

ПИЛИПЕНКО ОЛЕКСАНДР

Державний університет "Житомирська політехніка"

ORCID ID: [0000-0003-1200-0385](https://orcid.org/0000-0003-1200-0385)e-mail: [kmi\\_pom@ztu.edu.ua](mailto:kmi_pom@ztu.edu.ua)

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОЛАБОРАТИВНИХ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОЛАБОРАТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Промислові роботи (ПР) є важливою складовою сучасного промислового виробництва, де вони виконують різноманітні технологічні операції, які складні та/або небезпечні для людини. Інтенсивний розвиток технологій і тренди розвитку Industry 4.0 призвели до поширення особливих видів роботів, серед яких широке застосування на виробництві знайшли колаборативні промислові роботи (КПР). Особливістю останніх є можливість взаємодіяти з людьми та спільно виконувати технологічні операції. КПР мають ряд особливостей та переваг у порівнянні з «класичними» ПР, наприклад, можливість програмування рухів маніпуляційної системи робота за допомогою зовнішньої ручної дії людини, так званої hand guiding. В даній статті розглянуто функціональні, апаратні та програмні можливості та особливості КПР, включаючи датчики та системи безпеки, які дозволяють роботам сприймати навколишнє середовище та взаємодіяти з людьми. Виконаний аналіз доступних інформаційних джерел щодо особливостей застосування та досліджень ПР та КПР, який вказав на актуальність та перспективність подальшого розвитку колаборативної та когнітивної робототехніки. Стисло висвітлено перспективи використання КПР у різних галузях, включаючи невиробничі галузі, та подальшу еволюцію КПР до когнітивної робототехніки, яка передбачає надання роботам інтелектуальних функцій та широких можливостей щодо прийняття рішень, в тому числі під час виконання різноманітних технологічних операцій. Підкреслено значущість КПР як перехідного етапу до когнітивної робототехніки.*

*Ключові слова: промисловий робот, колаборативна робототехніка, когнітивна робототехніка, автоматизація, безпека.*

PYLYPENKO OLEKSANDR

Zhytomyr Polytechnic State University

## FEATURES OF THE USE OF COLLABORATIVE INDUSTRIAL ROBOTS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF COLLABORATIVE TECHNOLOGIES

*Industrial robots (IRs) are an important component of modern industrial production, where they perform various technological operations that are complex and/or dangerous for humans. Technological advancements and Industry 4.0 trends have led to the proliferation of special types of robots, among which collaborative industrial robots (CIRs) have found wide application in production. The peculiarity of the latter is the ability to interact with people and perform technological operations together. CIRs have a number of features and advantages compared to "classical" PRs, for example, the ability to program the movements of the robot's manipulation system with the help of external human manual action, the so-called hand guiding. The functional, hardware, and software capabilities of CRC features, including sensors and security systems that allow robots to perceive the environment and interact with people, are considered. The most common methods of perceiving changes in the CRC environment are the use of optical sensors, electromagnetic sensors, mechanical sensors, modern technologies of technical vision and artificial intelligence. The types of interaction between humans and CRCs are highlighted, which are divided into: coexistence, synchronization, cooperation and collaboration. This paper focuses on the prospects for the development of CRCs in modern industrial production. The analysis of available information sources on the peculiarities of application and research of PR and CRC is carried out, which indicated the relevance and prospects of the areas of collaborative and cognitive robotics. The prospects for the use of CRC in various fields, including non-productive industries, and the further evolution of CRC to cognitive robotics, which involves providing robots with intellectual functions and wide decision-making capabilities, including during the technological process, are highlighted. The importance of CRC as a transitional stage to cognitive robotics is emphasized.*

*Keywords: industrial robot, collaborative robotics, cognitive robotics, automation, safety*

### Постановка проблеми

У сучасному світі роботизація як гнучкий вид автоматизації виробництва стають все більш актуальними та необхідними процесами для підвищення продуктивності, ефективності та безпеки виконання технологічних процесів. Сучасні промислові роботи (ПР) завдяки своїм функціональним можливостям та гнучкості у застосуванні широко використовуються в різних галузях виробництва. Найпоширенішими галузями де використовуються ПР є електроніка, приладобудування, машинобудування, автомобільна галузь та металообробка, рис. 1 [1]. Маніпулювання об'єктами, зварювання та складання є найрозповсюдженішими операціями, які виконуються ПР на виробництвах, рис. 1 [1].

