

А. І. Купін, І. О. Музика, С. А. Рубан, О. І. Савицький, В. Ю. Харламенко
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
кафедра комп'ютерних систем та мереж
кафедра інформатики, автоматики та систем управління

М.О. Романов
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
департамент автоматизації технологічних процесів

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕМОНТАМИ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ З ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗПОДІЛЕНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ CPS

*© Купін А. І., Музика І. О., Романов М. О., Рубан С. А., Савицький О. І.,
Харламенко В. Ю., 2016*

У роботі представлено короткий опис інженерних та наукових задач, які виникають зараз на металургійному підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» при організації роботи цеху з ремонту та налагодження промислового обладнання. Увагу приділено інноваційним методам організації процесу ремонту на базі інтелектуальних агентів та принципів Industry 4.0.

The paper presents a brief description of engineering and scientific problems that arise at the steel plant PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” when the repair shop for industrial equipment is organized. The attention is paid to innovative methods of repair process based on intelligent agents and Industry 4.0 principles.

За понад трьохсотлітній термін розвитку науково-технічного прогресу (НТП) можливо відзначити чотири ключові етапи (винаходи), які в подальшому отримали назву індустріальних революцій сучасності [1]. Останній етап інтелектуальної автоматизації виробництва (рис. 1) зараз пов'язують у першу чергу із впровадженням кіберфізичних систем (КФС або CPS, Cyber-Physical Systems – англ.) [2]. Останнє зараз частіше всього пов'язують із наявністю певних ключових технологічних тенденцій. Наприклад, обробки надвеликих масивів даних (BigData), автономних роботів із різноманітними сенсорами, симуляторів для 2D- та/або 3D-моделювання, 3D-принтерів, Інтернету речей, доповненої реальності тощо [3]. Отже, за останніми оцінками провідних світових експертів, саме такі тенденції будуть визначати головний вектор розвитку конкурентоздатних сучасних виробництв [2-5].

Ураховуючи вищезазначене, в ДВНЗ «Криворізький національний університет» на кафедрі комп'ютерних систем та мереж, кафедрі інформатики, автоматики та систем управління сумісно з працівниками департаменту автоматизації технологічних процесів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» вже понад півроку розробляється перспективний проект з реалізації інтелектуального керування ремонтами промислових об'єктів з територіально розподіленою інфраструктурою на основі застосування КФС. Метою даної праці є ознайомлення з головними викликами, ідеями та проектними рішеннями щодо цієї роботи. Для запровадження подібних новацій саме в умовах цього промислового підприємства були такі основні підстави.

