

# АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ INDUSTRY 4.0 В ТЕХНОЛОГІЇ ІОТ

К.т.н. В. В. Євсєєв<sup>1</sup>, д.т.н. А. О. Андрусевич<sup>2</sup>, Д. П. Власенков<sup>2</sup>

1. Харківський національний університет радіоелектроніки

2. Криворізький коледж національного авіаційного університету

*У роботі проведено дослідження існуючих міжнародних стандартів які підтримують концепцію Industry 4.0 (RAMI4.0.) і необхідність їх застосування в процесі управління розробкою складних кібер-фізичних виробничих систем в рамках Smart Manufacturing.*

*В роботі проведено дослідження існуючих міжнародних стандартів, що підтримують концепцію Industry 4.0 (RAMI4.0.) і необхідність їх застосування в процесі управління розробкою складних кібер-фізичних виробничих систем в рамках Smart Manufacturing.*

*The paper studies existing international standards supporting the concept of Industry 4.0 (RAMI4.0.) and the need for their application in the process of managing the development of complex cyber-physical production systems within the framework of Smart Manufacturing*

**Ключові слова:** Industry 4.0, Smart Manufacturing, кібер-фізичні виробничі системи, RAMI4.0

## Вступ

Тенденції розвитку сучасного світу вимагають перегляду підходів до використання високих технологій та їх роль в сферах діяльності людини. Збільшення обсягів інформації підвищення вимог до її точності та своєчасного подання для аналізу і ухвалення рішень в режимах реального часу змушують змінити підходи до промислових технологій.

Провідні країни запропонували нову концепцію стратегій цифрової революції в області технологій виробництва – Industry 4.0 [1, 2].

У Німеччині концепція Industry 4.0 підтримується міністерствами Federal Ministry of Education and Research Germany (BMBWF) [3] і Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Germany (BMWi) [4], в роботі [5] обґрунтовується актуальність впровадження концепції Industry 4.0 в пріоритетні сфери промисловості України. Дана концепція підтримується трьома провідними міжнародними галузевими організаціями: BitKom (інформаційні технології) [6-8], VDMA (машинобудування) [9] і ZVEI (електротехніка) [10, 11].

## Аналіз стандартів Industry 4.0

На даний момент часу, за даними IoT Analytics (<https://iot-analytics.com/>), який містить аналіз вендорів і сфер застосування технологій Industry 4.0. (рис.1), технологія Industry 4.0 застосовується в двох основних блоках: Connected Industry Building і Supporting Technologies, в яку входять всі провідні корпорації і фірми за поданням послуг у всіх сферах діяльності людства від побутової електроніки до розробки складних

космічних об'єктів і систем аналізу і обробки великих обсягів даних.

Основними представниками на ринку Industry 4.0 є ABB (Швейцарія), Mitsubishi (Японія), Yaskawa (Японія), KUKA (Німеччина), FANUC (Японія), General Electric (США), IBM (США), Cisco (США), Microsoft (США), Stratasys (США), Google (США), Intel (США), HP (США), Siemens (Німеччина), Ansys (США), AIBrain (США), SAP (США), Amazon Web Services (США) і General Vision (США) [12].

Аналізуючи вендорів, представлених на рис. 1, можна умовно виділити групу корпорацій і підприємств, сферою діяльності якої є виробництво виробів різного призначення від мікročіпів до складних високотехнологічних пристроїв, в які інтегровані елементи технології Industrial Internet of Things (IIoT) [13-15]. Забезпечення виробничого циклу високотехнологічних пристроїв не можливо без впровадження систем автоматизації на всіх рівнях виробництва і його супроводу, які в синтезі дозволяють створити єдиний інформаційний простір Smart Factory або Smart Manufacturing [16].