Концепція 4-ої промислової революції Industry 4.0 [2] спрямувала подальший розвиток сучасних технологій робототехніки у напрямку колаборативності людини та ПР. Результатом цього стало зростання виготовлення та використання колаборативних промислових роботів (КПР). Їх функціональною особливістю є можливість взаємодіяти з людиною. КПР передбачають використання нових підходів щодо взаємодії між людиною та КПР у порівнянні з «класичними» ПР, які зазвичай вимагають розділення робочого простору між людьми та роботами з метою перш за все дотримання безпеки при їх сумісній діяльності.

Вищевказане підкреслює актуальність колаборативних технологій на сьогодні та ставить ряд питань щодо подальшого розвитку КПР у різних сферах виробництва.

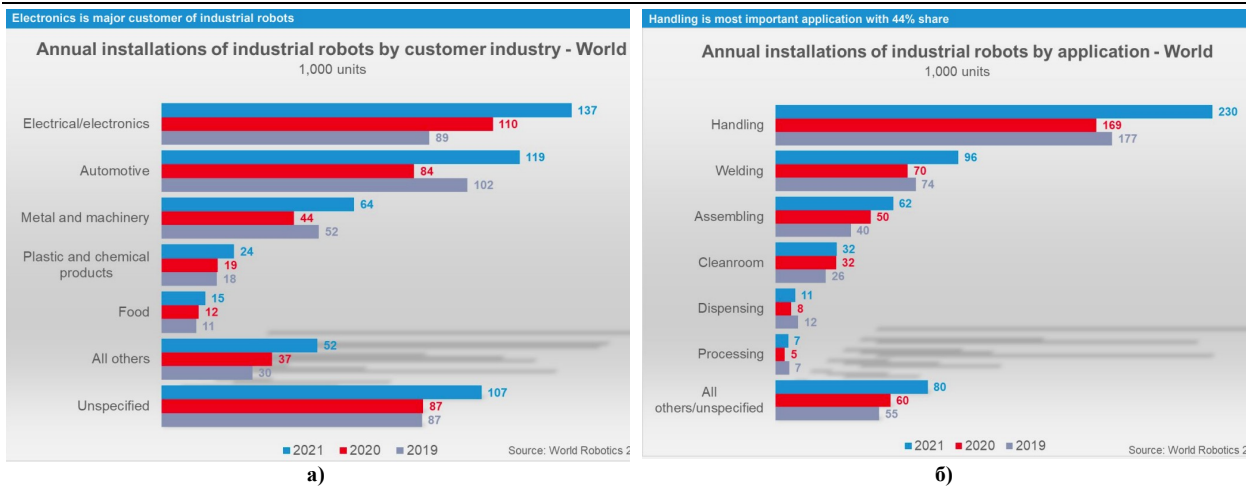


Рис. 1. Інформація щодо застосування ПР: а) – галузь застосування ПР; б) – види операцій при застосуванні ПР на виробництвах [1]

### Аналіз останніх джерел

В роботі проведено аналіз доступних інформаційних джерел, присвячених дослідженням ПР, КПР та когнітивної робототехніки. У роботах [3-6] висвітлюється загальні положення щодо розвитку «класичних» ПР, вплив 4-ої промислової революції на темпи розвитку та обсяги використання ПР на виробництвах, найпоширеніші галузі застосування ПР тощо. Вищевказані роботи підкреслюють актуальність та важливість застосування сучасних ПР на технологічних виробництвах.