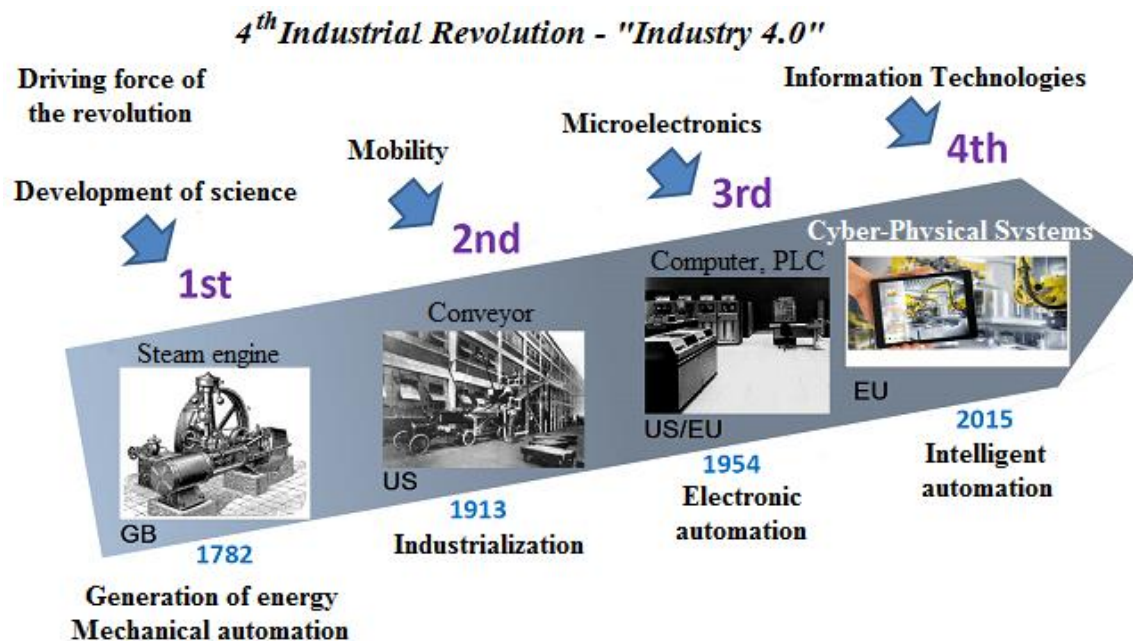


Рис. 1. Основні етапи розвитку НТП

Комбінат ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (надалі АМКР [6]), як основний майданчик реалізації майбутнього проекту, на сьогоднішній день є одним з найбільших у Європі металургійних заводів. Виробничі потужності функціонують на розподіленій території більше 100 км², кількість підрозділів (цехів) більше 50, штат працюючого персоналу більше 30 тис. робітників, загальна кількість задіяної номенклатури (зокрема, устаткування, технологічні компоненти, операції тощо) порядку 10⁷. Наприклад, лише парк діючих контрольно-вимірювальних пристроїв (КВП) нараховує більше 60 тис. одиниць. Щорічно парк пристроїв підприємства поповнюється. Так, сумарно з 2010 до 2015 року було закуплено нових пристроїв у кількості 15 406 штук, що становить 24,2% від загальної кількості експлуатованих приладів. Але при цьому чверть активних приладів становлять застарілі прилади 1960-1999 років випуску. Саме тому середня відмовостійкість КВП по підприємству низька, а через велику розмаїтість сортаменту моделей прилади не взаємозамінні. Із цієї причини щороку кілька тисяч пристроїв назавжди виходять із ладу й підлягають списанню. Списані й браковані пристрої продовжують зберігатися на підприємстві, що разом із запасами створює значний обсяг заморожених приладів.

Для обслуговування діючих пристроїв підприємства задіяні 7 служб департаменту автоматизації. До них належить й служба ремонту. Аналіз роботи даної служби показав дуже низький ключовий показник ефективності КРІ (англ. Key Performance Indicators [7]). Це залежить від тривалості перебування одиниці пристрою усередині служби через поломку або технічне обслуговування. Зменшення цього показника дозволить збільшити КРІ не тільки служби ремонту, але й інших служб за рахунок зменшення часу простою з їхньої вини.

Для забезпечення безперебійної роботи, а також ефективного функціонування процесів вимірювання, технічного обслуговування, ремонтів й автоматизації 2016 р. на підприємстві запущена власна інвестиційна «Програма оптимізації процесів ремонту й обслуговування засобів вимірювальної техніки, засобів автоматизації, засобів вимірювання маси й комп'ютерної техніки». Основною метою програми є організація нової служби централізованого ремонту й обслуговування на підприємстві. До неї входить, як реконструкція будівель і споруд, так і розробка інтелектуального й гнучкого автоматизованого робочого середовища. З метою максимально ефективно реалізації останніх двох складових цієї

програми було прийнято рішення залучити до розробки та впровадження проектних рішень наукову спільноту з різними джерелами фінансування.

