

Мехович Сергій Анатолійович, д.е.н., професор кафедри економіки бізнесу і міжнародних економічних відносин, +38(050)402-62-12, sm261245@gmail.com, ORCID ID:0000-0001-7080-7609

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002*

Труш Євген Вікторович, аспірант PhD кафедри економіки бізнесу і міжнародних економічних відносин, +38(050)638-81-54, evgentrush80@gmail.com

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002*

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ТРАНСФОРМАЦІЇ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІД ВПЛИВОМ ПРОЦЕСІВ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ

Анотація. У статті досліджено організаційно-економічні аспекти трансформації конструкторської діяльності в умовах глобальної цифровізації. Зазначено, що процеси діджиталізації докорінно змінюють конструкторську діяльність, переводячи її від традиційних методів до інтелектуально-цифрових систем, які забезпечують новий рівень інтеграції даних, технологій та управлінських рішень. Визначено ключові чинники впливу діджиталізації на проектно-конструкторські функції підприємств, зокрема інтеграцію систем CAD/CAE/CAM/PLM, використання технологій штучного інтелекту, цифрових двійників, хмарних платформ та генеративного дизайну. Особливу увагу приділено наслідкам впровадження цифрових технологій у конструкторській діяльності, серед яких: підвищення інноваційності, зменшення витрат часу та ресурсів, зростання точності проектування, мінімізація ризиків та оптимізація управління знаннями. Організаційно-економічна трансформація полягає у впровадженні гнучких цифрових платформ, що дозволяють скорочувати часові та фінансові витрати, підвищувати якість проектування та швидше адаптуватися до ринкових змін. Важливим чинником успіху є формування нових компетенцій конструкторів, орієнтованих на роботу з AI, цифровими двійниками, генеративним дизайном та хмарними сервісами. Визначено напрями формування нових компетенцій конструкторів та інтеграції діджитал-інструментів у систему професійної підготовки.

Ключові слова: діджиталізація, конструкторська діяльність, трансформація, цифрові платформи, інноваційний розвиток.

Mekhovych Sergiy, D.E.Sc., professor of the Department of Business Economics and International Economic Relations, +38(050)402-62-12, sm261245@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7080-7609

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".
2, Kirpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002.*

Trush Yevgen, PhD student of the Department of Business Economics and International Economic Relations, +38(050)638-81-54, evgentrush80@gmail.com

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
St. Kirpychova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002*

ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE TRANSFORMATION OF DESIGN ACTIVITIES UNDER THE INFLUENCE OF DIGITALIZATION PROCESSES

Abstract. The article examines the organizational and economic aspects of the transformation of design activities in the context of global digitalization. It is noted that digitization processes are radically changing design activities, shifting them from traditional methods to intellectual digital systems that provide a new level of integration of data, technologies, and management decisions. The key factors influencing the impact of digitalization on the design and engineering functions of enterprises are identified, in particular the integration of CAD/CAE/CAM/PLM systems, the use of artificial intelligence technologies, digital twins, cloud platforms, and generative design. Particular attention is paid to the consequences of the introduction of digital technologies in design activities, including increased innovation, reduced time and resource costs, increased design accuracy, risk minimization, and knowledge management optimization. Organizational and economic transformation involves the implementation of flexible digital platforms that reduce time and financial costs, improve design quality, and enable faster adaptation to market changes. An important factor for success is the development of new competencies for designers focused on working with AI, digital twins, generative design, and cloud services. The directions for the development of new competencies for designers and the integration of digital tools into the professional training system have been identified.

Keywords: digitalization, design activity, transformation, digital platforms, innovation.

Постановка проблеми. Конструкторська діяльність є ключовим елементом у системі створення та розвитку нової продукції. Саме на цьому етапі закладаються технічні, функціональні та економічні характеристики виробу, що безпосередньо впливають на його конкурентоспроможність на ринку. Рішення, прийняті конструктором, визначають витрати, собівартість продукції, можливості масштабування виробництва, рівень технологічної новизни, екологічність та енергоефективність, тощо. У сучасних умовах конструктор перестає бути лише виконавцем технічного завдання. Він стає інноваційним інтегратором, який об'єднує ідеї науки, технологій, маркетингу та виробництва в єдину концепцію продукту. Це означає, що конструкторська діяльність виходить за межі інженерії і набуває організаційно-економічного виміру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впливу розвитку цифрової трансформації на діяльність підприємств відображають значний інтерес до цієї теми та розмаїття аспектів, які досліджуються. Питання цифровізації суспільства та цифрової трансформації досліджено в наукових працях [1-10]. В цілому, останні дослідження та публікації свідчать про те, що цифрова трансформація стала необхідною умовою для успішної діяльності підприємств у

сучасному світі і буде мати значний вплив на ефективність бізнес-процесів в майбутньому. Одночасно слід зазначити, що організаційно-економічні аспекти трансформації конструкторської діяльності в умовах глобальної цифровізації не знайшли свого місця у наукових дослідженнях. У той же час у напрямку цифровізації є цікаві дослідження. Сучасні процеси, що характерні для конструювання інноваційної техніки у машинобудівній галузі розглянуто у [11]. Автори всебічно розкрили вплив Generative Design і Digital Twins на організацію праці конструктора. Показано, що реально у нього зміниться у технічному оснащенні, як воно буде інтегровано у загальну систему конструкторської підготовки підприємства і які додаткові знання потрібні конструктору. Окремо розглянуто питання впливу системи діджиталізації на якість конструкторської діяльності. Проаналізовано показники ефективності реалізації інноваційної політики держави та її місце у глобальних рейтингах [11].

Мета даної статті полягає в розгляді впливу розвитку цифрової трансформації на діяльність підприємств, розкритті та аналізі ключових аспектів, які виникають у конструкторській діяльності у зв'язку з переходом підприємств до використання цифрових технологій.

