

УДК 004.896

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.9>**О. М. КУЧКІН**

аспірант кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0004-3287-0948

**А. Ю. САЗОНОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7124-5863

**М. В. ЛУКІНЮК**

старший викладач кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-6923-9501

**І. Ю. ЧЕРЕПАНСЬКА**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-0741-7194

## ЩОДО АНАЛІЗУ СТРАТЕГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВ ЗА РАХУНОК ІНТЕГРАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Сучасна промисловість переживає активний розвиток завдяки використанню передових технологій та інноваційних підходів. Один з ключових способів підвищення продуктивності та конкурентоспроможності підприємств полягає в інтеграції мобільних роботів у виробничий процес з метою зменшення людської участі та навіть її повного виключення. Цей підхід становить важливий елемент концепції Industry 4.0. Стаття пропонує узагальнити сучасні підходи та стратегії автоматизації промислових виробництв з метою визначення ролі мобільних роботів у підвищенні ефективності цих процесів. Для розуміння задач та проблем сучасної автоматизації було визначено основні цілі дослідження, включаючи аналіз поточного стану та перспектив інтеграції мобільних роботів у виробничий процес, аналіз їх ефективності та важливості для сучасної промисловості, а також визначення напрямків подальших досліджень і розвитку цієї сфери.

За результатами аналізу поточного стану інтеграції мобільних роботів у виробничий процес на основі конкретних прикладів, виділено фактори, що визначають успіх цього підходу. Серед них варто відзначити технічну надійність роботів, їхню здатність адаптуватися до різноманітних виробничих умов, а також взаємодію та співпрацю з людським персоналом.

Процес адаптації та навчання персоналу використовувати нові технології є ключовим етапом впровадження мобільних роботів. Також слід враховувати аспекти етики та безпеки, оскільки взаємодія між роботами та людьми вимагає узгоджених стандартів для запобігання можливим ризикам та непорозумінням. Проведені дослідження вказують на актуальність використання мобільних роботів у сучасних виробництвах і визначають завдання, які перед ними стоять. Головний акцент робиться на підвищенні продуктивності та сталості виробничих процесів. У контексті Industry 4.0, мобільні роботи відображають актуальність дослідження та інтеграцію передових технологій для досягнення необхідної якості та ефективності виробництва.

**Ключові слова:** мобільні роботи, автоматизовані виробництва, Індустрія 4.0, автоматизації, стратегії підвищення ефективності, безпілотний літальний апарат (БПЛА).

**О. М. KUCHKIN**

Postgraduate Student at the Department of Automation Hardware and Software  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0009-0004-3287-0948

A. YU. SAZONOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation Hardware and Software  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7124-5863

M. V. LUKINIUK

Senior Lecturer at the Department of Automation Hardware and Software  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-6923-9501

I. YU. CHEREPANSKA

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Automation and Non-Destructive Testing Systems  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-0741-7194

## ANALYZING STRATEGIES OF THE PRODUCTION EFFICIENCY ENHANCEMENT BY MOBILE ROBOTS INTEGRATION

*The contemporary industry is undergoing active development due to the utilization of advanced technologies and innovative approaches. One of the key methods to enhance productivity and competitiveness of enterprises involves the integration of mobile robots into the manufacturing processes, aiming to reduce human involvement or even exclude it entirely. This approach constitutes a crucial element of the Industry 4.0 concept. The article seeks to synthesize modern approaches and strategies for automating industrial production to determine the role of mobile robots in enhancing the efficiency of these processes. To comprehend the tasks and challenges of contemporary automation, the research defines primary objectives, including an analysis of the current state and prospects of integrating mobile robots into the production process, an assessment of their effectiveness, and their significance for modern industry. Furthermore, the study identifies directions for further research and development in this field. The analysis of the current state of mobile robot integration into the production process, based on specific examples, reveals factors determining the success of this approach. Among these factors, noteworthy are the technical reliability of robots, their ability to adapt to diverse manufacturing conditions, and their interaction and collaboration with human personnel. The process of adapting and educating personnel to use new technologies is a pivotal stage in the implementation of mobile robots. Ethical and safety aspects also need consideration, as the interaction between robots and humans requires coordinated standards to prevent potential risks and misunderstandings. Conducted research underscores the relevance of utilizing mobile robots in contemporary manufacturing and outlines the tasks ahead of them. The primary emphasis is on improving the productivity and sustainability of production processes. In the context of Industry 4.0, mobile robots highlight the significance of research and integration of advanced technologies to achieve the necessary quality and efficiency in production.*

**Key words:** Mobile Robots, Automated Manufacturing, Automation, Industry 4.0, Efficiency Enhancement Strategies, Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

### Постановка проблеми

Сучасна промисловість переживає період інтенсивного розвитку та трансформації завдяки використанню передових технологій та інноваційних підходів за для підвищення ефективності та конкурентоспроможності виробництва [1]. Однією з ключових стратегій, для досягнення вказаного є якомога глибша інтеграція мобільних роботів у виробничий процес, для зменшення участі людини, а де можливо, її повного виключення із процесу виробництва. Такий підхід є ключовим у концепції Industry 4.0 [2] і направлений на підвищенню рівня продуктивності виробництва, сталості та точності виробничих процесів, що детально розкривається у дослідженнях багатьох авторів [1, 2], і у свою чергу, підкреслює актуальність дослідження та необхідність інтеграції передових технологій для досягнення необхідного рівня якості і ефективності виробництва, а також важливість їх застосування в різних галузях, де вони можуть підтримувати реалізацію інноваційних підходів до автоматизації.

Тому доцільним є узагальнення сучасних підходів та стратегій автоматизації промислових виробництв з метою виділення ролі мобільних роботів для підвищення їх ефективності. Таким чином наші дослідження спрямовані на аналіз напрямів сучасної автоматизації з фокусом на інтеграції мобільних роботів у виробничі процеси. Ми аналізуємо різні аспекти автоматизації промисловості як технічні так і програмні, включаючи штучний інтелект, машинне навчання, комп'ютерний зір тощо Загальний аналіз літературних даних підкреслює важливість

впровадження мобільних роботів у виробничий процес як ключової стратегії для досягнення підвищення продуктивності та конкурентоспроможності в сучасній промисловості [3, 4]. Водночас, дослідження вказують на необхідність уважного вирішення викликів та проблем, що виникають при впровадженні цих технологій.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання роботизованих системи для автоматизації процесів виготовлення продукції [5–12] набуло широкої популярності. Наприклад, збільшення рівня автономності виробничих ліній дозволяє досягнути підвищення рівня якості, що є майже неможливим із значним втручанням людини у процес виробництва, оскільки може призвести до появи стохастичних збурень з боку людського персоналу. Також, набуло широкого застосування для систем контролю та моніторингу технологічних параметрів, загального стану обладнання та інших важливих параметрів виробничих ліній за допомогою сенсорів, датчиків і систем збору та аналізу даних, щоб підтримувати стабільність та точність виробничих процесів [13].

Однією з ключових стратегій автоматизації є використання штучного інтелекту [14, 15] у поєднанні із мобільними роботами, що наділяє їх можливістю аналізувати великі обсяги даних, враховуючи контекст, на основі якого приймати рішення, адаптовані до конкретної ситуації або середовища, що у свою чергу забезпечує підвищення їх продуктивності. Наприклад, у машинобудівних галузях, таких як автомобіле- та літакобудування, остаточно не вирішеною є задача транспортування компонентів та виконання інших завдань, таких як зварювання або фарбування. Штучний інтелект дозволяє роботам оптимізувати маршрути [16], уникати перешкод [17] та зменшувати час виконання завдань. Крім того, вони можуть навчатися від попередніх завдань і покращувати свою продуктивність з часом [18].

Ще однією важливою стратегією є використання моделей нечіткої логіки [19] та алгоритмів нелінійної оптимізації [20] для керування мобільними роботами [21, 22]. Нечітка логіка дозволяє враховувати нечіткі або нестандартні умови та вводити їх у процеси прийняття рішень. Наприклад, у сфері логістики мобільні роботи, які використовують моделі нечіткої логіки, можуть керувати маршрутами доставки в умовах, коли шляхи не завжди є ідеальними. Алгоритми нелінійної оптимізації можуть бути використані для мінімізації витрат часу та ресурсів при плануванні оптимальних маршрутів руху мобільних роботів у складних умовах.

Машинне навчання є іншою ключовою стратегією, яка відіграє важливу роль у підвищенні ефективності виробничої сфери через інтеграцію мобільних роботів [23, 24]. Машинне навчання дозволяє роботам аналізувати та використовувати дані для вивчення патернів, прогнозування результатів та оптимізації процесів. Наприклад, на виробництві методи машинного навчання можуть використовуватися для прогнозування несприятливих умов для обладнання, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій шляхом проведення планових ремонтів обладнання відповідно до прогнозованого графіку відмов. Основними напрямками розвинення машинного навчання для застосування її у сферах промислового виробництва можна вважати:

1. Використання навчання в логістиці: Мобільні роботи в складах можуть використовувати машинне навчання для покращення розподілу товарів на полицях. Наприклад, системи МН можуть навчити роботів розпізнавати популярні товари та оптимізувати розміщення їх на видатних місцях.

2. Автономна навігація в складних умовах: Мобільні роботи, оснащені системами комп'ютерного зору та штучного інтелекту, можуть навчатися навігації в умовах, коли середовище постійно змінюється. Наприклад, роботи у виробничому приміщенні можуть уникати перешкод та рухатися ефективно навіть у вузьких коридорах.

3. Автономні мобільні роботи в сільському господарстві: В сільському господарстві мобільні роботи використовуються для виконання завдань, таких як збір врожаю або полив. Вони можуть використовувати дані з датчиків та аналізувати їх для оптимального розподілу ресурсів та підтримки високого врожаю.

4. Системи медичних роботів: У медицині мобільні роботи можуть використовуватися для автономної доставки ліків, матеріалів або навіть виконання дрібних хірургічних процедур. ШІ та комп'ютерний зір допомагають забезпечити точність та безпеку цих операцій.

5. Роботи в електронному виробництві: У виробництві електроніки мобільні роботи використовуються для завантаження компонентів на плати, виконання лазерного спайку або перевірки якості виробів за допомогою вбудованих камер. Машинне навчання допомагає їм розпізнавати дефекти і зменшувати брак.

Використання комп'ютерного зору, що наділяє роботів когнітивними властивостями [25], також отримало широке застосування і розвинулось у окремий напрям «когнітивна робототехніка» [26–28], направлений на розпізнавання об'єктів, людей та оточуючого середовища тощо. Наприклад, для автоматичного визначення місця розміщення товарів у складських приміщеннях, що дозволяє прискорити та оптимізувати процес збору та доставки замовлень.

Не останню роль відіграє робототехніка як наука у процесах автоматизації виробництва, оскільки дослідження та новітні розробки в цій галузі призводять до швидкого впровадження їх у виробничі лінії і як наслідок формування концепції «розумних заводів» [29, 30]. Дана концепція відкриває нові можливості для застосування мобільних роботів. У свою чергу розвиток Індустрії 4.0 також може стати ключовим фактором активного зростання попиту на ринку мобільних роботів у майбутньому. Проте інтеграція роботів у виробничі сфери має велику

кількість ризиків [31] та обмежень. Насамперед, за даними авторів [4] збільшення витрат на встановлення та обслуговування мобільних роботів може перешкодити розвитку галузі впродовж 2023–2030 років; обмежена кількість кваліфікованого персоналу для роботи з мобільними роботами може стати серйозною загрозою для розвитку галузі; питання безпеки, пов’язані із використанням як мобільних роботів, так і систем контролю та можуть стати суттєвою проблемою мобільної робототехніки найближчими роками.

**Формулювання мети дослідження**

Основною метою даного дослідження є аналіз поточного стану та перспектив інтеграції мобільних роботів у виробничий процес, аналіз їх ефективності і важливості у сучасній промисловості, визначення напрямків подальших досліджень та розвитку цієї сфери. Для досягнення цієї мети необхідно акцентувати увагу на наступних **задачах**:

1. Провести огляд різних стратегій автоматизації конкретних підприємств та галузей, де інтеграція мобільних роботів призвела до підвищення продуктивності та якості виробництва.
2. Розглянути економічну складову цих методів, дослідити
3. Визначити переваги та недоліки даних методів;
4. Розглянути проблеми, пов’язані з інтеграцією мобільних роботів, такі як безпека, витрати, підготовка персоналу та правові аспекти;
5. Проаналізувати потенційні майбутні тренди в галузі автоматизації виробництва з використанням мобільних роботів та нові технології, які можуть змінити спосіб, якими ми виробляємо товари;
6. Зробити висновки, підсумувавши переваги інтеграції мобільних роботів у виробничий процес, підкреслити їхню важливість у сучасній промисловості.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

**Дослідження сучасних промислових виробництв**

Як зазначено вище, сучасні підприємства вже мають великий досвід у використанні роботів для задач автоматизації. Для більш чіткого розуміння стратегій автоматизації було розглянуто декілька конкретних прикладів підприємств світового рівня [5–12], зокрема таких країн як США, Німеччина, Японія та Великобританія, оскільки ці країни є першовантажними щодо використання роботів у виробничих процесах.

Напрями розвитку мобільних роботів, за типом середовища функціонування, класифіковані наступним чином: безпілотні наземні апарати (A-UGV) [32], безпілотні літальні апарати (UAV). UAV, здатні виконувати різноманітні завдання завдяки своїм унікальним характеристикам і перевагам. Вони знаходять застосування в широкому спектрі сфер, включаючи фото- та відеозйомку, сільське господарство, геодезію та картографію, лісове господарство, моніторинг навколишнього середовища тощо (рис. 1).



**Рис. 1. Графічна інтерпретація використання мобільної робототехніки у різних галузях промисловості**

Сегмент безпілотних літальних апаратів є домінантним для промислових виробництв, оскільки UAV мають широкий спектр застосувань і переваг, які роблять їх привабливими для різних галузей промисловості, зокрема:

1. Діапазон застосування: UAV можуть використовуватися в різних галузях, від приватного сектору до галузей промисловості, що потребують моніторингу та збору даних.

2. Ефективність і вартість: Вони дозволяють зберігати час і ресурси, які раніше витрачалися на ручні методи обстеження та дослідження, роблять деякі завдання доступними для автоматизації та значно зменшують витрати.

3. Технологічний прогрес: Постійний розвиток технологій, таких як вдосконалені камери, лазерні сенсори та збільшення обчислювальної потужності, підвищує можливості і універсальність UAV, що робить їх все більш привабливими для використання у різних галузях.

Крім того розроблення складніших датчиків, збільшення терміну служби батареї та збільшення обчислювальної потужності, робить БПЛА більш потужними та універсальними, що ще більше підвищує їх популярність і впровадження.

Виходячи із проблем промислових виробництв, напрями застосування включають логістику та складування, військову й оборонну сферу, охорону здоров'я, побутову техніку, розваги, освіту, сільське та лісове господарство та інші. Сегмент логістики та складування наразі є домінуючим. Зростаючий попит на автоматизацію та потреба в ефективних і рентабельних логістичних операціях є однією із ключових рушійних сил цієї тенденції. Мобільні роботи, такі як автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV) і автономні мобільні роботи (AMR), вже використовуються на складах і у розподільчих логістичних центрах, наприклад DEACTHLON [33], для переміщення товарів та матеріалів в межах робочого середовища завдяки можливості орієнтування, планування маршрутів, із врахуванням перешкод, підвищують ефективність і знижують ризик нещасних випадків на виробництві.

Нижче представлена таблиця приклади успішного впровадження стратегій автоматизації в промислових виробництвах. Ці дані базуються на реальних виробництвах і показують позитивний вплив автоматизації на результати підприємств.

Таблиця 1

**Приклади успішного впровадження стратегій автоматизації**

Інформація про виробництво	Сфера застосування мобільних роботів	Переваги інтеграції мобільних роботів
Amazon Robotics [34,35]	Використовуються для сортування, переміщення та упаковки товарів у складних умовах дистрибуції. Впроваджено 750 тис. мобільних роботів, за даними 2022 року [34]	Внаслідок впровадження мобільних роботів, Amazon зміг значно збільшити продуктивність своїх складських операцій, знизити час доставки та зменшити кількість людських помилок
Tesla Gigafactory [36,37]	Автоматизація виробничого процесу для виробництва літій-іонних батарей для електромобілів. Упаковка осередків батарей для автомобілів	Мобільні роботи в Gigafactory допомагають виробляти батареї більш ефективно та точно, знижуючи ризик помилок та забезпечуючи постійну якість продукції. Підвищення швидкості упаковки літій-іонних осередків на 50% швидше
Vathos GmbH [5]	Сортування та точне розміщення за допомогою вантажопідійомних роботів, завантаження та розвантаження деталей, візуальна інспекція для оцінки якості деталей. Використання програмних продуктів для керування роботами хмарна архітектура, периферійний та гібридний інтерфейси, API.	Мобільні роботи можуть швидко та точно сортувати великі об'єми матеріалів або виробів, забезпечуючи оптимальне розміщення з врахуванням простору та інших параметрів. Використання програмних рішень дозволяє координувати роботи, створювати оптимальні маршрути та діагностувати проблеми в реальному часі, Застосування API дозволяє інтегрувати роботів з іншими системами та програмами для забезпечення їх спільної роботи та обміну даними
Verosim Solutions [6]	Візуалізація будівельних даних з файлів IFC, візуалізація моделей міста в ландшафті, моделювання рухомих компонентів будівлі, інтерактивний аналіз моделей IFC, інтерактивне представлення віртуальної реальності моделей і процесів у реальному часі. Застосування роботів для сканування 3D об'єктів	Більш точне моделювання динамічних сценаріїв у їх динамічному середовищі з великими масштабами середовища, відтворення поведінки об'єктів і систем за допомогою кінематичної та динамічної симуляції, симуляції руху людей по заздалегідь визначених маршрутах із заздалегідь визначеними моделями руху.

Дані приклади демонструють, що автоматизація сприяє підвищенню ефективності виробництва, включаючи зменшення витрат, поліпшення якості продукції, підвищення продуктивності праці. Автоматизація відкриває нові можливості для оптимізації процесів та впровадження інноваційних рішень, що допомагає підприємствам залишатися конкурентоспроможними в сучасному бізнес-середовищі. Застосування автоматизованих рішень дозволяє підприємствам більш точно прогнозувати і вирішувати виробничі проблеми, що веде до підвищення якості продукції та задоволеності клієнтів. Підприємства, які інвестують у автоматизацію, здатні підвищити свою конкурентоспроможність та досягти стійкого зростання в довгостроковій перспективі.

**Результати досліджень та висновки**

Оцінка ефективності стратегії автоматизації виконана на основі порівняння кількісних економічних характеристик. Більшість впроваджених стратегій по інтеграції мобільних роботів у процес виробництва показують істотне підвищення ефективності. Це досягається завдяки наступним факторам:

1. Зниження витрат на робочу силу: Мобільні роботи можуть виконувати багато завдань, які раніше вимагали людської праці. Це дозволяє підприємствам зменшити витрати на оплату праці.

2. Зниження ризику помилок: Мобільні роботи працюють з високою точністю і не схильні до втоми або відволікань, що допомагає уникнути помилок у виробництві.

3. Збільшення продуктивності: Мобільні роботи можуть функціонувати цілодобово без перерви, що призводить до збільшення продуктивності і підвищення обсягу виробництва.

Структуровані результати аналізу (табл. 1) свідчать, що використання мобільних роботів є дійсно важливим компонентом сучасної автоматизації, та передбачає швидкий розвиток цієї галузі в майбутньому. А задачі вдосконалення систем мобільних роботів, обслуговування, якісного і точного керування будуть одними із найважливіших. На підставі даних дослідження ринку промислової робототехніки [3, 4, 10, 11, 12], можна стверджувати, що основним напрямом досліджень на найближчі 10 років є вирішення комплексних задач керування роботами, інтерфейсах комунікації між людиною і роботом та аналізу даних отриманих від роботів. Ці дані показують актуальність теми використання роботів для промислових цілей, і прогнозують швидкий розвиток цього ринку до 2030 року (рис. 2).

Відповідно до звіту, опублікованого Facts & Factors, у 2022 році розмір світового ринку промислової робототехніки оцінювався в 27,11 мільярда доларів США, а до кінця 2030 року планується досягти 60,57 мільярда доларів США з CAGR майже 10,7% між 2023 та 2030 роками. Звіт промислової робототехніки охоплює географічний ринок разом із комплексним аналізом конкурентного середовища. Він також включає аналіз грошових потоків, аналіз коефіцієнта прибутку, аналіз ринкового кошика, аналіз ринкової привабливості, аналіз PESTEL, SWOT-аналіз, аналіз п'яти сил Портера та аналіз ланцюга створення вартості. Крім того, звіт про ринок промислової робототехніки досліджує простір інвесторів і зацікавлених сторін.

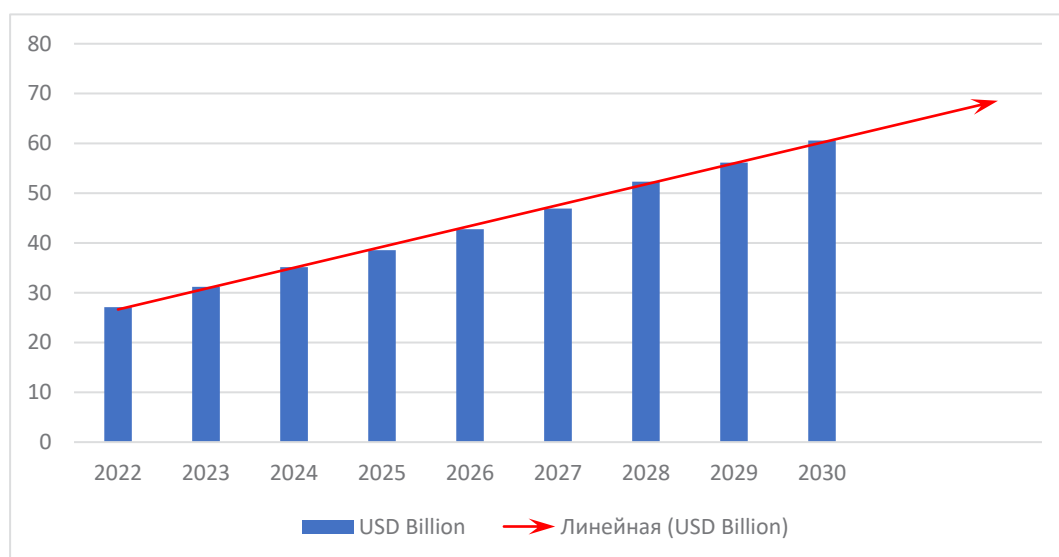


Рис. 2. Прогноз ринку промислових роботів (витрати на їх закупівлю) до 2030 року [10]

У 2022 році розмір ринку мобільної робототехніки оцінювався в 2,97 мільярда доларів США. Прогнозується, що галузь мобільної робототехніки зросте з 3,53 мільярда доларів США у 2023 році до 7,51 мільярда доларів США до 2030 року (рис. 3), демонструючи сукупний річний темп зростання (CAGR) 12,30% протягом прогнозованого періоду 2023–2030 рр. Ринок розширюється в результаті розвитку технології роботів і зростання їх використання. Мобільні роботи використовуються в різних галузях промисловості, включаючи транспорт, операції з підбору й розміщення, охорону здоров'я та клініки.

Таким чином, можемо зробити висновок, що автоматизація має великий попит по всьому світу. Компанії автоматизують свої виробничі та адміністративні процеси, з метою економії витрат, часу і покращення якості продукції. У відповідь на жорстку конкуренцію на світовому ринку, компанії активно впроваджують мобільних роботів, щоб підвищити якість продукції, продуктивність і безпеку для своїх працівників.

Мобільні роботи досягли значних інновацій та продовжують активний розвиток у всьому світі. Їх ринкова цінність зростає завдяки розширенню використання роботизованих рішень як у вже розвинутих галузях виробництва, так і в відносно нових. Крім того, зростаючі ініціативи в області наукових досліджень та інвестиції у розвиток робототехніки сприяють стрімкому розширенню ринку.

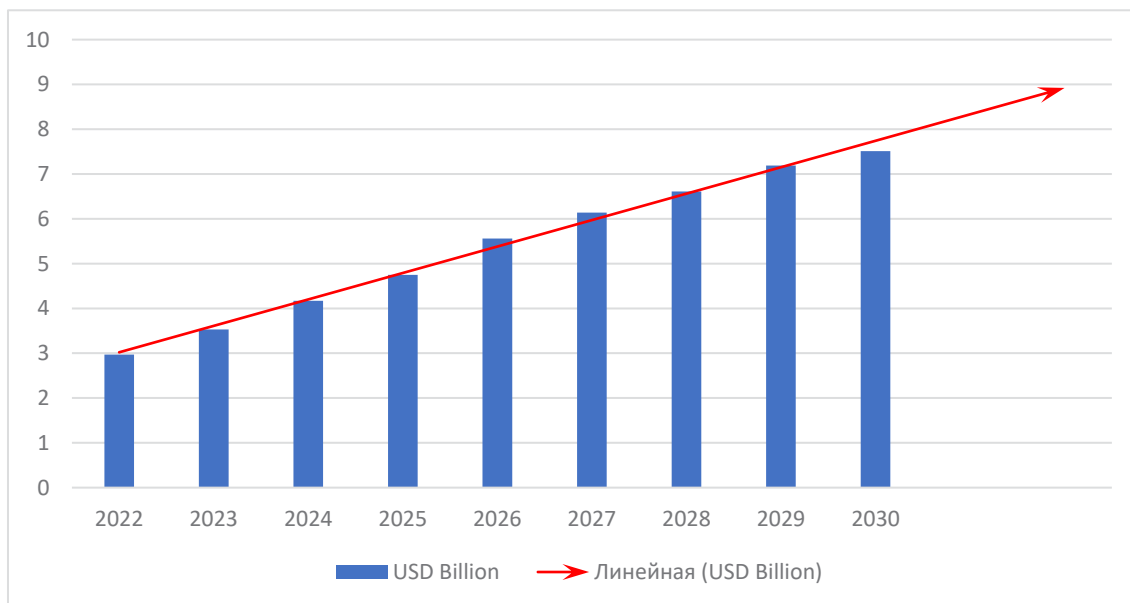


Рис. 3. Прогноз ринку мобільних роботів (витрати на їх закупівлю) до 2030 року [12]

#### Список використаної літератури

1. Bai, C. et al. (2020) 'Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective', *International Journal of Production Economics*, 229, p. 107776. doi:10.1016/j.ijpe.2020.107776.
2. Park, H.-A. (2016) 'Are we ready for the fourth industrial revolution?', *Yearbook of Medical Informatics*, 25(01), pp. 1–3. doi:10.15265/iy-2016-052.
3. *Mobile robots market size, share, industry report, Revenue Trends and Growth Drivers MarketsandMarkets*. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mobile-robots-market-43703276.html> (Accessed: 17 October 2023).
4. Market Research Future, *Mobile Robotics Market Size, trends and forecast- 2030, Mobile Robotics Market Size, Trends and Forecast- 2030*. Available at: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/mobile-robotics-market-1946> (Accessed: 17 October 2023).
5. Vathos GmbH (2023). <https://www.vathos-robotics.de/>. Accessed 11 Oct 2023
6. Verosim Solutions (2023). <https://www.verosim-solutions.com/>. Accessed 11 Oct 2023
7. Müller, R., Hörauf, L., Vette-Steinkamp, M., Kanso, A., Koch, J.: The assist-by-X system: calibration and application of a modular production equipment for visual assistance. *Proc. CIRP* 86, 179–184 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.021>
8. *SQRP: Sensing Quality-aware robot programming system for ...* – *arxiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2107.00127> (Accessed: 11 October 2023).
9. K. He, A. M. Wells, L. E. Kavraki, and M. Y. Vardi, "Efficient symbolic reactive synthesis for finite-horizon tasks," in 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2019, pp. 8993–8999.
10. Global Industrial Automation Market Report and forecast 2024–2032 (2023) Industrial Automation Market Analysis, Size, Share, Report 2024–2032. Available at: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/industrial-automation-market> (Accessed: 06 October 2023).
11. Facts and Factors (2023) Industrial Robotics Market Size, growth, trends analysis & forecast 2030, Facts and Factors. Available at: <https://www.fnfresearch.com/industrial-robotics-market> (Accessed: 11 October 2023).
12. *Mobile Robots Market Size & Share Analysis – Industry Research Report – Growth Trends*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-mobile-robots-market> (Accessed: 17 October 2023).
13. D. Hüsener, M. Schluse, D. Kaufmann, J. Roßmann, The Digital Twin as a Mediator for the Digitalization and Conservation of Expert Knowledge. (2022) *Annals of scientific society for assembly, handling and Industrial Robotics 2021*. Cham: Springer International Publishing.
14. Dzedzickis, A. et al. (2021) Advanced applications of industrial robotics: New trends and possibilities, MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/1/135/htm> (Accessed: 11 October 2023).
15. Müller R., Scholer, M., Karkowski, M.: Generic automation task description for flexible assembly systems. *Proc. CIRP* 81, 730–735 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.185>

16. D. Shen, Y. Chen, L. Li, and S. Chien, "Collision-free path planning for automated vehicles risk assessment via predictive occupancy map," in 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp. 985–991, IEEE, 2020.
17. Active Collision Avoidance System for E-Scooters in Pedestrian Environment. Xuke Yan, Dan Shen. arXiv:2311.04383v1 [cs.RO] 7 Nov 2023
18. MROS: A framework for robot self-adaptation. Gustavo Rezende Silva, Darko Bozhinoski Mario Garzon Oviedo, Mariano Ramirez Montero, Nadia Hammoudeh Garcia. arXiv:2303.09227v1 [cs.RO] 16 Mar 2023
19. Mobile Robot Motion Control Using a Combination of Fuzzy Logic Method and Kinematic Model. Anh-Tu Nguyen, Cong-Thanh Vu. N. L. Anh et al. (Eds.): Intelligent Systems and Networks, LNNS 471, pp. 495–503, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3394-3\\_56](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3394-3_56)
20. A. Meduri, P. Shah, J. Viereck, M. Khadiv, I. Havoutis, and L. Righetti, "Biconmp: A nonlinear model predictive control framework for whole body motion planning," IEEE Transactions on Robotics, vol. 39, no. 2, pp. 905–922, 2023.
21. F. Hoffmann, V. Wesskamp, R. Bleck, J. Deuse. Scalability of Assembly Line Automation Based on the Integrated Product Development Approach. (2022) Annals of scientific society for assembly, handling and Industrial Robotics 2021. Cham: Springer International Publishing.
22. Müller R., Kanso, A. and Adler, F. An approach to integrate a blockchain-based payment model and independent secure documentation for a robot as a Service, SpringerLink. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74032-0\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74032-0_15) (Accessed: 11 October 2023).
23. Enes K. Web Service for Point Cloud Supported Robot Programming Using Machine Learning. (2022) Annals of scientific society for assembly, handling and Industrial Robotics 2021. Cham: Springer International Publishing.
24. John, J. et al. (2023) *Industry 4.0 and Beyond: The role of 5g, WIFI 7, and TSN in enabling Smart Manufacturing*, arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/2310.02379v1> (Accessed: 11 October 2023).
25. Cichon, T., Rossmann, J.: Digital twins: assisting and supporting cooperation in human-robot teams. In: Proceedings of the 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2018), November 18–21, 2018, Singapore, pp. 1–6 (2019)
26. Kawamura, K. and Browne, W. (2009) 'Cognitive robotics', Encyclopedia of Complexity and Systems Science, pp. 1109–1126. doi:10.1007/978-0-387-30440-3\_74.
27. Katiyar, S. and Katiyar, K. (2021) 'Recent trends towards Cognitive Science: From Robots to humanoids', Cognitive Computing for Human-Robot Interaction, pp. 19–49. doi:10.1016/b978-0-323-85769-7.00012-4.
28. Tawiah, T. (2022) 'Machine Learning and Cognitive Robotics: Opportunities and challenges', Cognitive Robotics and Adaptive Behaviors [Preprint]. doi:10.5772/intechopen.107147.
29. Grieves, M., Vickers, J.: Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, pp. 85–113. Springer, Cham (2017). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4)
30. Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C.: Digital twin in industry: state-of-the-art. IEEE Trans. Ind. Informat. 15, 2405–2415 (2019). <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
31. Malm, T. et al. (2022) 'Safety risk sources of autonomous mobile machines', *Open Engineering*, 12(1), pp. 977–990. doi:10.1515/eng-2022-0377.
32. Bostelman, R. and Messina, E. (2019) 'A-UGV capabilities', *2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)* [Preprint]. doi:10.1109/irc.2019.00130.
33. Staff, R. 24/7 (2022) *Decathlon deploys geek+ mobile robots in European e-commerce expansion*, *Robotics 24/7*. Available at: [https://www.robotics247.com/article/decathlon\\_deploys\\_geek\\_mobile\\_robots\\_european\\_e-commerce\\_expansion](https://www.robotics247.com/article/decathlon_deploys_geek_mobile_robots_european_e-commerce_expansion) (Accessed: 29 November 2023).
34. Staff, A. (2022) *Look back on 10 years of Amazon Robotics, US About Amazon*. Available at: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/10-years-of-amazon-robotics-how-robots-help-sort-packages-move-product-and-improve-safety> (Accessed: 09 November 2023).
35. Joseph Quinlivan, V.P.F.T. and R. at A. (2023) *How Amazon deploys collaborative robots in its operations to benefit employees and customers, US About Amazon*. Available at: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/how-amazon-deploys-robots-in-its-operations-facilities> (Accessed: 09 November 2023).
36. Lambert, F. (2020) *Tesla Gigafactory: A look at the robots and 'machine building the machine' at the Battery Factory*, *Electrek*. Available at: <https://electrek.co/2016/07/31/tesla-gigafactory-robots-machines-battery-factory/> (Accessed: 09 November 2023).
37. 2022 top Article – How Tesla used robotics to survive (no date) *RoboticsTomorrow*. Available at: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2022/06/2022-top-article-how-tesla-used-robotics-to-survive-production-hell-and-became-the-worlds-most-advanced-car-manufacturer/18908> (Accessed: 09 November 2023).