

РОЗДІЛ 2.

Цифрова трансформація організацій в Україні

СКЛЯРУК Тетяна Василівна,
к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту
персоналу та адміністрування,
Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна
ORCID: 0000-0001-8890-9152

2.1. ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТРАЄКТОРІЙ РОЗВИТКУ ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ

Вступ. Сучасний ринок праці змінює вимоги до працівника, стимулюючи організації шукати нові підходи до управління розвитком персоналу. В умовах динамічного інформаційного середовища, зростання значущості цифрових компетентностей та індивідуалізації професійного шляху виникає необхідність у впровадженні персоналізованих підходів до навчання та професійного розвитку. Одним з інноваційних напрямів є формування індивідуальних траєкторій розвитку персоналу, які забезпечують баланс між цілями працівника і стратегією організації, сприяють підвищенню ефективності, мотивації та залученості.

Метою дослідження є аналізування етапів формування індивідуальної траєкторії розвитку персоналу, інструментів, які застосовуються на кожному етапі, а також умов, за яких реалізація такого підходу стає найбільш результативною. У роботі акцентовано увагу на ролі HR-фахівців як координаторів та модераторів розвитку персоналу, значенні цифрових технологій у побудові

персоналізованих шляхів розвитку та перспективі інтеграції інтелектуальних аналітичних інструментів у цей процес.

Виклад основних результатів дослідження. В умовах швидкої цифрової трансформації бізнесу зростає потреба в персоналі, який не лише володіє професійними компетенціями, а й здатен швидко адаптуватися до нових умов праці, використовувати цифрові інструменти та розвиватися впродовж усього життя. Саме тому є актуальним дослідження питання формування індивідуальних траєкторій розвитку персоналу, що дозволяють швидко та ефективно реагувати на виклики цифрової економіки та забезпечити сталий розвиток організації.

Індивідуальна траєкторія розвитку персоналу – це персоналізований план професійного зростання працівника, який враховує його поточні компетенції, кар'єрні цілі, особисті цінності, а також потреби організації. Такий підхід передбачає поєднання самонавчання, корпоративного навчання, участі у проєктах та менторства [1; 2].

Слід відмітити, що діджиталізація відкриває нові можливості для персоналізованого навчання: онлайн-курси, платформи адаптивного навчання, системи управління талантами (LMS, TMS), аналіз даних для формування персональних рекомендацій щодо розвитку. Важливим є використання цифрових інструментів для побудови «карти розвитку» співробітника, яка оновлюється в режимі реального часу залежно від прогресу, зворотного зв'язку та змін у цілях компанії.

Вивчаючи питання індивідуальної траєкторії розвитку персоналу доцільним буде подальший розгляд основних етапів її формування, а саме (рис. 1): діагностика професійного потенціалу працівника, визначення цілей розвитку і мотивації, побудова індивідуального плану навчання та розвитку, впровадження плану із супроводом наставника або керівника, оцінка результатів і коригування індивідуального плану.

Діагностика професійного потенціалу працівника. Включає оцінювання професійних, особистісних та цифрових навичок працівника за допомогою тестувань, анкетування,

інтерв'ю з керівником або HR-фахівцем. Результати діагностики формують базу для подальшого планування розвитку.

Діагностика – це вихідна точка для побудови індивідуальної траєкторії розвитку. Її мета – об'єктивно оцінити поточний рівень знань, навичок і поведінкових установок працівника, а також виявити прогалини у компетенціях, що можуть заважати подальшому професійному зростанню [3; 4].

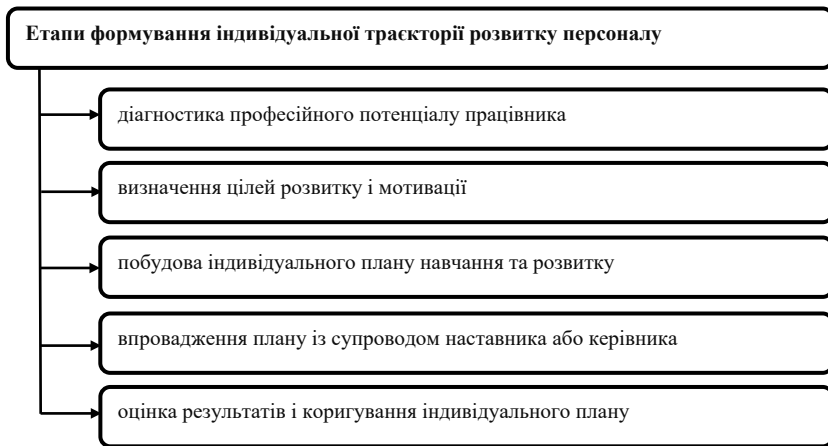


Рис. 1. Основні етапи формування індивідуальної траєкторії розвитку персоналу

Джерело: сформовано на основі [1; 2]

Серед складових діагностики професійного потенціалу працівника слід виділити наступні:

1. Оцінка професійних компетенцій – перевірка рівня володіння спеціалізованими знаннями та навичками, що необхідні для виконання посадових обов'язків. Може включати професійне тестування, практичні завдання, аналіз кейсів.
2. Оцінка цифрових навичок – вивчення рівня володіння цифровими інструментами, програмним забезпеченням, онлайн-платформами для комунікації, управління проєктами чи навчання.

3. Soft skills – визначення рівня розвитку комунікаційних навичок, критичного та системного мислення, емоційного інтелекту, вміння працювати в команді, приймати рішення тощо.

4. Психологічна готовність до змін – аналіз відкритості до нових знань, адаптивності, рівня внутрішньої мотивації, стресостійкості, самоусвідомлення.

Порівняльна характеристика інструментів діагностики наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика інструментів діагностики

№	Інструмент	Переваги	Недоліки
1	Онлайн-тести	Швидке охоплення великої кількості працівників, автоматизована обробка результатів	Поверховість оцінки, залежність від формулювання запитань
2	Анкети самооцінювання	Стимулюють рефлексію, дають уявлення про самоусвідомлення	Суб'єктивність, можливе викривлення оцінки
3	Оцінювальні інтерв'ю	Дає змогу глибше вивчити мотивацію та поведінкові установки	Залежність від кваліфікації інтерв'юера, тривалість процесу
4	360°-оцінювання	Комплексний зворотний зв'язок, порівняння самооцінки і зовнішньої оцінки	Може викликати упередженість або конфлікти у колективі
5	Аналіз результатів (KPI)	Об'єктивність, орієнтація на досягнення	Не охоплює поведінкові або приховані компетенції

Джерело: сформовано на основі [3; 4]

Слід відмітити, що формується індивідуальний профіль компетенцій, який порівнюється з еталонною моделлю посади або

з вимогами до цільової ролі, що дозволяє виявити прогалини, скоригувати очікування працівника й організації та визначити пріоритетні напрями розвитку.

Визначення цілей розвитку і мотивації. На цьому етапі відбувається погодження індивідуальних цілей працівника з цілями організації. Це можуть бути як горизонтальні цілі (розвиток у межах наявної посади), так і вертикальні (підготовка до переходу на вищу позицію).

Цей етап полягає у встановленні коротко – та довгострокових цілей працівника у сфері професійного зростання, що повинні узгоджуватися з потребами організації. Ефективне визначення цілей забезпечує фокус, мотивацію та прозорість у розвитку персоналу [5; 6]. Серед основних складових цілей розвитку слід виділити:

- професійні цілі – бажані зміни у навичках, знаннях, посаді або зоні відповідальності працівника;
- кар’єрні амбіції – середньо – та довгострокові наміри щодо зростання у межах компанії або професійної сфери;
- цілі організації – стратегічні потреби компанії, які можуть бути досягнуті шляхом розвитку конкретного працівника.

Порівняльну характеристику інструментів визначення цілей розвитку та мотивації відображено в табл. 2.

Слід відмітити, що сформульовані індивідуальні цілі стають основою для створення персоналізованого плану розвитку. Вони дозволяють чітко визначити очікувані результати, мотивують працівника і допомагають керівництву оцінювати прогрес у розвитку кадрів.

Побудова індивідуального плану навчання та розвитку. Формується дорожня карта дій: вибір онлайн-курсів, участь у внутрішніх тренінгах, проектна діяльність, менторська підтримка. У плані зазначаються терміни, ресурси та очікувані результати. План розвитку допомагає структурувати процес навчання, зробити його вимірюваним і адаптивним [7]. Серед основних елементів індивідуального розвитку слід виділити наступні:

- ✓ **Формати навчання** – визначають методи, за допомогою яких працівник буде здобувати нові знання та навички (внутрішні та

Таблиця 2

**Порівняльна характеристика інструментів визначення
цілей розвитку і мотивації**

№	Інструмент	Опис	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
1	SMART	Метод, що передбачає формулювання цілей за допомогою конкретних критеріїв (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound).	Чіткість і конкретність у визначенні цілей.	Може бути занадто жорстким для динамічних змін.
2	SWOT-аналіз	Аналіз сильних і слабких сторін, можливостей і загроз для організації чи індивіда.	Визначення стратегічних можливостей і ризиків.	Потрібна велика кількість даних для аналізу.
3	BSC (Балансована система показників)	Система вимірювання ефективності через набір ключових показників по різних напрямках.	Комплексна оцінка організаційних і персональних досягнень.	Може бути важким для маленьких організацій без достатніх ресурсів.
4	Мотиваційне інтерв'ю	Метод діалогу, який допомагає працівникові усвідомити власні мотиви до змін і розвитку.	Підвищує внутрішню мотивацію, сприяє саморефлексії.	Потребує навичок проведення; ефективність залежить від довіри.

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
5	Гейміфікація	Використання ігрових механік (бали, нагороди, рейтинги) для стимулювання мотивації.	Залученість, конкуренція, швидке реагування працівників.	Може працювати короткочасно; ризик зниження ефекту без оновлення системи.
6	PDP (Personal Development Plan)	Індивідуальний план розвитку, що включає особисті та професійні цілі, навички, які потрібно розвинути, ресурси та строки.	Персоналізований підхід, послідовний розвиток, орієнтація на довгострокову перспективу.	Вимагає регулярного перегляду і супроводу з боку HR або керівника.

Джерело: сформовано на основі [5; 6; 7]

зовнішні тренінги; онлайн-курси на освітніх платформах (Coursera, Prometheus, edX тощо); участь у професійних конференціях і семінарах; стажування та ротація в межах компанії; менторство та коучинг; самонавчання на основі рекомендованих матеріалів.

✓ Термін виконання – вказує очікувану тривалість кожного етапу або завдання в плані розвитку. Може оформлюватися у вигляді таймлайнів, чек-листів або календарного плану. Важливо, щоб терміни були реалістичними та відповідали навантаженню працівника.

✓ Очікувані результати – це конкретні досягнення, яких має досягти працівник у межах траєкторії розвитку (отримання сертифіката за результатами курсу; опанування нової програми або інструменту; реалізація внутрішнього проєкту або презентація результатів; зміна ролі, рівня відповідальності або перехід на іншу посаду.

✓ Показники ефективності – визначають, яким чином буде оцінено успішність виконання плану (проходження тестувань або оцінювання за шкалою; відгуки менторів, керівників або колег; досягнення певних КРІ (ключових показників ефективності); само-оцінювання прогресу або повторна діагностика компетенцій; способи оцінки досягнення цілей: тести, відгуки, порівняння КРІ тощо.

Опис та порівняльну характеристику основних інструментів формування індивідуального плану навчання та розвитку персоналу наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Порівняльна характеристика основних інструментів
формування індивідуального плану
навчання та розвитку персоналу**

№	Інструмент	Опис	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
1	Індивідуальний план розвитку (ІПР)	Документ, що фіксує цілі, заходи та строки розвитку окремого працівника.	Чітка структура та персоналізація розвитку.	Потребує часу на розробку та регулярне оновлення.
2	Матриця компетенцій	Інструмент для аналізу відповідності навичок працівників вимогам посади або організації.	Визначення прогалин у компетенціях та точкове навчання.	Може бути складною у впровадженні без належної системи оцінки.
3	360-градусне оцінювання	Метод оцінювання, що включає зворотний зв'язок від колег, керівників,	Багатогранна оцінка, що сприяє глибшому розумінню потреб у навчанні.	Суб'єктивність оцінювання, потреба у культурі довіри.

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
		підлеглих і самого працівника.		
4	Платформи e-learning	Онлайн-ресурси для самостійного або структурованого навчання.	Гнучкість, доступність, можливість навчатися у власному темпі.	Не завжди враховує індивідуальні потреби працівників.
5	Кар'єрне консультування (коучинг/менторство)	Процес супроводу професійного розвитку працівника через індивідуальні консультації з наставником або коучем.	Індивідуальний підхід, підтримка мотивації, розвиток soft skills.	Залежить від компетентності коуча/ментора, вимагає ресурсів.

Джерело: сформовано на основі [1; 7; 10]

Отож, індивідуальний план розвитку дозволяє перетворити загальні цілі на конкретні дії, забезпечує послідовність у розвитку та служить основою для контролю за динамікою професійного зростання працівника. Він може інтегруватися в загальну HR-стратегію організації та слугувати базою для подальших етапів оцінки й корекції.

Впровадження плану із супроводом наставника або керівника. На цьому етапі працівник переходить до активної реалізації наміченого плану, а керівник або ментор здійснює постійний супровід, надає консультації, допомагає адаптувати план до змінних умов та забезпечує емоційну підтримку [8; 9]. Серед основних елементів супроводу слід виокремити наступні:

- призначення наставника (ним може бути безпосередній керівник, досвідчений колега або HR-фахівець, який знайомий з кар'єрними цілями працівника та специфікою його роботи);

- регулярні зустрічі (проводяться з фіксованою періодичністю (наприклад, раз на 2 тижні) для обговорення прогресу, труднощів і уточнення подальших кроків);
- мотиваційна підтримка (надання зворотного зв'язку, підкреслення досягнень, допомога в подоланні невдач та підтримання внутрішньої мотивації до розвитку);
- коригування плану (за необхідності наставник допомагає адаптувати план до нових обставин (зміни пріоритетів компанії, ролі працівника або зовнішнього середовища)).

Опис та порівняльну характеристику інструментів супроводу наведено в табл. 4.

Слід відмітити, що впровадження плану розвитку із супроводом наставника підвищує ефективність навчання, забезпечує гнучкість реалізації та створює атмосферу довіри й залученості. Такий підхід сприяє більш глибокому засвоєнню знань і стабільному професійному зростанню.

Оцінка результатів і коригування індивідуального плану. Передбачає періодичний перегляд досягнутих результатів, оцінку ефективності навчання, адаптацію плану до нових умов або змін у цілях працівника чи організації, що дозволяє зробити процес розвитку безперервним і адаптивним [10]. На цьому етапі передбачається аналізування досягнутих результатів у межах реалізації індивідуального плану розвитку та внесення необхідних змін залежно від динаміки професійного зростання працівника, зворотного зв'язку та змін в організаційних пріоритетах.

Порівняльна характеристика інструментів оцінки результатів і коригування індивідуального плану відображена в табл. 5.

Коригування індивідуальної траєкторії розвитку персоналу – це процес перегляду та оновлення раніше визначених цілей, етапів і засобів професійного зростання працівника з урахуванням нових обставин, результатів оцінювання, змін у компетенціях або векторі розвитку організації.

Таблиця 4

Порівняльна характеристика інструментів супроводу

№	Інструмент супроводу	Опис	Переваги	Недоліки
1	Наставництво (менторство)	Передача знань і досвіду від більш досвідченого співробітника до менш досвідченого.	Швидка адаптація новачків, зниження помилок, мотиваційна підтримка.	Залежить від кваліфікації ментора; вимагає часу і ресурсів.
2	Коучинг	Супровід, що сприяє самостійному знаходженню рішень через спеціальні запитання.	Розвиток лідерства, відповідальності, внутрішньої мотивації.	Залежність від професіоналізму коуча; не всі працівники готові до цього формату.
3	Супервізія	Рефлексивна підтримка працівників у вирішенні професійних труднощів.	Покращує психологічний стан, запобігає професійному вигоранню.	Часто потребує зовнішніх фахівців; не завжди сприймається як необхідна.
4	Оцінювальні зустрічі (performance review)	Регулярні обговорення результатів праці та прогресу.	Чітка зворотна інформація, можливість коригування цілей.	Іноді сприймається формально або як контроль, а не розвиток.
5	Системи зворотного зв'язку	Збір думок працівників про умови роботи, процеси, керівництво.	Посилює діалог, допомагає виявляти приховані проблеми.	Ризик нещирості або формального підходу; потребує довіри.

Джерело: сформовано на основі [8; 9]

Таблиця 5

**Порівняльна характеристика інструментів оцінки результатів
і коригування індивідуального плану**

№	Інструмент	Опис	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
1	Оцінювальні зустрічі (performance review)	Регулярне обговорення між працівником і керівником результатів роботи, досягнень і планів на майбутнє.	Дає змогу вчасно коригувати цілі, забезпечує зворотний зв'язок, мотивує до розвитку.	Може бути формальним; залежить від якості підготовки і довіри між сторонами.
2	Оцінка за компетенціями	Визначення рівня володіння ключовими навичками та знаннями відповідно до матриці компетенцій.	Дає змогу об'єктивно оцінити прогрес; допомагає виявити слабкі зони для корекції ІПР.	Вимагає чітко розроблених критеріїв; може бути складною для самостійного використання.
3	360-градусне оцінювання	Комплексна оцінка працівника з боку керівника, колег, підлеглих і самого себе.	Багатовимірна картина результативності; сприяє саморефлексії.	Вимагає культури відкритості; можливі упереджені оцінки.
4	Звіт про виконання ІПР	Формалізований документ, де фіксується, які пункти плану реалізовано, які – ні, та чому.	Сприяє системності у відстеженні прогресу; простота у використанні.	Може бути формальним без належного аналізу причин відхилень.

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5
5	Самооцінка	Оцінювання працівником власного прогресу та ефективності реалізації індивідуального плану.	Розвиває відповідальність і саморефлексію; легко впроваджується.	Може бути суб'єктивною або недостатньо критичною.

Джерело: сформовано на основі [5; 6; 10]

Цей процес включає кілька ключових кроків:

- аналізування досягнутих результатів (проводиться оцінювання виконання попередніх етапів індивідуального плану розвитку: які навички були засвоєні, які завдання – виконані, а які – ні);
- виявлення відхилень і причин (аналізуються причини, що завадили досягти запланованих результатів: брак ресурсів, зміна пріоритетів, недостатня мотивація, зовнішні фактори тощо);
- уточнення цілей і пріоритетів (можливе коригування цілей розвитку – вони можуть бути переглянуті, деталізовані або змінені відповідно до нових вимог посади, результатів діяльності або стратегічних завдань організації);
- адаптація плану дій (вносяться зміни в конкретні заходи навчання та розвитку: додаються нові формати (наприклад, коучинг, онлайн-курси), змінюються строки або відповідальні особи);
- повторна мотивація працівника (обговорюються нові можливості, кар'єрні перспективи, переваги досягнення оновлених цілей, що допомагає зберегти інтерес працівника до саморозвитку);
- фіксація оновленого ІПР усі зміни формалізуються в оновленій версії індивідуального плану розвитку та узгоджуються з працівником і керівником.

Отож, ефективне впровадження індивідуальних траєкторій розвитку персоналу можливе за умови активної залученості HR-фахівців,

які виконують роль координаторів і модераторів індивідуального розвитку працівників. А менеджери відіграють функцію наставників, що супроводжують працівника в його розвитку, створюють сприятливе середовище та забезпечують якісний зворотний зв'язок.

Застосування персоналізованих траєкторій розвитку сприяє підвищенню рівня залученості співробітників, зменшенню плинності кадрів, активізації самонавчання та утвердженню культури безперервного професійного вдосконалення. У сукупності це посилює інноваційний потенціал організації та зміцнює її конкурентні позиції.

Таким чином, індивідуальні траєкторії розвитку персоналу виступають дієвим інструментом стратегічного HR-менеджменту в умовах цифрових трансформацій. Вони забезпечують баланс між інтересами працівника та роботодавця, стимулюють професійне зростання та адаптацію до змінного зовнішнього середовища. У перспективі особливого значення набуває інтеграція смарт-аналітики та штучного інтелекту для автоматизованого проєктування індивідуальних планів розвитку.

Висновки. Формування індивідуальних траєкторій розвитку персоналу в умовах діджиталізації є ефективним інструментом стратегічного управління людськими ресурсами. Успішна реалізація такого підходу можлива за умови активної участі HR-фахівців, які виступають координаторами професійного зростання, а також за підтримки менеджерів-наставників. Слід відмітити, що персоналізований розвиток забезпечує підвищення залученості персоналу, зниження плинності кадрів, формування культури безперервного навчання та інноваційної поведінки працівників.

Дослідження підтверджує, що цифрові інструменти – такі як платформи адаптивного навчання, системи управління талантами, e-learning та аналітичні системи – істотно підсилюють можливості реалізації індивідуальних траєкторій. Отож, індивідуалізація професійного зростання є ключем до адаптації організацій до викликів цифрової економіки.

Список використаних джерел

1. Назаренко О., Олесюк Н. Як за допомогою профстандарту вибудувати індивідуальну траєкторію професійного розвитку педагогів. *Практика управління дошкільним закладом*. № 1. 2022. URL: <https://ezavdnz.expertus.com.ua/947142> (дата звернення: 22.04.2025).
2. Ясінська Н. В. Сучасна наука про проектування індивідуальної освітньої траєкторії педагога в системі неперервної освіти. *Науково-методичний журнал «Педагогічний пошук»*. 2022. № 2. С. 49–53.
3. Оцінка персоналу: методи, які повинен знати кожний HR. Команда HURMA. URL: <https://hurma.work/blog/ocinka-personalu-metodi-yaki-povinen-znati-kozhnij-hr/> (дата звернення: 22.04.2025).
4. Методи оцінки персоналу. Команда PeopleForce. URL: <https://peopleforce.io/uk/blog/gid-metodi-otsinki-personalu> (дата звернення: 22.04.2025).
5. Мотивація та особистий розвиток: як досягти своїх цілей. URL: <https://theman.com.ua/motyvacziya-ta-osobystyj-rozvytok-yak-dosyagty-svoyih-czilej/> (дата звернення: 22.04.2025).
6. Що таке SMART-цілі? Команда HURMA. URL: <https://hurma.work/blog/smart-czili-pomylky-ta-porady/> (дата звернення: 22.04.2025).
7. Індивідуальний план розвитку спеціаліста в компанії: як це працює. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/individual-development-plan/> (дата звернення: 22.04.2025).
8. Новик І., Венгловська О. Наставництво: професійна підтримка та розвиток педагогів. Київ: УІРО, 2023. 111 с.
9. Никифорак В. А., Мельник О. І., Белінська Ю. О. Коучинг як інструмент управління персоналом. *Електронне наукове видання «Ефективна економіка»*. 2019. №4. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2019/58.pdf (дата звернення: 22.04.2025).
10. Індивідуальний план розвитку: 4 важливі елементи. URL: <https://budni.robota.ua/hr/individualniy-plan-rozvitku-4-neobhidni-elementi> (дата звернення: 22.04.2025).

СЛОБОДЯНИК Валентина Григорівна,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри мультимедійних технологій
НУ «Львівська політехніка»,
Інститут поліграфії та медійних технологій,
м. Львів, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6982-7194>

2.2. ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНСЬКИЙ БІЗНЕС ПОЛІГРАФІЇ

Вступ. У сучасному світі, в умовах глобалізаційних процесів і економічної нестабільності, Україні необхідно активно впроваджувати інноваційні та стійкі технології для розвитку ключових галузей економіки. Однією з таких галузей є поліграфія, яка займає важливе місце в економічній структурі країни, але зазнає значних екологічних і економічних викликів.