Національний інститут стандартів і технологій США (NIST) визначає поняття Smart Factory або Smart Manufacturing як повністю інтегровані корпоративні виробничі системи, які здатні в реальному масштабі часу реагувати на мінливі умови виробництва, вимоги мереж поставок і задовольняє потребам клієнта [17]. Для досягнення цих цілей необхідно використовувати дивергенцію інформаційно-комунікаційних технологій (ICT) [18], операційних технологій (OT) [19] і кібер-фізичних систем (CPS) [20] на всіх етапах виробництва високотехнологічної продукції і їх поставки.

Але якщо розглянути цю дивергенцію більш детально, то можна помітити, що вона включає в себе: хмарні технології (CC) [21], великі дані (Big Data) [22], механізми штучного інтелекту (AI) [23], аналіз даних на межі мереж (туманні і граничні обчислення) [24], мобільні передачі даних [25], мережеві технології [26], інтерфейси користувачів (HMI) [27], SCADA системи [28], системи управління (с-MES, і- ERP) [29], програмовані логічні контролери (PLC) [30], датчики і виконавчі механізми (MEMS) [31], автоматизовані робототехнічні процеси (RPA) [32], автономні роботи (AR) [33].

У роботах [34] запропоновано наступне схематичне уявлення Smart Manufacturing в компонентах Industry 4.0 (рис. 2).