Статті [7-12] розглядають тренди розвитку КПР, роль людини в КРТ, проблеми безпеки людини при застосуванні КПР на виробництві та подальші перспективи впровадження КПР на виробництвах.

В роботі [13] визначено основні поняття, терміни та визначення щодо КПР та КРТ, які узагальнюють та систематизують наявну інформацію про колаборативну робототехніку. Також в даній праці розглянуто та класифіковано взаємодію людина-КПР.

Дослідження проведені в роботі [14] описують в загальному КПР та КРТ, їх переваги та недоліки, сфери застосування, проблемні питання тощо. Дана робота дає ряд фундаментальних визначень та термінів, спираючись на досвід в промисловій робототехніці та відповідних досліджень.

Вищевказане загалом підкреслює актуальність та перспективність КПР та КРТ у виробництвах, так як дані технології вже набувають широкого обсягу застосування на виробництвах, а дослідницька робота з кожним роком набирає все більших обертів.

У роботах [15-18] висвітлено узагальнені поняття про когнітивну робототехніку, її сфери застосування, загальні проблеми та перспективи розвитку. Розкрито роль когнітивної робототехніки у інженерній сфері та передбачається її подальший розвиток із розвитком технологій штучного інтелекту, мікропроцесорної техніки та можливостями сучасних мов програмування. Акцентується увага на те, що когнітивна робототехніка містить в собі напрацювання з різних сфер інженерної практики, починаючи від автоматизації і роботизації, закінчуючи хмарними технологіями та архітектурами нейронних мереж.

Проведений вище стислий аналіз доступних інформаційних джерел вказує на очевидну, з точки зору автора цієї статті, актуальність та важливість робототехніки в цілому, та особливо високу перспективність використання колаборативної та когнітивної робототехніки в майбутньому на виробництвах.

**Метою роботи** є узагальнення проведеного аналізу доступних інформаційних джерел щодо змістовності, перспектив та подальших напрямків розвитку КРТ.

### Виклад основного матеріалу

КПР (cobot) – це вид ПР, який призначений для взаємодії та виконання спільних технологічних операцій з людиною за рахунок його функціональних, апаратних та програмних можливостей [13]. Даний вид КПР оснащений спеціальними датчиками та системами безпеки, які дозволяють сприймати та аналізувати оточуюче середовище КПР, та реагувати на зовнішні чинники, наприклад, на дії та/або присутність людини. Вищевказане найчастіше забезпечується апаратними комбінаціями з оптичних, звукових, електромагнітних, механічних датчиків, які дають змогу системі керування КПР розпізнавати оточення та мінімізувати ризики аварійних ситуацій, в тому числі з провини людей.

Один з найпоширеніших підходів щодо забезпечення колаборативної функціональності КПР є використання оптичних датчиків, починаючи від інфрачервоних датчиків наявності об'єктів в зоні досяжності КПР, закінчуючи оптичними системами з декількох камер високої роздільної здатності, які розпізнають компоненти навколишнього технологічного середовища, включаючи людей та їх рухи за допомогою технічного зору.

Також основою забезпечення колаборативності є використання електромагнітних датчиків в обмотках електромеханічних системах КПР, а саме в електроприводах, які вимірюють струми, напруги та

потужності на обмотках приводів КТР, що дає змогу визначити наявність зовнішніх дії та/або колізій КТР із/без об'єктом маніпулювання в затискному пристрої КТР. Вищевказане можливо завдяки сучасним системам керування КТР, які базуються на сучасних розвинутих мовах програмування та відповідному програмному забезпеченні. Сучасні розвинуті мови програмування та їх інтерпретатори дають можливість паралельно оброблювати великий масив вхідних сигналів з датчиків та гнучко виконувати керування ланками маніпуляційної системи КТР. Таке гнучке керування збільшує варіативність поведінки КТР у різних нормальних та аварійних ситуаціях, починаючи від простої зупинки роботи КТР, закінчуючи уповільненням руху ланок маніпуляційної системи КТР та її обминанням виявлених потенційних перепон, наприклад, людини, компонентів технологічного обладнання, що динамічно рухаються та непередбачувано з'являються в робочій зоні КТР і є потенційною небезпекою як для людини, так і для технічних компонентів когнітивної робототехнічної системи, тощо.