Обсяг ринку флексографічного друку значно збільшився за останні роки. Прогнозується [1], що він виросте з 6,5 мільярда доларів США у 2024 році до 7,11 мільярда доларів США у 2025 році, що відповідатиме середньорічному темпу зростання (CAGR) 9,4 %. Такий розвиток ринку обумовлений підвищенням економічної ефективності, впровадженням високошвидкісного друку, широким використанням універсальних задруковуваних матеріалів, покращенням якості та стабільності процесу, а також активним розвитком пакувальної індустрії. Очікується [1], що ринок флексографічного друку продовжить своє активне розширення в наступні кілька років. До 2029 року його обсяг досягне 10,25 мільярда доларів США, при середньорічному темпі росту (CAGR) 9,6 %. Такий розвиток ринку можна пояснити зростаючим попитом на екологічну упаковку, швидким розвитком електронної комерції, глобалізацією брендів, змінами в потребах щодо реклами та маркування, а також збільшенням інтересу до малотиражного друку. Основні тенденції в прогнозованому

періоді включають інновації в анілоксові рулони та системи подачі чорнила, зростання попиту на друковані етикетки та гнучкі пакувальні плівки, кастомізацію та малотиражний друк в упаковці, впровадження автоматизації процесів та підвищення ефективності робочого процесу, розширення флексографічного друку на гофроупаковці [1].

Виклад основних результатів дослідження. В умовах важкої економічної ситуації в Україні, коли підприємства часто стикаються з високими витратами на імпорتنі хімічні матеріали, особливо для флексографічного друку, виникає нагальна потреба в розробці альтернативних, більш економічно вигідних та екологічно чистих технологій. Значні витрати підприємств у поліграфії складаються саме з вартості закупівлі розчинників для очищення фотополімерних форм, які зазвичай викидаються після використання. Технології регенерації розчинників здатні значно знизити витрати на нові матеріали, а також зменшити екологічний слід підприємств.

Впровадження інноваційних рішень, таких як розробка українського розчинника на основі води та органічних сполук для очищення фотополімерних форм [2], не тільки дозволяє знизити залежність від імпорتنих товарів, а й сприяє розвитку циркулярної економіки в Україні. Цей підхід відповідає сучасним екологічним і економічним вимогам сталого розвитку, адже забезпечує повторне використання ресурсів і мінімізує шкідливий вплив на довкілля.

Цифровізація поліграфічних процесів також відіграє важливу роль у підвищенні ефективності виробництва. Завдяки цифровим технологіям, таких як автоматизація вимивання фотополімерних форм, можна досягти більш високих стандартів якості і скоротити витрати на виробництво, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств.

Тому актуальність цієї роботи полягає в дослідженні економічної вигоди від застосування технологій регенерації розчинників у поліграфії, їх впливу на зменшення витрат, зниження екологічного впливу та інтеграції в процес цифровізації виробництва.

Розробка таких інноваційних рішень є необхідним кроком для забезпечення сталого розвитку поліграфічної індустрії в Україні.

Метою цього дослідження є вивчення економічної вигоди від застосування розчинників для вимивання фотополімерних форм у флексографії з можливістю їх регенерації та повторного використання, а також визначення впливу цифрових технологій на зниження витрат та покращення екологічних характеристик поліграфічного виробництва.

Оскільки в Україні поліграфічні підприємства часто стикаються з високими витратами на закупівлю імпортованих хімікатів, це дослідження має на меті запропонувати ефективні економічні та екологічні рішення для оптимізації виробничих процесів.

У дослідженні було поставлено низку завдань, що стосуються економічної доцільності та технологічної ефективності впровадження цифрових інструментів у процес регенерації розчинників. Зокрема, здійснено оцінку економічної вигоди від застосування даної технології, з акцентом на зниження витрат на закупівлю нових розчинників та утилізацію відходів. Також досліджено вплив цифровізації на оптимізацію процесів регенерації, що дозволяє мінімізувати споживання енергії та матеріалів. У межах роботи проаналізовано екологічні й економічні переваги повторного використання розчинників у контексті принципів циркулярної економіки. Розроблено практичні рекомендації для поліграфічних підприємств щодо впровадження технології з урахуванням специфіки їхніх ресурсних і технічних можливостей. Крім того, проведено аналіз можливостей інтеграції регенераційних процесів у цифрові системи управління виробництвом, що відкриває перспективи подальшого зниження витрат та підвищення ефективності діяльності підприємств галузі.

Впровадження цифрових технологій у процеси регенерації розчинників може значно оптимізувати витрати, зменшити час на виконання робіт, знизити енергетичні витрати та мінімізувати відходи. Це не лише забезпечує економічну вигоду для поліграфічних підприємств, а й має важливі екологічні переваги, що є суттєвим аспектом у контексті сталого розвитку та цифровізації економіки України.

Флексографія – це високошвидкісна технологія друку, що використовує еластичні форми для перенесення зображень на різноманітні матеріали, зокрема папір, плівку, текстиль і металеві плівки. Особливістю флексографії є використання рідких фарб, які наносяться на матеріал через еластичні фотополімерні пластини. Цей метод відрізняється своєю здатністю працювати з різними типами фарб, такими як водорозчинні і ультрафіолетові, що робить його екологічно чистішим порівняно з іншими технологіями. Флексографія дозволяє отримувати високу якість друку на гнучких матеріалах, таких як упаковка та етикетки. Завдяки високій швидкості друку цей метод є ідеальним для масового виробництва великих тиражів, що робить його економічно вигідним для промислових підприємств. Порівняно з іншими методами, флексографія має низький рівень витрат на виготовлення форм, що значно знижує загальні витрати на виробництво. Однак для досягнення стабільності та точності друку необхідно враховувати деякі технічні вимоги до якості матеріалів і фарб.

Цифровізація поліграфічного виробництва є важливим кроком у розвитку галузі, що дозволяє значно підвищити ефективність, знизити витрати та покращити якість продукції. У флексографії цифрові технології використовуються на всіх етапах виробничого процесу, починаючи від проєктування та виготовлення форм до контролю якості та автоматизації друкарських операцій. Завдяки цифровим технологіям поліграфічні підприємства здатні оптимізувати витрати на матеріали, зменшити час на налаштування обладнання та забезпечити високу точність друку.

Сучасна флексографія активно інтегрує цифрові технології, що дозволяє не лише значно підвищити ефективність виробництва, а й знизити витрати та покращити екологічні показники. Одним із таких нововведень є застосування технології PolyJet для виготовлення флексографічних форм. Дослідження показали, що 3D-друковані пластини, виготовлені за допомогою цієї технології, можуть забезпечити високу якість друку на водорозчинних фарбах, хоча їхня оптична щільність на покритих паперах була на 10 % нижчою порівняно з традиційними фотополімерними пластинами [3].

Наочно демонструє (рис. 1) два різних методи виготовлення друкарських форм: традиційний метод з використанням розчинника та адитивний метод, що застосовує технологію PolyJet.

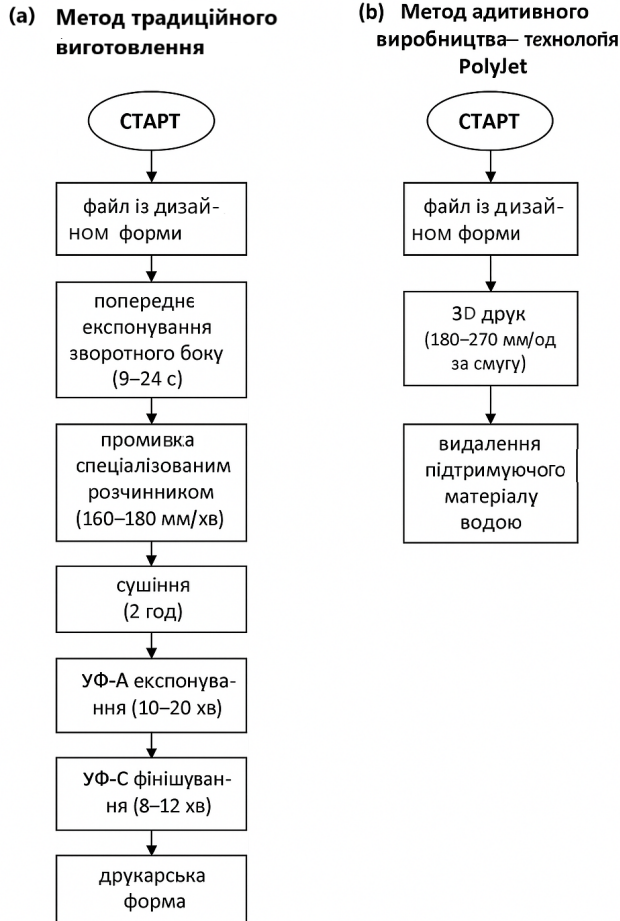


Рис. 1. Схеми виготовлення форм для флексографічного друку:
(а) традиційна технологія виготовлення фотополімерної форми
та (б) 3D-друкованих за технологією PolyJet

Джерело: складено на основі [3]

Основною відмінністю між цими двома методами є процес промивки форми. У традиційному методі, який описано в лівій частині схеми, для очищення форми від надлишків матеріалу використовується спеціалізований розчинник. Цей процес дозволяє ефективно видаляти залишки фотополімеру, проте він пов'язаний з певними екологічними ризиками через використання хімічних речовин. Зокрема, такі розчинники можуть бути токсичними для навколишнього середовища, якщо не застосовувати відповідні методи утилізації.

У правій частині схеми (рис. 1) зображено процес, що застосовує технологію PolyJet, де замість розчинників використовують воду для промивки форми. Це робить метод більш екологічним, адже вода є менш шкідливою для довкілля. Однак, навіть у цьому випадку, вода після промивки все ж міститиме часточки полімерів, що робить її непридатною для прямого скидання у навколишнє середовище без додаткової очистки. Тому, хоч цей метод і є більш екологічно чистим, проблема утилізації води з полімерними частками залишається актуальною.

Таким чином, кожен з методів [3] має свої переваги та недоліки. Традиційний метод є перевіреним і широко використовуваним, але він вимагає більших екологічних зусиль щодо утилізації хімічних речовин. У той же час, метод PolyJet є більш екологічно безпечним через використання води, але вимагає додаткових кроків для очищення води від залишків полімеру.

Використання методів Lean та штучного інтелекту (AI) для покращення енергоефективності в процесах флексографічного друку дозволяє значно знижувати виробничі витрати. Зокрема, застосування Lean-технологій дозволяє оптимізувати виробничі процеси, зменшуючи енергоспоживання та збільшуючи ефективність використання ресурсів. Інтеграція AI допомагає прогнозувати та автоматично регулювати параметри виробництва, що знижує витрати енергії та часу на налаштування машин, забезпечуючи більшу стабільність і контроль за процесами [4].

Такі інноваційні технології надають виробникам можливість значно скоротити експлуатаційні витрати, зберігаючи при цьому

високу якість продукції та знижуючи екологічний вплив. Це особливо важливо в умовах високої конкуренції на ринку, де швидкість і економічна ефективність стають визначальними факторами для забезпечення конкурентоспроможності та рентабельності підприємства [5].

Також для виготовлення флексографічних форм за маскувальною технологією в лазерних пристроях застосовують одночасне формування зображення лазерним променем та основне УФ-експонування. Комбінація цих двох процесів забезпечує не лише економічний ефект, але й покращує якість, підвищуючи рівень повторюваності форм, їх стійкість і контроль за формуванням растрової точки в цифровому зображенні. Це також дозволяє уникнути пошкоджень фотополімерного шару, оскільки усувається необхідність перенесення форми в експонувальний пристрій. Такі пластини використовуються для друку на гофрокартоні, а також на паперових і синтетичних мішках. Крім того, пластини високої твердості, які мають менше розтискування растрових елементів, застосовуються для друку високолінійних робіт [5].

Технологія лазерного аблятивного маскування (LAMS) є однією з найбільш поширених для виробництва флексографічних форм. Дослідження показали, що оптимізація пост-обробки ультрафіолетовим випромінюванням (UVA та UVC) може значно покращити поверхневі властивості фотополімерних матеріалів. Використання штучних нейронних мереж для прогнозування цих властивостей дозволяє автоматизувати процес та досягти високої якості друку [6].

Незважаючи на значний прогрес у розвитку цифрових технологій у флексографії, впровадження новітніх технологій та обладнання все ще є значним викликом для поліграфічних підприємств. Одним з основних бар'єрів є необхідність адаптації існуючого обладнання до нових технологічних вимог, що вимагає значних фінансових вкладень. Більшість підприємств, зокрема в Україні, стикаються з труднощами при оновленні обладнання, яке може потребувати кілька років або навіть десятиліть для повної модернізації, що є особливо актуальним в умовах обмежених ресурсів.

Крім того, необхідність навчання персоналу та забезпечення сумісності нових матеріалів з традиційними фарбами та субстра-тами ускладнює швидке впровадження інноваційних технологій. Водночас, рішенням для зниження витрат на закупівлю нових розчинників та зменшення впливу на навколишнє середовище є використання водних розчинників або альтернативних органічних розчинників.

Особливо важливим є застосування технології регенерації розчинників, що дозволяє значно знизити витрати на нові матеріали. Регенерація розчинників є економічно вигідною, оскільки дозволяє повторно використовувати розчинники без необхідності закуповувати нові, що призводить до значних заощаджень для підприємств. Проте, для ефективної регенерації необхідно мати відповідне обладнання, яке здатне відокремлювати використані розчинники та очищати їх для подальшого використання в процесі вимивання фотополімерних форм.

Розробки в галузі, зокрема пристрої для регенерації розчинників [7], дозволяють зменшити викиди токсичних речовин в атмосферу, а також знизити кількість відходів, що утворюються під час виробничого процесу. Це не лише покращує екологічну ситуацію, а й знижує витрати підприємств на обробку та утилізацію відходів.

Проте застосування води як розчинника також має свої виклики. Хоча цей метод є екологічно безпечнішим, він вимагає значних змін у складі фотополімерних матеріалів, зокрема, у плівкоутворюючих полімерів, щоб забезпечити необхідні фізико-хімічні властивості та світлочутливість. Крім того, водні розчини можуть вимагати додаткової очистки перед скиданням у каналізацію, що створює додаткові витрати на водопідготовку та водоочищення.

Таким чином, впровадження нових технологій, таких як регенерація розчинників та використання водорозчинних матеріалів, має значний потенціал для зниження витрат і покращення екологічної безпеки, але вимагає великих початкових інвестицій у модернізацію обладнання та навчання персоналу.

У сучасній поліграфії, де зростає попит на екологічно чисті технології та ефективне використання ресурсів, важливим аспектом є впровадження цифрових систем для контролю за процесами регенерації розчинників. Це дозволяє зменшити витрати на нові матеріали та знизити екологічне навантаження, що є важливою складовою стратегій сталого розвитку в поліграфії. Регулювання параметрів, таких як температура, в'язкість, рівень концентрації розчинника та інші критичні фактори, значно підвищує ефективність регенерації. Однак ефективність цього процесу залежить не тільки від технології, а й від інструментів, які застосовуються для цієї регенерації.

Одним з важливих елементів у процесі регенерації є пристрій для регенерації розчинників [8], який забезпечує багаторазове використання розчинників, що використовуються у флексографії для очищення фотополімерних форм. Цей пристрій працює за принципом фільтрації та очищення розчинників від забруднюючих компонентів, таких як залишки фарби та хімічні сполуки. За допомогою цифрових сенсорів пристрій автоматично моніторить рівень забруднення розчинників, температурні умови та інші параметри, що дозволяє здійснювати регенерацію в автоматизованому режимі. Всі ці параметри передаються в централізовану систему управління, що забезпечує точність і контроль за процесом. Цей процес також дозволяє значно знизити споживання нових розчинників та зменшити кількість відходів, що підвищує екологічну ефективність підприємства.

Використання таких пристроїв має чимало економічних переваг. Оскільки ці пристрої дозволяють багаторазово використовувати розчинники, підприємства можуть значно знижувати витрати на закупівлю нових матеріалів. За оцінками, застосування технології регенерації може дозволити зекономити до 20–30 % витрат на хімічні матеріали щорічно. Крім того, регенерація розчинників допомагає зменшити обсяги відходів, що потребують спеціальної утилізації, що також дає економічний ефект, оскільки витрати на утилізацію токсичних матеріалів є значними для багатьох підприємств.

Важливим аспектом є також покращення екологічного профілю виробництва. У той час як традиційні методи очищення розчинниками часто передбачають скидання відпрацьованих матеріалів у навколишнє середовище або викиди в атмосферу, використання пристроїв для регенерації дозволяє значно зменшити це навантаження. Замість того, щоб розчинники потрапляли в навколишнє середовище, вони очищуються і можуть бути використані знову, зменшуючи таким чином негативний вплив на довкілля.

Крім того, технологія регенерації дає можливість покращити безпеку на підприємстві, оскільки зменшується кількість токсичних відходів, що повинні оброблятися спеціальними службами. Весь процес регенерації здійснюється в замкнутій системі, що мінімізує ризик контакту персоналу з шкідливими хімічними речовинами.

У зв'язку з загостренням екологічної ситуації, що, зокрема, пов'язана з використанням токсичних органічних розчинників у технологічних процесах, у поліграфічній промисловості спостерігається стійка тенденція до переходу на водні системи в процесах проявлення фотополімерних форм. Вода як розчинник демонструє суттєві переваги: вона не тільки екологічно безпечніша, але й позбавлена пожежонебезпечних властивостей, властивих традиційним органічним речовинам.

Одним із прикладів такого підходу є рішення компанії Toyoobo, яка впровадила технологію виготовлення флексографічних форм на основі пластин типу Cosmolight, що проявляються у теплому розчині поверхнево-активних речовин (ПАР) із використанням спеціального обладнання – процесора Cosmo. У процесі проявлення неопромінені ділянки пластини розщеплюються і перетворюються на суспензію, яка далі розділяється всередині процесора, що забезпечує чистий і керований технологічний цикл.

Інноваційним підходом є також застосування розробленого гетерофазного розчинника, який дозволяє використовувати один процесор для роботи як з гідрофільними, так і з гідрофобними пластинами. Це технологічне рішення суттєво підвищує

універсальність виробничих процесів, знижує витрати на обладнання та оптимізує виробничий простір.

Варто відзначити, що хоча використання емульсійних систем є досить поширеним у різних галузях техніки, у сфері виготовлення флексографічних форм інформація щодо хімічного складу та властивостей таких розчинів досі є обмеженою. Зокрема, недостатньо вивченими залишаються фізико-хімічні характеристики та технологічні параметри, які визначають стабільність і якість процесу вимивання.

Одним із ключових показників, що впливає на ефективність проявлення латентного зображення, є ступінь насичення вимивного розчину фотополімером, що безпосередньо впливає на його в'язкість. Практичні дані показують, що для забезпечення якісного вимивання органічними розчинниками допустимий рівень насичення має становити не більше 5–10 %. Перевищення цього порогу призводить до значного зниження швидкості, глибини проявлення та втрати здатності точно відтворювати складні растрові елементи.

Результати експериментального дослідження залежності динамічної в'язкості гетерофазного вимивного розчину від концентрації фотополімеризаційно здатної композиції (ФПК), представлені графіками (рис. 2).

Виявили неочікуване явище зниження в'язкості розчину при додаванні певних полімерних матеріалів. Такий ефект спостерігався для різних композицій, але найбільш виразно проявився під час вимивання пластин типу Cyrel NOW і Asahi AFP-HD, у той час як композиції Nyloflex FAN та Pasaflex демонстрували значно менш виражене зниження в'язкості.

Поглиблене дослідження (рис. 2), засвідчило, що зменшення в'язкості вимивного розчину відбувається до досягнення приблизно 1 % концентрації ФПК, після чого спостерігається зворотна тенденція – зростання в'язкості порівняно з вихідною. Особливо помітне зниження в'язкості фіксується при концентрації ФПК у межах 0,05–0,1 %, що вказує на специфічну реакцію дисперсної системи на малі кількості полімерного компонента.

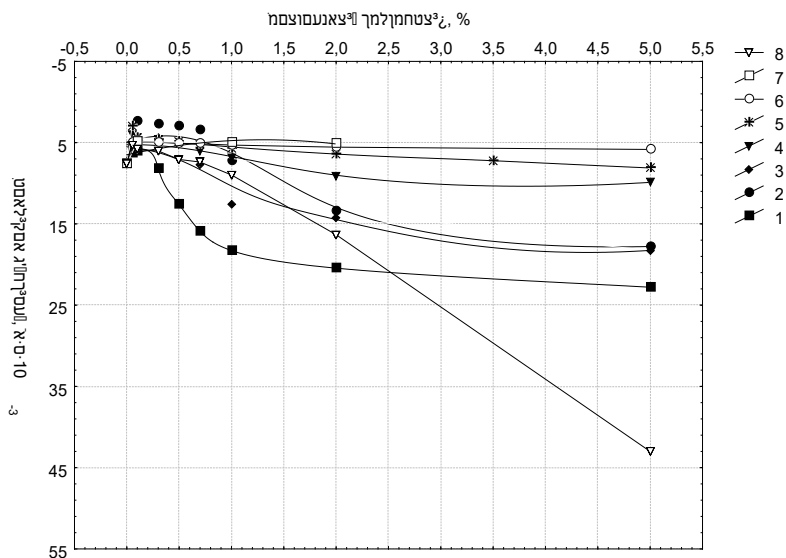


Рис. 2. Залежність динамічної в'язкості від концентрації (до 5 %), розчиненої у вимивному розчині композицій різних типів: 1 – Pasaflex, 2 – Cyrel NOW, 3 – Asahi, 4 – Nyloflex FAN, 5 – ICT, 6 – ICT+ТМДА, 7 – ДМЕГ, 8 – Рельєф

Джерело: складено на основі [9]

Поглиблене дослідження (рис. 2), засвідчило, що зменшення в'язкості вимивного розчину відбувається до досягнення приблизно 1 % концентрації ФПК, після чого спостерігається зворотна тенденція – зростання в'язкості порівняно з вихідною. Особливо помітне зниження в'язкості фіксується при концентрації ФПК у межах 0,05–0,1 %, що вказує на специфічну реакцію дисперсної системи на малі кількості полімерного компонента.

Відомо, що фотополімерні композиції досліджуваного типу зазвичай містять різні за хімічною природою компоненти, серед яких основну роль відіграють полімери та мономери. Для моделювання їхнього впливу на в'язкісні властивості розчину, до емульсійної вимивної системи окремо додавали ізопрен-стирольний

термоеластопласт (ІСТ-20), метакрилатний мономер (ДМЕГ – диметакрилат етиленгліколю) та їхню суміш.

Отримані результати показали, що мономер практично не змінює в'язкість розчину, тоді як ІСТ-20, подібно до основних компонентів полімерної композиції, спричиняє помітне зниження в'язкості емульсійного розчину при малих концентраціях.

Аналіз за допомогою мікрофотографування гетерофазних систем, що містять різні концентрації ФПК Cyrel NOW представлений нижче (рис. 3).

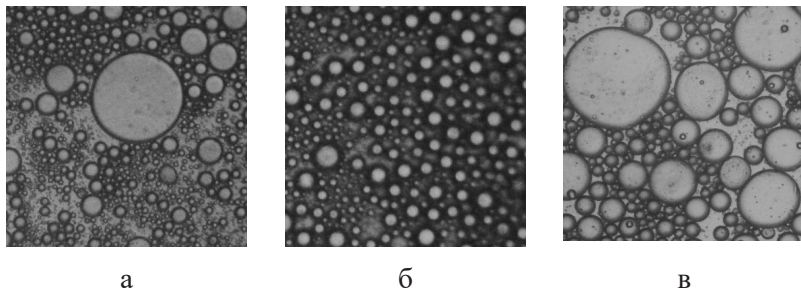


Рис. 3. Мікрофотографії емульсійного розчину:
а – без додавання ФПК; б – із вмістом 0,7 % ФПК Cyrel NOW;
в – із вмістом 5 % ФПК Cyrel NOW

Джерело: складено на основі [10]

Виявлені зміни динамічної в'язкості емульсійного вимивного розчину можуть бути зумовлені трансформаціями його мікроструктури, що відбуваються під час взаємодії з компонентами фотополімерної композиції. Для підтвердження цієї гіпотези було проведено візуальний аналіз (рис. 3).

Мікрофотографії наочно демонструють зміну дисперсної структури емульсійного середовища залежно від концентрації фотополімеру. На початковому етапі вимивання, за низьких концентрацій ФПК (до 1 %), система набуває дрібнодисперсного і більш однорідного характеру, ймовірно, внаслідок стабілізації

олеофільних частинок за рахунок мономерів або супутніх компонентів фотополімерної композиції. Ця стабілізація сприяє зниженню в'язкості, що, своєю чергою, покращує дифузію розчину в полімерний шар і пришвидшує процес вимивання.