Проведений нами всебічний аналіз проблеми переконливо довів, що для ефективного керування ремонтами (плановими й неплановими) на таких великих промислових площадках потрібна максимально точна взаємодія розподілених складів, цехів, транспортних служб, персоналу в рамках наявних інформаційних систем в умовах багатокритеріальності й великої кількості обмежень. Основні з них: екологія, енергоефективність, економіка (накладні витрати, складські залишки тощо). Було переконливо доведено, що ефективне рішення даних питань неможливе без використання Cyber-Physical Systems (CPS) на основі концепції Industry 4.0.

З урахуванням цього в результаті роботи робочої проектної групи було прийнято рішення виокремити в проекті дослідницьку та прикладну складові. Рішення наукових завдань першої групи буде здійснювати міжнародний консорціум, до якого ввійшла низка університетів Європи. Практичне впровадження розроблених рішень, підходів, технологій буде здійснюватися фахівцями АМКР із залученням провідних світових компаній-вендорів.

На сьогодні в результаті такої сумісної роботи сформульовано основне завдання проекту – розробка інтелектуального й гнучкого автоматизованого середовища для забезпечення послуг ремонту й технічного обслуговування, спрямоване на ефективну допомогу персоналу. Мета проекту – розробити комплекс інформаційно-комунікаційних технологій і засобів автоматизації для того, щоб:

- підвищити оперативність, ефективність і якість технічного обслуговування й ремонту;
- організувати зручне, безпечне й ергономічне робоче місце для персоналу;
- знизити загальну кількість помилок, що виникають при аналізі даних про обладнання і його статистику відмов;
- мінімізувати кількість списаного обладнання за рахунок ефективного використання його робочих частин.

Засоби досягнення цілей проекту: мультиагентні CPS, які взаємодіють через хмару з використання спеціально розроблених для цього протоколів. Використовувані ключові підходи, технології і стандарти: Data Mining, Data House, OLAP, ISA95-ISA88, Industry 4.0, 5S, Big Data.

Відповідно до схеми інформаційних та матеріальних потоків у майбутній системі (рис. 2) до інтелектуального робочого середовища входить:

- розумний склад запасних деталей і приладів з інтелектуальною системою оптимізації їх асортименту і кількості;
- робочі місця, оптимізовані для диверсифікації завдань ремонту;
- системи збору статистики, аналізу історії ремонту й формування замовлень з ремонту;
- програмувальні універсальні стенди для калібрування вимірювального устаткування;
- інтелектуальні транспортні системи, що включають у себе окремих автоматизованих інтелектуальних транспортних агентів, які, спілкуючись між собою, автономно здійснюють оптимізацію своїх маршрутів на основі прийнятих інтерфейсів, стандартів, протоколів (рис. 3).

Для оптимізації процесів відповідних технологічних підрозділів АМКР з ремонту й обслуговування передбачається:

- система керування операціями служби централізованого ремонту й обслуговування;
- автоматизована складська система служби централізованого ремонту й обслуговування;

- транспортна система зовнішнього повідомлення в службі централізованого ремонту й обслуговування;
- транспортна система внутрішнього повідомлення в службі централізованого ремонту й обслуговування;
- централізація, уніфікація й створення єдиного резерву;
- оптимізація робочих місць для перевірки й ремонту теплотехнічних, електронних і фізико-хімічних засобів тощо.