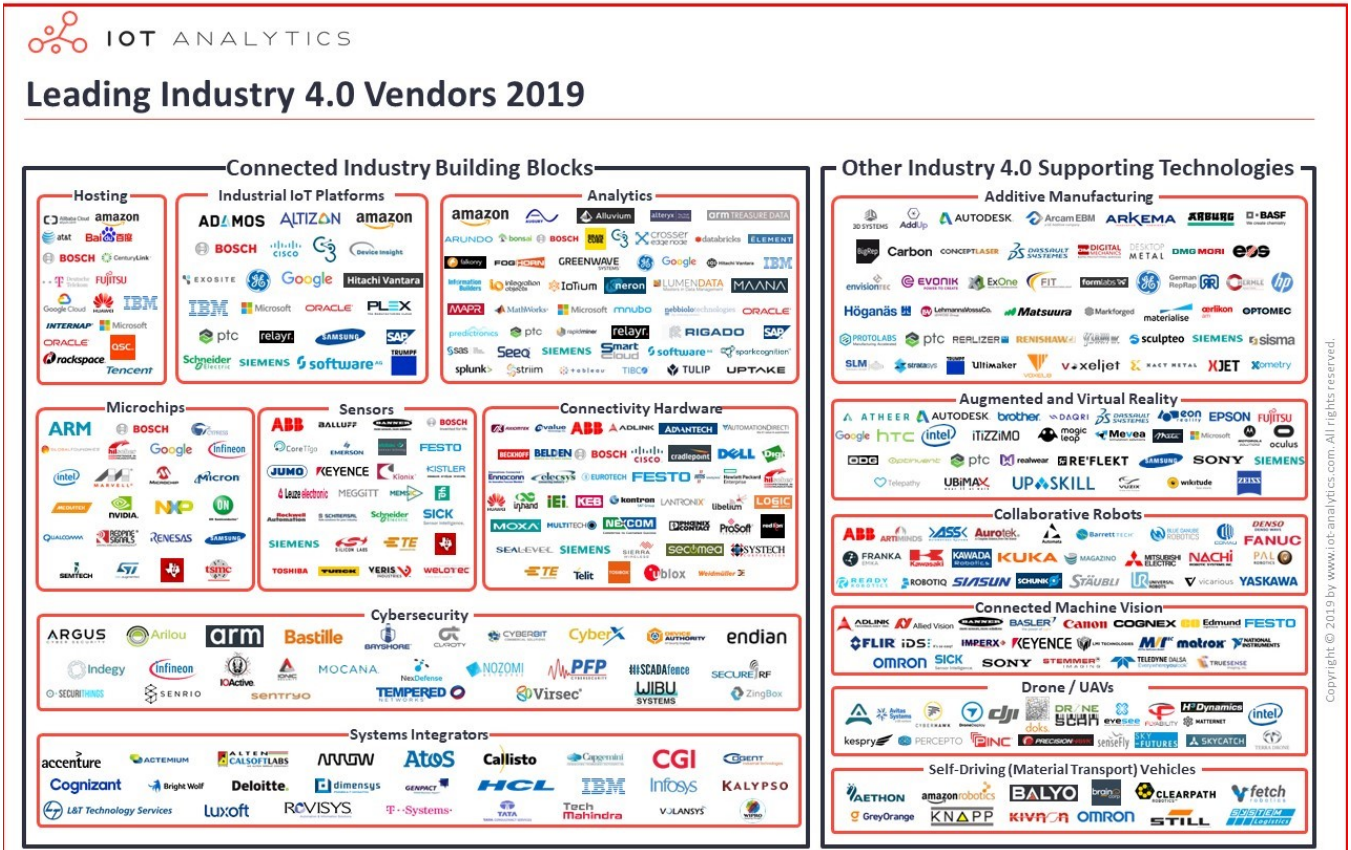


Рис. 1. Вендори з впровадження технології Industry 4.0

