, дві системи керування. Але оскільки другий спосіб може бути зведений до першого, якщо припустити, що в першому способі спочатку за знаннями про цех будується календарний та інші плани, а потім система керування цехом розробляється так, щоб цей план було виконано. При цьому передбачається, що в першому способі в систему керування вбудовано окрему компоненту — підсистему планування.

Календарне планування пов'язано з оперативно-виробничим плануванням, під час якого модель у вигляді календарного плану динамічно змінюється [8]. Система керування

починає свої дії: організовується забезпечення та виконання плану до рівня робочих місць. Окремі операції, передбачені планом, виконуються. Тут уже підключається функція керування, яка відстежує та забезпечує узгодження і збіг виконуваних робіт із плановими завданнями. Але одночасно можуть виникати порушення плану внаслідок невиконання окремих операцій. Причини можуть бути різними: від поломки верстата до неможливості виконання самих операцій внаслідок виробничих і технологічних відхилень та порушень.

У разі відхилення від плану, що випускається, в графіки робіт, задані планом, вносяться необхідні корективи та зміни. Система керування виконує нові розрахунки і змінює завдання, які передають усім робочим одиницям цеху. З одного боку, передбачається, що всі завдання, які надходять від системи керування, оптимізовано, щоб скоротити час виконання окремих операцій й узгодити його із загальними вимогами заданих термінів виконання всіх замовлень.

З іншого боку, потрібно пам'ятати, що розрахунок оптимального виконання всіх замовлень на рівні окремих сутностей цеху займає багато часу навіть за умови залучення кількох сучасних комп'ютерів, встановлених в цеху й організованих в мережу. Тут ми стикаємося з необхідністю використання технології *BigData*, з додатковими методами обробки великих обсягів даних, які виникають у таких системах.

Подання про керований об'єкт ІСК підтримує завдяки інформації, що надходить від кожного керованого елемента цеху. Ця інформація виробляється й передається датчику або датчикам, які входять в кіберфізичну систему цеху. Система датчиків разом з вузлами, які обробляють інформацію, що надходить від датчиків, і комп'ютерами, що підтримують функціонування всієї інформаційної системи в процесі роботи цеху, може розглядатися як цифровий двійник цеху. Цей двійник є складовою частиною ІСК. Ця компонента ІСК забезпечує інформаційну підтримку системи керування в реальному часі, що є характерною

особливістю ІСК і необхідною умовою її існування.

Сучасною умовою роботи інформаційної системи, заснованої на використанні інформації, отриманої від кіберфізичної системи цеху, є застосування Інтернету речей, оскільки в цифровому двійнику кожен елемент ПрО, починаючи від верстата і закінчуючи окремим елементом, що надходить в обробку, має свій датчик, який однозначно характеризує і сам елемент, і його стан.

ІСК підприємством створюється як об'єднання інтелектуальних систем керування, розроблених для окремих підрозділів — цехів, бюро та служб, що перебувають у взаємодії. Взаємодія тут розглядається як обмін інформацією між окремими підрозділами та розв'язання спільних управлінських завдань, які визначаються загальним бізнес-процесом підприємства на основі цієї інформації. Причому інформаційне об'єднання може будуватися на основі простого поєднання входів і виходів об'єднаних підсистем. А може виконуватися на основі побудови загального плану спільної дії, розрахованого в часі.

Так побудована система керування охоплює тільки внутрішню структуру підприємства й керує внутрішніми відносинами. Як зазначалося в роботі [9], загальна система керування має включати й середовище, яке визначається зовнішніми зв'язками підприємства. «Це середовище охоплює економічні чинники, комунікаційні зовнішні умови, наукові та технічні фактори, а також структури, пов'язані із зовнішнім діловим середовищем: споживачі, постачальники, конкуренти, фінансова інфраструктура та інвестори. До зовнішнього середовища належать і функції, що визначають маркетингову діяльність підприємства» [9].

Інтелектуальне керування в такій розширеній системі будується на основі тих же методів, що й ІСК, але ПрО тут розширюється, охоплюючи ширшу область. Відповідно й поставлені в такій системі завдання орієнтовано на оптимізацію складніших процесів, у яких зовнішні умови слід узгоджувати із внутрішніми можливостями підприємства.

Висновки

Інтелектуальна система керування на підприємстві передбачає можливість керування підприємством без участі людини в процесі керування. Ця система передбачає отримання інформації про стан всіх елементів бізнес-процесів на базі використання кіберфізичних систем та Інтернету речей. Мережа комп'ютерів разом із кіберфізичною системою — це свого роду «нервова мережа» організму, яким у цьому разі є підприємство.

ІСК засновано на побудові моделі Про у вигляді знань та додатково системи планів і прогнозів, що включає не лише виробничий процес, а й матеріально-технічне постачання, планування ресурсів, керування фінансами.

На підставі інформації, отриманої від кіберфізичної системи, динамічно моделюється перебіг виробництва, вносяться необхідні зміни

в разі порушення виробничого процесу чи зміни умов, перераховується побудована модель, щоб вона відповідала реальним станам і ситуаціям.

Зазначмо, що розробка та створення такої системи — це складне завдання для сучасних спеціалістів, оскільки вона вимагає спеціальної підготовки фахівців та інженерів, які володіють сучасними методами обробки інформації в вигляді великих даних і використання Інтернету речей. Змінюється також технологічна підготовка виробництва з урахуванням переходу на інтелектуальні системи без участі людей.