Smart Service of Repair and Maintenance

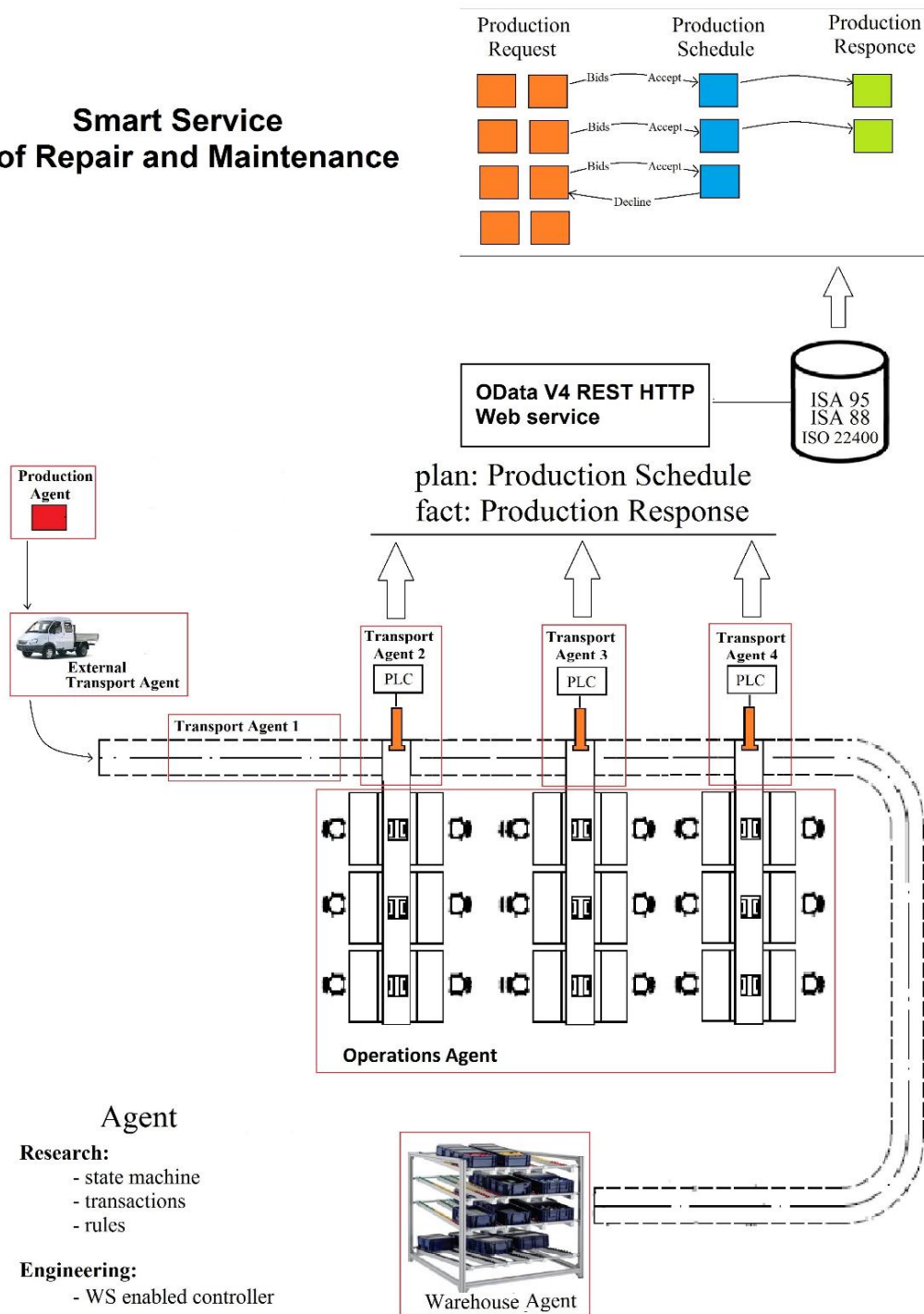


Рис. 2. Структурна схема інформаційних та матеріальних потоків у системі

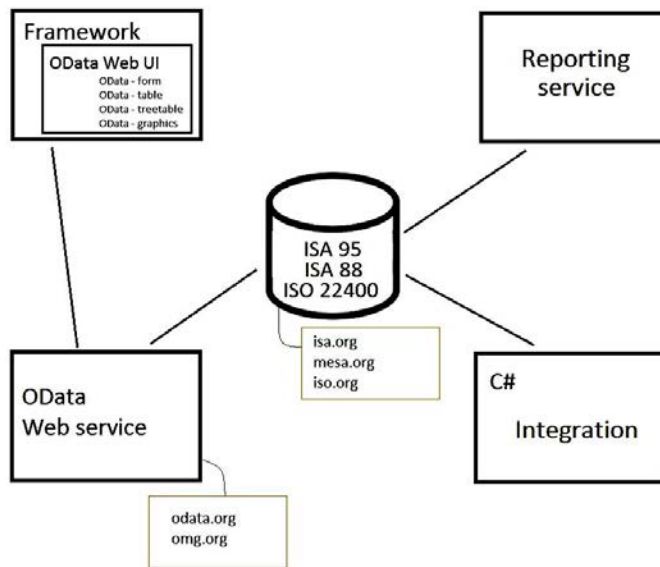


Рис. 3. Основні інтерфейси та стандарти для організації взаємодії між smart-агентами (CPS)

Розумний склад виконує такі функції:

- автоматизований облік устаткування;
- інтелектуальний аналіз списку обладнання і його оптимізація;
- автоматизований розрахунок асортиментів устаткування і мінімально необхідна кількість запасних частин і пристроїв для зберігання;
- ергономічне розташування обладнання для швидкого пошуку;
- автоматизована доставка товарів транспортною системою.

Інтелектуальні транспортні агенти:

- набір незалежних транспортних агентів, які контролюються власною програмою й не вимагають додаткових втручань оператора;
- кожен агент приймає свої власні рішення щодо планування маршруту, відповідно до поставлених завдань і повідомлень від інших агентів;
- скорочення часу простою при очікуванні необхідних деталей і пристроїв наближається до нуля.

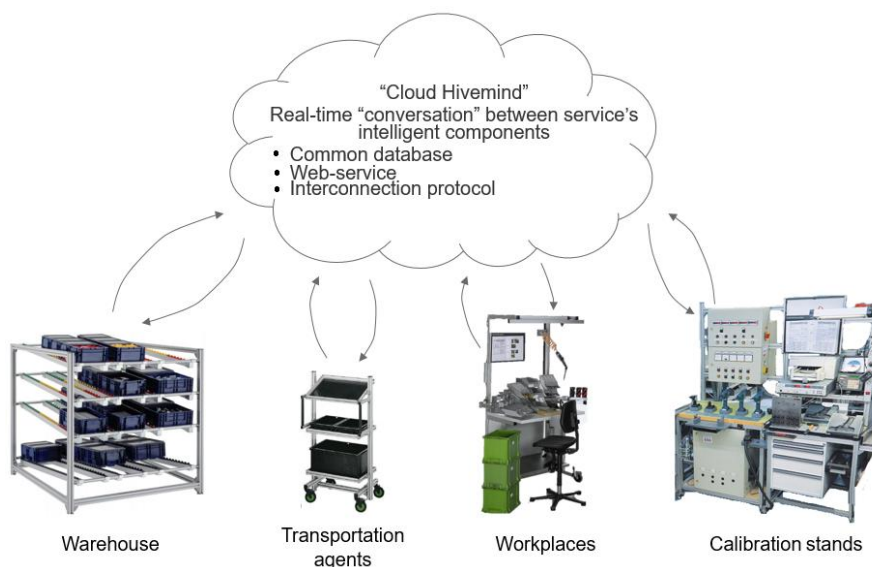


Рис. 4. Схема інтелектуальної взаємодії між окремими об'єктами (CPS)

Ергономічні робочі місця мають такі обов'язкові ознаки:

- організація робочих місць відповідно до системи 5S;
- повний набір інструментів, необхідних для технічного обслуговування й ремонту типових операцій;
- монітор з інструкціями з ремонту. Інструкції складаються автоматично;
- веб-додатки для реєстрації виконаних операцій.