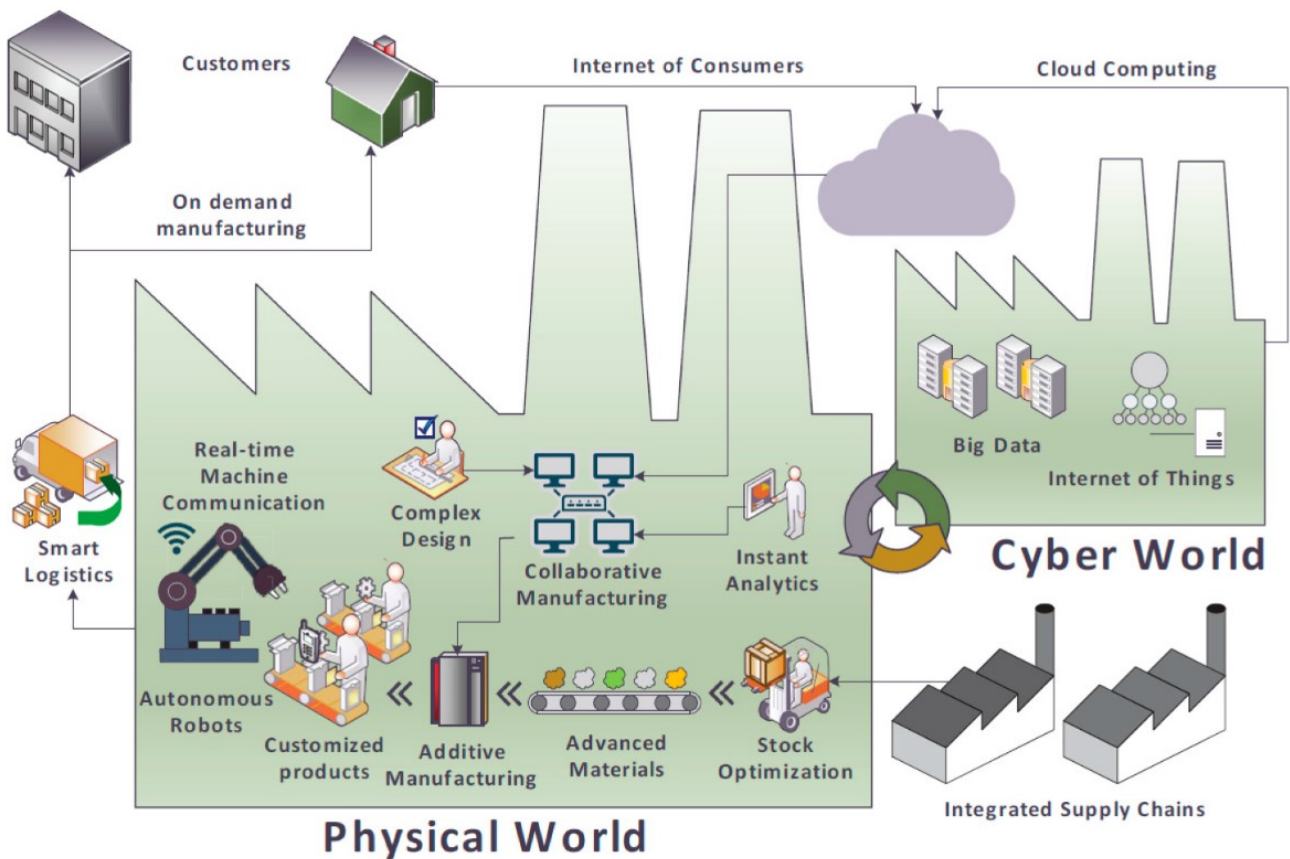


Рис. 2. Схематичне уявлення Smart Manufacturing в компонентах Industry 4.0 [35]