За подальшого накопичення ФПК у розчині, компоненти фотополімеру починають розчинятись у олеофільній фазі, спричиняючи збільшення розміру частинок і поступову коалесценцію. Це призводить до зростання в'язкості та її стабілізації на новому рівні. Така поведінка характерна для органорозчинних систем, у той час як у випадку водорозчинних фотополімерів (наприклад, ФПК Рельєф), в'язкість зростає з самого початку через безпосереднє розчинення компонентів у водному дисперсійному середовищі.

Таким чином, використання емульсійних розчинів у процесі проявлення латентного зображення супроводжується спочатку зниженням в'язкості (до концентрацій 1–1,5 %), що пов'язане з гомогенізацією дисперсної фази, а згодом – її збільшенням і стабілізацією внаслідок розчинення фотополімерних компонентів в олеофільній фазі. Такий механізм сприяє інтенсифікації процесу вимивання на ранніх стадіях та дозволяє зменшити час обробки форми.

З метою оцінки зносостійкості фотополімерних друкарських форм було проведено порівняльне дослідження зразків «Nyloflex FAN» та «Cyrel AQS». Після 20-хвилинного опромінення лампами ЛУФ-80 форми вимивалися у чотирьох різних вимивних розчинах: тетрахлоретилені (ТХЕ), сольвенті нафтового походження, розчині Optisol та розробленому гетерофазному розчиннику (ГР).

Представлено мікроструктуру слідів тертя для обох типів пластин (рис. 4).

Абразивне навантаження викликає поступову трансформацію рельєфу фотополімерів (рис. 5). Зношення в умовах тертя має напрямлену природу: руйнування формується вздовж траєкторій механічного впливу й поширюється у глиб матеріалу. При цьому для зразків, вимитих у гетерофазному розчиннику (рис. 4, 5), спостерігається значно менша інтенсивність зношування, що потенційно продовжує їх ресурс експлуатації.

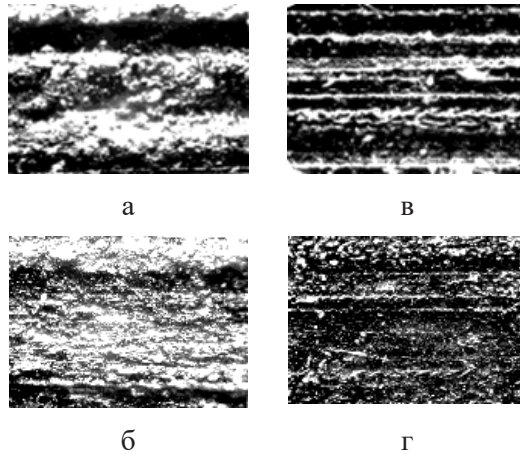


Рис. 4. Мікрофотографії слідів зношування на поверхні фотополімерних друкарських форм, оброблених у різних вимивних середовищах: а – «Cyrel AQS» у TXE; б – «Cyrel AQS» у ГР; в – «Nyloflex FAN» у TXE; г – «Nyloflex FAN» в ГР

Джерело: складено на основі [11]

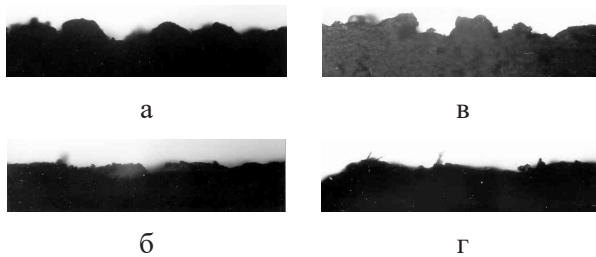


Рис. 5. Мікрофотографії поверхневого рельєфу ФФДФ після абразивного зношування у різних вимивних середовищах: а – «Cyrel AQS» у TXE; б – «Cyrel AQS» у ГР; в – «Nyloflex FAN» у TXE; г – «Nyloflex FAN» у ГР

Джерело: складено на основі [11]

Як показано (рис. 4, 5), форми «Nyloflex FAN» демонстрували приблизно утричі вищу стійкість до стирання, що пояснюється їхньою вищою твердістю та відмінностями у хімічному складі [11].

Запропонована технологія регенерації розчинників для вимивання фотополімерних флексографічних друкарських форм ґрунтується на сепарації багатофазної дисперсної системи, яка складається з води (~47,35 %), нафтового сольвенту (~47,35 %), фотополімеру (~5 %) і поверхнево-активних речовин (~0,3 %). Така суміш може розглядатися як водно-сольвентна дисперсія фотополімеру, що потребує двостадійної сепарації з метою економії ресурсів шляхом повторного використання сольвенту.

На основі фізико-хімічних властивостей системи була обґрунтована конструкція двосекційного сепаратора, де:

- перша секція забезпечує грубе розділення системи на воду та сольвентно-полімерну фазу;
- друга секція здійснює подальше очищення сольвенту від полімерних включень.

Така конфігурація виправдана близькістю густини полімеру й нафтового сольвенту, а також малими розмірами частинок полімерної фази (середній розмір ~0,19 мкм).

Розрахункова продуктивність сепаратора складає 20–30 л/год, що відповідає типовим потребам невеликих поліграфічних підприємств.

Цей показник визначений на основі формули продуктивності сепаратора:

$$Q = \frac{\beta \cdot V \cdot n \cdot z}{P \cdot \tau} \quad (1)$$

β – технологічний к. к. д. сепаратора (0,6),

V – робочий об'єм тарілчастого пакета,

n – частота обертання барабана,

z – кількість тарілок,

p – коефіцієнт переповнення (130),

τ – розділювальна здатність системи, визначена згідно параметрів дисперсної суміші.

На першій стадії сепарації (нижня секція барабану) відбувається ефективне розділення водно-сольвентної суміші. За розрахунками оптимальними є такі конструктивні параметри нижньої секції:

- частота обертання барабану: 7500 об/хв;
- максимальний радіус тарілок: 73 мм;
- мінімальний радіус тарілок: 30 мм;
- відстань між тарілками: 0,5 мм;
- загальна кількість тарілок: 87.

Ефективність сепарації досягається завдяки розташуванню вхідного отвору на рівні нейтрального шару ($R_x = 60$ мм), що сприяє швидкому розділенню фаз та знижує витрати енергії й часу.

Верхня секція барабану призначена для додаткового очищення сольвенту від полімерних частинок, концентрація яких у сольвентній фазі не перевищує 10 %. Конструктивні параметри верхньої секції:

- частота обертання барабану: 7500 об/хв;
- максимальний та мінімальний радіуси тарілок аналогічні нижній секції (73 та 30 мм відповідно);
- відстань між тарілками: 0,3 мм;
- кількість тарілок: 30 шт.;
- положення нейтрального шару ($R_x = 50$ мм).

Високі оберти забезпечують можливість сепарації частинок полімеру з мінімальним розміром близько 0,042 мкм. Це дозволяє максимально ефективно очищати сольвент, роблячи його придатним для повторного використання у виробничому процесі.

Економічний ефект від застосування такого сепаратора полягає в суттєвому скороченні витрат на придбання нового сольвенту, а також зниженні витрат на утилізацію відпрацьованих розчинів. Використання регенованого сольвенту сприяє зменшенню загальної вартості технологічного циклу до 20–30 %, забезпечуючи конкурентну перевагу для підприємств, особливо в умовах дефіциту ресурсів та зростання цін на витратні матеріали.

Підприємства, які впроваджуватимуть такі технології, можуть досягти значних покращень у своїй економічній діяльності.

Використання пристроїв для регенерації дозволить знизити витрати на закупівлю розчинників на 25 % за рік. Більше того, застосування автоматизованих систем для контролю за процесами регенерації дозволить зменшити кількість дефектів продукції та значно покращити якість друку. Ці результати демонструють не лише економічний ефект, а й позитивний вплив на екологічну ситуацію, оскільки зменшуються обсяги шкідливих викидів у довкілля.

У майбутньому впровадження цифрових систем для регенерації розчинників стане ще більш ефективним завдяки розвитку нових технологій, таких як машинне навчання для прогнозування рівня забруднення розчинників і автоматизоване налаштування процесу. Це дозволить досягти ще більших економічних вигод та покращити екологічні характеристики виробництва.

Цифрові технології, зокрема системи автоматизованого управління, Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект (AI), здатні значно оптимізувати процеси регенерації розчинників. Завдяки використанню цифрових сенсорів для моніторингу параметрів розчинника, таких як температура, в'язкість та склад, можна автоматично коригувати параметри процесу для досягнення максимальної ефективності. Це дозволяє не лише покращити економічні показники, а й підвищити стабільність виробничого процесу та зменшити відходи.

Системи моніторингу в реальному часі, що використовують цифрові сенсори, можуть автоматично регулювати температурні режими та витрату енергії, знижуючи споживання енергоресурсів та підвищуючи швидкість регенерації розчинників.

Інтеграція цифрових систем автоматизації дозволяє значно знизити людський фактор у процесі регенерації розчинників, що зменшує кількість помилок, підвищує точність регенерації та скорочує час на налаштування. Це дає змогу не лише заощаджувати час, а й мінімізувати витрати на додаткові операції, такі як очищення та утилізація відходів. В результаті знижується загальна вартість процесу, а ефективність регенерації розчинників підвищується.

У сучасних підприємствах [12], що впроваджують цифрові системи для регенерації розчинників, спостерігається значне зниження операційних витрат та підвищення загальної ефективності. Одним із яскравих прикладів є використання цифрових платформ для управління витратами розчинників на підприємствах у Європі [13]. Вони інтегрують IoT-пристрої, які постійно вимірюють параметри розчинників і передають ці дані на центральну платформу для аналізу. Платформи використовують алгоритми штучного інтелекту для прогнозування та оптимізації споживання розчинників.

Подібні принципи інтелектуального керування описано в роботі [14], де для автоматизації процесу регенерації розчинника застосовано методи нечіткої логіки та моделювання в середовищі MATLAB. Це дозволяє адаптувати технологічні параметри в реальному часі, підвищуючи стабільність процесу та знижуючи енергоспоживання, сприяє створенню адаптивних систем керування, що відповідають концепції цифровізації виробництва в рамках індустрії 4.0.

Висновки. Результати проведеного дослідження підтвердили актуальність і доцільність впровадження цифрових технологій у процеси виготовлення та регенерації розчинників, що використовуються у флексографічному друці. Такий підхід дозволяє одночасно вирішити кілька критичних завдань: скорочення виробничих витрат, зменшення екологічного навантаження на підприємства та підвищення ефективності виробництва в умовах обмежених ресурсів.

У рамках роботи здійснено глибокий аналіз властивостей гетерофазного розчинника, що розроблений для вимивання фотополімерних форм. Запропоновано концепцію його багаторазового використання без втрати якості, а також технічне рішення у вигляді двосекційного сепаратора, який забезпечує ефективне очищення багатофазної системи «вода – сольвент – полімер». Параметри пристрою адаптовані до потреб малих і середніх поліграфічних підприємств, що підвищує його універсальність і економічну доцільність.

Результати експериментальних досліджень – мікроскопічного та реологічного – засвідчили, що на ранніх етапах вимивання знижується в'язкість розчину, що сприяє інтенсифікації процесу очищення. При цьому твердість і зносостійкість форм зберігаються на високому рівні навіть після кількох циклів регенерації, що підтверджує ефективність розробленої технології.

Економічний ефект проявляється у скороченні витрат на хімічні реагенти на 25–30 %, зменшенні кількості відходів, а також у зниженні залежності підприємств від імпортованих матеріалів, що особливо актуально для українських виробників в умовах кризи. Регенерація розчинників є ключовим елементом переходу до циркулярної моделі виробництва, яка базується на принципах повторного використання ресурсів і сталого розвитку.

Особливу увагу в роботі приділено цифровим рішенням, які забезпечують моніторинг та керування параметрами технологічного процесу. Використання IoT-пристроїв, сенсорів в'язкості та температури, інтегрованих у автоматизовані системи керування, дозволяє отримати точні дані в реальному часі, а аналітичні модулі на основі штучного інтелекту – прогнозувати момент оптимальної регенерації або заміни робочого розчину. Такий підхід є прикладом ефективної цифровізації виробництва, що відповідає європейським практикам модернізації бізнесу та сприяє підвищенню конкурентоспроможності галузі.

Представлений матеріал демонструє приклад успішного поєднання екологічного підходу, інженерних інновацій та цифрових технологій у поліграфічному виробництві. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальших досліджень, спрямованих на цифрову трансформацію виробничих процесів, а також для адаптації подібних рішень у суміжних галузях промисловості в умовах переходу до сталого та ресурсоефективного розвитку.

Список використаних джерел

1. Flexographic Printing Global Market Report 202. The Business Research Company. 2025. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/flexographic-printing-global-market-report> (Last accessed: 12.03.2025).
2. Шибанов В. В., Слободяник В. Г. Проявник для вимивання зображень фотополімерних друкарських форм: пат. 71762 А Україна G03F 7/32. Заявник і патентовласник Українська академія друкарства; заявл. 09.12.2003; опубл. 15.12.2004, Бюл. № 12.
3. Izdebska-Podsiadły J., Lasecki A. Application of Poly-Jet 3D Printing in Production of Flexographic Printing Plates. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. № 19. Article 8593. URL: <https://doi.org/10.3390/app14198593> (Last accessed: 29.03.2025).
4. Abusag Z., Zahoor S., Habib M. S., Rehman M., Mahmood J., Kanan M., Mushtaq R. T. Improving Energy Performance in Flexographic Printing Process through Lean and AI Techniques: A Case Study. *Energies*. 2023. Vol. 16. № 4. Article 1972. URL: <https://doi.org/10.3390/en16041972> (Last accessed: 29.03.2025).
5. Saueressig GmbH & Co. KG. How sustainable is flexo plate production? *Flexotiefdruck*. 2023. URL: <https://www.flexotiefdruck.de/dossiers/how-sustainable-is-flexo-plate-production/> (Last accessed: 29.03.2025).
6. Donevski D., Tomašegović T., Mahović Poljaček S. Optimizing the Neural Network Architecture for Automation of the Tailored UV Post-Treatment of Photopolymer Printing Plates. *Machines*. 2023. Vol. 11. № 6. Article 618. URL: <https://doi.org/10.3390/machines11060618> (Last accessed: 29.03.2025).
7. Слободяник В. Г., Репета В. Б., Шибанов В. В. Пристрій для вимивання фотополімерних флексографічних друкарських форм: пат. 73008 Україна B41D 7/00. Заявник і патентовласник Українська академія друкарства; заявл. 08.02.2012; опубл. 11.09.2012. Бюл. № 17.
8. Application of solvent recovery machine in printing factory. OLLITAL. URL: <https://fr.ollital.com> (Last accessed: 02.04.2025).

9. Слободяник В. Г., Шибанов В. В. Зміна в'язкості емульсійного проявника у процесі вимивання фотополімерних флексографічних друкарських форм. *Наукові записки Української академії друкарства: наук.-техн. зб.* Львів : УАД, 2011. Вип. 4 (37). С. 312–316.

10. Слободяник В. Г., Шибанов В. В. Визначення фізико-хімічних показників гетерофазного проявника фотополімерних флексографічних друкарських форм. *Квалілогія книги: зб. наук. праць.* Львів : УАД, 2013. Вип. 2 (24). С. 38–43.

11. Слободяник В. Г. Вплив природи вимивних розчинів на зносостійкість формних матеріалів. *Наукові записки Української академії друкарства : наук.-техн. зб.* Львів : УАД, 2008. Вип. 1 (13). С. 122–124.

12. Ahmed F., Akter N., Al-Fedaghi S., Paul S. K. Economic and technological perspectives of key digital technologies: IoT, AI, blockchain, cloud computing, and big data. *Journal of the Digital Economy*. 2025. Vol. 1. № 1. Article 100003. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jdec.2025.02.001> (Last accessed: 20.04.2025).

13. Lösemittelrecycling – Lösemittel wiederverwenden statt entsorgen. RESOLVE GmbH. URL: <https://www.resolve.de/dienstleistungen/loesemittelrecycling/> (Last accessed: 24.04.2025).

14. Репета В. Б., Кукура Ю. А., Слободяник В. Г., Кукура В. В. Керування операцією рециклінгу розчинника при вимиванні фотополімерних друкарських форм. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. Т. 12. № 2. С. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.2.5>.

СОРОЧАК Олег Зіновійович,

к.т.н., доцент, доцент кафедри менеджменту організацій,
Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2889-9284>

ГВОЗДЬ Мар'яна Ярославівна,

к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту організацій,
Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7842-694X>

2.3. СИНЕРГІЯ БІЗНЕС-МОДЕЛЮВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ ЗНАНЬ: ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СУЧАСНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ

Вступ. У контексті стрімкої еволюції інформаційного суспільства та поглиблення процесів глобалізації економіки, знання набувають статусу ключового стратегічного ресурсу для організацій. Здатність до ефективного управління корпоративними знаннями є визначальним фактором конкурентоспроможності підприємств в умовах динамічного бізнес-середовища. Емпіричні дослідження [13] засвідчують, що компанії, які результативно інтегрують системи управління знаннями, демонструють підвищення продуктивності праці на 20–25 % та зростання рентабельності на 15–20 % порівняно з конкурентами. Дані опитування [17] вказують на те, що 74 % організацій констатують позитивний вплив практик менеджменту знань на продуктивність команд, що варіюється в межах 10–40 %. Крім того, дослідження виявили, що організації з розвиненими практиками управління знаннями скорочують період адаптації нового персоналу до 50 %. Впровадження ефективних систем управління знаннями сприяє зростанню рівня задоволеності клієнтів на 20 %, що обумовлено оперативнішим та точнішим реагуванням співробітників на їхні запити. Проте, незважаючи на загальне розуміння стратегічної

цінності знань, значна кількість організацій стикається зі значними труднощами у процесах їх формалізації, збереження та результативного застосування.

Однією з центральних проблем у сфері управління знаннями є складність трансформування неявних (імпліцитних) знань у явні (експліцитні) форми, придатні для документування та подальшої передачі. Згідно з оцінками, наведеними в джерелі [15], близько 80 % критично важливих для організації знань існують у неформалізованому вигляді, що потенційно призводить до ризиків їх втрати внаслідок звільнення співробітників або реструктуризації підприємства. Зазначена ситуація актуалізує необхідність пошуку дієвих інструментів, спроможних забезпечити структурування, документування та зберігання знань з подальшою їх інтеграцією в операційну діяльність організації.

Моделювання бізнес-процесів постає як вагомий інструмент для розв'язання окреслених проблем. Процесний підхід, що набув широкого застосування в управлінській практиці, забезпечує системне розуміння операційної діяльності організації та створює передумови для інтеграції знань у контексті бізнес-процесів. Давенпорт Т. [9] аргументує, що «процеси є механізмом, за допомогою якого організація трансформує знання у цінність для клієнтів».

Однак, незважаючи на очевидну взаємозалежність між моделюванням бізнес-процесів та управлінням знаннями, зазначені дві сфери часто розглядаються диференційовано як у академічній літературі, так і в практичній діяльності організацій. Кожен з підходів характеризується власною методологією, інструментарієм та фокусом уваги, що обмежує потенційні синергетичні ефекти від їхньої інтеграції. Емпіричні дані дослідження [8] свідчать, що лише 27 % організацій систематично застосовують моделювання бізнес-процесів з метою управління знаннями, хоча 76 % респондентів визнають потенційну цінність такої інтеграції.

Метою даного дослідження є аналіз теоретичних засад та розробка практичних рекомендацій щодо застосування моделювання

бізнес-процесів як інструменту управління знаннями в організаціях. Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

- 1) здійснити аналіз сучасних концепцій управління знаннями та ідентифікувати ключові виклики у цій сфері;
- 2) дослідити методологічні основи моделювання бізнес-процесів та їхній потенціал для формалізації організаційних знань;
- 3) розробити методологію інтеграції управління знаннями та моделювання бізнес-процесів;
- 4) визначити практичні аспекти застосування процесного моделювання для управління знаннями та оцінити його ефективність;
- 5) окреслити перспективи розвитку інтегрованих підходів до управління знаннями на основі бізнес-процесів.

Актуальність представленої дослідження зумовлена необхідністю розробки комплексних підходів до управління організаційними знаннями, які б забезпечували їхню інтеграцію в операційну діяльність та стратегічний розвиток підприємств. Запропонований підхід до використання моделювання бізнес-процесів як інструменту управління знаннями сприятиме підвищенню ефективності організацій, зменшенню розривів у знаннях та створенню передумов для формування організацій, що самонавчаються.

Виклад основних результатів дослідження. Управління знаннями як академічний напрям та управлінська практика сформувалося протягом 80–90-х років ХХ століття у відповідь на зростання значущості інтелектуальних ресурсів в економіці. За початкову точку розвитку цього напрямку прийнято вважати 1993 рік, коли в Бостоні відбулася перша конференція, присвячена проблематиці управління знаннями в організаційному контексті. Ключовим положенням цієї концепції стало визнання знань як стратегічного активу організації, що потребує систематизованого підходу до їхнього створення, збереження та застосування.

Особливу увагу дослідники приділяють організаційним знанням, які існують на рівні підприємства. Згідно з дефініцією, наведеною у статті [22], «організаційні знання є здатністю організації як цілісної одиниці генерувати нові знання, поширювати їх у межах організації та впроваджувати в продукти, послуги та системи». Ці знання охоплюють корпоративну культуру, організаційну пам'ять, усталені практики та рутини, які часто є неформалізованими, проте мають критичне значення для успіху організації.

В академічній літературі представлені різні класифікації знань за різними критеріями, більшість з яких узагальнено в роботі [4]. Фундаментальним є поділ на явні (експліцитні) та неявні (імпліцитні) знання, запропонований Майклом Полані та розвинений в праці [15]. Явні знання являють собою формалізовані знання, які піддаються кодифікації, документуванню та передачі. До них належать підручники, інструкції, бази даних, корпоративні документи тощо. Неявні знання є персональними, контекстуально обумовленими знаннями, що ґрунтуються на особистому досвіді та інтуїції і важко піддаються формалізації. Неявні знання поділяються на: 1) знання, висловлення яких є надлишковим через їхню очевидність; 2) знання, які індивід не може вербалізувати, але усвідомлює інтуїтивно та може продемонструвати практично; 3) знання, які потенційно можуть бути висловлені вербально за необхідності. Передача цих знань часто відбувається через спостереження, наслідування та спільну діяльність. Як зазначено у вступній частині, обсяг неявних знань в організаціях приблизно вчетверо перевищує обсяг явних знань, що зумовлює актуальність розробки методів управління неявними знаннями.

В умовах сучасної динаміки ринкового середовища Індустрії 4.0 важливим є поняття життєвого циклу знань. Життєвий цикл знань в організації охоплює всі етапи від їхнього створення до застарівання та оновлення. Розуміння цього циклу є ключовим для побудови ефективної системи управління знаннями. Автори в роботі [11] виокремлюють наступні етапи життєвого циклу знань:

1. Створення/набуття знань – процес генерування нових знань через дослідження, навчання, експерименти або отримання знань із зовнішніх джерел (наприклад, залучення експертів, придбання патентів, ліцензій тощо).

2. Формалізація/кодифікація знань – перетворення неформалізованих, тобто неявних, знань на документовані, структуровані форми, доступні для використання іншими членами організації. Цей етап є особливо важливим для збереження знань, що інакше могли б бути втрачені через плінність кадрів.

3. Зберігання знань – організація та підтримка корпоративної пам'яті через бази знань, документацію, архіви тощо. Сучасні інформаційні технології надають можливість створювати складні системи зберігання та пошуку знань, включаючи семантичні бази даних та системи штучного інтелекту.

4. Поширення/розповсюдження знань – процес передачі знань між працівниками, підрозділами та рівнями організації. Це може здійснюватися через формальні канали (навчання, звіти, презентації) та неформальні (комунікація, менторство, спільноти практики).

5. Використання/застосування знань – інтеграція знань у бізнес-процеси, продукти, послуги та рішення організації. Ефективність управління знаннями в кінцевому підсумку визначається успішністю застосування знань для створення цінності для споживача.

6. Оновлення/удосконалення знань – перегляд, оцінка та актуалізація існуючих знань у відповідь на зміни в бізнес-середовищі, технологіях та потребах організації.