Співпраця між людиною і КТР зазвичай передбачає використання КТР без захисного огороження. На сьогодні існує декілька рівнів взаємодії між людьми і КТР, які визначаються різними типами взаємодії людей та роботів (в даному випадку коботів) з об'єктами. Завдання або операції, які виконують люди разом з КТР, усувають суворий поділ між ручною роботою людей і автоматизованою роботою КТР та визначають вид взаємодії останніх. При цьому робочі зони КТР та працівників перетинаються, створюючи спільний робочий простір [14]. Визначено наступні види взаємодії людина-робот в спільному робочому просторі, що передбачають наявність комірки (Cell), коли КТР або КТР працює в середовищі із захисною сіткою (рис. 2):

1. Coexistence (Співіснування) – людина та робот працюють поруч один з одним, але не мають спільного робочого простору.
2. Synchronized (Синхронізація) – людина і робот мають спільний робочий простір, але тільки один з них присутній в робочому просторі в будь-який момент часу.
3. Cooperation (Співпраця) – людина та робот можуть мати завдання, які потрібно виконати одночасно в (спільному) робочому просторі, але вони не працюють одночасно над одним об'єктом.
4. Collaboration (Колаборація) – людина і робот одночасно працюють над одним об'єктом.

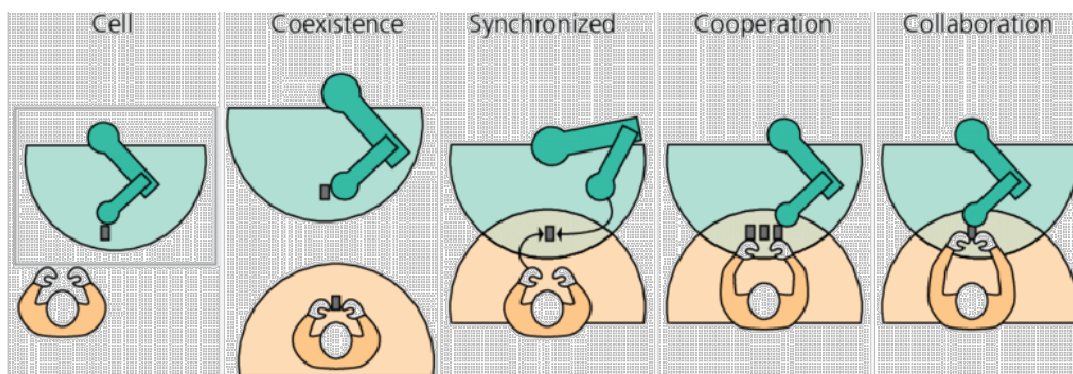


Рис. 2. Ілюстрація рівнів взаємодії між людиною і КТР [14]

Вищевказане висвітлює видозмінену роль людини у КРТ, де вона виступає в ролі обов'язкової технологічної складової. Однак на сьогодні КРТ лише починають поширюватись на виробництвах, люди і КТР в основному працюють один з одним у формі співіснування (Coexistence), при якій нова колаборативна технологія є надійною, ефективною та безпечною. Використовуючи КТР на виробництвах, підприємства та компанії переслідують неочевидні на перший погляд цілі: покращення ергономіки, випробування інноваційних технологій та підвищення безпеки для людини. Реалізація вищевказаного надає компаніям та підприємствам технологічну перевагу над конкурентами. Саме тому з кожним роком динаміка обсягів використання КТР на виробництвах зростає набагато сильніше, ніж обсяги використання «класичних» КТР [1].