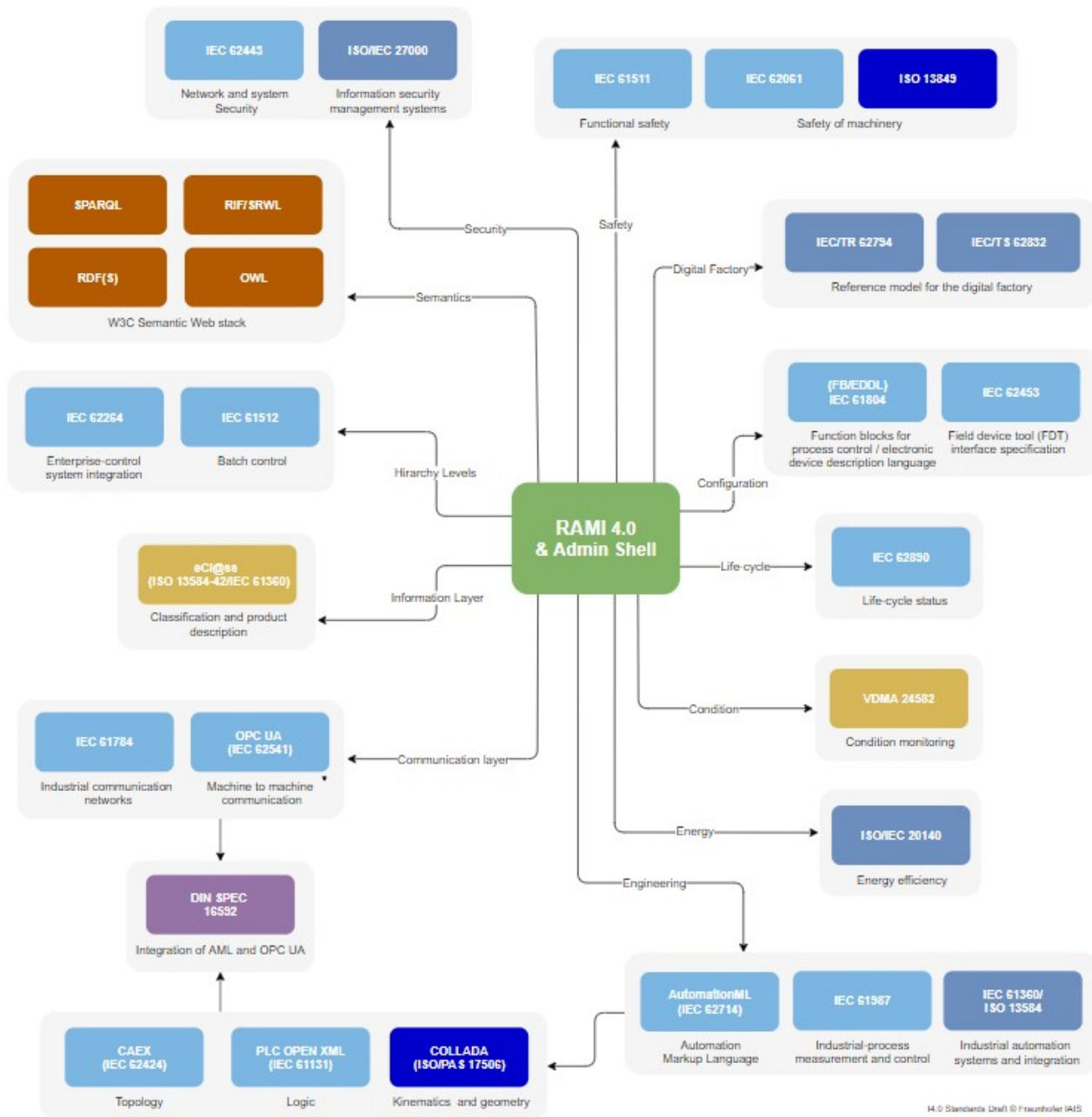


Рис. 3. Підтримка сумісності стандартів Industry 4.0 за допомогою семантичних технологій [36]

Представлене схематичне уявлення Smart Manufacturing в компонентах Industry 4.0 повністю відображає основну концепцію німецького стандарту DIN SPEC 91345: 2016-04 (E) Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0). Концепція Industry 4.0 полягає в створенні правил опису інформаційних даних і параметрів технічного об'єкта в формі еталонної моделі архітектури Industry 4.0 (RAMI4.0), яке дає уявлення даного технічного об'єкта з усіма відповідними аспектами, від його створення до виробництва і використання і до його утилізації.

Компонент Industry 4.0, який фактично представляє його як об'єднання фізичного та інформаційного світу і технологій комунікацій [37]. IEC PAS 63088: 2017 (E) Smart manufacturing-Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) описує модель еталонної архітектури у формі моделі кубічного рівня, яка показує технічні

об'єкти (активи) в формі шарів і дозволяє їх описувати, відстежувати протягом усього терміну їх служби і віднесений до технічної та / або організаційної ієрархії. У ньому також описуються структура і функції компонентів Industry 4.0, як найважливіших частин віртуального і фізичного представлення [38].

Аналізуючи DIN SPEC 16593-1: 2018-04 (E) RM-SA можна виділити основні вимоги до загальних концепцій і процедур специфікації технологій, орієнтованих на обслуговування еталонних архітектур Industry 4.0 на базі концепції IoT і Internet-of-Services (IoS) [39].

В свою чергу, PD IEC / TS 62832-1: 2016, описує основні концепції структури Smart Manufacturing [40] і IEC 62264-1: 2013, який описує область управління виробничими операціями (рівень 3) і їх дію, а також вміст інтерфейсу і пов'язані трансакції на рівні 3 і між рівнем 3 і рівнем 4.

Цей опис забезпечує інтеграцію між виробничими операціями і областю управління (рівні 3, 2, 1) і домен підприємства (рівень 4). Його метою є підвищення одноманітності і узгодженості термінології інтерфейсу і зниження ризику, вартості і помилок, пов'язаних з реалізацією цих інтерфейсів [41].

ІЕС 62541-100: 2015 OPC є розширенням всієї серії стандартів OPC Unified Architecture і визначає інформаційну модель, пов'язану з пристроями. Запропоновано три моделі, які базуються одна на одній:

- (базова) модель пристрою, призначена для забезпечення єдиного уявлення пристроїв;

- модель зв'язку пристрою, яка додає інформаційні елементи мережі і з'єднання для створення топології зв'язку;

- модель хоста інтеграції пристроїв, яка додає додаткові елементи і правила, необхідні хост-системам для управління інтеграцією всієї системи. Це дає змогу побачити топологію системи автоматизації з пристроями, а також з мережами зв'язками [42].

На рис. 3 наведені 28 міжнародних стандартів, які за допомогою семантичних технологій підтримують сумісність концепцій Industry 4.0.