Викладення основного матеріалу. В останні роки виробничі галузі по всьому світу прискорили свою цифрову трансформацію, впроваджуються передові технології парадигми Індустрії 4.0 [1]. Четверта промислова революція інтегрує кіберфізичні системи, повсюдне підключення та вбудований інтелект у проектування, виробництво та використання продукції, що призводить до створення повністю мережових автоматизованих інтелектуальних виробничих систем [2]. З 2020 року впровадження ще більше стимулювалося пандемічними збоями, які підкреслили необхідність дистанційної роботи [3]. Цифрові інструменти використовуються не тільки для підвищення ефективності, а для побудови більш конкурентоспроможних та гнучких виробничих систем [4,5]. Це обумовлено автоматизацією, інтернетом речей (ІоТ), хмарними обчисленнями, великими даними та штучним інтелектом (ШІ), які разом забезпечують сучасну промислову трансформацію. Ці технології дозволяють контролювати, оптимізувати та навіть

самоорганізовувати фізичні пристрої та процеси за допомогою цифрових засобів. [6, 7]. Впровадження інформаційних технологій (ІТ) у вітчизняному промисловому середовищі проходить не просто. Це пов'язано із тим, що застарілі системи вітчизняних виробництв роблять інтеграцію нових технологій технічно складною та дорогою задачею, а за часту просто неможливою. Як наслідок, компаніям проблематично вибирати ефективні технології через швидке розширення та фрагментацію цифрових інструментів та платформ. Оскільки ІТ-системи та системи операційних технологій (ОТ) стають більш взаємопов'язаними, ризик кібератак значно зростає, що вимагає надійних заходів безпеки. До цього слід додати наявність бар'єрів із-за відсутності стандартизації для кросплатформної інтеграції, швидкі темпи технологічної еволюції, що впливають на довгострокову сумісність, а також постійні проблеми якості даних та упередженості в підтримці рішень на основі штучного інтелекту. Серйозною проблемою залишається адаптація робочої сили з причини браку необхідних цифрових навичок. Це обумовлює опір змінам, що також уповільнює перехід до розумного виробництва (SM).

Переходячи до цифрової економіки, підприємства стикаються з низкою глобальних викликів, які безпосередньо впливають на конструкторську діяльність. По-перше, це глобальна конкуренція. Ринки стають відкритішими, а конкуренція жорсткішою. Продукти, які ще вчора були інноваційними, сьогодні швидко застарівають. Це створює потребу у постійному оновленні конструкторських рішень. По-друге, швидкість оновлення продукції. Життєвий цикл виробу скорочується. Якщо раніше продукт міг залишатися актуальним 7–10 років, то нині цей період зменшився до 2–3 років, а в ІТ та електроніці – навіть до кількох місяців. По-третє, важливим стає не лише створення інноваційного продукту, а й швидкість його виведення на ринок. Чим коротший цей цикл, тим вищі шанси компанії отримати економічний ефект. Це ставить перед конструктором завдання інтеграції в цифровий ланцюг створення вартості, де час розробки суттєво зменшується за рахунок використання AI, цифрових двійників та хмарних платформ. Нарешті-гнучкість і персоналізація. Сучасний споживач очікує продукцію, максимально адаптовану до власних потреб. Конструктор має враховувати цю тенденцію, що веде до розвитку масового кастомізованого

виробництва. Усе це визначає нову роль конструктора. В Індустрії 4.0 конструктор працює в цифрових середовищах (CAD/CAE/CAM, PLM), використовує віртуальні моделі, симуляції, цифрові двійники. Його діяльність інтегрована з виробничими системами, що дозволяє створювати безперервний цифровий цикл виробу. В Індустрії 5.0 з'являється співпраця конструктора та штучного інтелекту. Конструктор не замінюється машиною, а отримує інструменти, які підсилюють його креативність: генеративний дизайн (*generative design*) пропонує тисячі варіантів конструкцій, з яких інженер обирає оптимальний. AI здійснює рутинний аналіз, а конструктор зосереджується на творчих та стратегічних рішеннях. Виробництво стає більш людинорієнтованим, що вимагає від конструктора поєднання технічних і соціальних компетенцій. Таким чином, конструктор у новій парадигмі – це цифровий архітектор інновацій, який поєднує техніку, економіку та людину в єдину систему.

Суттєві виклики діджиталізації полягають у відсутності необхідної підготовки конструкторських кадрів до сприяння перетворень. Кадровий фактор – один із головних бар'єрів у діджиталізації конструкторської діяльності, адже без підготовки людей навіть найсучасніші технології (AI, цифрові двійники, PLM) працюватимуть не на повну силу. Які нові знання і які навички потрібні сучасному конструктору у машинобудуванні? Підготовку сучасного конструктора у машинобудуванні можна розділити на три блоки: технічні знання, цифрові навички та організаційно-економічні компетенції.

Виділимо базові нові знання, які необхідні сучасному конструктору.

1. *CAD/CAE/PLM* нового покоління. Це моделювання у 3D середовищах (Siemens NX, CATIA, SolidWorks, Autodesk Fusion 360), інтеграція CAD з ERP/MES системами та використання PLM як інструмента управління життєвим циклом виробу. PLM – це процес управління життєвим циклом продукту (з англ. Product Lifecycle Management). PLM системи – це спеціальне програмне забезпечення, яке допомагає автоматизувати та оптимізувати роботу виробництва на всіх етапах життєвого циклу продукту, від виявлення потреби в ньому, до його експлуатації та кінцевої утилізації.

2. *Цифрові двійники та симуляції*. Конструктор повинен вміти будувати віртуальні моделі виробів і виробничі процеси та використовувати цифрових двійників для тестування конструкцій ще до фізичного прототипу.
3. *Generative Design і AI у конструюванні*: знання алгоритмів генеративного проєктування, уміння працювати з AI-помічниками у CAD/CAE, розуміти принципи машинного навчання для інженерних завдань.
4. *Математичне та системне моделювання*: робота з великими даними (Big Data) у проєктуванні та оптимізація конструкцій на основі багатофакторного аналізу.
5. *Сучасні матеріали і технології*. Знання адитивних технологій (3D-друк металами та композитами), використання «розумних матеріалів» (smart materials).

Сучасному конструктору потрібні також наступні нові навички.

Цифрова грамотність конструктора. Ці навички передбачають роботу в хмарних середовищах для колективного проєктування, кібербезпеку у конструкторських проєктах (захист моделей і даних), використання віртуальних стендів у проєктуванні у проєктуванні та перевірку ергономіки (AR/VR).

Міждисциплінарність. Це навички взаємодії з IT-фахівцями, технологами, маркетологами та розуміння економічних аспектів конструкторських рішень (вартість матеріалів, енергоефективність, time-to-market).

Креативність і інноваційність. Ці навички потрібні для використання AI не як «чорної скриньки», а як «підсилювача» творчих рішень. Потрібні також навички уміння поєднувати автоматично згенеровані варіанти конструкцій із власною інженерною інтуїцією.

Системне мислення – це усвідомлення місця власної роботи у загальному цифровому ланцюзі створення вартості та навички забезпечення балансу між технічними параметрами, економічною доцільністю і потребами споживача.

Потрібні також *організаційно-економічні компетенції*, які дозволяють здійснювати управління проєктами в Agile/Scrum середовищах. Agile (Еджайл) – це філософія та набір принципів для управління проєктами, що надає перевагу гнучкості, співпраці та швидкому реагуванню на зміни. Scrum (скрам) – це конкретна методологія, або фреймворк, у рамках Agile, яка використовує короткі

ітерації (спринти) для розробки продукту та включає чітко визначені ролі, події та артефакти для ефективної роботи команди. До організаційно-економічних компетенцій відносяться також навички використання КРІ для оцінки ефективності інженерної роботи та навички роботи у кластерах і міжфірмовій кооперації через цифрові платформи.