На основі вищевказаного прогнозується стрімкий розвиток КТР в різногалузевих виробництвах та у невиробничих сферах (сервісна робототехніка, медична робототехніка тощо) за рахунок функціональності, безпечності, ергономічності, ефективності та гнучкості систем керування КТР. Однак наразі КТР виступає в ролі перехідного етапу від «класичної» автоматизованої промислової робототехніки до когнітивної робототехніки (рис. 3.).

Когнітивна робототехніка, що реалізує когнітивні технології – це підгалузь робототехніки, що займається наділенням робота інтелектуальною поведінкою шляхом надання йому апаратної та програмної функціональності, яка дозволить йому вчитися та приймати рішення про те, як поводитися у відповідь на навколишнє середовище [15]. Можна трактувати когнітивну робототехніку як таку, що є міждисциплінарною інженерною галуззю, яка вміщає робототехніку, автоматизацію, штучний інтелект, машинне навчання, оптичне розпізнавання об'єктів, обробку зображень, розробку програмного забезпечення тощо.

На сьогодні когнітивна робототехніка досліджується і тестується в основному в лабораторних або в тестових умовах, тому що когнітивні роботизовані технології не є надійними та безпечними з точки зору виробничих процесів. Проте когнітивна робототехніка є перспективною щодо безпеки та ефективності на виробництвах. Реалізація когнітивної робототехніки на виробництвах потребує подальшого розвитку штучного інтелекту, апаратної та програмної складових, які наразі не мають достатньої обчислювальної потужності.



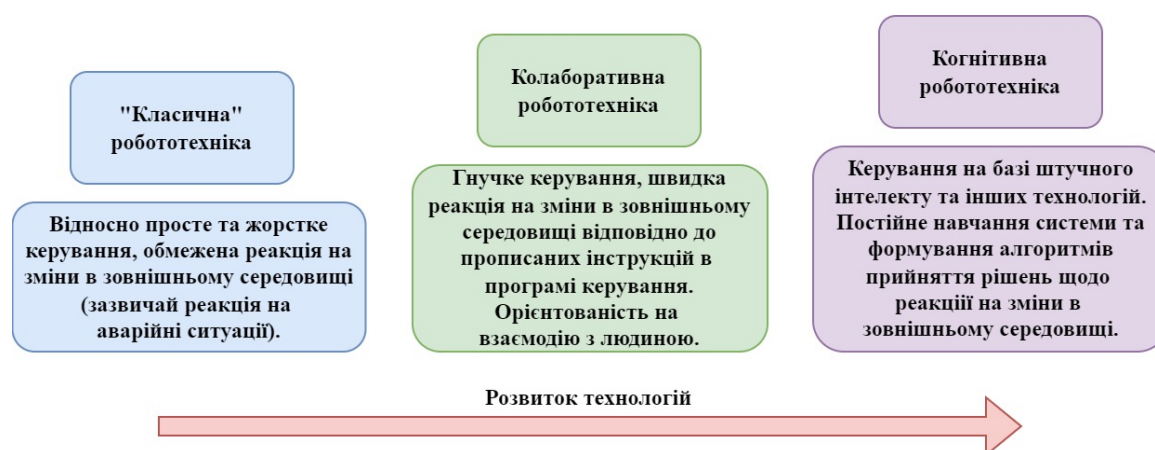


Рис. 3. Розвиток роботизованих технологій

Вищевказане підкреслює актуальність та перспективність досліджень в когнітивній робототехніці, де на сьогодні недостатньо напрацьовано загалом, а тим більше, напрацьовано щодо застосування когнітивної робототехніки на виробництві.