### Висновки

Для подальших досліджень необхідно використовувати не всі семантичні зв'язки, а тільки ті, на базі яких будуть сформульовані і формалізовані основні принципи методології, запропонованої архітектури проектування, методик прийняття рішень на всіх етапах декомпозиції, технології проектування CPPS. Дане рішення дозволить обґрунтувати і довести правильність міркуванні відповідно до концепцій міжнародних стандартів і інтегрувати усі запропоновані науково-теоретичні та практичні рішення в рамках загального підходу до структури Smart Manufacturing.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ercan Oztemel, Samet Gursev Literature review of Industry 4.0 and related technologies// *Journal of Intelligent Manufacturing January 2020, Volume 31, Issue 1, pp 127–182* (DOI <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>)
2. Alejandro Germán Frank, Lucas Santos Dalenogare, Néstor Fabián Ayala Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies // *International Journal of Production Economics Volume 210, April 2019, Pages 15-26* (<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>)
3. Federal Ministry of Education and Research Germany (BMBF). *The new High Tech Strategy - Innovations for Germany*. Berlin. 2014.
4. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Germany (BMWi). *Industrie 4.0 – Checkliste: Kommt Industrie 4.0 für unser Unternehmen in Frage*. Berlin. 2017.
5. Хаустова В. Є., Крамарев Г. В., Зінченко В. А. Інноваційно-технологічне забезпечення модернізації пріоритетних галузей промисловості України // *ЕКОНОМІКА. ЕКОНОМІКА ПРОМИСЛОВОСТІ, БІЗНЕСІНФОРМ № 3 '2019 стр. 218-228* (DOI: [10.32983/2222-4459-2019-3-218-228](https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-3-218-228))
6. Ufuk Cebeci *The Project Management of Industry 4.0 Strategy for Software Houses // Agile Approaches for Successfully Managing and Executing Projects in the Fourth Industrial*

*Revolution 2019, 228- 241* (DOI: [10.4018/978-1-5225-7865-9.ch012](https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7865-9.ch012))

7. Emmanuel Nowakowski, Matthias Farwick, Thomas Trojer, Martin Häusler, Johannes Kessler, Ruth Breu *An Enterprise Architecture Planning Process for Industry 4.0 Transformations // In Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2019), pages 572-579* (DOI: [10.5220/0007680005720579](https://doi.org/10.5220/0007680005720579))

8. Alexandre Moeuf, Samir Lamouri, Robert Pellerin, Simon Tamayo-Giraldo, Estefania Tobon-Valencia, Romain Eburdy *Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs // Journal International Journal of Production Research (2019)* (<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323>)

9. Ubaidullah Mohammad, Cheng Yee Low, Ramhuzaini Abd Rahman, Muhammad Akmal Johar, Ching Theng Koh, Roman Dumitrescu, Martin Rabe, Laban Asmar *Smart Factory Reference Model for Training on Industry 4.0 // Journal of Mechanical Engineering Vol 16(2), 129-144, 2019*

10. Z Bradac, P Marcon, F Zezulka, J Arm, T Benes *Digital Twin and AAS in the Industry 4.0 Framework // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 618 (2019)* (doi:[10.1088/1757-899X/618/1/012001](https://doi.org/10.1088/1757-899X/618/1/012001))

11. ZVEI. *Details of the Asset Administration Shell*. Available online: <https://www.zvei.org/en/press-media/publications/details-of-the-asset-administration-shell/> (accessed on 27.01.2020)

12. Marketsandmarkets.com. *Market Study: Industry 4.0 Market by Technology (Industrial Robotics, Cyber Security, Internet of Things, 3D Printing, Advanced Human-Machine Interface, Big Data, Augmented Reality & Virtual Reality, Artificial Intelligence) - Global Forecast to 2022*. Available online: [URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html). (accessed on 28.01.2020)