Як видно з перелічених базових нових знань та навичок, сучасний конструктор у машинобудуванні – це вже не «інженер-кресляр», а *цифровий архітектор інновацій*, який знає комп'ютерне моделювання, інтегровані САПР, управління життєвим циклом продукту, штучний інтелект та цифрові двійники (CAD/PLM/AI). Сучасний конструктор уміє працювати з великими даними та хмарними сервісами, має креативність і системне мислення, орієнтується не лише на техніку, а й на економічну ефективність.

Нижче представлена таблиця «Знання ↔ Навички ↔ Ефект для підприємства», яка наочно показує, що повинен знати і вміти сучасний конструктор у машинобудуванні та який ефект це дає підприємству (табл. 1). У цій таблиці видно, що *кожне знання трансформується у конкретну навичку, а далі в економічний ефект для підприємства*, «серцем» же сучасної трансформації конструкторської діяльності є *цифрові платформи, цифрові двійники і прогнозування життєвого циклу виробу*.

Таблиця 1 – Матриця «Знання ↔ Навички ↔ Ефект для підприємства»

№ п/п	Знання конструктора	Відповідні навички	Ефект для підприємства
1.	CAD/CAE/PLM нового покоління	Моделювання 3D виробів, інтеграція у PLM/ERP/MES	Скорочення циклу розробки, менше помилок, прозорість життєвого циклу виробу
2.	Цифрові двійники та симуляції	Створення і тестування віртуальних моделей	Зменшення витрат на прототипи, швидше впровадження нових продуктів
3.	Generative Design та AI	Використання AI для пошуку оптимальних конструкцій	Підвищення інноваційності, зростання конкурентоспроможності

Закінчення табл. 1

4.	Математичне та системне моделювання	Аналіз великих даних, оптимізація параметрів	Рациональне використання ресурсів, зниження собівартості
5.	Сучасні матеріали та	Проектування виробів під	Нові ринки, гнучке виробництво,

	технології (3D-друк, композити)	адитивні технології	кастомізація продукції
6.	Хмарні платформи для проєктування	Колективна робота онлайн, кіберзахист даних	Ефективна співпраця між підрозділами і партнерами, захист інтелектуальної власності
7.	AR/VR у конструюванні	Віртуальні випробування, ергономічний аналіз	Зменшення кількості помилок на стадії проєктування, підвищення якості виробів
8.	Міждисциплінарність (IT, економіка, маркетинг)	Командна робота, врахування економіки рішень	Оптимізація витрат, швидша адаптація продукту до ринку
9.	Управління проєктами (Agile, Scrum)	Гнучке планування, робота в крос-функціональних командах	Скорочення time-to-market, кращий контроль за результатами
10.	Системне та креативне мислення	Поєднання інженерії та інноваційних ідей	Створення проривних продуктів, підвищення ринкової вартості компанії

Розкриємо системно їхню сутність і значення саме для конструктора.

Цифрові платформи – це інтегровані середовища (PLM, ERP, MES, CAD/CAE-хмари), де зібрані всі дані про виріб і процеси його створення. Платформа забезпечує єдину цифрову екосистему, де конструктор, технолог, виробничник і навіть маркетолог працюють із одними даними. Розглянемо сутність складових інтегрованих середовищ.

Система управління життєвим циклом об'єктів, продукту, товарів PLM (англ. Product Lifecycle Management) – це стратегія та комплекс програмних рішень для управління усім життєвим циклом продукту від його появи (ідеї) до зняття з виробництва та утилізації [1].

Система PLM об'єднує людей, процеси і технології, забезпечуючи єдине джерело інформації для всіх етапів, що дозволяє оптимізувати розробку, виробництво та підтримку продукту. PLM системи – це спеціальне програмне забезпечення, яке допомагає автоматизувати та оптимізувати роботу виробництва на всіх етапах життєвого циклу продукту, від виявлення потреби в ньому, до його експлуатації та кінцевої утилізації (рис.1).



Рисунок1 – Складові системи управління життєвим циклом об’єктів, продукту, товарів PLM. [8]

Навіть якщо у вас вже є система управління взаємодії з клієнтами (CRM), система управління ресурсами підприємства (ERP) та інші програмні рішення, PLM система дозволяє інтегрувати всі ці рішення між собою та створити єдине середовище для всіх даних та процесів на вашому підприємстві. Аналогічні проблеми вирішують й PDM-системи – це платформи управління інформацією про складні технічні вироби.

Які ж переваги для бізнесу має впровадження PLM-системи та які проблеми ця система допомагає вирішувати. Впровадження кожного цифрового рішення допомагає значно оптимізувати бізнес-процеси. Проте кожне з діджитал рішень для бізнесу має свої особливості, а отже, й результат їх впровадження відрізняється. Визначимо основні переваги, які надає бізнесу впровадження PLM системи. Насамперед управління життєвим циклом продукції допомагає підвищити ефективність виробництва. Це досягається в першу чергу завдяки скороченню витрат часу на операційні процеси. Наприклад, передача інформації від одного відділу до іншого раніше здійснювалася за допомогою друку необхідної інформації, її фізичної передачі далі за ланцюжком, згодом аналізом й, за необхідності, повторним введенням до системи одержувача. При цьому, щоб отримати цю інформацію, необхідно надіслати запит на неї, що також означає безліч кроків. Під час впровадження PLM системи інформація вводиться до системи один раз й зберігається в єдиній базі даних, тому будь-який співробітник з

необхідним рівнем доступу може запросити та отримати дані в кілька кліків. Це суттєво прискорює всі процеси. Ця єдина база даних скорочує можливість помилки через людський фактор, коли під час введення інформації вона спотворюється чи втрачається, що також зменшує втрати часу на перероблення та підвищує точність. Головна перевага системи управління життєвим циклом продукту складається у тому, що вона допомагає додатково розрахувати та оптимізувати процеси у такий спосіб, щоб знизити собівартість виробництва продукції.

Друга, не менш важлива перевага системи PLM, полягає в оперативному виході продукту на ринок. Наприклад, завдяки оптимізації процесів та обліку всіх зовнішніх та внутрішніх факторів, а також детальному опрацюванню шляху продукту та необхідних для цього ресурсів, виробничі процеси відбуваються значно швидше.

Також з'являється можливість максимального використання ресурсів. Зокрема, за наявності якоїсь частини продукції, яка чомусь не була використана в попередній партії, з PLM системою ви зможете використовувати її для виробництва нової партії товарів, а це також прискорює процеси, й, до того ж, знижує додаткові витрати та збитки. А завдяки швидшому виходу товару ринку підприємство отримує ринкові переваги та додаткові прибутки. Це відбувається завдяки можливості швидше обслуговувати клієнтів та одночасно підвищити обсяг продажів. Як бачимо, PLM система має незаперечні переваги для бізнесу.