### Висновки

В роботі проведено стислий аналіз доступних інформаційних джерел щодо сучасного стану «класичної» промислової робототехніки, колаборативної робототехніки та когнітивної робототехніки, який вказав на актуальність даних напрямків розвитку роботизованих технологій та подальші перспективи їх розвитку. Висвітлено загальну інформацію про КПП, їх апаратні особливості та функціональні можливості. Акцентовано увагу на тому, що КПП є спеціально розробленим видом ПР для спільної роботи з людиною. Вказана нова роль людини в сучасних КРТ як обов'язкової технологічної складової. Завдяки своїм можливостям КПП відкривають нові можливості для покращення ефективності, продуктивності та безпеки спільної роботи між людиною та роботом у виробничих середовищах. Описано види взаємодій між людиною та КПП при виконанні технологічних операцій, яка поділяється на співіснування, синхронізацію, кооперацію та колаборацію.

В даній роботі акцентовано увагу на перспективах розвитку КПП і їх ролі в майбутніх промислових технологіях. Зазначено, що КПП є перехідним етапом від "класичних" промислових роботів до когнітивних промислових роботів, що реалізують відповідні роботизовані технології. При цьому когнітивна робототехніка розглядається як перспективний майбутній напрямок розвитку роботизованих технологій, який передбачає надання промисловим роботам інтелектуальних функцій та здатності навчатися та приймати рішення на основі інформації щодо навколишнього технологічного середовища.

### Література

1. The International Federation of Robotics. Market presentation World Robotics – 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ifr.org/freedownloads/>
2. Aydin Azizi, "Applications of Artificial Intelligence Techniques to Enhance Sustainability of Industry 4.0: Design of an Artificial Neural Network Model as Dynamic Behavior Optimizer of Robotic Arms", Complexity, vol. 2020, Article ID 8564140, 10 pages, 2020. – DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8564140>
3. A. Grau, M. Indri, L. Lo Bello and T. Sauter, "Robots in Industry: The Past, Present, and Future of a Growing Collaboration With Humans," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 15, no. 1, pp. 50-61, March 2021, . – DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2020.3008136>.
4. K. H. Tantawi, A. Sokolov and O. Tantawi, "Advances in Industrial Robotics: From Industry 3.0 Automation to Industry 4.0 Collaboration," 2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON), Bangkok, Thailand, 2019, pp. 1-4, – DOI: <https://doi.org/10.1109/TIMES-iCON47539.2019.9024658>.
5. Vismanis O, Arents J, Freivalds K, Ahluwalia V, Ozols K. Robotic System for Post Office Package Handling. Applied Sciences. 2023; 13(13):7643. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app13137643>
6. Michal Bartoš, Vladimír Bulej, Martin Bohušík, Ján Stanček, Vitalii Ivanov, Peter Macek, An overview of robot applications in automotive industry, Transportation Research Procedia, Volume 55, 2021, Pages 837-844, ISSN 2352-1465, – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.052>.
7. Evjemo, L.D., Gjerstad, T., Grøtli, E.I. et al. Trends in Smart Manufacturing: Role of Humans and Industrial Robots in Smart Factories. Curr Robot Rep 1, 35–41 (2020). – DOI: <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00006-5>
8. Yamaguchi, K., Inaba, K. (2023). Intelligent and Collaborative Robots. In: Nof, S.Y. (eds) Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. Springer, Cham. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1_15)
9. Li, W., Hu, Y., Zhou, Y. et al. Safe human–robot collaboration for industrial settings: a survey. J Intell Manuf (2023). – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02159-4>