13. Luis Norberto López de Lacalle, Jorge Posada *Special Issue on New Industry 4.0 Advances in Industrial IoT and Visual Computing for Manufacturing Processes // Applied sciences 2019, 9(20), 4323* (<https://doi.org/10.3390/app9204323>)

14. Madakam S., Uchiya T. (2019) *Industrial Internet of Things (IIoT): Principles, Processes and Protocols*. In: Mahmood Z. (eds) *The Internet of Things in the Industrial Sector*. Computer Communications and Networks. Springer, Cham ([https://doi.org/10.1007/978-3-030-24892-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24892-5_2))

15. Radanliev, Petar and Roure, David C. De and Nurse, Jason and Montalvo, Rafael Mantilla and Burnap, Pete, *Supply Chain Design for the Industrial Internet of Things and the Industry 4.0* (March 4, 2019). (DOI: [10.13140/RG.2.2.36311.32160](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36311.32160))

16. Giacomo Büchi, Monica Cugno, Rebecca Castagnoli *Smart factory performance and Industry 4.0 // Technological Forecasting and Social Change Volume 150, January 2020, 119790* (<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>)

17. Edward R. Griffor, David A. Wollman, Martin J. Burns, Joe Manganelli, Ronald Boring, Stephen Gilbert, Yi-Ching Lee, Dan Nathan-Robers *Elaborating the Human Aspect of the NIST Framework for Cyber-Physical Systems// Volume: 62 issue: 1, page(s): 450-454* (<https://doi.org/10.1177/1541931218621103>)

18. Giuseppe Aceto; Valerio Persico; Antonio Pescapé *A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume: 21 , Issue: 4 , Fourthquarter 2019, pp: 3467 – 3501* (DOI: [10.1109/COMST.2019.2938259](https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2938259))

19. Qiushi Cao, Franco Giustozzi, Cecilia Zanni-Merk, François de Bertrand de Beuvron, Christoph Reich *Smart Condition Monitoring for Industry 4.0 Manufacturing Processes: An Ontology-Based Approach // Journal Cybernetics and Systems, An International Journal, Volume 50, 2019 - Issue 2: adding smartness*