Здійснений ретроспективний аналіз відомих джерел показав відсутність аналогів чи прототипів реалізації подібних рішень в умовах великих, територіально розподілених підприємств та необхідної наукової методології. Для можливості реалізації вищезазначених рішень необхідно розв'язати низку таких завдань дослідницького характеру:

- оптимальне керування номенклатурою з можливістю автозаповнення розподілених баз даних (БД або Big Data) зі всіх доступних джерел інформації (локальних і глобальних) з максимальною релевантністю до наявної структури в мультиагентному середовищі CPS;

- оперативна побудова опису ланцюжків технологічних операцій і процесів, їх зв'язок з необхідною номенклатурою з максимальною релевантністю в мультиагентному середовищі CPS;

- оперативне планування логістичної доставки з вибором раціональних маршрутів, динамічної перебудови й оптимізацією за різними критеріями;

- створення інформаційних технологій для мінімізації часу на обслуговування й ремонт промислового обладнання;

- удосконалення керування підприємством, відповідно до концептуального підходу Industry 4.0, «гнучких» робочих місць і гнучких методологій технічного обслуговування й ремонту промислового обладнання;

- розробка експертної системи для планування подачі деталей й інструментів залежно від типу пристрою, що обслуговується, і типу його поломки, за допомогою незалежних транспортних агентів;

- розробка, уніфікація й оптимізація структури бази даних для створення smart-складу запасних деталей. Створення інформаційних технологій на основі методів обчислювального інтелекту, призначених для пошуку аналогів за умови недостатньої інформації. Визначення мінімально необхідних асортиментів і кількості запасних пристроїв і деталей на складі;

- дослідження статистичних характеристик відмов промислового обладнання. Виявлення сезонних тенденцій, аналіз показників якості й відмовостійкості датчиків систем автоматичного керування.

Найбільш важливі результати реалізації проекту з погляду науки – удосконалення методології побудови розподілених кіберфізичних систем інтелектуального керування для рішення питань оптимізації промислового обладнання, технічного обслуговування й ремонту, згідно з концепцією Industry 4.0.

Попередні розрахунки показали: якщо проведені дослідження й створені інтелектуальні технології будуть реалізовані відповідними службами підприємства АМКР, то вони забезпечать:

- скорочення часу простою до нуля за рахунок скорочення реакції, тривалості ремонту й технічного обслуговування;
- зниження виробничих витрат;
- оптимізація комплектів устаткування на підприємстві, скорочення його розмаїтості й мінімізації необхідної кількості запасних частин і пристроїв;

- зниження витрат на покупку запасних деталей за рахунок більш ефективного використання працездатних частин списаного обладнання;
- підвищення якості ремонту й технічного обслуговування;
- підвищення безпеки, функціональності й комфорту робочих місць персоналу;
- створення нових робочих профілів.

Враховуючи актуальність та новизну проблеми не тільки в межах України, зараз ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ДВНЗ «Криворізький національний університет» сумісно з Європейськими партнерами здійснюють підготовку до реалізації дослідницької частини цього проекту в межах одного з викликів програми міжнародної співпраці «Horizon 2020» [8].

1. E. A. Lee and S. A. Seshia, *Introduction to Embedded Systems — A Cyber-Physical Systems Approach*, <http://LeeSeshia.org>, 2011.2. Mario Hermann, Tobias Pentek, Boris Otto (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Technische Universitat Dortmund.3. Lee, Jay, *Industry 4.0 in Big Data Environment*, Harting Tech News 26, 2013, http://www.harting.com/fileadmin/harting/documents/lg/hartingtechnologygroup/news/tec-news/tec-news26/EN_tecNews26.pdf4. Lee, Jay; Bagheri, Behrad; Kao, Hung-An (2014). “Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics”. *IEEE Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014*.5. Klaus Schwab. *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. World Economic Forum. Accessed on 12 Jan 2016.6. Офіційний сайт ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ukraine.arcelormittal.com>7. Bernard Marr, *Key Performance Indicators: The 75+ Measures Every Manager Needs to Know*. Financial Times/ Prentice Hall 2012, ISBN 978-0273750116.8. Офіційний сайт міжнародної програми HORIZON 2020 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>