Водночас перехід на ІСК і розумні підприємства — це сучасний резерв якісно нового характеру виробництва, підвищення його ефективності та переходу до виробництва, що відповідає вимогам нової промислової революції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рассел С., Норвіг П. Искусственный интеллект. Современный подход / пер. с англ. М. : Вильямс, 2006. 1408 с.
2. Лорьер Ж. Л. Системы искусственного интеллекта. М. : Мир, 1991. 568 с.
3. Мейтус В. Ю. Введение в теорию интеллектуальных систем. Основные представления. Palmarium academic publishing, Саарбрюкен, 2015. 189 с.
4. Глибовець М. М., Олецький О. В. Штучний інтелект. К. : КМ Академія, 2002. 366 с.
5. Мейтус В. Ю. Проблемы построения интеллектуальных систем. Представление знаний. *Кибернетика и системный анализ*. 2019. 4. С. 3–14. URL: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/16192/Meitus_Problem%20%8b_postroeniya_intellektualn%20%8bkh.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
6. Мейтус В. Ю. Проблемы построения интеллектуальных систем. Интеллектуальное моделирование. *Кибернетика та системний аналіз*. 2021. 4. С. 3–17.
7. Экономика предприятия : учебник для вузов / под ред. В. Я. Горфинкеля, В. А. Швандара. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2007. 670 с. URL: <http://itim.by/grodno/images/files/0203.pdf>.
8. Танаев В. С., Шкурба В. В. Введение в теорию расписаний. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975. 256 с.
9. Мейтус В.Ю., Морозова Г.І., Таран Л.Ю., Козлова В.П., Музальова В.О. «Розумне» підприємство — основні властивості та напрямки розвитку. *Системи керування та комп'ютери*. 2020. 4. С. 21–34. DOI: <https://doi.org/10.15407/csc.2020.04.021>.

Надійшла 08.03.2021

REFERENCES

1. Rassel S., Norvig P., 2006. Iskustvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod, Translated from English, Vilyams, Moscow, 1408 p. (In Russian).
2. Loryer Zh. L., 1991. Sistemy iskustvennogo intellekta, Mir, Moscow, 568 p. (In Russian).
3. Meytus V. Yu., 2015. Vvedeniye v teoriyu intellektualnykh system, Osnovnyye predstavleniya, Palmarium academic publishing, Saarbryuken, 189 p. (In Russian).
4. Hlybovets M. M., Oletskyy O. V., 2002. Shtuchnyy intellekt, KM Akademiya, Kyiv, 366 p. (In Ukrainian).
5. Meytus V. Yu., 2019. "Problems of constructing intelligent systems. Knowledge representation", *Cybernetics and Systems Analysis*, 4, pp. 3–14. [online] Available at: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/16192/Meitus_Problem%20%8b_postroeniya_intellektualn%20%8bkh.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (In Russian).

6. *Meytus V. Yu.*, 2021. “Problemy postroyeniya intellektualnykh sistem. Intellektualnoye modelirovaniye”, Cybernetics and Systems Analysis, 4, pp. 3–17. (In Russian).
7. *Gorfinkelya V. Ya., Shvyandara V. A.* (eds.), 2007. *Ekonomika predpriyatiya*, YUNITI-DANA, Moscow, 670 p. [online] Available at: <<http://itim.by/grodno/images/files/0203.pdf>> (In Russian).
8. *Tanayev V. S., Shkurba V. V.*, 1975. *Vvedeniye v teoriyu raspisaniy*, Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, Moscow, 256 p. (In Russian).
9. *Meytus V. Yu., Morozova H. I., Taran L. Yu., Kozlova V. P., Muzalova V. O.*, 2020. “Smart Enterprise – Basic Properties and Directions of Development”, Control systems and computers, 4, pp. 21–34. DOI: 10.15407/csc.2020.04.021. (In Ukrainian).

Received 08.03.2021

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

INTELLIGENT MANAGEMENT OF PRODUCTION SYSTEMS

Introduction. The research is devoted to the problem of building intelligent production management systems. They allow organizing modern efficient production without human participation in its management.

Problem. To develop a scheme for creating an algorithm underlying the creation of an intelligent production management system, using the example of a mechanical workshop of a machine-building enterprise.

Purpose. To present a scheme for constructing an intelligent control of management system (workshop), which is developed based on the application of an intelligent modeling algorithm and the use of a set of knowledge about the subject area.

Methods. The main method used in the development of an intelligent control system is the method of intelligent modeling, which is applied to the knowledge of the machine-building enterprise workshop.

Result. A diagram of an intelligent shop management system is built based on the use of knowledge that describes this shop. The model of the workshop is proposed. It consists of a system of plans describing the work of the workshop. Not only the production process is planned, but also material and technical supply, resources, and financial management. Plans are built the using scheduling theory.

Conclusion. An intelligent management system at an enterprise implies the possibility of management without human participation in the management process. This system is based on obtaining information about the state of all elements of business processes based on the use of cyber-physical systems and the Internet of things.

Keywords: *intelligence, intelligent modeling, intelligent control system, subject area, cyber-physical system.*