10. Dong, J., Kang, D., Nam, SW. (2023). Development of Interactive Teaching Device for Difficult Teaching of Collaborative Robot. In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S., Salvendy, G. (eds) HCI International 2023 Posters. HCII 2023. Communications in Computer and Information Science, vol 1834. Springer, Cham. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35998-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35998-9_8)
11. Кирилович В.А., Мельничук П.П., Кравчук А.Р., Яновський В.А. Термінологічний та змістовний аспекти колаборативної робототехніки: аналіз та рекомендації. Державний університет "Житомирська політехніка". Технічна інженерія. 2022. №2 (90). С. 13-22. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ten.ztu.edu.ua/article/view/268008>
12. Li Liu, Fu Guo, Zishuai Zou & Vincent G. Duffy (2022) Application, Development and Future Opportunities of Collaborative Robots (Cobots) in Manufacturing: A Literature Review, International Journal of Human-Computer Interaction, – DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2041907>
13. The International Federation of Robotics. Positioning Paper. Demystifying Collaborative Industrial Robots 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://web.archive.org/web/20190823143255/https://ifr.org/downloads/papers/IFR\\_Demystifying\\_Collaborative\\_Robots.pdf](https://web.archive.org/web/20190823143255/https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf)
14. Wilhelm Bauer, Manfred Bender, Martin Braun, Peter Rally, Oliver Scholtz, Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! Examining companies' initial experiences with lightweight robots. (2016). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/327744724\\_Lightweight\\_robots\\_in\\_manual\\_assembly\\_-\\_best\\_to\\_start\\_simply\\_Examining\\_companies'\\_initial\\_experiences\\_with\\_lightweight\\_robots](https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-_best_to_start_simply_Examining_companies'_initial_experiences_with_lightweight_robots)
15. Kawamura, K., Browne, W. (2009). Cognitive Robotics. In: Meyers, R. (eds) Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, New York, NY. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3\\_74](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3_74)
16. Shingo Shimoda, Lorenzo Jamone, Dimitri Ognibene, Takayuki Nagai, Alessandra Sciutti, Alvaro Costa-Garcia, Yohei Oseki & Tadahiro Taniguchi (2022) What is the role of the next generation of cognitive robotics?, Advanced Robotics, 36:1-2, 3-16, – DOI: <https://doi.org/10.1080/01691864.2021.2011780>
17. Tadahiro Taniguchi, Shingo Murata, Masahiro Suzuki, Dimitri Ognibene, Pablo Lanillos, Emre Ugur, Lorenzo Jamone, Tomoaki Nakamura, Alejandra Ciria, Bruno Lara & Giovanni Pezzulo (2023) World models and predictive coding for cognitive and developmental robotics: frontiers and challenges, Advanced Robotics, 37:13, 780-806, – DOI: <https://doi.org/10.1080/01691864.2023.2225232>
18. Shufei Li, Pai Zheng, Sichao Liu, Zuoxu Wang, Xi Vincent Wang, Lianyu Zheng, Lihui Wang, Proactive human-robot collaboration: Mutual-cognitive, predictable, and self-organising perspectives, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 81, 2023, 102510, ISSN 0736-5845, – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102510>.