Давенпорт Т. і Прусак Л. [9] наголошують, що життєвий цикл знань не є лінійним, а являє собою циклічний процес з численними зворотними зв'язками та ітераціями. Крім того, різні типи знань можуть мати різну динаміку життєвого циклу: фундаментальні знання можуть зберігати свою актуальність протягом тривалого періоду, тоді як технологічні або ринкові знання можуть швидко втрачати свою цінність.

Незважаючи на визнання значущості управління знаннями, організації стикаються з численними викликами та бар'єрами при впровадженні відповідних систем та практик:

1. Організаційні бар'єри, пов'язані зі структурою, культурою та управлінськими практиками організації [19]:

- ієрархічна структура, що обмежує горизонтальний обмін знаннями;
- корпоративна культура, що не сприяє обміну знаннями або передбачає санкції за помилки;
- відсутність підтримки з боку вищого керівництва;
- ізольоване мислення та конкуренція між підрозділами;
- недостатність часу та ресурсів для управління знаннями.

2. Індивідуальні бар'єри, пов'язані з психологічними та поведінковими аспектами [14]:

- побоювання втрати влади або статусу внаслідок обміну знаннями;
- недовіра до намірів або компетентності колег;
- недостатня мотивація для документування та поширення знань;
- страх критики або некоректного використання знань;
- синдром «не тут винайдено» – опір знанням, що надходять із зовнішніх джерел.

3. Технологічні бар'єри, що включають проблеми, пов'язані з інформаційними системами та інфраструктурою [6]:

- невідповідність технологічних рішень потребам користувачів;
- складність систем управління знаннями;
- низька сумісність різних інформаційних систем;
- проблеми з безпекою та конфіденційністю даних;
- відсутність стандартів і таксономій для організації знань.

4. Процесні бар'єри, пов'язані з методологією та процедурами управління знаннями [16]:

- відсутність формалізованих процесів для створення, збереження та поширення знань;
- недостатня інтеграція управління знаннями з основними бізнес-процесами;
- складність вимірювання та оцінки нематеріальних активів;
- відсутність механізмів зворотного зв'язку та покращення;

– проблеми з контекстуалізацією та адаптацією знань.

Розуміння зазначених перешкод є важливим для розробки ефективних стратегій управління знаннями на основі цифровізації відповідного процесу.

Особливим викликом залишається формалізація неявних знань. У цьому контексті інтеграція управління знаннями з бізнес-процесами організації постає як один із ключових підходів до подолання зазначених бар'єрів. Саме моделювання бізнес-процесів надає можливість виявити, задокументувати та інтегрувати знання в повсякденну діяльність організації, забезпечуючи їхнє практичне застосування та постійне оновлення.

Бізнес-процес визначається як послідовність структурованих, взаємопов'язаних дій або завдань, спрямованих на досягнення конкретної бізнес-цілі. Відповідно до дефініції, запропонованої у праці [13], «бізнес-процес є сукупністю взаємопов'язаних дій чи операцій, що спрямовані на створення додаткової вартості, необхідної для споживача».

Бізнес-процеси характеризуються низкою властивостей, що відрізняють їх від інших аспектів організаційної діяльності. Вони мають чітко визначені межі, входи та виходи. Процеси поділяються на кроки або підпроцеси, виконання яких може бути послідовним або паралельним. Кожен процес має відповідальну особу, яка забезпечує його виконання та вдосконалення. Процеси спрямовані на досягнення конкретних результатів, які піддаються вимірюванню за допомогою ключових показників ефективності [2].

Моделювання бізнес-процесів є діяльністю, спрямованою на опис, аналіз та проектування процесів організації з метою їхнього покращення, автоматизації, стандартизації чи трансформації. Воно забезпечує візуальне представлення діяльності організації, виявляє потенційні проблеми та можливості для оптимізації. В еволюції методології моделювання бізнес-процесів було розроблено ряд підходів та нотацій, кожна з яких має свої переваги та обмеження. Найбільш поширені з них представлені у табл. 1.

Таблиця 1
Підходи та нотації щодо моделювання бізнес-процесів

Назва методології моделювання бізнес-процесів	Розробник методології і URL сайту	Коротка характеристика методології	Пріоритетна сфера застосування
1	2	3	4
BPMN (Business Process Model and Notation)	Business Process Management Initiative (BPMI), OMG https://www.omg.org/spec/BPMN/	Графічна нотація для детального моделювання бізнес-процесів, включаючи послідовність дій, розгалуження, взаємодію між учасниками процесу тощо. Можливість моделювання складних процесів з високим рівнем деталізації.	Бізнес-аналітика, моделювання взаємодії між учасниками процесу, автоматизація процесів, розробка ІС.
EPC (Event-driven Process Chain)	IDS Scheer / ARIS https://www.softwareag.com/en_corporate/platform/aris.html	Моделювання процесу як ланцюга подій і функцій з логічними операторами та ресурсами. Кожна функція в EPC трактується як діяльність, що додає вартість, а подія вказує на стан, що ініціює функцію або є її результатом.	ERP-системи, моделювання ланцюгів доданої цінності, інтеграція організаційних та інформаційних аспектів процесів.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling)	Департамент обо- рони США https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/FIPS/fipspub183.pdf	Функціональна декомпозиція складних систем з фокусом на входи, виходи, механізми та керування. Базується на методології SADT (Structured Analysis and Design Technique). Особливо корисна для моделювання систем з високим рівнем абстракції та для виявлення залежностей між компонентами системи.	Добре працює для висо- корівневої аналітики та виявлення залежностей; часто використовується у складних інженерних та державних системах.
UML (Unified Modeling Language)	Object Management Group (OMG) https://www.omg.org/spec/UML/	Діаграми діяльності для моде- лювання алгоритмічної струк- тури процесу, включаючи пара- лельні потоки, розгалуження та об'єднання.	Програмна інженерія, ІТ-системи, моделю- вання бізнес-процесів.
VSM (Value Stream Mapping)	Lean Enterprise Institute https://www.lean.org/lexicon-terms/value-stream-mapping/	Lean-метод для виявлення та усу- нення втрат у бізнес-процесах. Фокусується на потоці створення цінності від постачальника до клієнта та допомагає виявити операції, що не додають цінності.	Lean-аналіз процесів пов'язаних з виробни- цтвом, логістикою та сервісом.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
WF-nets (Workflow Nets)	Wil van der Aalst та співатори https://www.win.tue.nl/~wvdaalst/	Моделювання на базі мереж Петрі дозволяє не лише візуалізувати, але й формально аналізувати властивості бізнес-процесів, такі як відсутність тупикових ситуацій чи можливість завершення процесу.	Розробка та аналіз систем управління бізнес-процесами (BPM), верифікація процесів, автоматизація робочих потоків.

Джерело: укладено авторами

Кожен з розглянутих підходів до моделювання бізнес-процесів характеризується власними перевагами та обмеженнями, а вибір конкретної нотації детермінується специфікою організації, цілями моделювання та наявним інструментарієм. У контексті управління знаннями особливої значущості набувають нотації, що забезпечують відображення не лише послідовності операцій, але й артефактів знань, компетенцій виконавців, інтеракцій між учасниками процесу та контексту прийняття рішень.

Для практичної імплементації моделювання бізнес-процесів застосовуються спеціалізовані програмні засоби, що надають можливість створювати, аналізувати та оптимізувати моделі процесів. Серед найбільш поширених інструментів моделювання бізнес-процесів слід виокремити: 1) ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), що підтримує нотації EPC, BPMN, UML; 2) Bizagi Process Modeler, який підтримує нотацію BPMN та забезпечує експорт моделей у різноманітні формати, включаючи Word, PDF, SharePoint; 3) IBM Blueworks Live – хмарний інструмент з підтримкою нотації BPMN; 4) Signavio Process Manager, що підтримує різні нотації BPMN, EPC; 5) Visual Paradigm, який підтримує нотації BPMN, UML.

На додаток до спеціалізованих інструментів, для моделювання бізнес-процесів може бути використане програмне забезпечення загального призначення, таке як Microsoft Visio, Lucidchart, draw.io тощо. Зазначені інструменти, як правило, мають менш розвинений функціонал для аналізу та оптимізації процесів, проте є більш доступними та зручними на початкових етапах моделювання.

Еволюція технологій моделювання бізнес-процесів характеризується активною динамікою, а сучасні тенденції включають інтеграцію з технологіями штучного інтелекту, машинного навчання та обробки природної мови. Перспективним напрямом аналізу та оптимізації бізнес-процесів є, зокрема, агентне моделювання [3], що забезпечує гнучке врахування варіативних факторів та моделювання поведінки окремих елементів процесної системи. Сутність агентного підходу полягає у побудові моделей

на основі автономних агентів, що взаємодіють між собою. Як приклади таких агентів можуть бути використані агенти, розроблені на основі генеративних моделей штучного інтелекту, таких як ChatGPT. Це сприяє автоматизації аналізу та оптимізації процесів, виявленню закономірностей та взаємозв'язків, які можуть бути неочевидними для працівників через недостатність досвіду або значну складність бізнес-процесу, а також наданню експертних рекомендацій щодо їхнього вдосконалення [10].

Таким чином, інтеграція моделювання бізнес-процесів з технологіями управління знаннями та штучного інтелекту уможливило створення інтелектуальних моделей процесів, які не лише описують послідовність дій, але й фіксують знання, необхідні для їхньої реалізації, відображають залежності між різними елементами процесу, документують контекст прийняття рішень тощо. Такі моделі набувають статусу важливого елементу корпоративної пам'яті та забезпечують збереження і трансфер знань в організації.

Сучасні організації функціонують як складні екосистеми, в яких бізнес-процеси виступають не лише інструментами операційної діяльності, але й значущими носіями організаційних знань. Кожен бізнес-процес акумулює багаторічний досвід, експертизу та усталені практики, що формувалися протягом усього життєвого циклу організації. Отже, бізнес-процеси концентрують цінні знання про механізми трансформації вхідних ресурсів у вихідні результати з метою створення цінності для клієнтів. Крім того, структура бізнес-процесів містить кодифіковані знання про оптимальні шляхи виконання завдань, правила прийняття рішень, логіку виробничих операцій та критичні взаємозалежності між різними функціональними підрозділами. У такий спосіб, бізнес-процеси являють собою динамічні сховища знань, де формалізовані процедури та знання інтегруються з неявним досвідом їхніх виконавців. Ця особливість визначає бізнес-процеси як оптимальні об'єкти для системного управління знаннями, оскільки вони відображають не лише теоретичне розуміння діяльності, але й практичні аспекти її здійснення.

Моделювання бізнес-процесів відкриває унікальні можливості для ідентифікації та фіксації критично важливих знань організації. Завдяки детальному аналізу складових процесу стає можливим визначення знань, що використовуються на кожному етапі, та їхньої цінності для загального результату. У процесі моделювання бізнес-аналітики документують не лише послідовність дій, але й контекст їхнього виконання, що сприяє виявленню неформалізованих знань, які часто залишаються неявними в повсякденній діяльності [20]. Особливо цінним є аналіз точок прийняття рішень у процесах, оскільки саме в цих точках концентруються експертні знання, що впливають на кінцевий результат.

Отже, процесні моделі забезпечують структуровану основу для трансформації неявних знань у формалізовані активи організації, уможливаючи фіксацію не лише очевидних алгоритмів дій, але й неявного контексту їхнього виконання. Розроблена модель бізнес-процесу з використанням розширених нотацій моделювання, таких як BPMN 2.0 з додатковими семантичними шарами у формі анотацій, що доповнюють діаграму процесу детальними описами специфічних сценаріїв та нетипових ситуацій, забезпечує збереження важливого контексту, який втрачається при спрощеному описі процедур. Таким чином, застосування BPMN 2.0 для моделювання робочих інструкцій не лише формалізує процеси, але й забезпечує передачу знань, зменшує залежність від окремих працівників та покращує навчання нового персоналу, що свідчить про значний потенціал процесних моделей як інструментів фіксації та передачі критичних знань.

Враховуючи вищезазначене, можна констатувати, що процесне середовище компанії та середовище організаційних знань формують складну систему взаємозв'язків, де зміни в одному домені неминуче зумовлюють зміни в іншому. Бізнес-процеси визначають контекст створення, використання та оновлення організаційних знань, тоді як система управління знаннями забезпечує інтелектуальні ресурси для оптимізації та трансформації самих процесів.

У сучасних організаціях спостерігається циклічна взаємодія між процесами та знаннями. Удосконалення процесів генерує

нові знання, які, своєю чергою, стають підґрунтям для наступних ітерацій процесних змін. Така циклічність формує потужний механізм організаційного навчання, що забезпечує постійне підвищення ефективності, адаптивності та конкурентоздатності організацій (рис. 1).

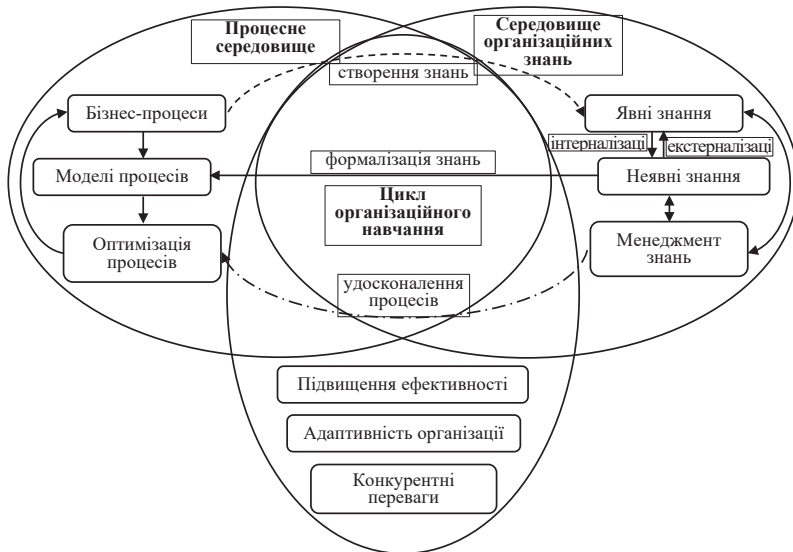


Рис. 1. Механізм організаційного навчання

Джерело: сформовано авторами

Успішна інтеграція менеджменту знань та моделювання бізнес-процесів вимагає застосування системного підходу, що охоплює технологічні, організаційні та культурні аспекти функціонування підприємства. Організації, що розглядають власні процеси крізь призму знань, отримують значні конкурентні переваги, зумовлені ефективнішим використанням інтелектуального капіталу та прискоренням циклів організаційного навчання.

Інтеграція знань у моделі бізнес-процесів являє собою структуровану методологію, спрямовану на систематичне виявлення,

документування та застосування організаційних знань у контексті бізнес-процесів. Даний процес ініціюється детальною ідентифікацією інтелектуальних активів, включаючи явні та неявні знання, що мають критичне значення для виконання бізнес-процесів. Наступним етапом є класифікація виявлених знань за їхнім типом, призначенням та значущістю для конкретних процесів, що забезпечує формування чіткої таксономії знань, яка полегшує їхню подальшу інтеграцію в моделі бізнес-процесів. Після етапу класифікації розробляються механізми інкорпорування знань у процесні моделі, що передбачає створення спеціалізованих нотацій та елементів, які відображають потоки знань та точки прийняття рішень.

Важливим компонентом процесу інтеграції є також визначення ролей та відповідальності в контексті управління знаннями, що передбачає призначення конкретних осіб або груп, відповідальних за створення, валідацію та актуалізацію знань у відповідних сегментах бізнес-процесів. Завершальний етап інтеграції включає впровадження механізмів вимірювання та оцінки ефективності застосування знань у бізнес-процесах, що дозволяє кількісно визначити внесок знань у досягнення стратегічних цілей організації та оптимізувати процеси управління знаннями на основі отриманих результатів.

В умовах поточної фази активної цифровізації діяльності організацій практичною реалізацією зазначеної інтеграції постають інтелектуальні системи управління бізнес-процесами (iBPMS), що поєднують традиційні інструменти моделювання з технологіями управління знаннями, формуючи уніфікований простір для колаборації та обміну експертизою.

На сучасному етапі активного розвитку перебуває процесний майнінг (Process Mining) – методологія, що інтегрує аналіз даних з управлінням бізнес-процесами. Її метою є дослідження, візуалізація, удосконалення та оптимізація бізнес-процесів шляхом аналізу цифрових слідів, що генеруються інформаційними системами організацій у процесі їхньої діяльності. Програмні продукти, що реалізують дану методику, здійснюють вилучення даних

з журналів подій, які зберігаються в таких системах, як ERP, CRM та інших корпоративних платформах, і на їхній основі генерують графічні моделі бізнес-процесів, що відображають фактичне виконання операцій. Результатом є автоматизоване формування моделі «як є» («As-Is»), яка забезпечує чітке розуміння поточного стану бізнес-процесів та слугує відправною точкою для їхнього реінжинірингу шляхом ідентифікації слабких та вузьких місць.

У випадках складних та комплексних процесів даних журналів подій може бути недостатньо для формування повноцінної моделі «як є». Більшість програмних продуктів процесного майнінгу надають можливість додаткового вилучення інформації про процеси з різних баз даних, а також її ручного введення на основі паперової документації, що розширює сферу застосування даної методики не лише для цифрових підприємств, але й для організацій, що перебувають на етапі цифрової трансформації своєї діяльності.

Подальшим кроком після побудови моделі процесу «як є» є створення її цифрової копії та проведення сценарного аналізу «що якщо» («What-if»). У результаті аналітик розробляє декілька альтернативних варіантів структури бізнес-процесу та автоматично отримує оцінки показників їхньої ефективності, перелік яких варіюється залежно від використовуваного програмного забезпечення. Згідно з даними, представленими в табл. 2, основними показниками є:

1) тривалість процесу: вимірює загальний час, необхідний для завершення процесу від початку до кінця – дозволяє виявити вузькі місця та затримки, які можуть уповільнювати процес;

2) частота виконання: показує, як часто виконується кожен етап процесу – дозволяє визначити найбільш і найменш поширені шляхи процесу;

3) варіативність процесу: вимірює різноманітність шляхів, якими може йти процес – дозволяє виявити відхилення від стандартних процедур і невідповідності;

4) вузькі місця: визначає етапи процесу, які викликають найбільші затримки – допомагає зосередити зусилля на оптимізації найбільш проблемних областей;

5) вартість процесу: оцінює вартість кожного етапу процесу та загальну вартість процесу – дозволяє виявити можливості для скорочення витрат;

6) відповідність: вимірює, наскільки процес відповідає заданим правилам і стандартам – допомагає забезпечити дотримання нормативних вимог і внутрішніх політик;

7) ефективність: показує наскільки ефективно використовуються ресурси під час виконання процесу – дозволяє виявити де неефективно використовуються ресурси.

Застосовуючи зазначені метрики, організації отримують можливість глибокого аналізу власних бізнес-процесів, виявлення потенційних напрямів для вдосконалення та прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо їхньої оптимізації.

Слід підкреслити, що програмні рішення, які реалізують методологію Process Mining, зосереджені на аналізі ретроспективних даних про вже виконані процеси, тобто на побудові моделі «як є». Автоматизоване створення моделі «як має бути» («To-Be») є складним завданням з огляду на низку ключових факторів:

- відсутність стратегічного контексту: програмне забезпечення Process Mining оперує журналами подій, що фіксують фактичні дії, але не володіє інтегрованим розумінням стратегічних цілей організації, її політик, нормативних вимог або кращих галузевих практик;

- творчий та управлінський аспекти: розробка моделі «як має бути» часто передбачає застосування творчих підходів, впровадження інновацій та здійснення управлінських суджень, що потребує безпосередньої участі людини, оскільки програмне забезпечення не здатне автономно генерувати нові ідеї або оцінювати їхню стратегічну цінність;

- необхідність людської інтерпретації: аналіз даних Process Mining може виявляти аномалії, відхилення та неефективності, проте інтерпретація отриманих результатів та прийняття рішень щодо оптимальної конфігурації майбутнього процесу вимагають експертного розуміння та досвіду аналітика. Програмні засоби можуть надавати інформацію, але не можуть автоматично визначати бажані та здійсненні зміни;

Таблиця 2
Огляд популярних програмних продуктів, які реалізують Process Mining

Назва програмного продукту	Фірма-розробник і URL сайту	Коротка характеристика продукту	Пріоритетна сфера застосування
1	2	3	4
Celonis EMS	Celonis SE, https://www.celonis.com	– нотація: BPMN, власна графова нотація Process Graph, EPC; – цифровий двійник/What-if: так; – показники: час виконання, вартість процесу, кількість відхилень від регламенту, пропускна здатність, витрати, KPI.	Великі корпорації, фінанси, виробництво, логістика, рітейл, телекомунікації.
UiPath Process Mining	UiPath Inc., https://www.uipath.com/product/process-mining	– нотація: BPMN, власна візуалізація потоку подій; – цифровий двійник/What-if: так; – показники: цикл виконання, вузькі місця, продуктивність.	RPA – Robotic Process Automation, корпоративний сектор, IT-сервіси, державне управління.
Disco	Fluxicon, https://fluxicon.com/disco/	– нотація: інтерактивна process map, Petri Nets; – цифровий двійник/What-if: обмежено; – показники: час виконання, частота, відхилення.	Академічна сфера, консалтинг, аудит процесів.

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
ABYU Timeline	ABYU, https://www.abbyu.com/timeline/	– нотація: BPMN, власна візуалізація таймлайнів; – цифровий двійник/What-if: так; – показники: тривалість операцій, завантаженість ресурсів, відхилення від стандартів, SLA – рівень обслуговування, прогнозування.	Фінанси, страхування, медицина, customer journey, телекомунікації.
Minit (SAP Signavio Process Intelligence)	SAP SE, https://www.signavio.com/products/process-intelligence/	– нотація: BPMN, EPC; – цифровий двійник/What-if: так; – показники: вузькі міся, тривалість, вартість процесу, продуктивність, відповідність нормативам.	SAP-компанії, виробництво, фінанси.
Process Mining with Power BI	AppSphere, https://www.appsphere.in/ ; Microsoft, https://appsource.microsoft.com/en-us	– нотація: адаптована BPMN; – цифровий двійник/What-if: обмежена підтримка симуляції; – показники: статистичні показники, часові інтервали, навантаження на ресурси.	Середній та малий бізнес, корпоративні додатки.
Apromore	Apromore Pty Ltd (Universität Wien), https://apromore.org/	– нотація: BPMN, Petri Nets; – цифровий двійник/What-if: так; – показники: час виконання, відхилення, ефективність варіантів.	Освіта, наукові дослідження, консалтинг, урядові організації.

Джерело: перелік укладено авторами на основі актуальних даних станом на 2024 рік

– динаміка бізнес-середовища: бізнес-середовище характеризується постійними змінами, включаючи появу нових технологій, трансформацію ринкових умов та оновлення нормативних вимог. Модель «як має бути» повинна враховувати ці динамічні аспекти, що зумовлює необхідність її регулярного оновлення та адаптації.

Отже, програмні продукти Process Mining є потужним інструментарієм для аналізу існуючих процесів, проте вони не можуть замінити інтелектуальну діяльність людини та стратегічне мислення при роботі майбутніх процесних моделей. Саме аналітик здатний оцінити альтернативні варіанти процесів, отримані в результаті сценарного аналізу, та сформувати модель «як має бути».

Для обґрунтування оптимального варіанту бізнес-процесу аналітику доцільно застосувати метод DEA (Data Envelopment Analysis) [21] у поєднанні зі сценарним аналізом «What-if», що пропонується програмними засобами Process Mining. На початковому етапі Process Mining дозволяє генерувати різні сценарії модифікації бізнес-процесу, включаючи зміну послідовності етапів, вилучення або додавання дій, перерозподіл ресурсів чи автоматизацію окремих операцій. У процесі сценарного аналізу для обґрунтування певних змін може бути залучено штучний інтелект. Програмне забезпечення здійснює моделювання цих змін та генерує відповідні показники продуктивності, такі як час виконання, вартість, частота помилок тощо. На наступному етапі застосовується метод DEA, який є непараметричним методом оцінки відносної ефективності групи однорідних об'єктів, у даному контексті – сценаріїв бізнес-процесу, з урахуванням множинних вхідних та вихідних параметрів. Вхідні параметри можуть включати ресурси, час, вартість, а вихідні – обсяг виробництва, якість, рівень задоволеності клієнтів. DEA визначає ефективну межу, що відображає найкращі практики серед розглянутих сценаріїв. Сценарії, що знаходяться на цій межі, вважаються ефективними, а ті, що розташовані нижче, – неефективними. Крім того, DEA надає інформацію щодо можливих змін неефективних сценаріїв для підвищення їхньої продуктивності та досягнення ефективної межі. Базовий варіант

методу [12] передбачає, на основі формалізованого представлення системи бізнес-процесу (рис. 2) та відповідного змістовного вибору вхідних і вихідних параметрів, представлення структури комплексного показника ефективності як відношення зваженого адитивного набору вихідних характеристик Y_i ($i = 1, 2, \dots, k$) до відповідного набору вхідних параметрів X_s ($s = 1, 2, \dots, m$).

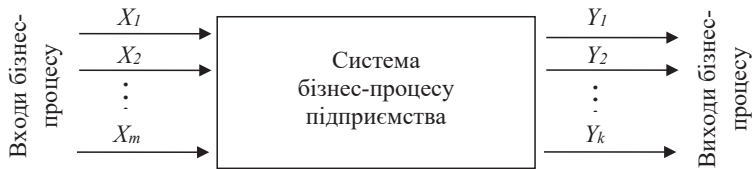


Рис. 2. Формалізоване представлення моделі оцінювання порівняльної ефективності бізнес-процесу за методом DEA

Джерело: сформовано авторами

За наявності інформації про обсяг ресурсів N та випуск продукції Q для кожного з L альтернативних варіантів бізнес-процесу, ці дані для j -го бізнес-процесу репрезентуються вектор-стовпцем X_s , що відображає відповідний набір вхідних параметрів ($s = 1, 2, \dots, m$), та Y_i – адитивним набором вихідних характеристик ($i = 1, 2, \dots, k$). Дані для всіх L бізнес-процесів представлені у матрицях розмірності $N \times L$ (матриця входів X) та $Q \times L$ (матриця виходів Y).

Для кожного альтернативного j -го варіанту бізнес-процесу з множини L необхідно визначити міру співвідношення сукупного випуску до сукупного обсягу використаних ресурсів, що може бути виражено у формі коефіцієнта ефективності ER_j :

$$ER_j = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_i Y_{ij}}{\sum_{s=1}^m \nu_s X_{sj}}, \quad (1)$$

де μ_i – позитивні вагові коефіцієнти (вектор розмірності $Q \times 1$), що відображають відносний внесок кожної вихідної характеристики Y_{ij} у сумарний коефіцієнт ефективності ER_j , а ν_s – вагові коефіцієнти вхідних величин X_{sj} (вектор розмірності $N \times 1$).

Усі вагові коефіцієнти мають таку розмірність, що дозволяє перетворити кожен вхідний і вихідний параметр у безрозмірний числовий вигляд. Як правило, показники ефективності бізнес-процесу ER_j перебувають у межах від 0 до 1, що обов'язково враховується під час визначення відповідних вагових коефіцієнтів. У класичному підході до задачі оцінювання для ідентифікації найбільш ефективного елемента необхідно застосувати єдиний, уніфікований набір вагових коефіцієнтів до всіх L об'єктів. Проте це породжує проблему доцільності такого підходу щодо кожного окремого об'єкта. По-перше, встановити апіорні значення важливості вхідних та вихідних параметрів часто виявляється складним завданням. По-друге, різні об'єкти можуть функціонувати за різними моделями, унаслідок чого їхні вхідні та вихідні характеристики матимуть неоднакову економічну чи технічну значущість [21].

У праці [7] вперше було визначено проблему вибору уніфікованого набору вагових коефіцієнтів для порівняльного оцінювання ефективності. Дослідники довели обґрунтованість підходу, за якого кожен об'єкт має право самостійно визначати значущість власних вхідних і вихідних параметрів та використовувати індивідуальний набір вагових коефіцієнтів, що дозволяє представити результати в найсприятливішому світлі порівняно з іншими об'єктами. Замість використання єдиного набору, проводиться поетапне оцінювання всіх об'єктів за наборами ваг, що є оптимальними для кожного з них окремо. При цьому для об'єкта j , що розглядається на поточному етапі аналізу, ефективність приймається максимальною завдяки відповідному вибору вагових коефіцієнтів, за умови що ефективність усіх інших об'єктів не перевищує 1.

Таким чином, у задачі оцінювання відносної ефективності альтернативних варіантів бізнес-процесів підприємств змінними виступають вагові коефіцієнти для їхніх вхідних та вихідних параметрів. Розв'язання цієї задачі передбачає знаходження таких значень μ та ν , які забезпечують максимальне значення коефіцієнта ефективності для j -го бізнес-процесу за умови, що цей показник

не перевищує одиницю. Відповідне математичне формулювання задачі виглядає наступним чином:

$$ER_j = \sum_{i=1}^k \mu_i Y_{ij} \Bigg/ \sum_{s=1}^m v_s X_{sj} \rightarrow \max$$

за обмежень :

$$\sum_{i=1}^k \mu_i Y_{ij} \Bigg/ \sum_{s=1}^m v_s X_{sj} \leq 1 \quad \text{для всіх } j$$

$$\mu_i, v_s \geq 0 \quad \text{для всіх } i \text{ та } s$$

де $j = \overline{1, L}$.

Після розв'язання цієї задачі для кожного об'єкта j , ми отримаємо як значення ER_j , що характеризує максимально можливу продуктивність відповідного бізнес-процесу, так і відповідний набір вагових коефіцієнтів, які забезпечують досягнення цієї ефективності. Якщо $ER_j = 1$, це свідчить про те, що j -тий варіант бізнес-процесу є ефективним відносно інших розглянутих альтернатив. У разі ж, коли $ER_j < 1$, існує інший варіант бізнес-процесу, що демонструє вищу ефективність, навіть за умови підбору вагових коефіцієнтів, спрямованих на максимізацію ефективності саме цього варіанту.

Однак, при вирішенні моделі (2) постає складність, зумовлена тим, що цільова функція, виражена у формі відношення, має нескінченну множину розв'язків. Іншими словами, якщо певні μ^* та v^* задовольняють умови задачі, то і будь-які $\alpha\mu^*$ та αv^* , де α – довільна стала, також будуть розв'язками.

Щоб спростити розв'язання моделі (2), доцільно перетворити її у лінійну форму та застосувати методи лінійного програмування. Оскільки під час максимізації відношення зважених сум нас цікавлять не абсолютні, а відносні значення чисельника та знаменника, знаменник можна прирівняти до фіксованої константи, наприклад, до одиниці, а далі максимізувати отриманий чисельник. У результаті таких перетворень модель набуває наступного вигляду (3):

$$ER_j = \sum_{i=1}^k \mu_i Y_{ij} \rightarrow \max$$

за обмежень :

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^m v_s X_{sj} &= I \\ \sum_{i=1}^k \mu_i Y_{ij} - \sum_{s=1}^m v_s X_{sj} &\leq 0 \quad \text{для всіх } j \\ \mu_i, v_s &\geq 0 \quad \text{для всіх } i \text{ та } s \\ \text{де } j &= \overline{1, L}. \end{aligned} \tag{3}$$

Таким чином, використання моделі (3) надає можливість визначити найефективніший бізнес-процес серед альтернативних варіантів.

Модель (3) відома як CCR у коефіцієнтній формі, тобто перша модель аналізу охоплення даних (DEA), розроблена Чарнсом А., Купером В. та Роудсом Е. у 1978 році [7] на основі припущення постійної віддачі технології виробництва від масштабу (constant returns to scale – CRS), тобто коли збільшення виробничих ресурсів призводить до пропорційного збільшення випуску. Тут і нижче, як це прийнято в літературі, моделі DEA будуть називатися за першими літерами прізвищ їхніх творців.

Показники ефективності одиниць (у нашому випадку бізнес-процесів), щодо яких приймаються рішення (decision making unit – DMU) від DMU_1 до DMU_j , можна отримати, розв'язавши L таких моделей. Незважаючи на лінійну форму моделі (3), зазвичай розраховують показник ефективності на основі подвійної спряженої моделі (4).

Модель (4) відома як CCR, орієнтована на введення форми оболонки (або модель Фаррелла М. [12]), в якій здійснюється спроба пропорційного скорочення вхідних даних DMU_0 якомога більше без зменшення поточного рівня виходів.

Варто зауважити, що обмеження, встановлені в моделі (4), відповідають прямооточній технологічній формі організації виробництва, яка характеризується лінійною структурою з поштучною передачею предметів праці та демонструє постійну віддачу від масштабу (CRS).

$$\Theta \rightarrow \min$$

за обмежень :

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^m X_{sj} \lambda_j &\leq \Theta X_{so} \quad \text{для всіх } s \\ \sum_{i=1}^k Y_{ij} \lambda_j &\geq Y_{io} \quad \text{для всіх } i \\ \lambda_j &\geq 0 \quad \text{для всіх } j \\ \text{де } j &= \overline{1, L}. \end{aligned} \tag{4}$$

Модель CCR передбачає постійну віддачу від масштабу, а CCR-ефективність (CCRe) називається загальною (глобальною) технічною ефективністю.

Якщо до моделі (4) додати ще одне обмеження (вимогу випуклості оболонки) $\sum_{j=1}^L \lambda_j = 1$, то це трансформує її у модель BCC, створену Бенкером Р., Чарнсом А. та Купером В. у 1984 році [5], яка передбачає змінну віддачу від масштабу (variant returns to scale – VRS). BCC-ефективність (BCCe) називається чистою технічною ефективністю та відображає ефективність функціонування DMU (якість бізнес-процесів).

Таким чином, ефективність масштабу (efficiency of scale – SE) відображає несприятливі умови, у яких функціонує DMU:

$$SE = CCRe/BCCe. \tag{5}$$

Отже, результати DEA допомагають аналітику обрати оптимальний варіант бізнес-процесу, який максимізує виходи при мінімізації входів. Переваги застосування DEA включають об'єктивне порівняння сценаріїв, виявлення найкращих практик та прийняття обґрунтованих рішень при формуванні моделі «як має бути». Варто зазначити, що поєднання Process Mining with Power BI забезпечує візуалізацію перебігу бізнес-процесу, побудованого на основі моделі «як має бути», в режимі реального часу, що, своєю

чергою, надає можливість оперативного регулювання процесу у разі виникнення непередбачуваних збоїв або затримок.

В моделях процесів, отриманих внаслідок реінжинірингу із застосуванням Process Mining, є необхідність інтеграції знань, що використовувалися в процесі їхнього створення. Фундаментальним підходом до візуалізації та структурування інформаційних потоків у контексті бізнес-процесів виступає картування знань. Процес картування передбачає розробку детальних візуальних репрезентацій знань, що використовуються, генеруються або трансформуються на кожному етапі удосконалення бізнес-процесу.

Ефективне картування знань ґрунтується на ідентифікації ключових вузлів знань – точок у бізнес-процесах, де концентруються критично важливі знання. Ці вузли часто корелюють з етапами прийняття рішень або виконання спеціалізованих операцій, що потребують експертних знань. Для кожного вузла визначаються типи необхідних знань, їхні джерела та способи застосування.

Значущим аспектом картування є також ідентифікація потоків знань – шляхів передачі знань між різними етапами процесу та між різними процесами організації. Це забезпечує цілісне розуміння циркуляції знань в організації та виявляє потенційні перешкоди в їхній передачі.

У сучасній методології картування знань широко використовуються спеціалізовані інструменти, такі як діаграми потоків знань, матриці знань і компетенцій, а також теплові карти знань (Knowledge Heatmaps). Зазначені інструменти надають можливість наочного відображення розподілу знань у контексті бізнес-процесів та визначення областей інтенсивного використання знань. Результатом є створення детальних карт знань, які інтегруються з моделями бізнес-процесів та слугують основою для прийняття рішень щодо подальшої оптимізації процесів з точки зору управління знаннями.

У цьому контексті доцільним є застосування методології аналізу «розривів знань», що базується на порівнянні поточного стану знань в організації з бажаним або оптимальним станом. Це

передбачає детальне дослідження кожного етапу бізнес-процесу щодо доступності, актуальності та якості необхідних знань. Особлива увага приділяється критичним точкам процесу, де дефіцит знань може спричинити значні проблеми або ризики. «Розриви знань» можуть проявлятися у різних формах, серед яких найбільш поширеними є структурні розриви, що виникають внаслідок недоліків в організаційній структурі або системі комунікацій, які перешкоджають ефективному обміну знаннями. Також часто спостерігаються часові розриви, коли необхідні знання недоступні в потрібний момент часу, та компетентнісні розриви, пов'язані з недостатнім рівнем кваліфікації персоналу.

Для кожного виявленого розриву розробляються конкретні стратегії його подолання. Це може включати впровадження нових механізмів обміну знаннями, розробку програм навчання персоналу, створення баз знань або репозиторіїв документів, а також внесення змін до організаційної структури. Важливим аспектом аналізу «розривів знань» є також прогнозування майбутніх потреб у знаннях, що дозволяє організації проактивно розвивати інтелектуальні активи, необхідні для реалізації стратегічних цілей, та запобігати виникненню «розривів» у майбутньому.

Оптимізація бізнес-процесів з точки зору обміну знаннями є завершальним етапом методології використання моделювання для управління знаннями. Цей етап спрямований на підвищення ефективності процесів шляхом покращення обміну знаннями між їхніми учасниками. Методологія оптимізації передбачає комплексний аналіз процесів з метою виявлення можливостей для вдосконалення обміну знаннями. Ключовим аспектом є розробка механізмів, що забезпечують безперешкодний потік знань між різними етапами процесу. Це може включати впровадження спеціалізованих інформаційних систем, створення віртуальних просторів для колаборації, організацію регулярних зустрічей для обміну досвідом.

Важливим напрямом оптимізації є також розвиток культури обміну знаннями в організації, що передбачає формування середовища, де співробітники мотивовані ділитися своїми знаннями та досвідом і де цінується внесок кожного у спільну базу знань.

Невід’ємною складовою оптимізації є також розробка стандартів і протоколів документування знань, що забезпечує єдиний формат представлення знань і полегшує їхній пошук, використання та інтеграцію в бізнес-процеси. Стандарти документування повинні бути достатньо гнучкими для забезпечення можливості адаптації до різних типів знань і різних контекстів їхнього використання.

Результатом оптимізації бізнес-процесів з точки зору обміну знаннями є формування організації, що самонавчається, де знання ефективно створюються, поширюються та використовуються для досягнення стратегічних цілей, а бізнес-процеси постійно вдосконалюються на основі нових знань та досвіду.

В академічному контексті методологічна послідовність імплементації бізнес-процесного моделювання для оптимізації управління знаннями репрезентується структурованою парадигмою представленою на рис. 3. Запропонований алгоритм забезпечує синергетичну інтеграцію процесного моделювання та менеджменту знань, створюючи фундамент для формування організації, що самонавчається, з постійним циклом оптимізації інтелектуальних активів та операційної ефективності.

Отже, організація в умовах цифрової революції – це організація, де знання є ключовим стратегічним ресурсом, а бізнес-процеси спрямовані на ефективне створення, поширення та використання знань. Саме такі організації в умовах високодинамічного ринкового середовища володітимуть високим рівнем адаптивності, інноваційності та здатністю швидко реагувати на зміни цього середовища.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило вагому роль моделювання бізнес-процесів як ефективного інструменту управління знаннями в сучасних організаційних системах. У контексті стрімкого розвитку інформаційних технологій та цифровізації економіки знання виступають визначальним чинником забезпечення конкурентоспроможності підприємств.

Наукова значущість дослідження полягає в комплексному обґрунтуванні теоретичних основ застосування бізнес-моделювання

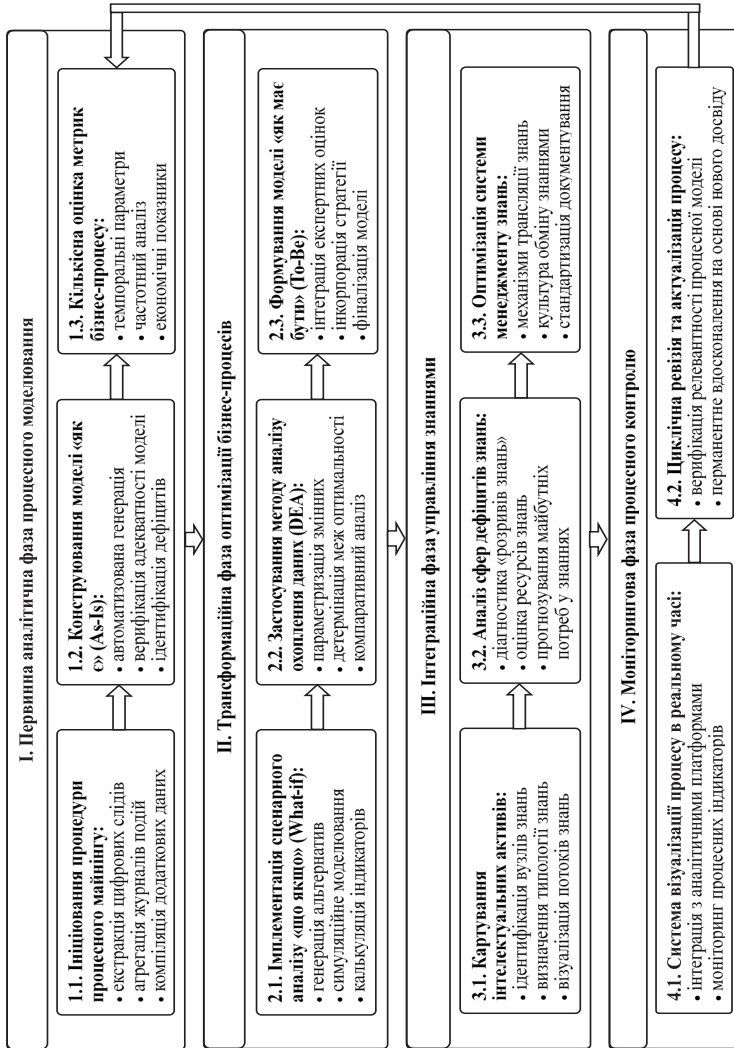


Рис. 3. Алгоритм застосування моделювання бізнес-процесів як інструмента управління знаннями
Джерело: розроблено авторами

для управління знаннями. Розроблені концептуальні підходи до інтеграції моделей бізнес-процесів із системами управління знаннями створюють методологічне підґрунтя для підвищення ефективності управлінських рішень. Запропонований механізм організаційного навчання забезпечує неперервне вдосконалення адаптивності та конкурентоспроможності організацій.

Практична цінність дослідження виявляється в розробці науково-методичних рекомендацій щодо впровадження бізнес-моделювання на базі Process Mining у діяльність підприємств. Запропоновані алгоритми аналізу, структурування та передачі знань сприяють оптимізації комунікативних процесів, підвищенню продуктивності праці та адаптивності підприємств до змінних умов зовнішнього середовища.

Застосування методів iBPMS бізнес-моделювання дозволяє систематизувати, аналізувати та оптимізувати процеси управління знаннями, що створює передумови для зменшення ризиків втрати критично важливих знань у процесі організаційних трансформацій.

Перспективними напрямками подальших наукових досліджень є вдосконалення моделей бізнес-процесів з метою їхньої адаптації до специфіки різних галузей економіки. Важливим аспектом постає розробка комплексних методик оцінювання ефективності інтеграції процесного моделювання та управління знаннями. Така оцінка потребує застосування як кількісних (швидкість прийняття рішень, час виконання операцій), так і якісних показників (повнота та актуальність бази знань, рівень інноваційності та адаптивності організації).

Результати дослідження становлять теоретичний та практичний інтерес для науковців, розробників інформаційних систем управління знаннями та керівників підприємств, які прагнуть до системної оптимізації власних бізнес-процесів у контексті сучасних викликів цифрової економіки.

Список використаних джерел

1. Гвоздь М. Я. «Процес» і «бізнес-процес» в системі управління підприємством. *Україна в умовах глобальної конкуренції: стратегія випереджаючого розвитку* : Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Донецьк, 2010). Донецьк : Видавництво, 2010. С. 29–30.
2. Сорочак О. З., Гвоздь М. Я. Методика оцінювання ефективності бізнес-процесів приладобудівних підприємств та вибору відповідного виду їх реінжинірингу. *Економічний простір*. 2015. № 102. С. 210–224. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/espros_2015_102_23 (дата звернення: 20.03.2025).
3. Ус Г. О. Моделювання бізнес-процесів в системах управління знаннями на основі агент-орієнтованого підходу. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. № 3. С. 934–937.
4. Христенко О., Озерчук Т. Наукові засади управління знаннями в сучасних організаціях. *Фінансовий простір*. 2017. № 2 (26). С. 61–66. URL: <http://fp.lnu.edu.ua/index.php/fp/article/view/519> (дата звернення: 20.03.2025).
5. Banker R. D., Charnes A., Cooper W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*. 1984. № 30. P. 1078–1092.
6. Bhatt G. D. Knowledge management in organizations: examining the interaction between technologies, techniques, and people. *Journal of Knowledge Management*. 2001. Vol. 5. № 1. P. 68–75. URL: <https://doi.org/10.1108/13673270110384419> (Last accessed: 20.03.2025).
7. Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*. 1978. Vol. 2. P. 429–444.
8. Choi H. J., Ahn J. C., Jung S. H., et al. Communities of practice and knowledge management systems: Effects on knowledge management activities and innovation performance. *Knowledge Management Research & Practice*. 2019. Vol. 18. № 1. P. 53–68.
9. Davenport T., Prusak L. Working knowledge: how organizations manage what they know. Boston, MA: Harvard Business School Press. 1998. 199 p.

10. Dumas M., La Rosa M. and all. *Fundamentals of Business Process Management. Second Edition. Springer.* 2018. 557 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-56509-4> (Last accessed: 20.03.2025).

11. Evans M., Dalkir K., Bidian C. A. Holistic View of the Knowledge Life Cycle: The Knowledge Management Cycle (KMC) Model. *Electronic Journal of Knowledge Management.* 2014. Vol. 12. № 2. P. 85–97.

12. Farrell M. J. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General).* 1957. Vol. 120. P. 253–281.

13. McKinsey Global Institute. URL: <https://www.mckinsey.com/mgi/> (Last accessed: 20.03.2025).

14. Michailova S., Husted K. Decision making in organizations hostile to knowledge sharing. *Journal of East European Management Studies.* 2004. Vol. 9. No. 1. P. 7–19. URL: <http://www.jstor.org/stable/23280840> (Last accessed: 20.03.2025).

15. Nonaka I., Takeuchi H. The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. *New York, Oxford University Press.* 1995. 304 p.

16. Olomolaiye A., Egbu C. The significance of human resource issues in knowledge management within the construction industry – people, problems and possibilities. Association of Researchers in Construction Management: Materials of the 20th Annual ARCOM Conference. Heriot Watt University (1–3 September 2004). P. 533–542. URL: https://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2004-0533-0540_Olomolaiye_and_Egbu.pdf (Last accessed: 20.03.2025).

17. Papworth K. Back to Basics – Unlocking the Power of Knowledge Management: Key Benefits for Organisations. 2024. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/back-basics-unlocking-power-knowledge-management-key-kyle-papworth-egusc/> (Last accessed: 20.03.2025).

18. Radhakrishna V., Ravi H., Elango S., Divyashree V., Jaganathan A., Ponnusamy M. Future of knowledge management in investment banking: Role of personal intelligent assistants. *Methodological*

Innovations. 2024. Vol. 17. № 4. P. 229–247. URL: <https://doi.org/10.1177/20597991241287118> (Last accessed: 20.03.2025).

19. Riege A. Three-dozen knowledge-sharing barriers managers must consider. *Journal of Knowledge Management*. 2005. Vol. 9. № 3. P. 18–35. URL: <https://doi.org/10.1108/13673270510602746>

20. Salvadorinho J., Teixeira L. Organizational knowledge in the I4.0 using BPMN: a case study. *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 181. P. 981–988. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.266> (Last accessed: 20.03.2025).

21. Sorochak O., Hvozď M. Approaches to the evaluation of comparative efficiency of alternative options of technological business processes of instrument-making enterprises, resulting from reengineering. *Marketing and Management of Innovations*. 2017. Vol. 4. P. 219–228. URL: <https://doi.org/10.21272/mmi.2017.4-19> (Last accessed: 20.03.2025).

22. Zack M. H. Developing a Knowledge Strategy. *California Management Review*. 1999. Vol. 41. № 3. P. 125–137.

KALASHNYK-RYBALKO Myroslava Anatoliivna,

PhD, Associate Professor,
Associate Professor, Ukrainian State Flight Academy,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>

KALASHNYK Ganna Anatoliivna,

Doctor of the Sciences, Professor,
Professor, Ukrainian State Flight Academy,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

MYKHAILETSKYI Artem Stepanovych,

Cadet, Ukrainian State Flight Academy,
Kropyvnytskyi, Ukraine

2.4. OPTIMISATION OF DATA FLOW MANAGEMENT OF THE AUTOMATED AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM NETWORK

Introduction. Air traffic control (ATC) is a key element of aviation infrastructure that ensures safe, efficient and orderly aircraft movement in airspace. In the context of globalisation, the growth of air traffic volumes and technological progress, air traffic control systems play a strategic role in ensuring the stable operation of the aviation industry. Modern challenges associated with the growth of air traffic, the development of unmanned aerial vehicles and the need for environmental sustainability require the improvement of methods and approaches to the organisation of ATC.

The features of air traffic control are determined by the high level of technological development, the need to integrate international standards, the complexity of coordination between numerous participants in the aviation process and the need to respond promptly to changes in the situation in airspace. Methodological aspects of air traffic control are based on the use of modern technologies, such as satellite navigation, automated dispatch control systems,

artificial intelligence and big data analysis. In addition, mathematical models of airspace congestion forecasting, route optimisation algorithms and risk management methods are used. For effective management, modern automated systems, satellite technologies, real-time communication and complex air traffic forecasting are used. An important methodological approach is the concept of the Single European Sky (SESAR [1]) and International Civil Aviation Organisation (ICAO) standards, which determine the regulation of air traffic and the integration of technologies into airspace management.

Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”, being a key aviation hub in Western Ukraine, plays a strategic role in regional and international communication. Its development has gone through several stages: from a military airport to a modern International Hub. Particularly significant progress was made during the preparation for Euro-2012, when a large-scale infrastructure modernisation was carried out. However, the beginning of the full-scale Russian invasion in 2022 led to the complete cessation of civil air transportation, which significantly affected the financial performance of the airport [2–4].

As a result of the suspension of the main activity, the airport’s revenues have sharply decreased, while the costs of supporting the infrastructure have remained significant. This has led to the need to optimise costs and find alternative sources of financing. Despite the crisis, the airport has adapted its activities, focusing on humanitarian transportation. The resumption of work directly depends on the security situation in Ukraine, and the prospects for opening air services will be considered after conditions stabilise. Improving the airport’s technical infrastructure will help increase its competitiveness and compliance with international aviation safety standards. The implementation of modern solutions in systems of air traffic control and data processing automation will reduce the risks of failures, increase the speed of decision-making and ensure stable and efficient operation of all aviation processes.

Main results of the study. Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” is one of the most important transport hubs in Ukraine.

It provides air connections between Lviv and many cities in Europe and the world. Effective air traffic control plays a crucial role in ensuring flight safety, optimizing air navigation processes, and increasing airport capacity. The organization of air traffic at the airport is carried out according to international standards established by the International Civil Aviation Organization (ICAO) and is regulated by national regulatory documents [5; 6].

The main functions of air traffic control are assigned to the relevant airport services and control centres, which coordinate flights, provide air navigation services and monitor compliance with safety rules. Important aspects of effective air traffic control are the use of modern technologies, automated navigation and communication systems, which minimise risks and increase the efficiency of decision-making.

In general, air traffic control at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” is a complex multi-level process provided by the airport’s dispatch service in cooperation with the State Enterprise “Ukraerorukh”. The main functions are flight coordination, air traffic control, granting take-off and landing permits, as well as flight routing. An important role is played by air navigation services, which are carried out using modern navigation systems and radar equipment to ensure the accuracy and safety of flights. The dispatch service uses a developed communication system, which includes radio communication, satellite technologies and automated dispatch complexes, which allows for a prompt response to changes in air traffic. The air traffic control infrastructure includes a control tower, a flight control centre and navigation towers that meet international ICAO standards and the requirements of the European Organization for the Safety of Air Navigation (Eurocontrol).

Despite the temporary suspension of civil flights due to the war since 2022, the airport maintains a control system in working order for rapid recovery after the situation stabilizes.

Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” is equipped with modern traffic control facilities, which allow it to service aircraft of various categories and classes in any weather conditions. The growth

of passenger traffic and air traffic volume by 2022 stimulated the modernisation of flight control systems, which positively affected the efficiency of the airport (Table 1). However, due to the full-scale war in Ukraine in 2022, the airport suspended civilian air transportation, which significantly affected the work of air traffic services.

Analysing the dynamics of indicators for 2021–2023, we see significant changes that are due to both external and internal factors. Thus, in 2022, the amount of net income decreased significantly compared to 2021, and this trend continued in 2023. Such a decrease was caused by external factors, such as the closure of Ukrainian skies for civilian flights due to the war. The result was a significant decrease in operating activities and financial results. The decrease in the cost of goods sold in 2022 can be explained by a decrease in the volume of services provided. Although the cost of goods sold decreased, it remained quite high (Fig. 1).

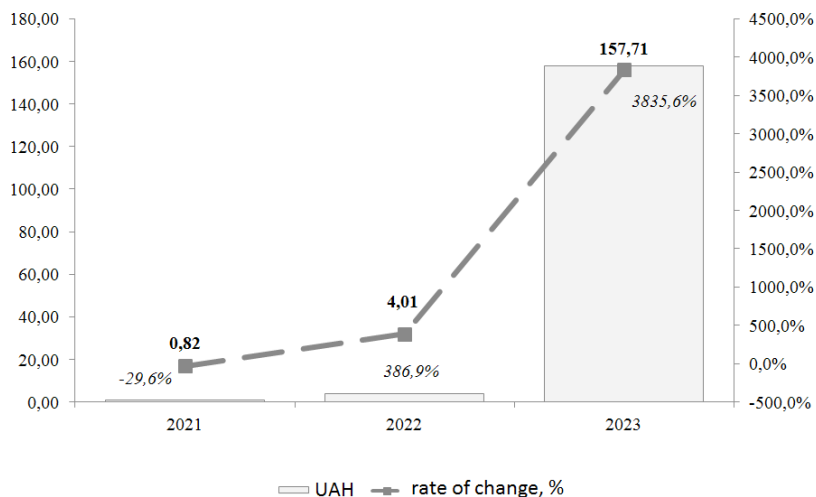


Fig. 1. Dynamics of the cost of 1 UAH of services provided by the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” in 2021–2023

Source: calculated and constructed by the authors based on the financial reports of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” [2–4]

Table 1

Dynamics of financial results of economic activities of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” in 2021–2023 (thousand UAH)

Indicators	Years				Deviations are chain		
	2021	2022	2023		absolute	rate of growth, %	
1	2	3	4		5	6	8
Net income from sales of products (goods, works, services)	560938	72084	1238		-488854	-70846	-87,1
Cost of goods sold (goods, works, services)	461692	288853	195242		-172839	-93611	-37,4
Gross profit	99246	-216769	-194004		-316015	22765	-318,4
Other operating income	22584	108537	25682		85953	-82855	380,6
Administrative expenses	33018	20267	16828		-12751	-3439	-38,6
Selling expenses	1321	546	261		-775	-285	-58,7
Other operating expenses	32399	8195	8190		-24204	-5	-74,7
Financial results from operating activities	55092	-137240	-193601		-192332	-56361	-349,1
Other income	15360	19659	22329		4299	2670	28,0
Charitable income	0	294	777		294	483	100,0
							164,3

Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Financial expenses	9	2	0	-7	-2	-77,8	-100,0
Other expenses	1306	2616	115	1310	-2501	100,3	-95,6
Financial result before tax	69137	-120199	-171387	-189336	-51188	-273,9	-42,6
Profit tax expenses	12664	-7024	2877	-19688	9901	-155,5	141,0
Net profit	56473	-113175	-174264	-169648	-61089	-300,4	-54,0

Source: calculated by the authors based on financial reports of the Danylo Halytskyi International Airport "Lviv" [2-4]

Gross profit suffered a significant reduction in losses in 2022, which was caused by the same reasons. A significant reduction in gross profit indicates that the company not only lost revenue but also failed to reduce expenses to the required extent, which complicated its financial situation. As a result, the financial result from operating activities deteriorated significantly in 2022, which is a consequence of significant losses from core activities, in particular, due to a decrease in revenue and negative dynamics of gross profit. The recovery of this indicator in 2023 is positive, albeit insignificant, which indicates the beginning of stabilisation.

The financial result before tax continued to deteriorate significantly in 2022, which is a result of significant losses from operating activities. The decrease in this indicator is a natural consequence of a decrease in revenue and an increase in expenses. In 2022, the airport made a net loss, and its decrease in 2023, although less significant, still reflects the instability of financial results.

So, the main reasons for such changes are the closure of the sky for civil flights in February 2022 and the reduction in activity. The consequence of these changes was the need to reduce costs, reduce operating activities and try to attract other income, which allowed the company to somewhat stabilise its financial position, although the results remain negative.

Due to the full-scale war in Ukraine in 2022, the airport suspended civil air transportation, which significantly affected the work of air traffic services. Despite this, the infrastructure and flight control system are maintained in good condition, which allows for the prompt restoration of air traffic after the stabilisation of the security situation.

The automated air traffic control system of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” is an important part of the infrastructure that ensures effective and safe flight management in the controlled airspace of the airport. The system allows controllers to coordinate flights in real time, monitor air traffic, and provide the necessary permissions for takeoff, landing and manoeuvres within the airfield.

Automated control is based on high-precision navigation systems that ensure the accuracy of data on the location of aircraft, as well

as the use of radar and radio navigation tools [7, p. 65]. This allows controllers to quickly respond to changes in the airspace situation and control traffic using automated control complexes. The automated air traffic control system is integrated with other components of the airport infrastructure, which allows for coordination of actions with airlines, air navigation services and other bodies responsible for flight safety.

Air traffic management and data flows of the automated control system network of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” are an important component of ensuring safety, efficiency and operational efficiency in the operation of the airport. The system is designed to ensure continuous and rapid exchange of information between controllers, other airports and national air traffic control authorities. The key characteristics of data flow management in this system are as follows.

1. Multi-level information management.

Air traffic management and data flows of the automated control system network of the airport have several levels of data management. The first level provides data collection from various sensors and radar systems. Information on the location of aircraft, weather conditions, take-off and landing status is transmitted to the controllers’ workstations via automated monitoring systems. The second level provides analysis of this data and automatic decision-making (based on algorithms) on airspace allocation and aircraft flow management.

2. Multimodality of data transmission.

To ensure continuous and reliable transmission of information in the air traffic control system and data flows of the automated airport management system network, various data transmission methods are used, such as radio communication, high-speed channels for transmitting text information (for example, via the ADS-B protocol for data exchange between aircraft and controllers), as well as integration with national and international networks for exchanging information with other control centres.

3. Low level of delays in data transmission.

Since any delay in data transmission can lead to serious consequences, the air traffic control system and data flows of the

automated airport management system network are optimised for minimal delays in data exchange. The system uses specialised technologies to quickly respond to situations that may threaten flight safety. This is ensured through the use of high-speed communication channels and the use of algorithms that automatically reduce the delay time between information transmissions.

4. Security and data protection.

To protect the transmitted data, the system is equipped with modern encryption and authentication tools. All data about aircraft, airspace and weather conditions are transmitted via secure communication channels, which eliminates the risks of unauthorised access or interference with data flows.

5. Integration with national and international systems.

The air traffic control system and data flows of the automated management system network of airport “Lviv” are integrated with international air traffic control systems, such as Eurocontrol, which allows for uninterrupted data exchange between airports and state air traffic control authorities along the entire flight route. This allows for better coordination and interaction between different control centres and control of aircraft flows at significant distances from the airport.

6. Adaptation to changing conditions.

Since air traffic flows can change depending on weather conditions, airport conditions, route load, etc., the air traffic control system and data flows of the automated control system network allow for dynamic regulation of flow distribution. The system automatically adapts to changing situations and offers new routes or changes in time slots for takeoff and landing.

Thus, the air traffic control system and data flows of the automated control system network of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” provide a high level of efficiency, accuracy and safety, which is critically important for the smooth operation of the airport and air traffic control in its service area.

The air traffic control system at the airport includes modern infrastructure facilities, such as a control tower, a flight control center

and navigation towers that meet international standards. Automated air traffic control systems and radar equipment ensure the accuracy of aircraft location data and allow for rapid response to changes in air traffic. Automated air traffic control systems of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” include modern radar and navigation technologies, as well as data exchange systems that ensure safety, accuracy and timeliness of management decisions. The system automates the processes of aircraft flow management, monitors and controls the movement of aircraft at all stages of their route. Delays in information exchange or reduced equipment performance can cause serious disruptions, which will negatively affect the safety and efficiency of service.

The implementation of modern solutions for air traffic control and data processing automation will help reduce risks, increase the speed of decision-making and ensure stable operation of all aviation processes. This will contribute to increasing the competitiveness of the airport and its compliance with international safety standards. Improving the technical infrastructure is an important stage in the development of the airport, as it allows significant improvement in the quality of service and minimises the likelihood of failures. The indicators of the efficiency of data flow management of the automated air traffic control system network of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” are given in Table 2.

The analysis identified the following shortcomings in the air traffic management and data flows of the automated control system network at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”:

- The increase in the data exchange delay time in 2022 (0.3 sec.) is a consequence of network overload or temporary technical problems, such as insufficient communication channel bandwidth or equipment malfunctions. Although the delay time improved slightly in 2023, it still did not reach the 2021 level. This indicates that the system is not fully optimised for processing large amounts of data in real time.

- The decrease in the data processing speed in 2022 (55 msec.) indicates insufficient computing power or inefficiency of the software

Table 2

**Indicators of the efficiency of data flow management
of the automated air traffic control system network of the Danylo
Halytskyi International Airport “Lviv” in 2021–2023**

Indicators	Years			Deviations are chain			
				absolute		rate of growth, %	
	2021	2022	2023	2022/ 2021	2023/ 2022	2022/ 2021	2023/ 2022
Data exchange latency (sec.)	0,2	0,3	0,25	0,1	-0,05	50,0	-16,7
Data processing speed (msec.)	50	55	52	5	-3	10,0	-5,5
Number of processed messages (thousands)	120	115	140	-5	25	-4,2	21,7
Data transmission errors (%)	0,02	0,03	0,02	0,01	-0,01	50,0	-33,3
Communication channel bandwidth (Mbps)	100	90	140	-10	50	-10,0	55,6
Recovery time after failures (min.)	1,2	1,3	1,0	0,1	-0,3	8,3	-23,1
Security level (%)	98	97	99,5	-1	2,5	-1,0	2,6
Integration with international standards (%)	95	93	98	-2	5	-2,1	5,4

Source: calculated by the authors based on data from the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”

responsible for data processing. The recovery of the indicator in 2023 (52 msec.) is positive, but reaching the 2021 level (50 ms) failed, indicating potential technical limitations.

– An increase in the number of data transmission errors in 2022 (0.03 %) due to problems in the operation of communication

equipment or network failures. This causes temporary data loss or incorrect information transmission, which negatively affects the accuracy and reliability of the system.

- A decrease in the communication channel bandwidth in 2022 to 90 Mbps, indicating limitations in the communication infrastructure or the need to update technical equipment to ensure uninterrupted operation with large volumes of data. This leads to delays in information transmission, which is critical for the safety and efficiency of air traffic control.

- An increase in the time to restore communication after failures in 2022 (1.3 min.), indicating insufficient preparedness of the system for unforeseen failures or technical problems that may arise during operation. Recovery time in 2023 to 1 min. It is an improvement, but still leaves room for further optimisation.

In general, although positive changes are observed in 2023 compared to 2022, these shortcomings indicate the need for further work on improving the technical infrastructure, ensuring stable operation of communication channels and reducing the probability of errors in data transmission.

To ensure the safety and efficiency of flights, air traffic control at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” is carried out using modern technologies and in close cooperation with the State Enterprise “Ukraerorukh”. The air traffic control system at the airport includes automated navigation systems, radar equipment and communication facilities that allow for precise control of air traffic reduce risks and increase throughput. After the suspension of air traffic due to the war, the airport retained its infrastructure, which makes it possible to quickly resume air traffic after the situation stabilizes.

Effective air traffic control and data flows in the automated control system network are critically important for ensuring the safety, reliability and efficiency of air transportation [8, p. 88]. Modern airports face high demands on the accuracy and speed of information processing, which is due to a significant increase in air traffic, the need to ensure timely data exchange between different services and

the introduction of innovative technologies. The conditions in which the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” operates require stable functioning of information systems and minimization of risks associated with possible technical failures.

Optimisation of network infrastructure and an increase in data processing speed directly affect the coordination of all aviation services, starting from airspace control and flight coordination and ending with passenger service and cargo transportation. Delays in information exchange, reduced equipment performance or insufficient bandwidth of communication channels can cause disruptions in work, which negatively affect the quality of aviation service and the overall level of safety.

Recommendations for improving air traffic management and data flows in the automated control system network of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” are presented in Figure 2.

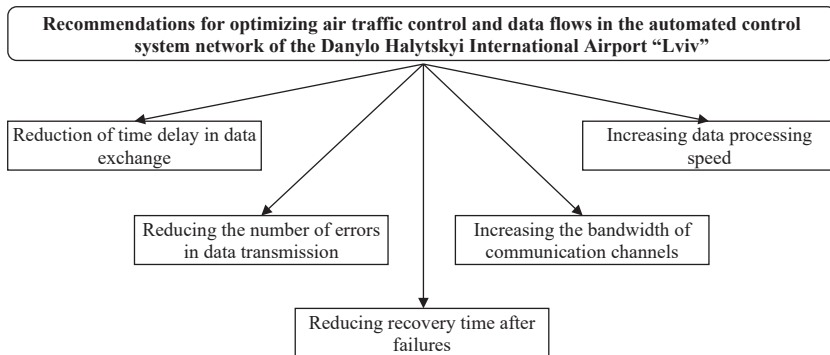


Fig. 2. Recommendations for improving air traffic management and data flows in the automated control system network of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”

Source: developed by the authors

Let's consider the essence of these recommendations in more detail.

1. Reduction of time delay in data exchange.

To reduce latency, it is necessary to implement comprehensive measures that include both technical modernisation and software

optimisation. One of the key solutions is to update network equipment. In addition, an important measure is the use of traffic prioritisation technology (Quality of Service, QoS). This allows you to highlight the most critical processes for security and ensure their uninterrupted communication. Another way to improve is to increase channel capacity and introduce backup communication channels. For example, the use of fiber-optic connections or alternative data transmission channels, such as 5G or satellite communication, significantly reduces the risk of network overload and reduces latency.

In addition to hardware solutions, an important component is software. The implementations of algorithms for automatic monitoring and analysis of network traffic will allow for quick identification of overload zones and eliminate them before critical situations arise. It is also possible to use caching and data compression technologies to accelerate the exchange of information between systems.

The recommendations are as follows:

- optimisation of network equipment, namely, modernisation of switches and routers to increase bandwidth and minimise delays in data transmission;
- implementation of a traffic prioritisation system (QoS – Quality of Service), which will allow giving priority to critically important data (for example, air traffic control signals) over less important flows (multimedia content, reports, etc.);
- increase in channel capacity and use of reserve channels; for example, you can connect additional optical communication channels or use cloud technologies to reduce the load on local servers;
- automatic monitoring of network traffic, implementation of an analytics system to detect overloads in real time and respond quickly.

2. Increasing the speed of data processing.

One of the main factors affecting the speed of data processing is the performance of server equipment. Outdated processors, limited RAM, and insufficient storage bandwidth can significantly slow down the system. Therefore, it is necessary to modernise the server infrastructure by implementing high-performance processors with multi-core

architecture. As well as increase the amount of RAM and use high-speed solid-state drives (SSD or NVMe) to accelerate data reading and writing.

Another critical aspect is the optimisation of the software that performs data processing. The use of outdated algorithms or inefficient code causes unnecessary load on the system, slowing down its operation. The introduction of the latest information processing methods, such as optimised data compression algorithms, improved caching methods, and more efficient database management systems, will significantly reduce delays in the processes of information analysis and processing.

In addition, the use of cloud technologies and distributed computing plays an important role in increasing the speed of data processing. Integrating the air traffic control system with cloud services will ensure the scalability of resources. This will allow you to flexibly respond to changes in load. The use of parallel data processing technologies in the cloud environment will significantly speed up the execution of complex computing operations without losing performance.

Another area of improvement is the introduction of artificial intelligence (AI) and machine learning to automate the processing of large volumes of data. AI algorithms can analyse data flows in real time, predict system loads, and distribute resources in such a way as to minimise delays. This is especially important for operational air traffic control, where even millisecond delays can be critical.

Regular monitoring of system performance is also an important element in ensuring high data processing speed. The use of specialised analytical tools to identify bottlenecks in the system will allow you to quickly eliminate emerging problems and optimise the use of computing resources.

We have proposed the following recommendations:

- updating server equipment, using more powerful processors and increasing RAM, which will allow processing a larger amount of information faster;
- optimising software, i. e. implementing the latest data compression and processing algorithms, which will allow speeding up their analysis;

- switching to modern databases, using distributed database management systems (for example, PostgreSQL or MongoDB), which reduces the load on the central server;
- integrating cloud technologies, namely, using hybrid solutions for processing large data streams (for example, distributing the load between local servers and cloud platforms).

3. Reducing the number of errors in data transmission.

One of the main causes of errors in data transmission is outdated or faulty communication equipment. The use of network devices with limited capabilities or worn-out components leads to unstable operation of communication channels. To solve this problem, it is necessary to modernise network equipment, in particular, to update routers, switches and data transmission servers. Installing modern high-speed network devices with advanced error correction mechanisms will significantly increase the accuracy and efficiency of information transmission.

Another important aspect is the optimisation of data transmission protocols. In some cases, the use of outdated or inefficient protocols leads to information loss or errors during transmission. The introduction of more stable and reliable protocols, such as TCP/IP with advanced data integrity control algorithms, will minimise the risk of information loss. In addition, it is advisable to use adaptive methods of data compression and transmission that automatically adjust communication parameters under the conditions of the network environment.

The instability of communication channels is also one of the factors influencing the increase in data transmission errors. Interference in the operation of wireless connections, network overload or external factors (for example, weather conditions) negatively affects the quality of transmitted information. To minimise these risks, it is necessary to expand the network bandwidth and implement backup communication channels. This will avoid overloading of the main network channels and ensure stability in the event of emergencies.

In addition to technical improvements, regular monitoring and diagnostics of the network infrastructure play an important role in

reducing data transmission errors. The use of modern traffic analysis systems and automated error detection tools will allow you to quickly respond to any network disruptions. For example, the implementation of a log file analysis system will help detect anomalies in the process of information transmission and predict possible failures before they occur.

The issue of increasing the level of cyber security deserves special attention, since errors in data transmission can be caused not only by technical malfunctions, but also by attempts at unauthorised intervention in the system. Installing additional security measures, such as data encryption, multi-level user authentication and anomalous activity detection systems, will help minimise the risks of loss or falsification of transmitted information.

The recommendations are as follows:

- the use of modern communication protocols, such as the transition to the latest data transmission protocols (for example, TCP/IP version 6), allows you to reduce information loss during transmission;
- communication channel reservation, introduction of additional communication channels (for example, via satellite Internet or 5G), which will reduce the risk of errors due to the instability of the main network;
- intelligent error correction system – the use of error correction algorithms (Forward Error Correction), which will allow automatically correcting errors without re-sending data;
- periodic testing of communication equipment, namely – conducting regular checks of routers, transmitters and receivers to identify potential malfunctions.

4. Increasing the bandwidth of communication channels.

The main reason for the decrease in bandwidth is the technical limitations of the existing infrastructure. The use of outdated network equipment, such as routers, switches and servers with low performance, does not allow for the efficient processing of large data streams [7, p. 65]. To eliminate this problem, it is necessary to modernise the equipment by replacing old devices with high-speed

communication components supporting modern data processing and transmission technologies. For example, the use of routers supporting Gigabit Ethernet or 10-Gigabit Ethernet standards will significantly increase the speed of information exchange between different airport subsystems.

Another important aspect is the optimisation of the network architecture. In some cases, inefficient load distribution between servers and network nodes leads to overloading of certain network segments, which, in turn, limits the bandwidth. The implementation of load balancing technologies, for example, through the use of distributed computing or software-defined networks (SDN), will allow for even distribution of data flows, reducing the risk of overloading individual channels. In addition, external factors have a significant impact on the bandwidth of the communication channel, in particular, the growth of the number of connected devices and the overall level of network traffic.

A large number of systems are constantly operating at airports, including automated air traffic control systems, aircraft maintenance databases, passenger information panels, video surveillance systems and wireless access points. To ensure the stable operation of all these subsystems, it is necessary not only to increase the total bandwidth of communication channels but also to improve traffic prioritisation algorithms. For example, critical data related to flight management should have priority over less important information flows, such as multimedia content for passengers.

Special attention should be paid to the use of backup communication channels [9, p. 33]. In case of overload of the main channel or occurrence of technical problems, alternative data transmission routes will avoid system failures. Implementation of such backup routes should occur through the implementation of multi-channel network connections, which automatically switch to an available channel in case of failure of the main one.

In addition, the implementation of the latest communication technologies, such as 5G or fiber-optic networks, will significantly

increase the throughput and reliability of the airport network infrastructure. 5G technology provides high data transfer speed with minimal delays, which will be useful for organising wireless communication channels between different airport subsystems. Fiber-optic connections, in turn, are capable of transmitting large amounts of information with minimal losses, which is especially important for real-time data processing.

The recommendations are as follows:

- switching to fiber-optic communication lines will significantly increase data transfer speed and reduce delays;
- using multi-channel data transfer (Multipath TCP) will allow distributing the load between several communication channels, which minimises the risks of overloads;
- implementing smart routing algorithms, which will increase the data transfer speed between different points of the network;
- creating separate channels for critical processes will help avoid delays in communication between controllers and pilots due to overloading the common channel with less important data.

5. Reducing the time to restore communication after failures.

One of the main reasons for prolonged communication restoration is the lack of an effective system for automatic detection and elimination of malfunctions. In many cases, failure detection and switching to backup channels are delayed due to insufficient integration of monitoring systems or the lack of fast switching algorithms. The introduction of modern automated diagnostic systems will reduce the time to detect a problem and speed up its elimination. For example, the use of artificial intelligence to analyse network traffic is designed to help predict possible failures and apply preventive measures.

Another important aspect is the creation of an effective backup communication system. Using only one main channel for data transmission increases the vulnerability of the system to failures. To ensure continuity of communication, it is necessary to introduce additional backup channels that are automatically activated in the event of loss of the main connection. For example, alternative channels

can be implemented via satellite, mobile 5G networks or fiber optic connections, which will significantly increase the functional resilience of the system to failures [10, p. 270].

The quality of network equipment also plays an important role. The use of outdated switches, routers and servers leads to long delays in the connection restoration process. Modernisation of the technical infrastructure, in particular, the introduction of devices with support for automatic switching to backup communication lines, will significantly reduce the network restoration time.

In addition to technical aspects, attention should be paid to the human factor. Developed and implemented fault response protocols that will allow operators to eliminate problems faster and minimise their impact on the airport's operation. Regular training for personnel responsible for IT infrastructure and communications will help increase the efficiency of their work in critical situations.

Finally, an important step is to implement a policy of proactive maintenance of the network infrastructure. Regular diagnostics, testing of the functional stability of the system [9, p. 27] and software updates will minimise the risks of malfunctions, which, in turn, will contribute to reducing the time for restoring communication after failures. We have provided the following recommendations:

- automated systems for detecting and eliminating failures, namely, the implementation of special software that independently diagnoses problems and restarts systems in the event of failures;
- backup duplication of critical components (servers and network switches) will allow you to quickly switch to a backup system without losing communication;
- use of artificial intelligence to predict possible failures and warn about potential risks;
- development of a detailed disaster recovery plan for IT specialists in the event of malfunctions, which will allow you to respond to problems faster.

Next, we will determine why the implementation of the developed program will contribute to increasing the efficiency of air traffic

management and data flows of the automated control system network of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”.

1. Reducing the delay time in data exchange.

The efficiency and accuracy of data transmission play a key role in effective air traffic management, especially in conditions of intensive airport traffic. Any delay in the exchange of information between the dispatch service, navigation systems and airlines can lead to failures in flight coordination, which potentially creates safety risks and causes financial losses for the airport and air carriers. An increase in the delay time in data transmission in 2022 indicates an overload of the network infrastructure or its insufficient adaptation to the growing volumes of information. Even a small increase in the delay time (for example, by 0.3 sec.) has a significant impact on the speed of decision-making, since modern air traffic control systems operate in real time.

Thus, reducing the delay time in data exchange is a strategically important task for Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”. Its implementation will contribute to increasing the accuracy of flight control, reducing the probability of errors, improving the overall efficiency of the airport, and ensuring a high level of flight safety.

2. Increasing the speed of data processing.

In the modern aviation environment, the speed of data processing plays a key role in ensuring effective air traffic management. The faster the system analyses and processes information, the faster management decisions are made, which has a direct impact on flight safety, reducing flight delays and overall airport performance.

A decrease in the speed of data processing in 2022 (up to 55 msec) indicates insufficient computing infrastructure capacity or inefficiency of the software used to manage data flows. Despite a slight improvement in 2023 (up to 52 msec), this indicator still has not reached the level of 2021 (50 msec), which indicates the presence of technical limitations. This situation requires the immediate implementation of measures to increase the speed of data processing and ensure stable operation of the system under increasing load.

Ensuring high speed of data processing at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” will significantly increase the efficiency of

air traffic control, reduce the risk of flight delays, improve coordination between airport services and ensure a higher level of flight safety. The introduction of modern technologies in this area will be an important step towards increasing the airport's competitiveness and improving the quality of services provided.

3. Reducing the number of errors in data transmission.

In modern conditions of airport operation, the accuracy and reliability of data transmission play a critically important role in ensuring effective air traffic control. A high level of errors in information transmission causes incorrect processing of requests, delays in decision-making and even failures in control systems.

In 2022, the number of errors in data transmission at the Danylo Halytskyi International Airport "Lviv" increased to 0.03 %, which indicates problems in the operation of communication equipment or instability of the network infrastructure. Although in 2023 the situation partially improved, the error rate remains above optimal. This indicates the need for systemic changes to increase the accuracy and stability of data transmission.

In general, reducing the number of errors in data transmission is a necessary condition for ensuring the stable and reliable operation of the automated airport management system. The introduction of modern equipment, optimisation of information transmission protocols, use of backup communication channels and strengthening of security measures will significantly improve the quality of transmitted data. This, in turn, will contribute to increasing the efficiency of air traffic control, reducing the risk of technical failures and ensuring a high level of flight safety.

4. Increasing the bandwidth of communication channels.

The bandwidth of the communication channel is one of the key factors affecting the efficiency of air traffic control and the functioning of the automated airport management system. In modern airports, processing a large amount of data in real time is critically important, since any delays or loss of information can lead to disruptions in flight coordination, increased flight delays and potential safety risks. In 2022,

at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”, the bandwidth of the communication channel decreased to 90 Mbps, which caused difficulties in transmitting large amounts of information, including flight data, weather conditions, flight schedules and aircraft telemetry.

Increasing the bandwidth of communication channels is a strategically important step to ensure the stable and efficient operation of the airport. The introduction of modern equipment, optimisation of network architecture, use of backup channels and advanced communication technologies will significantly increase the productivity of the air traffic control system, reduce the risk of delays in information transmission and ensure maximum flight safety.

5. Reducing the time to restore communication after failures.

The uninterrupted operation of the air traffic control system and airport infrastructure depends on the stable functioning of communication channels. In the event of technical problems or failures, the speed of communication restoration is a critical factor affecting the efficiency of flight coordination, passenger safety and overall airport operations. The increase in the time to restore communication at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” in 2022 to 1.3 minutes indicates insufficient readiness of the system for unforeseen failures. Although this indicator was reduced to 1 minute in 2023, there is still a need for further optimisation, because even short-term failures lead to significant consequences.

Thus, reducing the time to restore communication is a necessary measure to ensure stable airport operation and flight safety. By implementing automated monitoring systems, backup communication channels, equipment modernization, improved personnel training, and proactive maintenance, the risks associated with prolonged outages can be significantly reduced and high reliability of the network infrastructure can be ensured.

Conclusions. A program for optimising air traffic management and data flows in the network of the automated control system of the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv” is presented. It will allow improving the speed and stability of the automated control

system, which will increase the efficiency of the airport and the level of flight safety.

The proposed recommendations, in particular, include the modernization of network equipment, the implementation of a traffic prioritization system, increasing channel capacity, the use of modern data processing algorithms, the use of cloud technologies to ensure resource scalability, as well as the integration of artificial intelligence and machine learning to automate the processing of large data flows. All these measures will help ensure the reliability, speed and accuracy of information processing, which is critical for aviation safety.

Improving the managerial and technical aspects of airport infrastructure will contribute to improving the quality of service, increasing flight safety and overall efficiency of operations. Optimisation of communication channels, reduction of delays in data exchange and increase of system throughput have a direct impact on efficiency and accuracy of air traffic control, as well as on efficiency of airport operations.

The proposed measures will allow for a significant increase efficiency of air traffic control and improve the functional stability of the automated control system at the Danylo Halytskyi International Airport “Lviv”. Implementation of modern data transmission technologies, reservation of critical channels, optimisation of network equipment and use of artificial intelligence will contribute to the reduction of delays, increase of speed of information processing and minimisation of failures. This, in turn, will positively influence the level of flight safety, efficiency of dispatching services and general efficiency of functioning of the airport.

References

1. SESAR. URL: <https://www.sesarju.eu/> (Last accessed: 17.04.2025).
2. Річна звітність ДП «Міжнародний аеропорт «Львів» ім. Данила Галицького». URL: https://clarity-project.info/edr/33073442/yearly-finances?current_year=2021 (дата звернення: 17.04.2025).

3. Річна звітність ДП «Міжнародний аеропорт «Львів» ім. Данила Галицького». URL: https://clarity-project.info/edr/33073442/yearly-finances?current_year=2022 (дата звернення: 17.04.2025).

4. Річна звітність ДП «Міжнародний аеропорт «Львів» ім. Данила Галицького». URL: https://clarity-project.info/edr/33073442/yearly-finances?current_year=2023 (дата звернення: 17.04.2025).

5. Про затвердження Інструкції з організації та здійснення об'єктивного контролю при обслуговуванні повітряного руху та виробничій діяльності цивільної авіації України : Наказ Міністерства транспорту України від 11.11.2003 № 872. Дата оновлення: 15.02.2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1103-03#Text> (дата звернення: 17.04.2025).

6. Про порядок роботи зі Стандартами та Рекомендованою практикою ICAO : Наказ Державіаслужби України від 07.11.2011 № 356. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0356763-11#Text> (дата звернення: 17.04.2025).

7. Пермяков О., Королук Н., Голубничий Д., Скоропанук П. Алгоритм мультифрактального балансування навантаження інформаційно-телекомунікаційних мереж спеціального призначення. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2021. № 42 (3). С. 63–70. URL: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-42-3-63-70> (дата звернення: 17.04.2025).

8. Калашник Г. А., Калашник-Рибалко М. А. Завдання щодо перевірки діяльності та проєктів перспективного розвитку авіапідприємств на етапі відновлення України. *Проблеми сталого розвитку морської галузі PSDMI-2024* : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції (м. Херсон, 28–29 лист. 2024 р.). С. 87–90.

9. Kalashnyk G. A., Kalashnyk-Rybalko M. A. Methodology for Ensuring the Functional Stability of Aircraft Integrated Modular Avionics Complex. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*. 2023. № 4 (53). Р. 30–40. URL: <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.53.04> (Last accessed: 17.04.2025).

10. Mashkov O., Bychkov A., Kalashnik G., Shevchenko V., Vyshemyrska S. Application of the Theory of Functional Stability in

the Problems of Covering Territories by Sensory Networks. Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision Making. *Intellectual Systems of Decision-Making and Problems of Computational Intelligence*: Proceedings of the 2022 International Scientific Conference. Springer. 2023. P. 266–285.

ZADVORNYKH Serhii Serhiivych,

PhD in Economics, Associate Professor

of the Department of Finance,

Private Higher Education Institution

“Rauf Ablyazov East European University”,

Cherkasy, Ukraine,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7025-4116>

2.5. THE DIGITAL TRANSFORMATION OF CORPORATION: HOW AI, BIG DATA AND EMERGING TECHNOLOGIES CAN SHAPE CORPORATE FINANCIAL GROWTH

Introduction. The financial results of companies across different industries are influenced by various factors, including the implementation of new technologies. In some cases, technological advancements serve as a catalyst for growth and success, while in others, they present challenges that businesses may struggle to overcome. Therefore, the extent to which companies benefit from digital transformation depends on their readiness, resources, and strategic approach.

FinTech and Big Data have become crucial components of modern financial systems due to the increasing demands and expectations of customers. Traditional financial models often fall short in addressing these evolving needs, leading to the growing integration of Big Data and Artificial Intelligence (AI) in financial technologies. This

integration is reshaping the sector by enhancing financial security, improving risk management, and fostering market stability. However, rapid transformations pose significant challenges, as companies and employees may not always be prepared for abrupt changes.

The internal and external environments of a company are deeply interconnected, meaning that instability in one area can have far-reaching consequences. While AI and Big Data-driven FinTech solutions can reinforce financial security in stable regions, they may also heighten risks in areas with weak regulatory frameworks. Countries facing instability often become attractive hubs for both legitimate FinTech startups and illicit financial activities, which can further disrupt global financial stability. Therefore, while technological advancements present opportunities for financial companies and consumers, they also introduce new risks that must be carefully managed.

Companies across various industries are constantly seeking ways to optimize their operations, reduce costs, and stay competitive. Digital technologies, particularly AI, have shown significant potential in driving efficiency and profitability. However, the key to successful technological adoption lies in assessing feasibility and ensuring alignment with a company's level of technical, material, and human resources maturity. Not every innovation that is trending or widely adopted will necessarily suit a particular business. Strategic planning and readiness are essential in determining when and how to integrate new technologies effectively.

Ultimately, while digital transformation offers promising solutions for improving financial and operational processes, its success depends on a company's ability to implement change thoughtfully. Those that strategically adopt AI and Big Data with a clear understanding of their specific needs and capabilities are more likely to achieve sustainable growth and long-term stability. Conversely, businesses that rush into digital transformation without adequate preparation may face unforeseen challenges that could undermine their financial performance and competitiveness.

The impact of the integration of new technologies on the financial growth and stability of companies, as well as their significance for

the company's financial security, has been studied by scientists all over the world, in particular S. Dutta, M. Hüther, R. Juoti, I. Paus, A. Rayaprolu, M. Shirer, M. Wolter, Sh. Xia and other, and was an research object of different international organizations like Institute der deutschen Wirtschaft, McKinsey, OECD, PwC, Salesforce, World Economic Forum and other, but in their research they mostly focus on the positive impact of such tools and consider it in various individual contexts. Given the relative novelty of this phenomenon, there is currently no comprehensive assessment of the impact of the industry in which a company operates, the chosen business model and digital tools on the financial growth of companies and their financial security. This study focuses on this issue.

Presentation of the main results of the study. First of all, it is necessary to find out why digital technologies are becoming so attractive to companies. Studies show that different areas of digitalisation have different attractiveness for companies, but the growth of investment in technology is significant. So, according to prognoses, the Big Data market for the banking sector could rise by the end of 2025 to 62,1 billion dollars [1], the global GDP could rise by 7 % in a 10-year period [2], and investments in AI itself are expected to amount to 304 billion dollars by 2028 at a compound annual growth rate [3]. At the same time research shows, that 79 % of customers need more digital and across departments interaction [4], and the use of Big Data in finance, therefore, can significantly accelerate the positive development of financial services and products, which in turn will lead to revenue growth. This also pushes companies to start investing in digital technologies. However, given the significant level of capital investment required, it is advisable to identify what determines the financial performance of companies in the context of digital technologies and whether they are really the driver of financial growth. Exactly this hypothesis forms the basis of this study.

In order to verify this hypothesis, it is advisable to study the problem in two contexts: the dependence of growth prospects on the business model and the field of the company's activities chosen by

the company, as well as the actual impact of new technologies on the internal environment and financial security of the company.

Dependence on the chosen business model and field of activity.

Studies have shown that the effectiveness of digital technologies depends on the business model chosen by a company, and the introduction of such technologies for different business models will have different consequences for the internal environment of the company, in particular for the staff. Thus, if the key aspect in building a business model is the interaction between the consumer and the corporation, the following four business models can be identified in which digitalisation will have a certain impact: Business-to-Business (B2B), Business-to-Consumer (B2C), Consumer-to-Business (C2B) and Consumer-to-Consumer (C2C) [5]. The implementation of digital tools within various business models significantly impacts efficiency and workforce dynamics (Fig. 1.).

In the B2B sector, Industry 4.0 plays a central role, promoting digital communication between machines to enhance industrial processes. This leads to improved automation and appearance of new business models that integrate digital services with industrial products [6]. However, the challenge lies in companies' ability to extract valuable insights from established process chains, requiring substantial resources for data management [7]. Positive effect of digitalisation in this case is very high.

In contrast, B2C companies, particularly major tech companies, have successfully scaled their digital services globally, capitalizing on platform-driven network effects. These companies provide consumers with cost-saving benefits through online platforms, leveraging data-driven efficiencies. However, their position at key digital nodes makes them vulnerable to competition and shifts in monetization strategies [8]. The positive effect of digitalisation is expected and likely.

The C2B interface, dominated by Big Data, sees companies acquiring customer data in exchange for services. Often, consumers provide this data unknowingly or without full awareness of its implications. Businesses utilize these insights to refine real-time

operations and explore new revenue streams. However, this dynamic presents ethical concerns regarding privacy and data security [9]. The positive effect of digitalisation is very limited.

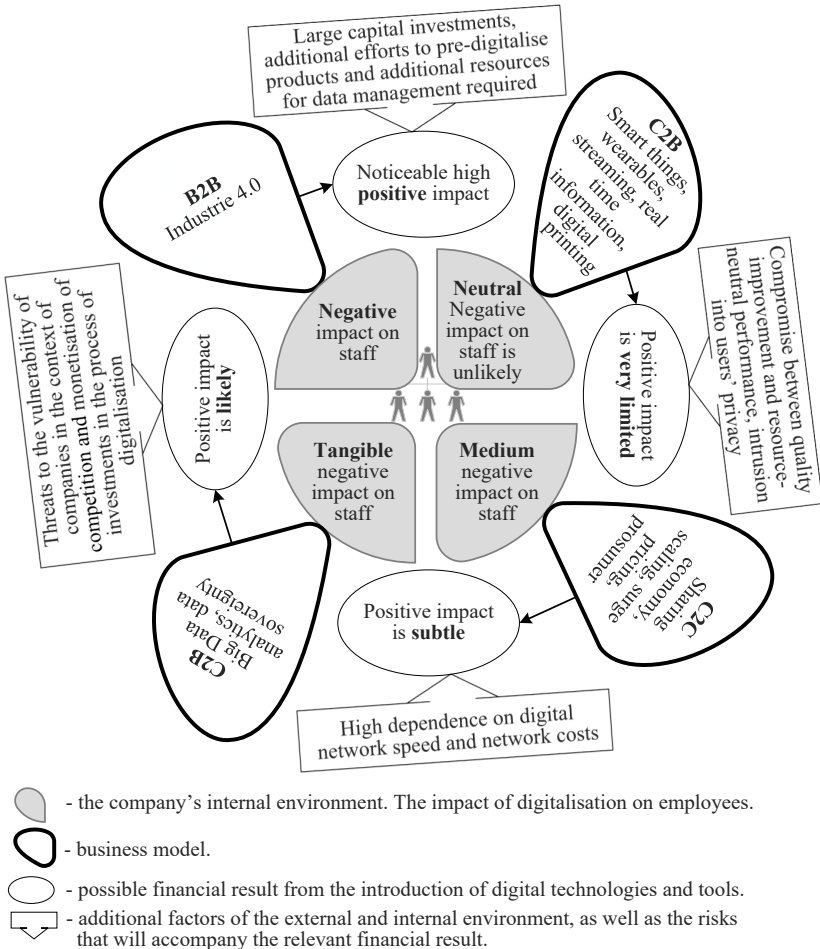


Fig. 1. Dependence of the effectiveness of digital technologies implementation in a corporation on the chosen business model and their consequences for the staff

Source: authors' elaboration

The C2C market, driven by the rise of the sharing economy, transforms consumers into potential providers of goods and services, facilitated by digital platforms. These platforms lower transaction costs and enable seamless connectivity, but also disrupt traditional employment structures, leading to shifts in workforce organization [7]. The positive effect of digitalisation is almost imperceptible.

There are also a number of other dependencies. In particular, the more developed the territory, the greater the effect of digitalisation, and it is also significantly higher in communities with a higher concentration of urban population than rural [10]. Structural differences are also evidenced by the data on the adoption of certain digital tools by industry. For example, according to IDC research, investments in financial services, transport and mobility, and media and telecommunications have a significantly higher return on investment than, for example, in manufacturing, energy, healthcare, and education [11]. Another interesting fact is that those industries that use the most traditional approaches and are the most conservative, such as mining and manufacturing, invest the least in technology, while the financial impact of such investments in these industries can be greater than in others.

Thus, the financial impact of digitalisation will vary significantly between companies using different business models and operating in different industries. The impact of such innovations on the company's internal environment, including its staff, will also vary.

The varying impact of digital transformation on employment remains a debated issue. Initial fears of widespread job losses due to automation have been tempered by more nuanced analyses indicating that certain routine tasks may be streamlined while new roles emerge [12]. While automation enhances industrial efficiency, human workers remain crucial for tasks requiring adaptability and oversight. Even highly automated production systems struggle with unforeseen variations, highlighting the continued importance of human intervention.

From an employment perspective, the effects of digitalization differ across chosen business model. In B2B models, skilled labour remains

essential, as expertise cannot yet be fully replaced by AI, this means, that expected changes for the workers will have a negative effect. The C2B sector has minimal direct employment effects, while B2C has not exhibited significant job losses despite the dominance of digital platforms. The C2C sector, however, may contribute to a shift toward decentralized employment models, but in traditional way digitalisation will have almost no effect on workers [13].

Industry-specific outlooks on workforce changes also reveal significant variations. While sectors such as finance anticipate workforce reductions due to automation, industries like construction and hospitality expect stable employment levels [14]. This underscores the importance of continuous learning and upskilling, particularly as demographic shifts demand that older generations adapt to digital advancements. Current data suggests a stark contrast in digital proficiency across age groups, with younger employees significantly more adept at leveraging digital tools than their older counterparts [11; 12; 18].

Ultimately, digital transformation presents both opportunities and challenges for companies and their employees. Organizations must ensure a strategic, well-paced adoption of new technologies, balancing efficiency gains with the need for workforce adaptability. Investing in employee training and fostering a culture of lifelong learning will be critical in navigating the evolving digital landscape.

The introduction of digital technologies into the processes of staff interaction will also have a significant impact on employees. The integration of AI into workforce management can significantly enhance efficiency, particularly in evaluating employee performance. Many managers, especially in large organizations, struggle with objectively assessing staff productivity due to the complexity of workflows [15]. AI offers solutions by monitoring work hours, tasks, and overall efficiency, identifying bottlenecks, and optimizing workflows. However, while AI-based assessments provide a broad and data-driven perspective [16], they cannot fully capture the nuances of employee contributions. Over-reliance on automation can lead to misinterpretations of performance, neglecting interpersonal insights

that only direct human interactions can reveal. A hybrid approach, combining AI analytics with managerial evaluations, is necessary to maintain a well-rounded assessment system.

Excessive AI monitoring can also create stress among employees, as they may feel pressured to conform to AI-generated performance metrics rather than focusing on innovation and meaningful contributions. Studies have shown that productivity is more influenced by positive management attention, a sense of belonging, and improved working conditions than by strict oversight [17]. Moreover, replacing human workers with AI-based processes might lead to short-term cost savings but could later require costly reversals and additional investments.

The successful implementation of AI in the workplace depends on staff readiness. Surveys indicate that while a majority of employees are willing to work with AI, managers remain more hesitant [11; 18]. Readiness varies based on age and psychological adaptability, with senior employees often facing greater challenges in adapting to new technologies. This demographic shift could lead to skill gaps, loss of experience, and difficulties in workforce integration if not properly managed. To mitigate these risks, businesses should introduce AI adoption gradually and create intergenerational teams where younger, tech-savvy employees collaborate with experienced workers to balance expertise and innovation.

Additionally, companies should avoid excessive standardization through AI, which may erode their unique culture and employee loyalty. If businesses become too similar due to digital uniformity, employees may feel disconnected and move between jobs more easily, leading to higher turnover rates. The psychological impact of AI-driven work environments must be carefully managed to maintain employee engagement and prevent burnout.

While AI adoption can enhance productivity – studies suggest that 39 % of occasional users and 89 % of daily users report increased efficiency [18] – it also raises concerns. Employees may fear being perceived as unproductive if they do not use AI tools [18].

Furthermore, research on AI-assisted learning suggests that while short-term efficiency improves, long-term retention of knowledge may decline. If applied to a corporate setting, overdependence on AI could lead to skill degradation, reducing long-term workforce competence.

Therefore, organizations must strike a balance between AI-driven processes and traditional work methods. This equilibrium ensures both productivity and employee well-being, fostering an environment where AI enhances – rather than replaces – human expertise.

It should also be noted that whatever approach is chosen, digitalisation will require changes in staff skills and significant investments, including training or replacement of the same staff. For example, according to Axcethr, hiring one qualified specialist with an average salary of about 50,000 dollars per year, including their initial training, will cost a company about 25,000–33,000 dollars [19]. Research has also shown that companies rarely have the opportunity to invest in staff training, and therefore, improving digital skills often becomes a burden for staff [12]. There is also a shortage of skilled personnel with IT knowledge in the labour market. Small companies in depressed areas cannot actually find specialists with the necessary knowledge or are unable to pay for their work in accordance with their needs, and large companies, even with the necessary resources and access to the market of highly qualified employees, are also unable to meet their staffing needs. Despite all their capabilities and attractiveness for potential employees, about half of the vacant positions in the relevant field remain unfilled [14], and the share of those who need digital skills to some extent is constantly growing and at this stage it is close to 92 % [20]. At the same time, companies show that they are not ready, especially financially, for the necessary transformations [21]. That is why, based on a critical assessment of the potential opportunities offered by digital technologies for financial growth, the transformations, investments, and changes in the staff structure required for this, more and more companies are beginning to suspend active digitalisation processes. Studies have also shown that digital transformation is more appropriate and effective in terms of financial growth in

a stable environment. As the level of volatility increases, the risks for companies increase and this leads to a higher rate of abandonment of such decisions. For example, since the outbreak of the war in Ukraine, up to 22 % of German companies have postponed digitalisation processes [22]. This happened, in particular, not only because of the increased level of costs, associated with a sharp rise in prices, primarily for energy, but also the growing technical dangers.

The impact of new technologies on the internal environment and financial security of the company. As already mentioned, the use of digital tools can bring a significant increase in a companies financial performance, but the introduction of technology is also closely linked to risks and challenges to the financial security of the company. Globally, the main digital tools that a company can use to improve its efficiency and financial performance are Big Data and AI, and this combination is also necessary for creation of new customer-focused products with a high level of personalisation. To a large extent, they are combined in the company's practical activities. First of all, it is necessary to understand the essence of Big Data and its connection with AI in workflows.

The concept of Big Data originates from the term 'business intelligence', which was first defined by H. Luhn in 1958 as the capability to understand the relationships between presented facts in a way that facilitates decision-making toward a specific objective [23]. Over time, advancements in technology have led to modifications in this definition, and it continues to evolve [24].

Currently, Big Data serves as a broad term encompassing vast, continuously expanding, and complex volumes of structured, semi-structured, and unstructured data collected from various sources [25], where structured data is systematically arranged and can be easily analysed using conventional methods, such as financial records, transaction histories, or sales reports; semi-structured data lacks full organization and requires additional processing, it is commonly gathered from sources like social media, blogs, customer feedback, and product reviews; unstructured data is more disorganized and includes large volumes of video, audio, text, and other types of visual content.

To categorize Big Data effectively, D. Laney introduced the ‘3Vs of Big Data’, a model that remains relevant today but is often supplemented by additional criteria:

- volume – refers to the enormous scale of low-density, unstructured data, ranging from terabytes to petabytes;
- velocity – denotes the high speed at which data is generated and must be processed;
- variety – represents the diverse formats in which data exists [26].

To process and analyse these different data types effectively, Big Data analytics is utilized. However, before analysis can take place, the data must undergo proper preparation, as outlined in Fig. 2.

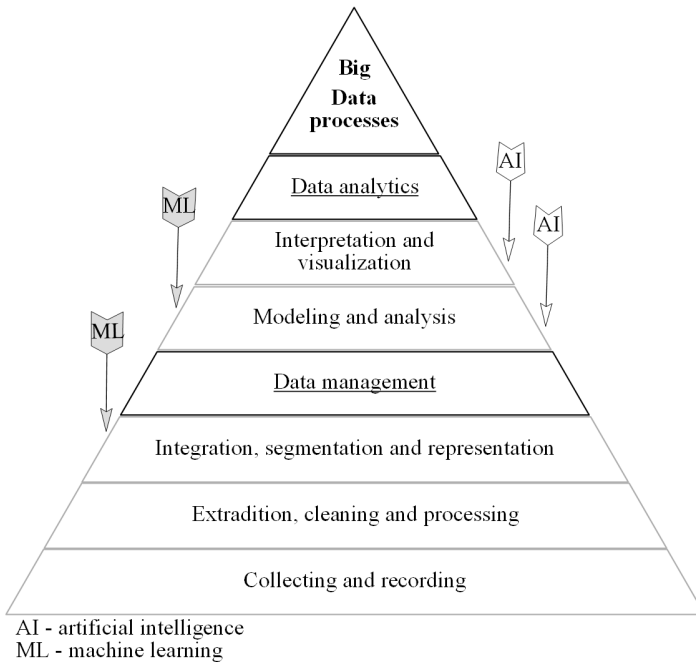


Fig. 2. Big Data processes, which include AI elements

Source: authors' elaboration

Big Data is closely linked to various challenges, primarily revolving around data preparation, processing, and analysis. Proper data preparation is crucial, as errors in this stage can significantly impact the accuracy of analytical results. Key steps include data extraction, cleaning, and integration, which involve eliminating inconsistencies, missing values, and duplicates to ensure a uniform dataset. Failure in these stages can lead to unreliable insights [27].

The final stage of Big Data analysis often involves data visualization through charts, figures, and summary tables, which, while not mandatory, enhance comprehension of trends and factor relationships.

The complexity of these processes often necessitates the involvement of advanced technologies such as machine learning and artificial intelligence.

In the business and financial sectors, Big Data analytics plays a crucial role in decision-making. It extracts relevant insights from vast amounts of raw data, assisting in financial market trend analysis, customer behaviour prediction, fraud detection, and risk management. With the rapid expansion of data in FinTech and finance, Big Data analytics has become essential for developing innovative solutions and optimizing decision-making processes. However, despite the undeniable benefits, the use of these digital tools is accompanied by certain challenges, as is the case with any process. Therefore, in order to maximise the benefits and minimise the negative consequences, it is necessary to assess the main risks that accompany the process of digital transformation in companies.

As already mentioned, one of the main challenges is ensuring the proper data quality. Data can both help a company grow and collecting of false data and drawing conclusions based on it will have a negative impact on the company, in particular, such management decisions can even lead to the company's bankruptcy. This threat is particularly common for fast-growing start-ups, especially in the financial sector. Errors can also arise by analysis of a large amount of disparate data and attempts to combine them. In this case, an incorrect combination

of conclusions, loss of interdependence, or data errors can lead to incorrect or even destructive decisions for the company instead of increasing its competitiveness and helping it grow faster in the new market conditions.

Errors can also occur if a company relies too much on data-driven management without additional human oversight or analysis. So, according to the data of the Data Sentinel up to 85 % of AI projects may deliver erroneous outcomes because of biases in data, algorithms, or the teams managing them [28]. Positive is that research shows that managers understand the need for flexibility and not just a formalised data-driven approach to decision-making [29].

This only confirms that rapid expansion of data-driven governance, combined with minimal human oversight, poses significant risks to decision-making. While the demand for innovative products is increasing, startups, often willing to take risks, dominate this space [30]. However, their experimental approach can result in customer churn, data leaks, and unethical marketing strategies. Even large traditional financial institutions, such as Deutsche Bank and Commerzbank, have struggled to keep up with this digital transformation, leading to customer losses without viable restructuring solutions [31].

The digital finance sector, particularly in countries classified as countries in the state of instability is growing rapidly due to minimal regulatory control, creating opportunities for both innovation and financial crime. These regions often attract fraudulent operations, including shell companies and illegal data trading, exploiting weak oversight mechanisms [32]. In addition, the digital management systems of companies, especially financial ones, in such countries potentially become attractive to criminals and fraudsters, especially those who target Big Data. That's why the cybersecurity sector has outpaced FinTech in growth, highlighting the increasing need for protection against cyber threats [33]. But even this growth is not enough at the current stage because despite efforts to enhance cyber resilience, small and medium enterprises remain vulnerable, with only 25 % having cyber insurance; worrisome is also the fact, that about

41 % of organizations experiencing security breaches through third-party suppliers [21; 34]. All this only confirms the increased danger for most companies, since even if the company itself had sufficient capabilities and capacity to implement cybersecurity measures, it cannot be sure of the security of those companies that work directly with it and influence its internal environment.

AI has further complicated the cybersecurity landscape. With the AI market expected to grow 13x in the next eight years, security challenges are intensifying [35]. Cases such as Microsoft's 38 TB data leak and deepfake-enabled fraud demonstrate AI's potential for exploitation [36; 37]. And this is not the single case among giant companies. For example, in February 2024, Change Healthcare, a technology unit of UnitedHealth, experienced a cyberattack that compromised the personal information of approximately 100 million individuals. The breach disrupted claims processing nationwide and exposed sensitive data, including health insurance member IDs and Social Security numbers [38]. A prime example of the vulnerability of companies is also the attack by a group of hackers associated with the Scattered Spider group on Snowflake Inc. that resulted in access to more than 100 customer accounts and personal information, which had deep destructive consequences for a number of companies, including AT&T and Ticketmaster [39]. Additionally, 77 % of companies have reported breaches linked to AI vulnerabilities, emphasizing the urgent need for regulatory frameworks to mitigate these risks [40] for all kinds of companies. In the case of small companies, the situation is even more threatening.

Despite concerns about overregulation in FinTech and technology branche in general, there are few comprehensive legal frameworks governing the industry. The EU's General Data Protection Regulation remains one of the only detailed regulatory structures addressing data management [41], while other countries rely on fragmented privacy laws. The lack of clear regulations complicates accountability, legal classification, and enforcement, allowing loopholes that criminals can exploit [42]. Also, for companies operating in the global market

or having ties with foreign companies, significant gaps in legislation and approaches to regulating the handling of Big Data, digital tools, etc. often make it impossible to fully assess the risks that arise, and it becomes difficult to comply with standards and adapt to them, launching their own products in new markets or opening structural units in other countries. The need to constantly modify own processes and approaches to handling Big Data leads not only to the loss of some data and management gaps, but also to the loss of some of the benefits of some solutions in the process of adaptation, i. e., the attractiveness and competitiveness of the product decreases.

That's why call for a global regulatory framework is growing, as inconsistent regulations across jurisdictions create vulnerabilities. Startups and corporations struggle to comply with conflicting laws, which may lead to further cyber risks.

That's why a unified regulatory body would slow innovation but ensure a more stable and predictable market, minimizing financial disruptions and enhancing global financial security. Standardized compliance rules would also help level the playing field, reducing the attractiveness of countries in the state of instability for financial fraud and creating a fairer business environment. However, such regulation must be flexible to account for national differences in economic conditions, public behaviour, and technological adoption rates.

Conclusions. Based on the findings of the above, the hypothesis underlying this study has been partially proven. Digital technologies, AI, Big Data do indeed make a significant contribution to improving the financial efficiency of companies both in terms of optimising their own production and management processes, saving resources, and in terms of better matching market conditions, consumer needs, and increasing the competitiveness of the company's product. However, this is only true in a stable external environment, as well as in a comprehensive and balanced approach, implementation of appropriate solutions in the context of the company's stability and maturity, and the ability to control the security of partner companies that have a significant impact on the company's production processes.

In a situation of instability, the implementation of digital technologies may pose more threats than benefits. Also, the effectiveness of such solutions depends heavily on the business model chosen by the company and the industry or field in which it operates, as well as the territory from which it originates. Therefore, the decision to introduce digital technologies in a particular company may not always have the expected financial result. Given the significant cost of implementation of digital solutions, as well as the impact on staff, to achieve a positive effect is required before making a decision to do a comprehensive assessment of the feasibility and readiness of the company.

Digital transformation should be a comprehensive process and consist of a strategy for implementing digital tools in management decisions, balancing the potential of existing staff with the necessary new digital skills to ensure the proper balance between skills and abilities, as well as to maintain a comfortable working environment.

Developing a system for monitoring and ensuring financial and cyber security, as well as enhancing staff skills and knowledge in such security, are critical and often exceed the need for digitalisation itself. Exactly on this stage of digitalisation the most significant gaps occur, creating obstacles to the financial security of companies and their financial growth. A comprehensive assessment of companies' readiness for active digitalisation should also include an assessment of cybersecurity. It is also critical for global companies or those that depend on foreign suppliers or markets to gradually develop clear and consistent global legislation and standards. Without this step, most of the efforts of such companies are ineffective, and the companies themselves are forced to bear either additional risks or costs, and often both at the same time.

Thus, the process of digitalisation is a rather complicated and complex phenomenon, which nevertheless contributes significantly to the financial growth of companies. However, to ensure global financial security not only for companies, but also for industries and the economy as a whole a comprehensive and balanced approach by companies and governments is needed.

List of references

1. Rayaprolu A. 25 + Impressive BD Statistics for 2024. *TechJury*. URL: <https://techjury.net/blog/big-data-statistics/> (Last accessed: 03.04.2025).
2. Generative AI Could Raise Global GDP by 7 %. *Goldman Sachs*. URL: <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent.html> (Last accessed: 03.04.2025).
3. Shirer M. Worldwide Spending on Artificial Intelligence Forecast to Reach \$632 Billion in 2028, According to a New IDC Spending Guide. *IDC*. URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52530724#:~:text=Worldwide%20Spending%20on%20Artificial%20Intelligence,a%20New%20IDC%20Spending%20Guide> (Last accessed: 03.04.2025).
4. What Are Customer Expectations, and How Have They Changed? *Salesforce*. URL: <https://www.salesforce.com/resources/articles/customer-expectations/?sfmc-redirect=369> (Last accessed: 03.04.2025).
5. Ecommerce Business Models: B2B, B2C, C2B, and C2C Explained. *Helix Solutions*. URL: <https://helix-solutions.ai/b2b/breaking-down-b2b-b2c-c2b-c2c-in-ecommerce/> (Last accessed: 03.04.2025).
6. Hüther M. Digitalisierung: Motor im Strukturwandel – Herausforderung für die Wirtschaftspolitik, in: *ORDO. Jahrbuch für die Ordnung von Wirtschaft und Gesellschaft*. 2018. 68. Jg., H. 1. P. 179–216.
7. DEMAND Projekt. URL: <https://www.demand-projekt.de/> (Last accessed: 03.04.2025).
8. Industry as a growth engine in the global economy. Final Report. *Cologne: IW Consult GmbH, Institut der deutschen Wirtschaft Köln*. 2013. 162 p.
9. Goecke H. Big Data in Wirtschaft und Wissenschaft. *IW-Analyse*. 2019. № 130. URL: <https://www.iwkoeln.de/studien/iw-analysen/beitrag/barbara-engels-henry-goecke-big-data-in-wirtschaft-und-wissenschaft.html> (Last accessed: 03.04.2025).

10. Digital-Atlas Deutschland. *IW Consult Data. Insights. Future.* URL: <https://www.iwconsult.de/en/projects/digital-atlas/> (Last accessed: 03.04.2025).

11. Juoti R., Schubmehl D. 2024 Business Opportunity of AI. Generative AI Delivering New Business Value and Increasing ROI. *IDC*. URL: <https://clouddamcdnprodep.azureedge.net/gdc/gdcflXNT6/original> (Last accessed: 03.04.2025).

12. Global study finds that 56 % of employees lack the digital skills they need for jobs in the future / Paus I. et al. *Vodafone Institute for Society and Communications*. URL: <https://www.vodafone-institut.de/en/publication/global-study-finds-that-56-of-employees-lack-the-digital-skills-they-need-for-jobs-in-the-future/> (Last accessed: 03.04.2025).

13. Alphabet Announces Third Quarter 2019 Results. *Alphabet Inc.* URL: https://abc.xyz/investor/static/pdf/2019Q3_alphabet_earnings_release.pdf?cache=d41c776 (Last accessed: 03.04.2025).

14. Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IABQualifikations- und Berufsfeldprojektionen / Wolter M. et al. *Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung*. URL: <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2016/fb1316.pdf> (Last accessed: 03.04.2025).

15. The Role of AI in HR for Global Organizations. *DEEL*. URL: https://deel-website-media-prod.s3.amazonaws.com/The_role_of_AI_in_HR_for_Global_Organizations_d1d667a533.pdf?utm_medium=email&_hsenc=p2ANqtz-IvINXnPOHdGlrRPKwWpjP8aY1B_1A5mopeuO9CquCB7FlX2Si2cmlEwP6XIIrBCxlJaKoA-Id5ybQ1ouGsH1aJgk5dlken76OBgQxheF0Uc-GMSA&_hsmi=323195531&utm_content=323195531&utm_source=hs_automation (Last accessed: 03.04.2025).

16. AI in HR: Position Your Organization for Success. *Gartner*. URL: <https://www.gartner.com/en/human-resources/topics/artificial-intelligence-in-hr> (Last accessed: 03.04.2025).

17. Mayo E. The basis of industrial psychology. *Bulletin of the Taylor Society*. 1924. 9. P. 249–259.

18. Research report 2024: The State of AI at Work. *Asana Work Innovation Lab / Anthropic*. URL: https://assets.asana.biz/m/25388d9dbeadd06e/original/FY25_Q2_State-of-AI-at-Work-Anthropic.pdf (Last accessed: 03.04.2025).

19. Coleman J. The True Cost of Firing an Employee. *Axcrt HR Solutions*. URL: <https://blog.axcethr.com/the-true-cost-of-firing-an-employee/> (Last accessed: 03.04.2025).

20. New Report: 92 % of Jobs Require Digital Skills, One-Third of Workers Have Low or No Digital Skills Due to Historic Underinvestment, Structural Inequities. *National Skills Coalition*. URL: <https://nationalskillscoalition.org/news/press-releases/new-report-92-of-jobs-require-digital-skills-one-third-of-workers-have-low-or-no-digital-skills-due-to-historic-underinvestment-structural-inequities/> (Last accessed: 03.04.2025).

21. Global Cybersecurity Outlook 2024. *World Economic Forum*. URL: <https://www.weforum.org/publications/global-cybersecurity-outlook-2024/> (Last accessed: 03.04.2025).

22. Lagebild im industriellen Mittelstand, BDI-Blitzlicht im Frühsommer 2023. *Bundesverband der Deutschen Industrie*. URL: <https://bdi.eu/publikation/news/umfrage-lagebild-im-industriellen-mittelstand-2023> (Last accessed: 03.04.2025).

23. Luhn H. A. Business Intelligence System. *IBM Journal of Research and Development*. 1958. 2 (4). P. 314–319.

24. Tiao Sh. What Is BD? *Oracle*. URL: <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/> (Last accessed: 03.04.2025).

25. Schroer A. Big Data: What It Is and Why It's Important. *BuiltIn*. URL: <https://builtin.com/articles/big-data> (Last accessed: 03.04.2025).

26. Laney D. 3D data management: controlling data volume, velocity, and variety. *Application Delivery Strategies by META Group Inc*. 2001. Research Note 6.

27. Tkalych D. BDA in Finance: Navigating Data for Financial Success. *Dataforest*. URL: <https://dataforest.ai/blog/introduction-to-big-data-analytics-in-finance> (Last accessed: 03.04.2025).

28. Gonzales M. The corporate risks of artificial intelligence. *Data Sentinel*. URL: <https://www.data-sentinel.com/resources/>

the-corporate-risk-of-artificial-intelligence?utm_source=chatgpt.com (Last accessed: 03.04.2025).

29. The Dark Side of Data-Driven Decision Making: Understanding the Limitations. *Ciohub*. URL: https://ciohub.org/post/2024/04/the-dark-side-of-data-driven-decision-making/?utm_source=chatgpt.com (Last accessed: 03.04.2025).

30. DeNovo Q2 2016 FinTech ReCap and Funding ReView. The un(der)banked is FinTech's largest opportunity. *PricewaterhouseCoopers*. URL: <https://www.scribd.com/document/320030709/DeNovo-Quarterly-Q2-2016> (Last accessed: 03.04.2025).

31. Schneider P. Fusion: Commerzbank-Kunden überzeugter als Deutsche-Bank-Kunden. *WirtschaftsWoche*. URL: <https://www.wiwo.de/unternehmen/banken/brandindex-fusion-commerzbank-kunden-ueberzeugter-als-deutsche-bank-kunden/24164234.html> (Last accessed: 03.04.2025).

32. Jain A. K. Corruption: A Review. *Journal of Economic Surveys*. 2001. № 15. P. 71–121.

33. OECD Economic Outlook, Interim Report September 2023: Confronting Inflation and Low Growth. *Organisation for Economic Co-operation and Development*. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/1f628002-en/index.html?itemId=/content/publication/1f628002-en> (Last accessed: 03.04.2025).

34. Cyentia Institute and SecurityScorecard Research Report: Close Encounters of the Third (and Fourth) Party Kind. *SecurityScorecard*. URL: <https://securityscorecard.com/research/cyentia-close-encounters-of-the-third-and-fourth-party-kind/> (Last accessed: 03.04.2025).

35. Howarth J. 54 NEW Artificial Intelligence Statistics (March 2025). *Exploding Topics*. URL: <https://explodingtopics.com/blog/ai-statistics> (Last accessed: 03.04.2025).

36. Ben-Sasson H., Greenberg R. 38TB of data accidentally exposed by Microsoft AI researchers. *WIZ*. URL: <https://www.wiz.io/blog/38-terabytes-of-private-data-accidentally-exposed-by-microsoft-ai-researchers> (Last accessed: 03.04.2025).

37. Kodesh S. When MFA Isn't Actually MFA. *Retool*. URL: <https://retool.com/blog/mfa-isnt-mfa> (Last accessed: 03.04.2025).

38. Hack at UnitedHealth's tech unit impacted 100 mln people, US health dept says. *Reuters*. URL: https://www.reuters.com/technology/cybersecurity/hack-unitedhealths-tech-unit-impacted-100-mln-people-2024-10-24/?utm_source=chatgpt.com (Last accessed: 03.04.2025).

39. Zurier S. MDR Provider Says Snowflake-linked AT&T Breach Shows Even Giant Companies at Risk. *MSSPAlert*. URL: <https://www.msspalert.com/news/mdr-provider-says-snowflake-linked-att-breach-shows-even-giant-companies-at-risk> (Last accessed: 03.04.2025).

40. AI threat landscape report. *HiddenLayer*. 2024. 43 p.

41. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02016R0679-20160504&qid=1532348683434> (Last accessed: 03.04.2025).

42. Zadvornyykh S. Ersatz traditionellen Währungen durch Cyber-Währung und Blockchain als Hauptfinanztechnologie der Zukunft – Bedarfe, Möglichkeiten und Gefahren. *Economic and Legal Principles of Economic Growth in the Post-Crisis Period: Monograph* / Ed. by Doctor of Economics Sciences, Prof. Pasichnyk Yu. Shioda GmbH, Steyr, Austria, 2021. P. 97–113.