- to systems with case studies and applications, Pages 82-96 (<https://doi.org/10.1080/01969722.2019.1565118>)
20. L.Monostori, B.Kádár, T.Bauernhansl, S.Kondoh, S.Kumara,G.Reinhart, O.Sauer, G.Schuh, W.Sihn, K.Ueda Cyber-physical systems in manufacturing//CIRP Annals Volume 65, Issue 2, 2016, Pages 621-641 (<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.005>)
  21. István Mezgár, Gianfranco Pedone Cloud-Based Manufacturing (CBM) Interoperability in Industry 4.0 // Technological Developments in Industry 4.0 for Business Applications 2019, pp: 171-198 (DOI: 10.4018/978-1-5225-4936-9.ch008)
  22. Gang Li, Jianlong Tan, Sohail S. Chaudhry Industry 4.0 and big data innovations // Journal Enterprise Information Systems, Volume 13, 2019 - Issue 2: Industry 4.0 and Big Data Innovations, pp: 145-147 (<https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1554190>)
  23. Bogoviz, A., Lobova, S., Karp, M., Vologdin, E. and Alekseev, A. (2019), "Diversification of educational services in the conditions of Industry 4.0 on the basis of AI training", On the Horizon, Vol. 27 No. 3/4, pp. 206-212. (<https://doi.org/10.1108/OTH-06-2019-0031>)
  24. Antonio Celesti Guest Editorial Special Section on Cloud Computing, Edge Computing, Internet of Things, and Big Data Analytics Applications for Healthcare Industry 4.0 // IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume: 15 , Issue: 1 , Jan. 2019, pp: 454 – 456 (<https://doi.org/10.1109/TII.2018.2883315>)
  25. Klingenberg, C., Borges, M. and Antunes Jr, J. (2019), "Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. (<https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0325>)
  26. Sundarakani, B., Kamran, R., Maheshwari, P. and Jain, V. (2019), "Designing a hybrid cloud for a supply chain network of Industry 4.0: a theoretical framework", Benchmarking: An International Journal, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. (<https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2018-0109>)
  27. Leal P., Madeira R.N., Romão T. (2019) Model-Driven Framework for Human Machine Interaction Design in Industry 4.0. In: Lamas D., Loizides F., Nacke L., Petrie H., Winckler M., Zaphiris P. (eds) Human-Computer Interaction – INTERACT 2019. INTERACT 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11749. Springer, Cham, pp 644-648 ([https://doi.org/10.1007/978-3-030-29390-1\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29390-1_54))
  28. Visit Hirankitti An Intelligent Agent Framework for SCADA // 2019 First International Conference on Digital Data Processing (DDP), 15-17 Nov. 2019, London, United Kingdom (<https://doi.org/10.1109/DDP.2019.00024>)
  29. Clemens Fallera, Max Höftmanna Service-oriented communication model for cyber-physical-production-systems// Procedia CIRP Volume 67, 2018, Pages 156-161 (<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.192>)
  30. Mahyar Azarmipour, Haitham Elfaham, Caspar Gries, Ulrich Epple PLC 4.0: A Control System for Industry 4.0 // IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 14-17 Oct. 2019 Lisbon, Portugal (<https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8927026>)
  31. Maurizio Galetto, Alessandro Schiavi, Gianfranco Genta, Andrea Prato, Fabrizio Mazzoleni Uncertainty evaluation in calibration of low-cost digital MEMS accelerometers for advanced manufacturing applications // CIRP Annals, Volume 68, Issue 1, 2019, Pages 535-538 (<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.097>)
  32. Kirchmer M., Franz P. (2019) Value-Driven Robotic Process Automation (RPA). In: Shishkov B. (eds) Business Modeling and Software Design. BMSD 2019. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 356. pp 31-46 Springer, Cham ([https://doi.org/10.1007/978-3-030-24854-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24854-3_3))
  33. LilianaZarco, JörgSiegerta, Thomas Bauernhansl Software Model Requirements Applied to a Cyber-Physical Modular Robot in a Production Environment // Procedia CIRP Volume 81, 2019, Pages 352-357 (<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.061>)
  34. Mehrpouya, M.; Dehghanghadikolaie, A.; Fotovvati, B.; Vosooghnia, A.; Emamian, S.S.; Gisario, A. The Potential of Additive Manufacturing in the Smart Factory Industrial 4.0: A Review. Appl. Sci. 2019, 9, 3865 (<https://doi.org/10.3390/app9183865>)
  35. Dilberoglu, U.M.; Gharehpapagh, B.; Yaman, U.; Dolen, M. The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0.// Procedia Manufacturing, Volume 11, 2017, Pages 545-554 (<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>)
  36. i40.semantic-interoperability.org. Industry 4.0 Standards. Available online: URL: <http://i40.semantic-interoperability.org/>. (accessed on 30.01.2020)
  37. DIN SPEC 91345:2016-04 (E) Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) Publication date 2016-04 (<https://dx.doi.org/10.31030/2436156>)
  38. IEC PAS 63088:2017 (E) Smart manufacturing-Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0), page 34. ISBN 978-2-8322-4053-3
  39. DIN SPEC 16593-1:2018-04 (E) RM-SA - Reference Model for Industrie 4.0 Service Architectures - Part 1: Basic Concepts of an Interaction-based Architecture, page 48 (<https://dx.doi.org/10.31030/2838942>)
  40. PD IEC/TS 62832-1:2016 Industrial-process measurement, control and automation. Digital factory framework. General principles, page 52. ISBN 978 0 580 90649 7
  41. IEC 62264-1:2013 Enterprise-control system integration — Part 1: Models and terminology. Page 154.
  42. IEC 62541-100:2015 OPC Unified Architecture - Part 100: Device Interface. Page 121.