#### References

1. The International Federation of Robotics. Market presentation World Robotics – 2022. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://ifr.org/freedownloads/>
2. Aydin Azizi, "Applications of Artificial Intelligence Techniques to Enhance Sustainability of Industry 4.0: Design of an Artificial Neural Network Model as Dynamic Behavior Optimizer of Robotic Arms", Complexity, vol. 2020, Article ID 8564140, 10 pages, 2020. – DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8564140>
3. Grau, M. Indri, L. Lo Bello and T. Sauter, "Robots in Industry: The Past, Present, and Future of a Growing Collaboration With Humans," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 15, no. 1, pp. 50-61, March 2021, . – DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2020.3008136>.
4. K. H. Tantawi, A. Sokolov and O. Tantawi, "Advances in Industrial Robotics: From Industry 3.0 Automation to Industry 4.0 Collaboration," 2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-ICON), Bangkok, Thailand, 2019, pp. 1-4, – DOI: <https://doi.org/10.1109/TIMES-ICON47539.2019.9024658>.
5. Vismanis O, Arents J, Freivalds K, Ahluwalia V, Ozols K. Robotic System for Post Office Package Handling. Applied Sciences. 2023; 13(13):7643. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app13137643>
6. Michal Bartoš, Vladimír Bulej, Martin Bohušik, Ján Stanček, Vitalii Ivanov, Peter Macek, An overview of robot applications in automotive industry, Transportation Research Procedia, Volume 55, 2021, Pages 837-844, ISSN 2352-1465, – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.052>.
7. Evjemo, L.D., Gjerstad, T., Grøtli, E.I. et al. Trends in Smart Manufacturing: Role of Humans and Industrial Robots in Smart Factories. Curr Robot Rep 1, 35–41 (2020). – DOI: <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00006-5>
8. Yamaguchi, K., Inaba, K. (2023). Intelligent and Collaborative Robots. In: Nof, S.Y. (eds) Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. Springer, Cham. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96729-1_15)
9. Li, W., Hu, Y., Zhou, Y. et al. Safe human-robot collaboration for industrial settings: a survey. J Intell Manuf (2023). – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02159-4>
10. Dong, J., Kang, D., Nam, SW. (2023). Development of Interactive Teaching Device for Difficult Teaching of Collaborative Robot. In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S., Salvendy, G. (eds) HCI International 2023 Posters. HCII 2023. Communications in Computer and Information Science, vol 1834. Springer, Cham. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35998-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35998-9_8)
11. Kyrylovykh V.A., Melnychuk P.P., Kravchuk A.R., Yanovskiy V.A. Terminologichnyi ta zmistovnyi aspekty kolaboratyvnoi robototekhniki: analiz ta rekomendatsii. Derzhavnyi universytet "Zhytomiryska politekhnika". Tekhnichna inzheneriia. 2022. №2 (90). S. 13-22. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://ten.ztu.edu.ua/article/view/268008>
12. Li Liu, Fu Guo, Zishuai Zou & Vincent G. Duffy (2022) Application, Development and Future Opportunities of Collaborative Robots (Cobots) in Manufacturing: A Literature Review, International Journal of Human-Computer Interaction, – DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2041907>
13. The International Federation of Robotics. Positioning Paper. Demystifying Collaborative Industrial Robots 2018 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: [https://web.archive.org/web/20190823143255/https://ifr.org/downloads/papers/IFR\\_Demystifying\\_Collaborative\\_Robots.pdf](https://web.archive.org/web/20190823143255/https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf)
14. Wilhelm Bauer, Manfred Bender, Martin Braun, Peter Rally, Oliver Scholtz, Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! Examining companies' initial experiences with lightweight robots. (2016). [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: [https://www.researchgate.net/publication/327744724\\_Lightweight\\_robots\\_in\\_manual\\_assembly\\_-](https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-)

---

\_best\_to\_start\_simply\_Examining\_companies'\_initial\_experiences\_with\_lightweight\_robots

15. Kawamura, K., Browne, W. (2009). Cognitive Robotics. In: Meyers, R. (eds) Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, New York, NY. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3\\_74](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3_74)

16. Shingo Shimoda, Lorenzo Jamone, Dimitri Ognibene, Takayuki Nagai, Alessandra Sciutti, Alvaro Costa-Garcia, Yohei Oseki & Tadahiro Taniguchi (2022) What is the role of the next generation of cognitive robotics?, *Advanced Robotics*, 36:1-2, 3-16, – DOI: <https://doi.org/10.1080/01691864.2021.2011780>

17. Tadahiro Taniguchi, Shingo Murata, Masahiro Suzuki, Dimitri Ognibene, Pablo Lanillos, Emre Ugur, Lorenzo Jamone, Tomoaki Nakamura, Alejandra Ciria, Bruno Lara & Giovanni Pezzulo (2023) World models and predictive coding for cognitive and developmental robotics: frontiers and challenges, *Advanced Robotics*, 37:13, 780-806, – DOI: <https://doi.org/10.1080/01691864.2023.2225232>

18. Shufei Li, Pai Zheng, Sichao Liu, Zuoxu Wang, Xi Vincent Wang, Lianyu Zheng, Lihui Wang, Proactive human–robot collaboration: Mutual-cognitive, predictable, and self-organising perspectives, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 81, 2023, 102510, ISSN 0736-5845, – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102510>.