Разом з тим, впровадження системи також може викликати певні труднощі. В першу чергу, під час впровадження системи PLM доведеться перебудовувати деякі бізнес-процеси, що може спричинити необхідність скорочення штату або, навпаки, найму нових співробітників. Диджиталізація незмінно трансформуватиме компанію і деякі позиції стануть зайвими. Усе це здійснюється в автоматичному режимі зі створенням нових процесів. Наприклад, якщо раніше всі виробничі потреби інженери розраховували вручну, так само як й підбирали матеріали для виробництва, підраховували їхню кількість та інше, то відтепер усі ці процеси відбуватимуться усередині системи.

Ще одна проблема-необхідність інтеграції усіх системних компонентів . Якщо на підприємстві вже використовуються системи автоматизації виробничих процесів на будь-якому етапі, такі як, наприклад, CRM або ERP, необхідно інтегрувати їх з PLM системою. У цьому полягає одна з сильних переваг автоматизації всього життєвого циклу продукту, але це також спричиняє певні труднощі. Для того, щоб інтегрувати системи між собою, необхідно привести всі дані до єдиного формату, аби системи могли обмінюватися ними без збоїв та помилок. Це потребує певних трудовитрат. Іноді виникають ситуації, коли системи, що існують на підприємстві, застаріли й неможливо виконати їх інтеграцію з PLM системою. У такому разі доводиться розробляти все програмне забезпечення наново, що спричиняє суттєві додаткові витрати як часу, так і фінансів.

Наступне питання-необхідність підтримки системи. У разі впровадження будь-якого програмного продукту необхідно передбачити його підтримку. Наприклад, PLM системи, як і будь-які інші, можуть застаріти, вимагати оновлень, доопрацювань чи виправлення помилок. Для цього знадобиться найняти до штату технічного фахівця, який знається на необхідному типі програмного забезпечення та який здатний виконувати його підтримку, або замовляти послуги технічної підтримки у компанії, яка здійснювала розробку програмного продукту.

Ще одна складність, з якою доведеться зіткнутися, це необхідність навчання персоналу роботі з новою системою. Зокрема, не всі співробітники можуть легко опанувати нові технології, й деяким з них може знадобитися значно більше часу для їхнього опанування. Проте навіть технічно підкованим співробітникам знадобиться інструктаж та певний час, щоб ознайомитися з системою та почати її використовувати повною мірою.

Значення цих перетворень для конструкторської діяльності полягає у наступному:

- конструктор має доступ до повної історії виробу: від ідеї до креслення до виробництва до сервісу;
- конструктор може швидко інтегрувати зміни у конструкції, і вони автоматично відображаються у виробничих і економічних системах;

- забезпечується командна робота з колегами з інших департаментів і навіть інших підприємств (кластерна кооперація);
- конструктор бачить не лише техніку, а й економічні параметри свого рішення (вартість матеріалів, час виготовлення, собівартість).

Отже, конструктор має навчитися працювати не «локально у своєму CAD», а в мережевому цифровому середовищі, розуміючи, як його робота впливає на весь ланцюг створення цінності.

Цифровий двійник – це віртуальна копія виробу або процесу, яка постійно синхронізується з реальним об'єктом через сенсори, дані IoT, бази даних.

Конструктору це дає змогу перевірити конструкцію ще до виготовлення прототипу, дозволяє тестувати різні сценарії експлуатації (навантаження, вібрації, температура, знос), забезпечує прогнозування поведінки виробу в реальних умовах, підвищує точність проектування і зменшує ризик конструкторських помилок. Конструктор має розуміти, що робота з цифровим двійником – це не «додатковий інструмент», а нова методологія проектування: він створює не лише креслення, а й динамічну модель виробу, яка супроводжує його весь життєвий цикл.

Життєвий цикл виробу (ЖЦВ) включає: розробку–виробництво–експлуатацію–обслуговування–утилізацію/модернізацію. Завдяки даним із цифрових двійників і цифрових платформ можливе динамічне прогнозування ЖЦВ: як довго виріб працюватиме, які вузли зношуються швидше, коли потрібно оновлення. Конструктору це дає можливість враховувати майбутнє ще на етапі розробки: вибирати матеріали з урахуванням терміну служби, передбачати легкість ремонту чи утилізації, враховувати енергоефективність і екологічні вимоги. Динамічне прогнозування ЖЦВ допомагає конструктору створювати вироби, які не лише «гарно працюють», а й приносять підприємству стабільний прибуток протягом усього ЖЦВ. Цей механізм дозволяє інтегрувати економічний прогноз у конструкторські рішення (наприклад, скільки буде коштувати сервісне обслуговування протягом 10 років). Отже конструктор стає не лише «проектантом деталі», а й стратегом життєвого циклу виробу, який враховує експлуатацію,

сервіс і майбутню модернізацію. Таким чином, цифрові платформи дають конструктору середовище командної роботи і зв'язок із економічними параметрами, цифрові двійники дозволяють створювати динамічні моделі, тестувати і прогнозувати поведінку виробу, а прогнозування ЖЦВ змінює мислення конструктора: він проєктує не річ, а її «життя» у часі.

Визначення планування ресурсів підприємства (ERP) – це тип програмного забезпечення, за допомогою якого організації керують повсякденною господарською діяльністю – бухгалтерією, закупівлями, проєктами, ризиками й дотриманням норм і правил, а також операціями в логістичному ланцюзі [9]. Системи планування ресурсів підприємства – це локальні або хмарні інтегровані платформи для управління всіма аспектами виробничого або дистриб'юторського бізнесу. Крім того, системи ERP підтримують усі аспекти управління фінансами, персоналом, логістичним ланцюгом і виробництвом разом, а також ключовою функцією – бухгалтерським обліком.

Системи ERP також забезпечать прозорість усього бізнес-процесу. Завдяки цим системам можна відстежувати всі аспекти виробництва, логістики та фінансів. Ці інтегровані системи діють як центральний хаб бізнесу для всього робочого процесу та даних і надають доступ до них різним відділам.

Системи та програмне забезпечення ERP підтримують безліч функцій для корпорацій, підприємств середнього та малого бізнесу, а також кастомізацію з урахуванням специфіки конкретних галузей.

Повний набір для ERP містить також програмне забезпечення для керування ефективністю підприємства, яке допомагає планувати й прогнозувати фінансові результати організації, звітувати про них та складати бюджет.

Системи ERP об'єднують безліч бізнес-процесів і підтримують обмін даними між ними. Збираючи з різних джерел спільні дані про транзакції організації, ERP-системи усувають дублювання даних і забезпечують їхню цілісність із використанням єдиного джерела істини. Сьогодні системи ERP абсолютно необхідні для управління тисячами підприємств різного розміру в усіх

галузях. Для цих компаній система ERP є такою ж необхідною, як електрика, без якої не вмикається світло.

Сфера ERP змінилася разом зі стрімким розвитком хмарного програмного забезпечення як послуги (SaaS). Завдяки мобільним платформам і децентралізації персоналу – зараз робота виконується будь-де та будь-коли – системи ERP вже не можуть бути прив'язані до вчорашніх локальних бек-офісних програм. Сучасні хмарні ERP-рішення нового покоління відповідають новій динаміці галузі й потребують менше часу на підтримку. Завдяки цьому організації можуть швидко реагувати на нестабільність ринків та галузеві тенденції. Ігнорувати вплив ERP на сучасний діловий світ неможливо. Коли корпоративні дані й процеси зібрані в системі ERP, компанії можуть узгодити діяльність окремих відділів і вдосконалити робочі процеси, досягнувши в результаті значної економії коштів. Приклади конкретних переваг для бізнесу:

- краще розуміння бізнесу завдяки інформації, яка генерується зі звітів у режимі реального часу;
- менші операційні витрати завдяки раціоналізації бізнес-процесів і застосуванню передових методів роботи;
- поліпшена співпраця між користувачами, які спільно використовують дані в контрактах, заявках і замовленнях на придбання;
- підвищена ефективність завдяки уніфікованій взаємодії з користувачами в багатьох бізнес-підрозділах, а також чіткому визначенню бізнес-процесів;
- узгоджена інфраструктура від бек-офісу до фронт-офісу, усі бізнес-операції виглядають і сприймаються однаково;
- вищий рівень адаптації користувачів завдяки уніфікації взаємодії з користувачами й дизайну;
- зменшений ризик завдяки вищій цілісності даних та покращеним засобам фінансового контролю.
- нижчі витрати на управління та операційну діяльність завдяки уніфікованим інтегрованим системам.

З'явилися хмари – а точніше модель реалізації ERP у вигляді програмного забезпечення як послуги (SaaS). Коли програмне забезпечення для ERP надається як послуга в хмарі, воно працює на мережі віддалених серверів, а не в серверному приміщенні компанії. Провайдер хмарних послуг виправляє програмне забезпечення, керує ним та оновлює його кілька разів на рік – це набагато краще, ніж коштовне оновлення кожні 5–10 років у локальній системі. Хмара може зменшити операційні й капітальні витрати, оскільки позбавляє компанії необхідності купувати програмне та апаратне забезпечення або наймати додатковий IT-персонал. Натомість ці ресурси можна інвестувати в нові бізнес-можливості, а організація завжди матиме найновіше програмне забезпечення для ERP. Працівники можуть приділяти більше уваги не управлінню IT-ресурсами, а більш важливим завданням, як-от інноваціям і зростанню.

Внаслідок діджиталізації у конструкторській діяльності з'явилося таке програмне забезпечення, як MES, або Manufacturing Execution System. Це програмне забезпечення, яке використовується для відстеження і контролю виробничих процесів у реальному часі [10]. Ця система забезпечує повний контроль над всіма етапами виробництва, від планування до готової продукції. Основне завдання MES – забезпечити виконання виробничого плану з мінімальними відхиленнями, а також надати оперативну інформацію для прийняття рішень. MES системи інтегруються з іншими корпоративними системами, такими як ERP (Enterprise Resource Planning), для забезпечення злагодженої роботи всього підприємства. Вони також підключаються до обладнання на виробництві, дозволяючи автоматизувати багато процесів і знижувати людський фактор.

Визначимо основні функції MES-системи. MES система надає можливість контролювати всі виробничі процеси в реальному часі. Вона забезпечує збирання даних з обладнання та інших джерел, що дозволяє оперативно відстежувати статус виконання завдань і виявляти проблеми на ранніх етапах. Однією з ключових функцій MES є відстеження руху матеріалів і продукції на всіх етапах виробництва. Це дозволяє забезпечити прозорість процесу і гарантувати, що всі

матеріали використовуються ефективно. MES системи допомагають у плануванні виробничих завдань і їх розподілі між співробітниками та обладнанням. Це дозволяє оптимізувати робочі процеси та забезпечити максимальну продуктивність. MES системи інтегрують функції контролю якості на всіх етапах виробництва. Вони дозволяють автоматично збирати дані про якість продукції та оперативно реагувати на відхилення від стандартів. Завдяки збиранню великого обсягу даних, MES системи надають потужні інструменти для аналізу і звітності. Керівництво може отримувати детальні звіти про роботу підприємства, ефективність окремих процесів і приймати рішення на основі фактичних даних.

Одна з головних переваг MES системи – це можливість значно підвищити ефективність виробництва. Завдяки автоматизації багатьох процесів, підприємство може скоротити час простоїв, оптимізувати використання ресурсів і підвищити продуктивність. MES системи допомагають знизити виробничі витрати за рахунок оптимізації використання матеріалів, зниження кількості відходів та мінімізації витрат на ремонт і обслуговування обладнання. Завдяки постійному контролю якості на всіх етапах виробництва, MES системи дозволяють значно знизити кількість браку та покращити загальну якість продукції. MES системи забезпечують повну прозорість виробничих процесів. Керівництво підприємства може в будь-який момент отримати інформацію про стан виконання завдань, рух матеріалів і продукції, що значно спрощує управління підприємством. MES системи дозволяють підприємству швидко реагувати на зміни у виробничому плані або в умовах роботи обладнання. Це дозволяє зменшити ризики, пов'язані з простоем або неефективним використанням ресурсів.

Першим етапом впровадження MES системи є оцінка потреб підприємства. Необхідно визначити, які функції системи будуть найбільш корисними, які процеси потребують автоматизації, і які результати очікуються від впровадження. На ринку існує безліч MES платформ, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Важливо вибрати платформу, яка найкраще відповідає потребам вашого підприємства і може бути легко інтегрована з наявними системами. Після вибору платформи необхідно розробити технічне завдання на впровадження системи.

Воно повинно включати опис всіх функцій, які будуть реалізовані, а також визначати строки та бюджет проекту. На цьому етапі відбувається інтеграція MES системи з існуючими інформаційними та виробничими системами підприємства. Також проводиться налаштування системи відповідно до потреб підприємства. Успіх впровадження MES системи залежить від того, наскільки добре персонал підприємства буде навчений її використовувати. Навчання має включати як технічні аспекти роботи з системою, так і розуміння її функціоналу та можливостей. Після налаштування та навчання відбувається запуск системи у виробниче середовище. Важливо забезпечити підтримку на початковому етапі, щоб швидко реагувати на можливі проблеми та коригувати роботу системи за потреби.

Одним з головних викликів є складність інтеграції MES системи з наявними на підприємстві інформаційними системами. Необхідно забезпечити безперебійну роботу всіх компонентів і гарантувати, що нова система не буде конфліктувати з уже встановленими рішеннями. Впровадження системи може бути дорогим процесом, особливо якщо врахувати витрати на інтеграцію, налаштування та навчання персоналу. Однак ці витрати окупаються завдяки підвищенню ефективності виробництва та зниженню витрат на його обслуговування.

Нерідко персонал підприємства виявляє опір до впровадження нових систем, особливо якщо вони змінюють звичний порядок роботи. Важливо проводити роз'яснювальну роботу, пояснювати переваги нової системи та залучати співробітників до процесу впровадження.

У сучасному світі виробництва, де конкуренція постійно зростає, підприємства, які впроваджують MES системи, мають значну перевагу. Вони можуть швидше адаптуватися до змін на ринку, знижувати витрати та підвищувати якість продукції. У багатьох галузях виробництва дотримання стандартів якості та регуляторних вимог є критично важливим. MES системи дозволяють автоматизувати процеси контролю якості та забезпечити відповідність всім необхідним стандартам. Завдяки MES системам підприємства отримують можливість відслідковувати всі виробничі процеси в реальному часі,

що дозволяє забезпечити повну прозорість роботи. Це важливо як для внутрішнього контролю, так і для звітності перед партнерами та клієнтами. MES системи допомагають знижувати ризики, пов'язані з виробничими процесами, за рахунок своєчасного виявлення проблем та оперативного реагування на них. Це дозволяє уникати простоїв, аварій та інших небажаних ситуацій.

Впровадження MES системи – це важливий крок для будь-якого виробничого підприємства, яке прагне підвищити свою ефективність, знизити витрати та забезпечити високу якість продукції. Завдяки своїм функціям та перевагам MES системи стають невід'ємною частиною сучасного виробництва.

CAD/CAE-хмари – це платформи або послуги, які дозволяють користувачам отримувати доступ до програмного забезпечення для комп'ютерного проєктування (CAD) та комп'ютерного інженерного аналізу (CAE) через інтернет, а не встановлювати його на локальні комп'ютери [11]. Це дає можливість працювати з проєктами та розрахунками у хмарному середовищі, що забезпечує гнучкість, масштабованість і доступність ресурсів для інженерних завдань. Ключові аспекти CAD/CAE-хмар наступні:

- доступ через інтернет: користувачі отримують доступ до програмного забезпечення та своїх даних через браузер, що усуває потребу у потужному локальному обладнанні;
- гнучкість та масштабованість: хмарні платформи дозволяють легко масштабувати ресурси, надаючи доступ до потрібної потужності для складних розрахунків залежно від потреб проєкту;
- спільна робота: хмарне середовище спрощує спільну роботу над проєктами для команд, незалежно від їхнього географічного розташування;
- автоматизація та аналіз: системи автоматизованого проєктування (CAD) допомагають створювати 2D та 3D моделі, а системи інженерного аналізу (CAE) проводять розрахунки, щоб оптимізувати та перевірити на міцність майбутні вироби;

- підвищення продуктивності: завдяки хмарним рішенням, інженерні команди можуть прискорити процес розробки, тестування та виробництва складних промислових виробів.

Ці технології дозволяють втілювати ідеї у реальність, створюючи моделі та проводячи їх аналіз в одному цифровому середовищі, що робить цикл конструювання більш ефективним.

В чому ж сутність конструкторської діяльності в сучасній економіці під впливом діджиталізації. Конструкторська діяльність – це створення, проектування й удосконалення виробів, технологій та систем. Вона лежить в основі інноваційного розвитку промисловості, ІТ, авіації, космосу, машинобудування та навіть сфери послуг. У класичному вигляді вона включала генерацію ідей, розробку конструкторської документації (креслення, специфікації), випробування дослідних зразків, підготовку виробництва. Але під впливом діджиталізації конструкторська діяльність стала не лише «паперовою», як було зазначено вище, а цифровою інтелектуальною діяльністю, де проєкт існує у віртуальному середовищі та проходить випробування ще до фізичного виготовлення. Щож змінила діджиталізація у конструкторській діяльності? Основні її трансформації наступні.

Перехід від креслень до 3D-моделей. CAD/CAE-системи (SolidWorks, CATIA, Siemens NX) замінили кульман і папір. Моделі стали інтерактивними, змінюваними, «живими».

Цифровий двійник. Будь-який виріб створюється у вигляді цифрового близнюка. Він «живе» разом із виробом – від розробки до експлуатації.

Штучний інтелект у проектуванні. Generative Design дозволяє алгоритмам самостійно шукати оптимальні конструктивні рішення. AI бере участь у створенні креслень, перевірці міцності, оптимізації матеріалів.

Віртуальні та доповнені реальності. Конструктори можуть перевіряти деталі в VR/AR-середовищі, бачити їх у масштабі 1:1.

Хмарні технології та колаборація. Команди з різних країн працюють над одним виробом в єдиному цифровому просторі (PLM-системи).

Як це вплинуло на організацію та якість конструкторської діяльності.

Організаційний вимір: скорочення циклу розробки – те, що раніше займало роки, тепер можна зробити за місяці; глобальна співпраця – інженери з різних країн можуть одночасно працювати над деталлю; мережеві структури – більше немає жорстких вертикалей, а є гнучкі проєктні команди.

Якісний вимір: зростання точності – цифрове моделювання зменшує кількість помилок у виробництві; прогнозованість – ще до виготовлення можна перевірити виріб у "цифровій лабораторії"; індивідуалізація – легко налаштувати виріб під конкретного замовника.

З'явилося нове і в організаційно-технічному забезпеченні конструкторської діяльності.

1. *Програмні комплекси нового покоління: CAD/CAE/PLM* інтегруються в єдину цифрову екосистему та використання AI-асистентів для автоматизації проєктних рішень.

2. *Цифрові лабораторії*: віртуальні випробування замінюють дорогі фізичні тестування, а Digital Twins з IoT-зв'язком показують поведінку виробу в реальному часі.

3. *Хмарна інфраструктура*: більше не потрібні локальні сервери – конструктори працюють у глобальних хмарах.

4. *Аддитивні технології (3D-друк)* : швидке створення прототипів без довгих виробничих циклів та можливість випробувати виріб "сьогодні", а не "через місяць".

5. *Кіберзахист та управління даними*: з'явилася проблема безпеки конструкторської інформації, що вимагає нових рішень.

Отже, діджиталізація зробила конструкторську діяльність швидшою (скорочення часу розробки), точнішою (цифрове моделювання), гнучкішою (масова індивідуалізація виробів), глобальною (команди без кордонів), більш залежною від IT-інфраструктури (AI, хмари, PLM, кіберзахист). Усе це відрізняє «стару» конструкторську роботу від нової цифрової епохи – не просто виконання креслень, а народження ідей. Діджиталізація змінила тут усе.

У класичній інженерії ідея народжувалася у голові конструктора, виходячи з досвіду, знань і натхнення. Але це було обмежено часом (аналіз великої

кількості варіантів займав місяці), ресурсами (неможливо протестувати десятки ідей швидко) та людськими когнітивними бар'єрами (мозок має межу варіантності).

Діджиталізація змінила ситуацію. Тепер AI та Generative Design автоматично генерують сотні варіантів конструкцій, які конструктор сам би ніколи не придумав. Хмарні обчислення дозволяють тестувати й порівнювати ідеї миттєво, навіть якщо вони потребують складних симуляцій. Завдяки великим даним та хмарним технологіям (Big Data) конструктор отримує доступ до масивів даних про матеріали, властивості, ринок, що дає ідеям більш точну основу. VR/AR-середовища → дозволяють “побачити” ідею на ранній стадії у реальному масштабі. VR/AR середовище – це віртуальна реальність (VR), що повністю занурює користувача в штучний цифровий світ, або доповнена реальність (AR), яка накладає цифрові елементи на реальне оточення. VR створює новий, повністю згенерований комп'ютером світ, а AR – доповнює реальний світ віртуальними об'єктами та інформацією, дозволяючи взаємодіяти з обома [12].

VR/AR середовище – це віртуальна реальність (VR), що повністю занурює конструктора в штучний цифровий світ, або доповнена реальність (AR), яка накладає цифрові елементи на реальне оточення. VR створює новий, повністю згенерований комп'ютером світ, а AR – доповнює реальний світ віртуальними об'єктами та інформацією, дозволяючи взаємодіяти з обома.

Таким чином, сучасний конструктор має у своєму арсеналі інтелектуальних асистентів (AI), які пропонують варіанти рішень, цифрові двійники – щоб одразу бачити поведінку майбутнього виробу, хмарні платформи – для колективної генерації ідей із колегами по світу, бази знань і даних – миттєвий доступ до інформації про матеріали, технології, стандарти, аналітику трендів – алгоритми прогнозують, що буде актуальним через 5–10 років (наприклад, легкі матеріали для авіації чи біосумісні полімери для медицини).

AI і хмарні технології створили нові можливості прогнозованого бачення ідей. AI як «передбачливий генератор» аналізує історію винаходів, патентів, ринкових трендів. Він може передбачити, які конструктивні рішення будуть потрібні згідно прогнозам. Наприклад, замість того, щоб вигадати форму деталі

вручну, AI аналізує десятки параметрів (навантаження, матеріали, ергономіку) і пропонує кілька ідей, які вже оптимізовані. Хмари як “колективний мозок” дозволяють збирати ідеї від багатьох учасників у реальному часі. Вони забезпечують доступ до глобальної бібліотеки знань (open source CAD-бібліотеки, бази матеріалів, готові модулі). Причому ідеї не ізольовані, а проходять миттєву перевірку та вдосконалення у спільному середовищі.

У чому ж сутність нових можливостей. Раніше конструктор вигадував ідею, а потім перевіряв. Тепер він отримує одразу перевірені, прогнозовані ідеї від AI і цифрових систем. Ідеї стали масовими (генеруються сотнями варіантів), ідеї стали прогнозованими (AI показує, які рішення будуть ефективними в майбутньому), ідеї стали колективними (хмари об’єднують інтелект багатьох спеціалістів), ідеї стали візуалізованими (VR/AR дозволяє бачити задум ще до креслення). Якщо коротко – діджиталізація перетворила конструктора з «вигадувача окремих рішень» на «менеджера ідей», який керує цифровим потоком варіантів, обирає найкращі й адаптує їх до конкретних умов. У той же час конструктор залишається головним суб’єктом, бо саме в його мозку народжується первинний образ, бачення, задум. AI, хмари й цифрові технології не замінюють цей момент – вони озброюють конструктора новими інструментами, які допомагають швидко перевірити гіпотезу, побачити її наслідки, створити десятки варіацій на основі первинної ідеї. AI нічого самостійно «не вигадує» у вакуумі. Він працює з вхідними параметрами від конструктора (форма, міцність, матеріал, вага, ціна, ергономіка), базами знань (патенти, бібліотеки матеріалів, попередні проекти, ринкові тренди), алгоритмами пошуку рішень (генеративний дизайн, еволюційні алгоритми, оптимізаційні моделі). Тобто, конструктор формує задачу, а AI пропонує «поля варіантів», які проходять миттєву цифрову перевірку.

Крім AI та хмар в арсеналі конструктора є також інші нові інструменти обробки ідеї. Розглянемо їх сутність і значення.

1. *CAD/CAE нового покоління*: сучасні системи інтегровані з симуляціями. Коли конструктор малює деталь, програма одразу прораховує міцність, аеродинаміку, теплопровідність. Це економить етап «спочатку вигадати → потім перевірити».

2. *PLM (Product Lifecycle Management)*: інструменти керування життєвим циклом виробу. Ідея конструктора автоматично «вписується» у ланцюжок: виробництво – логістика – сервіс – утилізація. Це дозволяє бачити майбутнє виробу ще на стадії задуму.

3. *Digital Twin (цифрові двійники)*. Конструктор створює не просто модель, а віртуальну копію виробу, яка поводить себе як реальна. Можна відразу бачити, як деталь зламається, як машина працюватиме в різних умовах.

4. *Big Data та аналітика трендів*. Конструктор отримує «підказки» з аналізу мільйонів даних: які матеріали зараз найбільш перспективні, які стандарти скоро зміняться, які технології стають масовими.

5. *VR/AR (віртуальна та доповнена реальність)*. Ідею можна «оживити» у вигляді тривимірного об'єкта у просторі. Це дає інженеру і команді змогу оцінити зручність, масштаб, ергономіку ще до фізичного прототипу.

6. *Адитивні технології (3D-друк)*. Конструктор може за добу отримати реальний прототип свого задуму. Це інструмент перевірки ідеї на практиці з рекордною швидкістю.

7. *Системи колективної роботи*. Онлайн-колаборація (Onshape, Autodesk Fusion 360, Siemens Teamcenter) дозволяє одразу підключати технологів, виробничників, маркетологів. Ідея конструктора проходить миттєву інтеграцію з вимогами інших підрозділів.

Завдяки цим інструментам процес конструювання виглядає наступним чином.

1. Момент інсайту: конструктор бачить нову ідею → формулює вимоги.
2. Цифрові інструменти: CAD+CAE+PLM+Digital Twin перевіряють цю ідею віртуально.
3. AI та Big Data: пропонують варіанти оптимізації (легше, дешевше, міцніше).
4. VR/AR: команда бачить ідею “вживу” ще до створення.
5. 3D-друк: швидкий прототип – тест-корекція.

Ідея завжди народжується у конструктора, але діджиталізація зробила шлях від задуму до перевіреного рішення у десятки разів швидшим і точнішим.

Висновки

1. Процеси діджиталізації докорінно змінюють конструкторську діяльність, переводячи її від традиційних методів до інтелектуально-цифрових систем, які забезпечують новий рівень інтеграції даних, технологій та управлінських рішень.
2. Організаційно-економічна трансформація полягає у впровадженні гнучких цифрових платформ, що дозволяють скорочувати часові та фінансові витрати, підвищувати якість проектування та швидше адаптуватися до ринкових змін.
3. Важливим чинником успіху є формування нових компетенцій конструкторів, орієнтованих на роботу з AI, цифровими двійниками, генеративним дизайном та хмарними сервісами.
4. Діджиталізація створює передумови для переходу до кластерних моделей управління знаннями, які сприяють інтеграції підприємств, наукових установ та освітніх організацій у єдину інноваційну екосистему.
5. Розроблені теоретичні підходи та практичні рекомендації можуть бути застосовані як на рівні окремих підприємств, так і в рамках формування державної політики цифрової трансформації промисловості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. The Rise of Industry 4.0 in 5 Stats. Available online: <https://iot-analytics.com/industry-4-0-in-5-stats/> (accessed on 31 July 2025).
2. Culot G.; Nassimbeni G.; Orzes G.; Sartor M. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *Int. J. Prod. Econ.*, 2020. 226. 107617. [Google Scholar] [CrossRef].
3. Madrid-Guijarro A.; Maldonado-Guzmán G.; Rodríguez-González R. Unlocking resilience: The impact of Industry 4.0 technologies on manufacturing firms' response to the COVID-19 pandemic. *Manag. Decis.*, 2025. 63. S. 126–154. [Google Scholar] [CrossRef].
4. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Industrie 4.0. Available online: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html> (accessed on 31 July 2025).
5. People's Republic of China State Council. Made in China 2025 (English translation). Available online: http://english.www.gov.cn/policies/latest_releases/2015/05/19/content_281475110703534.htm (accessed on 31 July 2025).
6. Zhou K.; Liu T.; Zhou L. Industry 4. In 0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *Proceedings of the 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. Zhangjiajie. China, 15–17 August 2015. pp. 2147–2152. [Google Scholar] [CrossRef].
7. Canavese, D.; Mannella, L.; Regano, L.; Basile, C. Security at the edge for resource-limited IoT devices. *Sensors*, 2024. 24. 590. [Google Scholar] [CrossRef].
8. PLM: Система управління життєвим циклом об'єктів, продукту, товарів .URL: <https://wezom.com.ua/ua/blog/plm-sistema>.
9. Що таке ERP? URL: <https://www.oracle.com/ua/erp/what-is-erp/>

10. Що таке MES Система: Важливість, Функції та Переваги Впровадження. URL: <https://digitap.com.ua/shho-take-mes-systema-vazhlyvist-funkczii-ta-perevagy-vprovadzhennya>
11. Мехович С. А. Вплив процесів діджиталізації на конструкторську діяльність виробничих підприємств / С. А. Мехович, Ф. В. Потапов, Г. Л. Тюфанов // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит = Energy saving. Power engineering. Energy audit, 2024. № 12 (203). С. 69–91.
12. CAD/CAE-хмари. URL: <https://www.google.com/search>
13. AR, VR I MR технології . Що це таке та як їх застосовувати? URL: https://stud-point.com/blog/it_life/ar-vr-i-mr-tekhnologii-shcho-tse-ta-iak-zastosovuvaty/

REFERENCES:

1. The Rise of Industry 4.0 in 5 Stats. Available online: <https://iot-analytics.com/industry-4-0-in-5-stats/> (accessed on 31 July 2025).
2. Culot G.; Nassimbeni G.; Orzes G.; Sartor M. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. Int. J. Prod. Econ., 2020. 226. 107617. [Google Scholar] [CrossRef].
3. Madrid-Guijarro, A.; Maldonado-Guzmán, G.; Rodríguez-González, R. Unlocking resilience: The impact of Industry 4.0 technologies on manufacturing firms' response to the COVID-19 pandemic. Manag. Decis., 2025. 63. 126–154. [Google Scholar] [CrossRef].
4. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Industrie 4.0. Available online: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html> (accessed on 31 July 2025).
5. People's Republic of China State Council. Made in China 2025 (English translation). Available online: http://english.www.gov.cn/policies/latest_releases/2015/05/19/content_281475110703534.htm (accessed on 31 July 2025).
6. Zhou K.; Liu T.; Zhou L. Industry 4. In 0: Towards future industrial opportunities and challenges. In Proceedings of the 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). Zhangjiajie, China, 15–17 August 2015; pp. 2147–2152. [Google Scholar] [CrossRef].
7. Canavese D.; Mannella L.; Regano L.; Basile C. Security at the edge for resource-limited IoT devices. Sensors, 2024. 24. 590. [Google Scholar] [CrossRef].
8. PLM: Systema upravlinnia zhyttievym tsyklom ob'ektiv, produktu, tovariv .URL: <https://wezom.com.ua/ua/blog/plm-sistema>
9. Shcho take ERP? URL: <https://www.oracle.com/ua/erp/what-is-erp/>
10. Shcho take MES Systema: Vazhlyvist, Funktsii ta Perevahy Vprovadzhennia. URL: <https://digitap.com.ua/shho-take-mes-systema-vazhlyvist-funkczii-ta-perevagy-vprovadzhennya>.
11. Mekhovich S. A. Vpliv protsesiv didzhitalizatsii na konstruktorsku diyalnist virobnichikh pidpriemstv / S. A. Mekhovich, F. V. Potapov, G. L. Tyufanov // Yenergozberezhennya. Yenergetika. Yenergoaudit = Energy saving. Power engineering. Energy audit, 2024. № 12 (203). С. 69–91.
12. CAD/CAE-khmary. URL: <https://www.google.com/search>.
13. AR, VR I MR tekhnologii . Shcho tse take ta yak yikh zastosovuvaty? URL: https://stud-point.com/blog/it_life/ar-vr-i-mr-tekhnologii-shcho-tse-ta-iak-zastosovuvaty/

Стаття надійшла до редакції: 18.07.2025; рецензування: 28.07.2025; прийнята до публікації 02.08.2025. Автори прочитали и дали згоду рукопису. The article was submitted on 18.07.2025; revised on 28.07.2025; and accepted for publication on 02.08.2025. The authors read and approved the final version of the manuscript.