

**Розвиток фінансових відносин**

Діллуба ПАШАЄВА

**ОБ'ЄДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
БЕЗПЕРЕРВНОГО АУДИТУ
І ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА
НА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ
В УМОВАХ АЗЕРБАЙДЖАНУ****Резюме**

У статті досліджено концептуальну та практичну інтеграцію двох взаємопов'язаних цифрових технологій – цифрового двійника та безперервного аудиту – в системи управління та експлуатації комунікаційних компаній. В епоху повсюдної цифровізації телекомунікаційні організації працюють у складних середовищах з великим обсягом даних, що вимагають прийняття рішень у режимі реального часу і безперервного управління ризиками. Цифровий двійник розглядається як віртуальне представлення технічної й сервісної інфраструктури комунікаційного підприємства, що дає змогу в режимі реального часу моделювати, контролювати, а також прогнозувати оптимізацію мережевих процесів і ресурсів. Водночас безперервний аудит – це цифровий механізм забезпечення, що здійснює постійне автоматизоване оцінювання фінансових, операційних й технічних заходів у всьому підприємстві. Методологічно дослідження базується на синтезі теоретичного та порівняльного аналізу, інтерпретативній оцінці вторинних даних, отриманих з корпоративних звітів, програмних документів та галузевих стратегій. У статті зазначено, що їх інтеграція створює замкнуту систему, в якій цифрові двійники мо-

© Діллуба Пашаєва, 2025.

Діллуба Пашаєва, аспірант, викладач кафедри фінансів, Бакинський університет бізнесу, Баку, Азербайджан. ORCID: 0000-0001-9087-5844 Email: dilrubapashayeva@gmail.com

делюють і прогнозують результати діяльності підприємства, а безперервний аудит перевіряє і контролює ці цифрові процеси. На прикладі телекомунікаційного сектору Азербайджану, зокрема Aztelekom LLC, Bakcell LLC і Azercosmos, проведено оцінювання поточного стану технологічної готовності, визначено інституційні та правові бар'єри, окреслено стратегічні шляхи реалізації. Поєднуючи порівняльний аналіз найкращих практик ЄС з оцінкою національної стратегії «Цифровий Азербайджан», дослідження демонструє, що конвергенція цифрового двійника та безперервного аудиту може значно підвищити ефективність, стійкість та конкурентоспроможність комунікаційних підприємств, ознаменувавши новий етап цифрової трансформації країни.

Ключові слова:

безперервний аудит, комунікаційні підприємства, приклад Азербайджану, цифрова трансформація, цифровий двійник.

Класифікація за JEL: M15; M41.

2 рисунки, 19 джерел літератури.

Постановка проблеми

Процес цифровізації є однією із найглибших і найважливіших змін у світовій економіці за останні десятиліття. Ці зміни виходять за межі виробництва та послуг і охоплюють такі стратегічні сфери, як управління, аудит і моніторинг. Поряд із цифровізацією інтеграція інформаційних технологій зі штучним інтелектом, обробкою великої кількості даних, хмарними обчисленнями та технологіями моделювання привела до виникнення нових механізмів управління і контролю. Серед цих сучасних технологій цифрові двійники та безперервний аудит мають особливе значення в телекомунікаційному секторі, де технологічна інфраструктура та інтенсивність послуг є особливо високими.

Технологія цифрових двійників полегшує моделювання фізичних систем та об'єктів у реальному часі, дає змогу моделювати їхню поведінку чи попередньо оцінювати потенційні сценарії. Її головна перевага полягає в тому, що рішення щодо будь-якого об'єкта або процесу більше не ґрунтуються на припущеннях або ретроспективних звітах, а приймаються оперативно з використанням точних цифрових моделей. З іншого боку, безперервний аудит слугує платформою для послідовного, автоматизованого та безперервного моніторингу діяльності підприємства, що виходить за межі традиційних періодичних аудитів. У поєднанні ці технології створюють нову парадигму прийняття рішень, засновану на прозорості оперативних даних та прогнозованих аналітичних висновках.

Телекомунікаційний сектор Азербайджану є переконливим прикладом для вивчення зазначених технологій. Незважаючи на швидкий прогрес у розвитку цифрової інфраструктури та державні ініціативи, такі як стратегія «Цифровий Азербайджан», підприємства продовжують стикатися з конкретними проблемами: регіональними розбіжностями в мережевій інфраструктурі, високими витратами на модернізацію обладнання, нестачею кваліфікованих фахівців з управління цифровими ризиками та прогалинами в законодавстві щодо регулювання технологій моніторингу в режимі реального часу. Ці фактори створюють ризики нерівномірного впровадження та підкреслюють необхідність розроблення структурованих підходів для систематичної інтеграції цифрових двійників та безперервного аудиту.

Водночас порівняння з Європейським Союзом дає важливі уроки. В ЄС безперервний аудит та застосування цифрових двійників вже інтегровано в управління телекомунікаціями в рамках ширшої політики цифрової трансформації. Такий контраст підкреслює важливість передачі знань, гармонізації стандартів та узгодження з міжнародною практикою для Азербайджану, який також є членом Східного партнерства.

На цьому тлі основною метою цієї статті є вивчення теоретичних основ та функціонального потенціалу технологій цифрових двійників та безперервного аудиту, дослідження їх застосування в комунікаційних підприємствах і надання наукових і практичних оцінок у контексті Азербайджану.

Огляд літератури

Дослідження цифрової трансформації в комунікаційних підприємствах все більше підкреслює роль цифрового двійника та безперервного аудиту як взаємопов'язаних технологій, що переформатують практики управління і контролю. Концепція цифрового двійника вперше запроваджена Grieves та

Vickers (2017) і далі розвинена у співпраці з Vickers (2020) та NASA (Porter та ін., 2024). Їхня робота заклала теоретичні основи, визначивши цифровий двійник як віртуальне представлення фізичного об'єкта або процесу, яке може бути використане для моніторингу, прогнозування та оптимізації в режимі реального часу. Ці фундаментальні дослідження критично важливі для розуміння природи управління на основі моделювання.

В останні роки академічна література розширилася і охоплює більш практичні застосування цифрових двійників. Наприклад, Liu та ін. (2023) надають систематичний огляд застосування цифрових двійників у телекомунікаціях, підкреслюючи їхню роль у прогностичній діагностиці та оптимізації мережі. Їхні висновки демонструють суттєве зниження операційного ризику і покращення якості послуг.

Основи безперервного аудиту спочатку були пов'язані з трансформацією практик забезпечення якості. Rezaee та ін. (2002), Kokina та Davenport (2017) описують безперервний аудит як нову цифрову структуру, яка перетворює аудит з ретроспективного процесу перевірки на систему моніторингу в режимі реального часу. У своїх дослідженнях вони зазначають, що безперервний аудит не тільки підвищує прозорість і підзвітність, а й інтегрується зі штучним інтелектом і аналітикою великих даних (Ahmed, 2024) для поліпшення процесу ухвалення рішень на підприємствах.

Марк Гальперн виокремлює цифровий двійник як критично важливу технологічну основу для Індустрії 4.0 і зазначає, що він не лише дозволяє здійснювати моніторинг процесів, а й підтримує оптимізацію операцій, ефективне використання ресурсів і прогнозування відмов (Ogwell, 2018). Науковці Kaur, Mishra та Maheshwari (2020) дослідили конвергенцію технологій цифрового двійника, Інтернету речей (IoT) та машинного навчання і продемонстрували, що їх інтеграція дає змогу створювати динамічні віртуальні моделі, здатні перетворювати отримані в режимі реального часу сенсорні дані на практичні висновки та прогнозовану інформацію для складних систем.

Міжнародні організації також зробили цінний внесок у цю сферу. У звітах World Economic Forum (2022) та PwC (2020) розглядаються глобальні виклики цифрової трансформації та підкреслюється важливість інтеграції нових технологій моніторингу в структури корпоративного управління. Ці джерела засвідчують необхідність гармонізації цифрових двійників та безперервного аудиту із системами кібербезпеки та управління ризиками.

Хоча опрацьована література надає широку концептуальну та практичну основу, залишаються дві важливі прогалини. По-перше, більшість досліджень зосереджуються або на цифрових двійниках, або на безперервному аудиті, проте рідко аналізують їхнє інтегроване застосування в комунікаційних підприємствах. По-друге, є обмежена кількість наукових праць, присвя-

чених конкретно азербайджанському контексту, де телекомунікаційний сектор стикається з унікальними викликами, такими як регіональні розбіжності в інфраструктурі, прогалини в законодавстві та обмеженість ресурсів. Об'єднавши обидві технології в єдиній дослідницькій рамці та розмістивши їх в одному середовищі, ця робота вносить нову перспективу в наукову дискусію про цифрову трансформацію в комунікаціях. Порівняно з Європейським Союзом, де цифрові двійники та безперервний аудит вже інтегровані в рамки управління телекомунікаціями (Fang та ін., 2025), Азербайджан все ще знаходиться на початкових етапах впровадження, що підкреслює важливість обміну знаннями та стандартизації. На відміну від ЄС, де інтеграція підтримується уніфікованими цифровими нормами, Азербайджан все ще не має надійної правової бази, що є критичною прогалиною в дослідженнях.

Метою цього дослідження є вивчення та теоретичне обґрунтування інтегрованого застосування технологій цифрових двійників та безперервного аудиту в комунікаційних підприємствах, визначення того, як їх об'єднання може сформувати єдину систему управління та контролю в режимі реально-го часу, що підвищить ефективність, прозорість і стійкість цифрової економіки. На прикладі телекомунікаційного сектору Азербайджану авторка прагне оцінити технологічну, організаційну та регуляторну готовність до такої інтеграції, порівняти національну практику з моделями цифрового управління ЄС та розробити методологічні й стратегічні рекомендації щодо систематичного впровадження цих технологій, що послужать рушійною силою сталого цифрового перетворення та конкурентоспроможності.

Методологія та теоретичні основи

Методологічною основою дослідження є поєднання теоретичного аналізу, синтезу міжнародного досвіду та оцінки контексту Азербайджану. Дослідницький підхід передбачає вивчення літератури, галузевих звітів та аналізу статистичних даних для кращого розуміння як теоретичних основ, так і практичної реалізації технологій цифрових двійників та безперервного аудиту в комунікаційних підприємствах.

Методологія має три напрямки. По-перше, проведено теоретичний огляд фундаментальних та сучасних робіт – основ технології цифрових двійників (Grieves, 2022), аудиту на основі штучного інтелекту / безперервного аудиту (Kokina та Davenport, 2017; Rezaee та ін., 2002) та докази застосування (Liu та ін., 2023) – для виокремлення основних концепцій та найкращих світових практик. По-друге, здійснено інтегративний синтез цих досліджень для виявлення збігів, розбіжностей та нових тенденцій у використанні циф-

рових технологій для управління та контролю. По-третє, оцінено готовність телекомунікаційного сектору Азербайджану на основі національної політики та інформації, оприлюдненої на рівні компаній, зокрема стратегію «Цифровий Азербайджан», а також щорічні звіти операторів (AzInTelecom, n.d.; Aztelekom, n.d.; Freedom House, 2024).

У дослідженні сформульовано кілька дослідницьких питань, які стали основою для аналізу:

1. Чи може технологія цифрових двійників зменшити операційні ризики та підвищити ефективність прийняття рішень в азербайджанських комунікаційних підприємствах?
2. Чи може безперервний аудит посилити фінансову прозорість та підвищити якість процесів моніторингу?
3. Чи створює інтеграція цифрових двійників та безперервного аудиту вимірюваний синергетичний ефект, що підвищує конкурентоспроможність у телекомунікаційному секторі?

З погляду методологічних інструментів дослідження ґрунтується на якісному аналізі вторинних даних, порівняльній оцінці міжнародних та місцевих практик, а також інтерпретаційному аналізі звітів та статистичних даних. Критерії оцінювання ефективності охоплюють зниження ризиків, поліпшення якості послуг та ступінь досягнутої прозорості. Зниження ризиків оцінювалося за такими показниками, як частота системних збоїв та час відновлення роботи; якість послуг – за рівнем задоволеності користувачів та кількістю скарг; прозорість – за стандартами звітності, доступністю даних і відповідністю міжнародним практикам управління. Хоча дослідження переважно концептуальне, використання практичних прикладів таких підприємств, як Aztelekom, Bakcell і Azercosmos, надає йому практичної значущості.

Обмеження методології пов'язані насамперед з відсутністю обширних емпіричних даних в азербайджанському контексті та залежністю від вторинних джерел. Проте структуроване поєднання теоретичних та прикладних перспектив забезпечує збалансований підхід, що дає змогу дослідженню зробити як академічний, так і практичний внесок.

Результати дослідження

Теоретичні основи технології цифрових двійників

Концепція цифрового двійника вперше представлена в 2002 р. доктором Майклом Гривзом, а згодом використана NASA для моделювання космічних модулів. Ця концепція спрямована на створення віртуальної моделі реального об'єкта або процесу для моніторингу, аналізу і вдосконалення його динамічної поведінки.

Основні компоненти технології цифрового двійника такі:

- фізичний об'єкт або система – інфраструктура або пристрій, що існує в реальному середовищі;
- дані, що генеруються сенсорними датчиками – показники продуктивності в режимі реального часу (температура, напруга, навантаження тощо);
- цифрова модель та аналітичні інструменти – віртуальне моделювання та аналіз поведінки об'єкта;
- потік даних та взаємодія – динамічна синхронізація між фізичним об'єктом та його моделлю.

Такий підхід дає змогу не тільки оцінити поточний стан об'єкта, а й передбачити його майбутні стани.

Майкл Гривз зазначає, що цифровий двійник – це не просто симуляція, а «співіснування фізичних і віртуальних об'єктів у пов'язаній екосистемі та процес їхнього вдосконалення на основі навчання» (Grieves, 2022). У цьому сенсі цифровий двійник функціонує як самонавчальна та адаптивна система.

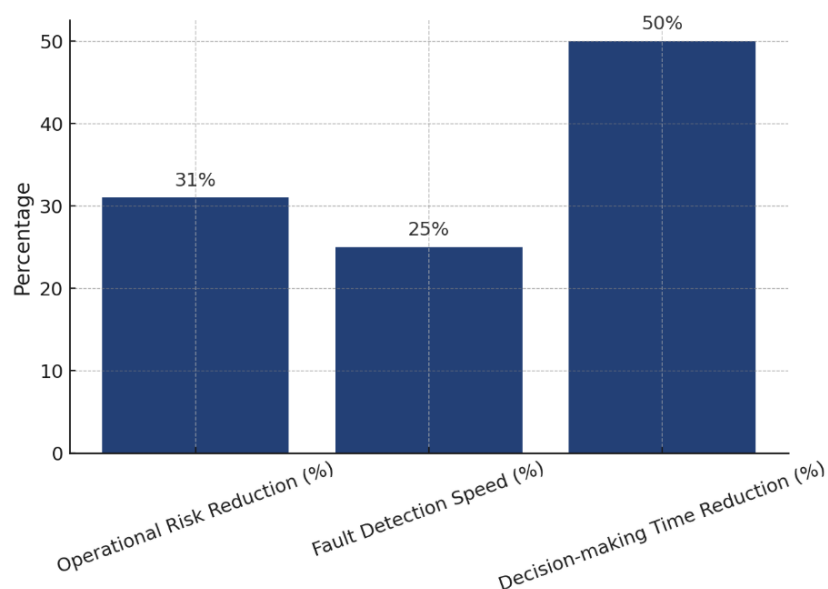
Емпіричні дослідження, проведені в 2023 р. Liu та ін. (2023), показали, що на підприємствах, де впроваджено технологію цифрових двійників:

- операційні ризики були зменшені на 31%,
- виявлення технічних несправностей прискорилося на 25%,
- час прийняття рішень скорочений на 50%.

На рис. 1 нижче візуально порівняно ці показники та продемонстровано багатовимірну ефективність технології.

Рисунок 1

Показники ефективності цифрового двійника (%)

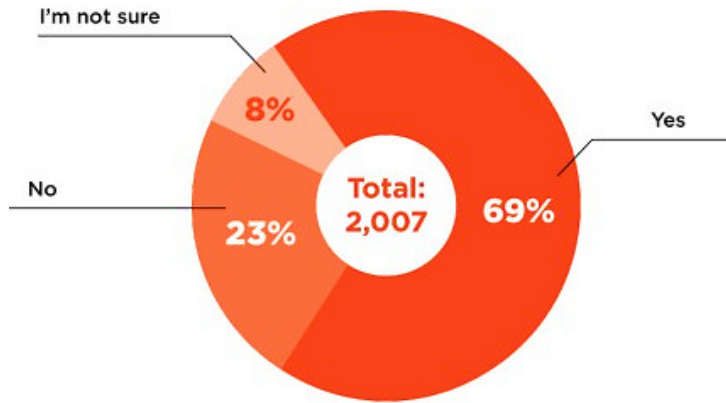


*Примітка: «Percentage» – «Відсотки», «Operational Risk Reduction (%)» – «Зниження операційного ризику», «Fault Detection Speed (%)» – «Швидкість виявлення помилок», «Decision-making Time Reduction (%)» – «Скорочення часу прийняття рішень». Джерело: розроблено авторкою на основі (Liu та ін., 2023).

Ці дані свідчать про те, що цифровий двійник є не лише технічним інструментом, а й інструментом трансформації в сферах управління та аудиту.

Як показано на діаграмі, 69% (а саме 1393 респонденти) повідомили, що їхні організації використовують технологію цифрових двійників. Такий високий відсоток свідчить про те, що цифрові двійники вже не є новою концепцією, а є широко використовуваним оперативним інструментом. Водночас 23% (460 респондентів) заявили, що їхні організації не використовують цю технологію, а 8% (154 респонденти) не були впевнені, що свідчить про відсутність у деяких організаціях обізнаності або чіткої цифрової стратегії щодо цифрових двійників.

Рисунок 2

**Думки респондентів щодо впровадження технології
цифрових двійників**

*Примітка: «Yes» – «Так», «No» – «Ні», «I'm not sure» – «Я не впевнений/-на», «Total» – «Загалом».

Джерело: складено на основі Altair (2022).

Такі висновки вказують на прискорення глобального впровадження технології цифрових двійників, що зумовлено її значним потенціалом у таких секторах, як виробництво, логістика, енергетика та розумна інфраструктура. Високий рівень використання підкреслює зростання визнання цифрових двійників як необхідних інструментів для оптимізації процесів, прогнозного технічного обслуговування та прийняття рішень на основі даних.

Загалом отримані результати свідчать на користь виходу технології цифрових двійників за межі експериментальної фази та її впровадження в основну бізнес-практику. Рівень впровадження на рівні 69% підтверджує, що цифрові двійники є основним компонентом стратегій цифрової трансформації в різних галузях. Однак рівень не впровадження, що становить 23% та 8% респондентів, які не впевнені у своєму виборі, вказує на наявність певних перешкод (високі витрати на впровадження, брак технічних знань чи недостатня цифрова інфраструктура).

Отже, опитування Altair підкреслює, що організації, які активно використовують технологію цифрових двійників, мають більше можливостей для підвищення ефективності, інноваційності та точності прийняття рішень. Це важливий крок на шляху до всебічної цифрової трансформації (Altair, 2022).

У результаті опитування виявлено, що успішне впровадження технології цифрових двійників залежить не лише від технічних можливостей, а й від ефективності національних стратегій цифровізації чи ступеня відкритості до інновацій у телекомунікаційному секторі. У цьому контексті досвід опитаних країн чітко демонструє, що технологія цифрових двійників підвищує ефективність управління в режимі реального часу, конкурентоспроможність та якість послуг у комунікаційних підприємствах.

Теоретичні основи та функціональна роль технології безперервного аудиту

Складність сучасних економічних систем та зростання інтенсивності інформаційних потоків вимагають фундаментальної реструктуризації систем управління та менеджменту підприємств. Традиційні методи аудиту за своєю природою є періодичними та ретроспективними, оскільки ґрунтуються на оцінці попередньої діяльності. У технологічному середовищі, що швидко розвивається, такі підходи часто виявляються недостатніми для своєчасного виявлення ризиків та невідповідностей. Ця обмеженість особливо очевидна в таких секторах, як телекомунікації, де прийняття рішень у режимі реального часу надзвичайно важливі.

У цьому контексті безперервний аудит є ефективною альтернативою традиційним механізмам контролю. Його мета – моніторинг та оцінювання фінансових, операційних і технічних процесів на підприємстві в режимі реального часу. Основна відмінність полягає в переході від ретроспективної перевірки до інтегральної складової оперативного управління в режимі реального часу. В результаті ризики виявляються не після їх виникнення, а на етапі виявлення їхньої ймовірності, що дає змогу вжити негайних заходів у відповідь.

Технологічна інфраструктура систем безперервного аудиту складається з автоматизованих механізмів збору даних, модулів аналітики в режимі реального часу та систем оповіщення. Дані, отримані з різних програмних систем та датчиків по всьому підприємству, обробляються у великому інформаційному середовищі. За допомогою спеціальних алгоритмів автоматично виявляються аномалії та підозрілі дії. Такий підхід зменшує залежність від втручання людини, створюючи більш гнучке, точне та прозоре середовище управління.

В останні роки, теоретичні основи безперервного аудиту були детально розкриті різними дослідниками. Його ефективність та можливості, які він створює в управлінні підприємством, все частіше розглядаються не лише як технічне рішення, а й як філософія управління. Деякі автори характеризують цю технологію як «цифрову імунну систему» для організацій (Kokina та

Davenport, 2017). Завдяки безперервному моніторингу та аналізу система підвищує стійкість організації до внутрішніх та зовнішніх загроз і дозволяє вчасно втручатися в бізнес-процеси.

Впровадження технології безперервного аудиту в комунікаційних підприємствах має особливе значення. У цій галузі потоки послуг, операції абонентів, коригування тарифів і технічні показники постійно змінюються. У такому динамічному середовищі безперервний аудит може застосовуватися в декількох сферах: перевірка точності платежів абонентів, забезпечення своєчасного надання технічних послуг, моніторинг стійкості мережевого обладнання або відстеження відповідності внутрішніх операцій дозволеним параметрам. Разом ці функції посилюють як ефективність роботи з клієнтами, так і внутрішні механізми управління.

Впровадження такої технології приводить до підвищення операційної ефективності та сприяє більш гнучкому та обґрунтованому процесу прийняття рішень. Останні дослідження показують, що підприємства, які впроваджують системи безперервного аудиту, досягли значного зниження показників ризику, а також суттєвої оптимізації ресурсів і часу, пов'язаних з аудитом.

Таким чином, безперервний аудит служить не тільки функцією контролю, а й важливим технологічним інструментом стратегічного управління та сталого розвитку. Його інтеграція з технологією цифрових двійників дає змогу організаціям одночасно та узгоджено контролювати технічну інфраструктуру, фінансові показники та операційні потоки, що приводить до підвищення точності, стійкості й адаптивності.

Інтеграція цифрового двійника та безперервного аудиту: модель синергії та її потенціал застосування

Технології цифрового двійника та безперервного аудиту надають суттєві переваги у вдосконаленні систем управління та контролю підприємства. Однак їхнє комбіноване впровадження дає змогу здійснити більш глибоку трансформацію через поєднання технічних процесів зі стратегічним наглядом.

Attaran та Celik (2023) у праці «*Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities*» (пер. з англ.: Цифровий двійник: Переваги, випадки використання, виклики та можливості) зазначають, що технологія цифрових двійників дозволяє створювати віртуальні моделі реальних об'єктів і процесів, підтримуючи як операційну ефективність, так і стратегічне прийняття рішень. Цифрові двійники дають змогу моделювати фізичні системи у реальному часі, а безперервний аудит забезпечує постійний моніторинг та

оцінювання цих процесів. Таким чином, цифровий двійник відтворює операції підприємства, а безперервний аудит систематично аналізує та перевіряє поведінку та ефективність цієї копії. Така інтеграція підвищує як технічну надійність, так і відповідність вимогам у фінансовій та оперативній сферах (Attaran та Celik, 2023).

Синергія цих двох технологій полягає в їх взаємодоповнювальних ролях. Цифровий двійник відтворює реальні процеси та прогнозує потенційні ризики й майбутні стани, а безперервний аудит оцінює ці симуляції, своєчасно надає сигнали впевненості для прийняття рішень. Така взаємодія створює динамічну систему зворотного зв'язку, що підвищує стійкість і прозорість у всій організації.

Вказана модель особливо актуальна для комунікаційних підприємств, де передова технологічна інфраструктура та великомасштабні фінансові потоки тісно пов'язані між собою. У подібних умовах порушення в будь-якій із зазначених сфер можуть вплинути на всю систему. Завдяки впровадженню цифрового двійника та безперервного аудиту організації досягають цілісного управління за допомогою єдиної інформаційної платформи, а не фрагментованих механізмів контролю.

З технологічного погляду інтеграція утворює замкнуту систему, що складається з чотирьох етапів: цифрове представлення, аналіз на основі моделювання, оцінка на основі аудиту та прийняття рішень, орієнтованих на дії. Така структура забезпечує моніторинг у реальному часі й оперативне управління.

Зрештою, інтеграція цифрового двійника та безперервного аудиту забезпечує такі стратегічні переваги: гнучкість, точність, прозорість та стійкість до ризиків. Окрім технічних вдосконалень, вона дає змогу підприємствам суттєво підвищити конкурентоспроможність в епоху цифрової трансформації.

Перспективи та реалії застосування технологій цифрових двійників та безперервного аудиту в комунікаційних підприємствах Азербайджану

Упродовж останніх років інформаційно-комунікаційний сектор Азербайджану демонструє стрімкий розвиток. За одне десятиліття телекомунікаційна інфраструктура значно розширилася, прискорився перехід на цифрові послуги, а більша частина населення отримала доступ до високошвидкісного інтернету. Подібні умови слугують підґрунтям для впровадження інноваційних технологій, зокрема цифрових двійників та систем безперервного аудиту.

Головні організації, зокрема Aztelecom, Baktelecom, Bakcell, Nar Mobile та Azericell, спільно забезпечують технічну інфраструктуру, абонентську базу і пропускну здатність даних, що створює сприятливе середовище для переходу на цифрові технології моніторингу та моделювання (Freedom House, 2024).

Застосування технології цифрових двійників може розпочатися з моделювання елементів мережі, процесів обслуговування та інфраструктури обладнання. Наприклад, можуть бути розроблені цифрові моделі базових станцій як у столиці, так і в регіонах, що дасть змогу проводити прогнозний аналіз розподілу навантаження, енергоспоживання та схильності до збоїв. Синхронізація в режимі реального часу між цифровими моделями і фізичною інфраструктурою дозволяє вживати превентивних заходів щодо безпеки та стійкості.

Безперервний аудит може доповнити це через моніторинг правильного застосування тарифів в абонентських системах, аналіз механізмів оплати та перевірки дотримання встановлених умов корпоративної політики знижок.

Азербайджан вже володіє інфраструктурою ІКТ та людськими ресурсами, які сприяють впровадженню цих технологій. Такі установи, як AzInTelecom та Центр обробки даних, урядова стратегія «Цифровий Азербайджан» та розширення платформ електронного урядування сприяють інтеграційним зусиллям (AzInTelecom, 2022). Однак відсутність достатньої підготовки, механізмів передачі технологій та програм інтеграції залишається перешкодою. Для вирішення цієї проблеми необхідні як міжнародні партнерства, так і місцеві ініціативи з професійного розвитку.

Зазначені технології доцільно розглядати як стратегічні інструменти, що підвищують прозорість та сприяють прийняттю рішень на основі фактичних даних. Коли рішення моделюються за допомогою цифрової моделі-близнюка, а потім оцінюються через безперервний аудит, їх впровадження ґрунтується на реальних даних, а результати можна прогнозувати. Це мінімізує втрати ресурсів і водночас підвищує задоволеність громадян.

З огляду на вищевказане можна зробити висновок, що нинішній рівень технічної готовності, національна стратегія цифровізації та відкритість сектору до інновацій разом створюють сприятливе підґрунтя для впровадження цих технологій у комунікаційних підприємствах Азербайджану. Їхня імплементація може сприяти не тільки підвищенню ефективності внутрішніх процесів, а й покращенню позицій країни за міжнародними показниками цифрової ефективності.

Виклики та рішення у технологічному впровадженні систем цифрових двійників і безперервного аудиту

Хоча впровадження технологій цифрових двійників і безперервного аудиту в комунікаційних підприємствах має значний потенціал, цей перехід може супроводжуватися різними технологічними, організаційними та юридичними проблемами. Незважаючи на те, що такі труднощі належать до різних сфер, вони перешкоджають повній оперативній ефективності та затримують процес трансформації.

Технологічні бар'єри є одними з найбільш негативних. Для ефективного функціонування технології цифрових двійників необхідний збір високоточних даних у режимі реального часу. Однак на деяких підприємствах застаріле обладнання, недосконалі сенсорні технології та зберігання даних у неструктурованих форматах перешкоджають послідовному та якісному потоку інформації. Крім того, аналітичні платформи і центри обробки даних, необхідні для безперервного аудиту, вимагають значних фінансових і технічних інвестицій, що становить значне навантаження, особливо для середніх підприємств (Abu-Hassan та ін., 2024).

Організаційні та управлінські питання не менш важливі. Впровадження інноваційних технологій на підприємствах зв'язку часто залежить від навчання та адаптації персоналу до нових робочих процесів. Якщо працівники не зможуть ефективно застосовувати ці технології, очікуване підвищення ефективності не буде досягнуто. Більше того, менеджери, які працюють за традиційними моделями управління, можуть виявляти скептицизм щодо цифрових систем підтримки прийняття рішень, що ще більше ускладнює процес інтеграції. Тому в управлінській структурі необхідні як культурні, так і функціональні перетворення.

Юридичні та етичні питання вимагають не менш ретельного розгляду. Цифрові двійники і системи безперервного аудиту часто передбачають обробку персональних даних, моніторинг поведінки користувачів та комплексну реєстрацію внутрішніх процесів. Відповідно, розроблення нових правових механізмів для захисту безпеки даних та особистої конфіденційності стає надзвичайно важливою. Наразі в законодавстві Азербайджану відсутня повністю сформована нормативна база, яка конкретно регулювала би впровадження цифрових технологій моніторингу та аудиту (OECD, 2022; PwC, 2020; World Economic Forum, 2022). Ця правова прогалина може призвести до неоднозначності щодо відповідальності та дотримання вимог під час впровадження.

Проте жодна з цих проблем не є непереборною. З технічного погляду програми модернізації можна реалізувати за допомогою державно-приватного партнерства. Зокрема, передача міжнародних технологій та досвіду може відігравати вирішальну роль у сприянні цьому процесу. Організаційні питання можна вирішити за допомогою систематичних програм навчання, запровадження нових цифрових ролей і обов'язків та впровадження механізмів мотивації. Юридичні та етичні виклики можна подолати шляхом оновлення юридичних документів, пов'язаних з цифровізацією, прийняття міжнародних стандартів захисту персональних даних та синхронізації правових рамок з технологічними досягненнями.

Висновки

Результати дослідження емпірично та концептуально підтверджують, що цифровий двійник та безперервний аудит є взаємодоповнюваними технологіями, здатними трансформувати системи управління і контролю в комунікаційних підприємствах. Їхня інтеграція утворює цикл «моделювання – валідація – прийняття рішення», де цифровий двійник генерує прогнозовані висновки на основі даних мережі в режимі реального часу, а безперервний аудит забезпечує автоматизоване оцінювання та перевірку і створює багатовимірну систему управління, що відповідає вимогам цифрової економіки.

Згідно з емпіричними даними, така технологічна синергія ефективна. У міжнародній практиці 69% опитаних організацій вже використовують системи цифрових двійників, тобто вони перейшли від експериментального до загальноприйнятого інструменту управління. Крім того, підприємства, що впровадили технологію цифрових двійників, продемонстрували зниження операційних ризиків на 31%, прискорення виявлення технічних несправностей на 25% та скорочення часу прийняття рішень до 50%. Паралельно з цим підприємства, що впроваджують безперервний аудит, досягли значного зниження показників ризику, а також значної оптимізації аудиторських ресурсів і часу, що підтверджує його роль як «цифрової імунної системи», підвищуючи інституційну стійкість.

Застосований методологічний підхід дав змогу комплексно оцінити технологічну, організаційну та нормативну готовність сектору до інтеграції цифрових двійників і безперервного аудиту. Таким чином, для телекомунікаційного сектору Азербайджану дослідження визначає подвійний ландшафт можливостей і обмежень. З одного боку, ініціативи в рамках стратегії «Цифровий Азербайджан», розширення інфраструктури ІКТ та зацікавленість основних операторів (Aztelekom LLC, Bakcell LLC та Azercosmos) створюють сприятливі передумови для впровадження. З іншого боку, такі стійкі перешкоди, як застаріла регіональна інфраструктура, недостатній людський капі-

тал та фрагментована правова база для цифрового нагляду, уповільнюють системне впровадження. Усунення цих прогалин вимагає технологічної модернізації, підготовки спеціалізованого персоналу та гармонізації регуляторних стандартів з практиками цифрового управління ЄС.

З порівняльного погляду аналіз показує, що держави-члени ЄС інституціоналізували як цифрові двійники, так і безперервний аудит як частину своєї політики цифровізації телекомунікацій, забезпечуючи інтегроване управління даними та дотримання вимог кібербезпеки. Для Азербайджану удосконалення відповідно до цих стандартів у рамках Східного партнерства прискорило б конвергенцію до міжнародної цифрової зрілості й конкурентоспроможності.

З теоретичного погляду дослідження розширює академічне розуміння цифрової трансформації в комунікаціях, пропонуючи інтегровану структуру, в якій моделювання в реальному часі та постійна валідація співіснують як взаємодоповнювальні механізми ефективності, прозорості й стійкості. Дослідження також підтверджує, що безперервний аудит функціонує як механізм зворотного зв'язку, який підвищує точність та адаптивність цифрового двійника, забезпечує відповідність модельованих процесів реальній оперативній динаміці, що дає змогу постійно вдосконалювати цифрові моделі. З практичного погляду результати дослідження свідчать, що поєднання цих технологій може підвищити гнучкість підприємства, точність прийняття рішень та ефективність використання ресурсів, сприяти досягненню більш широких цілей національної цифрової трансформації.

Майбутні дослідження доцільно зосередити на кількісному оцінюванні синергетичного ефекту, зокрема підвищення продуктивності, коефіцієнтів зниження витрат та показників зменшення ризиків, через реалізацію пілотних проєктів в азербайджанських телекомунікаційних підприємствах. Така емпірична валідація закріпить представлені теоретичні основи та надасть вимірювані показники цифрової конкурентоспроможності в регіональній телекомунікаційній галузі.

Рекомендації

Аналіз та висновки цього дослідження свідчать, що для успішного впровадження цифрових двійників та безперервного аудиту в комунікаційних підприємствах необхідні не лише доступ до технологій, а й системний стратегічний підхід, відповідна правова база й постійні інвестиції в людський капітал. На основі отриманих результатів можна сформулювати кілька рекомендацій.

З технічного погляду підприємствам слід надати пріоритет модернізації мережевої інфраструктури, впровадженню сенсорних технологій та переходу

на хмарні сервіси. Такі заходи необхідні для забезпечення збору, синхронізації та безпечної обробки даних у режимі реального часу. Модернізація застарілого обладнання, особливо в регіонах, мінімізує перебої в роботі та сприятиме надійному функціонуванню цифрових двійників і систем безперервного аудиту.

На організаційному рівні рекомендується запровадити нові професійні ролі, такі як менеджер з цифрових ризиків, інженер з моделювання та аналітик з безперервного моніторингу. Навчальні програми, що підтримуються як місцевими ініціативами, так і міжнародними партнерствами, мають вирішальне значення для формування компетенцій, необхідних для ефективного використання цих технологій. