

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-31>

УДК 681.5.01

ЧАНКВЕТАДЗЕ Давид

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e.mail: davyd.chankvetadze-a15122@nung.edu.ua

ФЕШАНИЧ Лідія

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0000-0002-5156-2199>
e-mail: lidia.feshanych@nung.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0

В роботі наведено перспективи розвитку систем автоматизації виробничих процесів в період четвертої промислової революції згідно з концепцією Індустрії 4.0. У концепції Індустрії 4.0 передбачено цифрову трансформацію виробництва з використанням сучасних технологій автоматизованого виробництва та інформаційних технологій. Така трансформація прискорює темпи виробничої та управлінської інтеграції виробництва та зменшує витрати на обслуговування систем управління та обладнання. Автоматизоване виробниче обладнання сучасних підприємств повинно керуватись за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій. Базовою технологією, яка забезпечує обмін інформацією між пристроями та сприяє прийняттю рішень у мережі є інтернет речей. Штучний інтелект, кіберфізичні системи, орієнтація на сервіси, системи швидкісного зв'язку та віддаленого доступу – це технології, що дають змогу організувати гармонійне інтелектуальне виробництво. Завдяки цьому виробництво матиме максимальний рівень автоматизації процесів та повний їх контроль, зворотній зв'язок між виробничими ланками та властивостями продукції, зменшення витрат на одиницю продукції та підвищення її якості. Проаналізовано сучасні системи автоматизації та вказано, що для створення гнучких інтелектуальних виробничих середовищ необхідно застосовувати ефективні моделі компонентно-базових систем промислової автоматизації з високою надійністю. Наведено шляхи підвищення ефективності компонентно-базових систем на базі сучасних технологій: штучного інтелекту, машинного навчання, швидкодіючих безпроводних мереж, систем прогнозування, моніторингу та обробки даних в режимі реального часу. Створення ефективних компонентно-базових систем промислової автоматизації підвищить зменшить час та витрати на одиницю продукції, підвищить її якість та надійність виробничих систем.

Ключові слова: автоматизація, ефективність, цифровізація, компонентно-базові системи.

CHANKVETADZE Davyd, FESHANYCH Lidija

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

DEVELOPMENT PROSPECTS OF INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

The paper outlines the prospects for the development of industrial automation systems during the period of the Fourth Industrial Revolution in accordance with the Industry 4.0 concept. The Industry 4.0 concept envisions the digital transformation of manufacturing through the utilization of modern technologies in automated production and information technologies. This transformation accelerates the pace of manufacturing and managerial integration, reducing costs associated with the maintenance of control systems and production equipment. The automated production equipment of modern enterprises should be controlled through information and communication technologies. The foundational technology facilitating information exchange between devices and supporting decision-making in the network is the Internet of Things (IoT). The integration of artificial intelligence, cyber-physical systems, service-oriented approaches, high-speed communication systems, and remote access technologies allows for the organization of harmonious intelligent manufacturing. As a result, production can achieve the highest level of process automation, ensuring complete control, feedback between production components, and properties of the produced goods, leading to a reduction in costs per unit of production and an increase in product quality. The text also explores the development prospects of automation systems, including increased production efficiency, widespread use of robots, enhanced 'intelligence' in production, the application of digital twins, and improved cybersecurity of industrial systems. Modern automation systems are analyzed, emphasizing the need to apply effective models of component-based industrial automation systems with high reliability to create flexible and intelligent manufacturing environments. The ways to increase the efficiency of component-based systems based on modern technologies are outlined. Creating efficient component-based industrial automation systems will reduce the time and costs per unit of production, improve the quality, and enhance the reliability of manufacturing systems.

Keywords: automation, efficiency, digitization, component-based systems.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасний світ надзвичайно швидко розвивається і, у першу чергу, це стосується промислового виробництва. Основною умовою розвитку сучасного виробництва є його повна автоматизація з широким використанням інформаційних технологій, робототехнічних систем, впровадженням гнучких технологій, що дозволяють швидко і ефективно перебудовувати технологічні процеси на удосконалення існуючих, або виготовлення нових виробів. Одним з основних шляхів підвищення ефективності сучасного виробництва та якості продукції є автоматизація проектування технології виготовлення, складання та управління виробничими процесами з забезпеченням високої надійності обладнання та систем керування. Застосування

інноваційних технологій та ефективних моделей систем промислової автоматизації дозволить зменшити фінансові витрати та кількість відходів, підвищити ефективність та гнучкість виробництва, покращити безпеку, якість і надійність продукції, а також створити нові бізнес-підходи до організації виробництв.

Аналіз останніх джерел

Ми живемо в період четвертої промислової революції, в якій діє концепція Індустрії 4.0, що визначає новий етап розвитку промислового виробництва, який характеризується високим ступенем автоматизації, об'єднанням цифрових технологій та глобальних промислових мереж. Значна перевага концепції – це підвищення конкурентоздатності підприємств та неперервний їх розвиток за рахунок індивідуального налаштування виробництва, підвищення ефективності використання ресурсів, зменшення витрат [1].

Індустрія 4.0 передбачає наступний етап цифрової трансформації виробничих підприємств, яка характеризується поєднанням інформаційних та операційних технологій (технології автоматизації промислових процесів і виробництв) [2]. Цифрова трансформація підприємств формує прискорення темпів горизонтально-вертикальної інтеграції виробництва та зменшення витрат на обслуговування обладнання і систем управління. Крім того, перехід до Індустрії 4.0 вимагає модернізації існуючих виробництв за допомогою інноваційних технологій [3].

Однією з ознак промислової революції Індустрії 4.0 є наявність мереж обміну інформацією між пристроями і, відповідно, прийняття рішень у мережі. Базовою інформаційною технологією, яка при цьому використовується, є Інтернет речей (IoT). IoT використовує різноманітні технології, такі як давачі сигналів, зв'язок через мережу, хмарні обчислення та аналіз даних. Інтернет речей стрімко зростає: з початку 2018 р. до нього підключається 127 нових пристроїв щосекунди, а 60 % об'єму інтернет-трафіку генерують мобільні пристрої [2]. За даними аналітичних досліджень [4] до 2030 року до інтернету буде підключено біля 500 млрд пристроїв.

Питанням автоматизації процесів промислового виробництва присвячено значну кількість наукових розробок провідних вчених світу [5]. Наприклад, кількість статей, присвячених автоматизації процесів в технології машинобудування за наукометричною базою даних Scopus за період з 2017 по 2022 рік становить 8658, з них 118 статей належать українським науковцям [6].

Розумне виробництво прискорює інтеграцію інформаційних технологій та традиційних виробничих галузей. Наприклад, суттєво підвищити інтенсивність виробництва може масове впровадження промислових роботів, сфера застосування яких продовжує розширюватися, а завершена робота стає все більш складною. Окрім того, що роботи можуть замінити працівників на виснажливих та складних роботах, таких як складання, шліфування, зварювання та пакування, вони все частіше використовуються переважно у серійному та масовому виробництві (автомобільному, металообробці, пластмасовій промисловості, електронній, електричній та хімічній промисловості) [7].

Однак, для того, щоб сучасне виробництво стало більш гнучким, ефективним, безпечним, надійним та конкурентоспроможним доцільно застосовувати ефективні моделі компонентно-базових систем промислової автоматизації, що базуються на використанні окремих компонентів (давачів, контролерів, роботів, мереж), які можуть бути самостійними, але мають змогу ефективно взаємодіяти між собою за допомогою сучасних мережевих технологій.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: визначення основних напрямків розвитку систем промислової автоматизації у відповідності до концепції Індустрії 4.0 та шляхів підвищення ефективності компонентно-базових систем автоматизації для забезпечення високої надійності обладнання та якості продукції.

Виклад основного матеріалу

До 2011 року діяла Індустрія 3.0, в якій застосовувалась певна кількість сучасних прогресивних технологій в управлінні та на виробництві. Ці технології забезпечували доволі високий рівень автоматизації виробничих систем, які були орієнтовані на випуск певних видів товарів, що відрізнялися технологіями виготовлення, однак не робили підприємства «розумними» [1]. Технології індустрії 4.0, такі як, штучний інтелект, кіберфізичні системи, віртуалізація, децентралізація, орієнтація на сервіси та модульність дають змогу організувати гармонійне виробництво з максимальним рівнем автоматизації процесів та повним їх контролем з будь-якого мобільного пристрою, забезпечити зворотній зв'язок між конкретними виробничими ланками та властивостями продукції, мінімізувати витрати на одиницю продукції і постійно підвищувати її якість. Цифровізація є основною для побудови розумних (SMART) виробництв, де автоматизоване обладнання керується за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій. Це сприяє мінімізації праці людини, бо практично всі дії виконуються автономно під контролем кіберфізичних систем [3].

У зв'язку з цим можна виділити основні перспективи розвитку систем автоматизації згідно Концепції Індустрії 4.0:

1. Підвищена ефективність промислового виробництва: використання розумних технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання і аналітика даних, дозволяє оптимізувати процеси виробництва та зменшити час і витрати на випуск одиниці продукції.

2. Збільшення кількості роботизованих процесів: застосування роботів і автономних виробничих систем для виконання рутинних та небезпечних завдань підвищить інтенсивність виробництва, покращить безпеку та рівень якості продукції.

3. Розширення концепції «розумних підприємств»: поєднання між собою різних систем, інноваційних технологій автоматизації та виробничих процесів в одну гнучку екосистему зробить виробництво більш інтелектуальним.

4. Цифрові двійники виробництва: створення цифрових моделей виробництва - цифрових двійників, дозволяє виробникам в режимі реального часу спостерігати за процесами, прогнозувати їх розвиток та передбачати можливі ризики.

5. Розвиток «індустрії на замовлення»: завдяки підвищенню ефективності автоматизації в поєднанні з цифровими технологіями, виробництво може бути більш гнучким та мати змогу адаптуватись під індивідуальні потреби клієнтів і замовників.

6. Підвищення рівня кібербезпеки: зі зростанням рівня автоматизації збільшується ризик кіберзагроз, що вимагає розвивати і впроваджувати ефективні стратегії кібербезпеки для захисту систем та даних.

В контексті Індустрії 4.0 застосовуються сучасні системи та засоби автоматизації (таблиця 1), що сприяють підвищенню ефективності, безпеки та надійності промислового виробництва, а також покращенню його управління.

Таблиця 1

Сучасні системи автоматизації, що застосовуються в Індустрії 4.0

Назва системи чи засобу автоматизації	Переваги у застосуванні
Системи нагляду та збору даних (SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition)	<ul style="list-style-type: none"> - візуалізація всіх аспектів технологічних процесів; - моніторинг та контроль параметрів процесів в режимі реального часу; - автоматичний збір та аналіз даних з давачів та пристроїв; - інтегрована з іншими системами автоматизації для автоматичного управління обладнанням і процесами; - віддалений доступ, моніторинг і управління; - підвищення надійності та зменшення витрат.
Розподілені системи управління (DCS - Distributed Control System)	<ul style="list-style-type: none"> - розподілена архітектура; - високий рівень обробки даних та швидке прийняття рішень; - гнучкість та розширюваність для ефективної адаптації до змін у виробничих процесах; - висока надійність, доступність та безпека; - інтеграція з іншими системами (SCADA, MES, ERP); - централізоване управління виробничим процесом.
Програмовані логічні контролери (PLC - Programmable Logic Controller)	<ul style="list-style-type: none"> - дозволяють програмувати логіку управління обладнанням, контролювати давачі та виконувати різноманітні функції для забезпечення оптимальної ефективності виробництва.
Системи управління виробництвом (MES - Manufacturing Execution System)	<ul style="list-style-type: none"> - відстеження та контроль виробничих процесів в режимі реального часу; - оптимізація виробничих процесів за допомогою аналізу даних, визначення тенденцій та впровадження вдосконалень (планування виробництва, управління якістю, відстеження продуктивності тощо); - контроль за споживанням енергоресурсів.
Системи планування ресурсів підприємства (ERP - Enterprise Resource Planning)	<ul style="list-style-type: none"> - інтеграція різних аспектів діяльності підприємства, включаючи фінанси, управління запасами матеріалів і енергоресурсів, та замовленнями для більш точного планування та прогнозування розвитку виробництва.
Роботизовані та автоматизовані виробничі системи (Robotics and Automated Manufacturing Systems)	<ul style="list-style-type: none"> - підвищення продуктивності виробництва та якості продукції; - зменшення витрат праці; - зниження часу на виконання циклу виробництва; - гнучкість та легкість переналаштування; - здатність працювати в небезпечних для людей умовах.

Сучасні компанії, що здійснюють діяльність в галузі промислового виробництва, починають інтенсивно впроваджувати промисловий інтернет речей (IIoT - Industrial IoT). Він відкриває дорогу до створення повністю автоматизованих виробництв. На ключові компоненти обладнання встановлюються різноманітні давачі, виконавчі механізми і контролери; зібрані дані обробляються і надсилаються до відповідних служб підприємства, що дозволяє персоналу оперативно приймати необхідні рішення. Але головне завдання IIoT полягає в досягненні такого рівня автоматизації підприємства, при якому на всіх ділянках, де це можливо, механізми працюватимуть без участі людей. Роль персоналу при цьому зводиться до контролю роботи механізмів і реагування лише на екстрені події. IIoT дозволяє створювати виробництва,

які будуть більш ощадливими, гнучкішими і ефективнішими за існуючі. Бездротові пристрої, такі як смартфони і планшети, вже активно використовуються на виробництві для моніторингу його процесів. Наявні дротові мережі давачів найближчим часом будуть доповнені бездротовими мережами, завдяки чому на підприємствах розширяться зони застосування систем моніторингу та управління [8]. Для покращення якості зв'язку між різноманітними пристроями та системами виробництва перспективним є застосування технологій 5G, які мають високу пропускну здатність та низький час затримки сигналів.

З метою швидкого та детального аналізу даних про стан обладнання, характеристики, якості та кількості продукції, прогнозування виробничих проблем та оптимізації процесів промислового виробництва останнім часом почали інтенсивно використовуватись технології штучного інтелекту (AI - Artificial Intelligence). Можливості швидкої обробки даних без застосування мов програмування та складних математичних моделей дозволяють спростити та підвищити ефективність розв'язку задач промислової автоматизації, а також створити повністю автономні промислові системи автоматичного керування. Технології штучного інтелекту дозволяють без застосування математичних методів досягти одночасної максимальної робастності, надійності та живучості систем керування технологічними процесами [9].

Автоматизація сучасного промислового виробництва не можлива без застосуванням компонентно-базових систем (КБС), які створюють інтегровані та ефективні виробничі середовища. До складу КБС входять такі основні компоненти: давачі сигналів, актуатори та приводи, контролери та програмовані логічні матриці, комп'ютери, сервери та мережеве обладнання, які містять бази даних і програмне забезпечення для управління виробничими процесами, а також дають змогу організовувати людино-машинні інтерфейси, працювати з штучним інтелектом та здійснювати віддалене керування і моніторинг. До переваг КБС відносяться:

- можливість використання різноманітних мережевих технологій та технологій обробки даних для найоптимальнішого досягнення цілей промислового виробництва;
- гнучкість і масштабованість, що дозволяє легко змінювати та розширювати функціональність системи шляхом додавання або заміни компонентів;
- швидка інтеграція у виробничу систему завдяки тому, що компоненти можуть бути розроблені та випробувані окремо, що може значно зменшити час впровадження нових технологій або змін в системі;
- відкритість і стандартизація, яка за рахунок застосування відкритих стандартів і протоколів дозволяє використовувати різні компоненти від різних виробників, що підвищує конкуренцію та розширює вибір технологій;
- легкість проведення ремонту та обслуговування;
- оптимізація власної вартості протягом її життєвого циклу системи за рахунок гнучкості, стандартизації та швидкої інтеграції;
- підтримка інновацій, оскільки системи, побудовані на основі компонентно-базового підходу, можуть легко інтегрувати нові технології та інновації, що сприяє постійному вдосконаленню та апгрейдам.

Поряд з цим потрібно пам'ятати про надійність КБС, оскільки від цього безпосередньо залежить кількість виробничих простоїв, час на вироблення одиниці продукції та її якість. У роботах [10, 11] розглянуто питання оцінки стану та підвищення надійності КБС різноманітного призначення та вказано на доцільність застосування комплексного підходу з використанням різних теоретичних моделей для визначення показників надійності, що оптимально підходять до досліджуваної КБС, та правильного їх обрахунку.

З врахування наведеного шляхами підвищення ефективності моделей КБС промислової автоматизації можуть бути:

- застосування систем прогнозування та моніторингу, які дозволяють виявляти проблеми або потенційні відмови в компонентах КБС до їх фактичної поломки;
- застосування алгоритмів штучного інтелекту для проектування КБС чи їх оптимізації;
- аналіз та оптимізація робочих процесів в системі для забезпечення максимальної продуктивності та мінімізації часу простою обладнання;
- застосування алгоритмів машинного навчання та аналізу даних для здійснення передбачуваного управління обладнанням та процесами, оптимізації ресурсів та прийняття рішень;
- використання технологій, що забезпечують обробку даних в режимі реального часу для підвищення точності та швидкості вирішення завдань;
- поглиблення використання стандартів та відкритих протоколів для забезпечення сумісності та інтеграції компонентів різних виробників;
- перехід на сенсори та зв'язок IoT для збору великого обсягу даних щоб виявляти аномалії та оптимізувати виробничі процеси;
- створення ефективних заходів безпеки для захисту системи від кібератак;
- впровадження енергоефективних технологій для зменшення витрат електроенергії та

оптимізації роботи КБС;

- збалансоване управління запасами, планування виробництва та оптимізація логістики постачання.

Вказані шляхи підвищення ефективності КБС промислової автоматизації забезпечать високу надійність обладнання та якість продукції у всіх ланках сучасного виробництва.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведений аналіз вимог Індустрії 4.0 щодо промислового виробництва показав, що воно повинно стати повністю автоматизованим, гнучким, інтелектуальним та використовувати працю людини тільки для моніторингу та реагування на позаштатні ситуації. Для цього потрібна цифрова трансформація підприємств до рівня «розумних» та впровадження інноваційні технологій у всі ланки виробництва та контролю. Автоматизоване обладнання таких підприємств повинно керуватись за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій, базовими з яких є інтернет речей та промисловий інтернет речей. Також передбачено широке застосування технологій штучного інтелекту.

Розглянуто сучасні системи автоматизації промислового виробництва та вказано, що для їх розвитку та створення інтегрованих гнучких інтелектуальних виробничих середовищ доцільно застосовувати сучасні моделі компонентно-базових систем з високим рівнем надійності. Наведено шляхи підвищення ефективності компонентно-базових систем на базі сучасних технологій: штучного інтелекту, машинного навчання, швидкодіючих безпроводних мереж, систем прогнозування, моніторингу та обробки даних в режимі реального часу. Створення ефективних компонентно-базових систем промислової автоматизації підвищить надійність обладнання та якість продукції, зменшить час та витрати на її виготовлення.

Література

1. Чибіряк Я.І., Баранова І.В., Николаєнко К.О. Метод наскрізного навчання студентів IT-спеціальностей імітаційному моделюванню у середовищі flexsim для пошуку резервів підвищення ефективності автоматизованих систем / Я.І. Чибіряк, І.В. Баранова, К.О. Николаєнко // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво», 2021. Вип. №42. – С. 119-129.
2. Верба І.І. Сучасні тенденції розвитку обладнання автоматизованого виробництва: навч. посібн. [для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка»] / І.І. Верба, О.В. Даниленко, О.В. Самойленко; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: КПІ, 2020. – 260 с.
3. Смоляр Л.Г., Іляш О.І., Трофименко О.О. Трансформаційні ефекти цифровізації у забезпеченні розвитку промислового виробництва в умовах індустрії 4.0 / Л.Г. Смоляр, О.І. Іляш, О.О. Трофименко // Журнал міжнародного університету фінансів «Економіка та управління підприємствами». – Київ, 2021. Вип. 21. – С 24 – 30.
4. Аналіз світових трендів до 2030Е Український інститут майбутнього. [Електронний ресурс]: [веб-сайт]. – Режим доступу: <https://strategy.uifuture.org/anal%D1%96z-sv%D1%96tovix-trend%D1%96v-do-2030e.html> (дата звернення: 03.11.2023р.).
5. Коляда А.С., Волобоев В.А., Гогунський В.Д. Сучасні тенденції розвитку систем автоматизації технологічних процесів за нуковим даними scopus. / А.С. Коляда, В.А. Волобоев, В.Д. Гогунський // Шляхи реалізації кредитно-модульної системи організації навчального процесу і тестових форм контролю знань студентів: матеріали наук.-метод. семінару, [Одеса] / Одеський національний політехнічний інститут. – Одеса: Наука і техніка, 2015. – С. 46-52.
6. Главчева Ю.М., Главчев М.І. Технології машинобудування: науковий ландшафт. / Ю.М. Главчева, М.І. Главчев // Вісник НТУ ХПІ, 2021. №1(5). – С. 85-90.
7. Немировська О.В., Турпак В.С. Промислові роботи: стан та розвиток / О.В. Немировська, В.С. Турпак // Інформаційні технології і автоматизація – 2021: матеріали XIV міжнародної наук.-практ. конф., [Одеса], 21-22 жовт. 2021 р. / Видавництво ОНАХТ. – Одеса, 2021. – С.312 – 315.
8. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. [для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»] / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
9. Ірлик Ю.А., Стопакевич А.О. Аналіз перспектив застосування технологій штучного інтелекту для побудови автономних промислових систем автоматичного керування / Ю.А. Ірлик, А.О. Стопакевич // Журнал одеського державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів», 2023. №15. С.8 – 13.
10. Дзінько Р.І. Підвищення надійності системи оперативного управління гнучких виробничих систем: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.07 / Дзінько Ростислав Ігорович. – Київ, 2016. – 160 с.
11. Заміховський Л. М., Зікратий С. В., Штаер Л. О. Сучасний стан оцінки надійності систем

автоматики газоперекачувальних агрегатів / Л. М. Заміховський, С. В. Зікратий, Л. О. Штаєр // Науковий вісник ІФНТУНГ, 2017. №2(43). – С. 79-88.

References

1. Chybiriak Ya.I., Baranova I.V., Nikolaienko K.O. Metod naskriznogo navchannia studentiv IT-spetsialnosti imitatsiinomu modeliuvaniu u seredovyshechi flexsim dlia poshuku rezerviv pidvyshchennia efektyvnosti avtomatyzovanykh system / Ya.I. Chybiriak, I.V. Baranova, K.O. Nikolaienko // Naukovyi zhurnal «Kompiuterno-intehrovani tekhnologii : osvita, nauka, vyrobnytstvo», 2021. Vyp. №42. – S. 119-129.
2. Verba I.I. Suchasni tendentsii rozvytku obladnannia avtomatyzovanoho vyrobnytstva: navch. posibn. [dlia stud. spetsialnosti 131 «Prykladna mekhanika»] / I.I. Verba, O.V. Danylenko, O.V. Samoilenko; KPI im. Ihoria Sikorskoho – Kyiv : KPI, 2020. – 260 s.
3. Smoliar L.H., Iliash O.I., Trofymenko O.O. Transformatsiini efekty tsyfrovizatsii u zabezpechenni rozvytku promyslovoho vyrobnytstva v umovakh industrii 4.0 / L.H. Smoliar, O.I. Iliash, O.O. Trofymenko // Zhurnal mizhnarodnogo universytetu finansiv «Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy». – Kyiv, 2021. Vyp. 21. – S 24 – 30.
4. Analiz svitovykh trendiv do 2030E Ukrainyskiy instytut maibutnoho. [Elektronnyi resurs] : [vib-sait]. – Rezhym dostupu : <https://strategy.uifuture.org/anal%D1%96z-sv%D1%96tovix-trend%D1%96v-do-2030e.html> (data zvernennia: 03.11.2023r.).
5. Koliada A.S., Voloboiev V.A., Hohunskyi V.D. Suchasni tendentsii rozvytku system avtomatyzatsii tekhnolohichnykh protsesiv za nukometrychnymy danymy scopus. / A.S. Koliada, V.A. Voloboiev, V.D. Hohunskyi // Shliakhy realizatsii kredytno-modulnoi systemy orhanizatsii navchalnoho protsesu i testovykh form kontroliu znan studentiv : materialy nauk.-metod. seminaru, [Odesa] / Odeskyi natsionalnyi politekhnichnyi instytut. – Odesa : Nauka i tekhnika, 2015. – S. 46-52.
6. Hlavcheva Yu.M., Hlavchev M.I. Tekhnologii mashynobuduvannia: naukovyi landshaft. / Yu.M. Hlavcheva, M.I. Hlavchev // Visnyk NTU KhPI, 2021. №1(5). – S. 85-90.
7. Nemyrovska O.V., Turpak V.S. Promyslovi roboty: stan ta rozvytok / O.V. Nemyrovska, V.S. Turpak // Informatsiini tekhnologii i avtomatyzatsiia – 2021 : materialy KhIV mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf., [Odesa], 21-22 zhovt. 2021 r. / Vydavnytstvo ONAKhT. – Odesa, 2021. – S.312 – 315.
8. Tekhnologii internetu rechei. Navchalnyi posibnyk [Elektronnyi resurs]: navch. posib. [dlia stud. spetsialnosti 126 «Informatsiini systemy ta tekhnologii», spetsializatsiia «Informatsiine zabezpechennia robototekhnichnykh system»] / B. Yu. Zhurakovskiy, I.O. Zeniv; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 12,5 Mbait). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. – 271 s.
9. Irlyk Yu.A., Stopakevych A.O. Analiz perspektyv zastosuvannia tekhnologii shtuchnoho intelektu dlia pobudovy avtonomnykh promyslovykh system avtomatychnoho keruvannia / Yu.A. Irlyk, A.O. Stopakevych // Zhurnal odeskoho derzhavnogo universytetu intelektualnykh tekhnologii i zviazku «Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv», 2023. №15. S.8 – 13.
10. Dzinko R.I. Pidvyshchennia nadiinosti systemy operatyvnoho upravlinnia hnuchkykh vyrobnychykh system : dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.13.07 / Dzinko Rostyslav Ihorovych. – Kyiv, 2016. – 160 s.
11. Zamikhovskiy L. M., Zikratyi S. V., Shtaier L. O. Suchasnyi stan otsinky nadiinosti system avtomatyky hazoperekachuvalnykh ahrehativ / L. M. Zamikhovskiy, S. V. Zikratyi, L. O. Shtaier // Naukovyi visnyk IFNTUNH, 2017. №2(43). – S. 79-88.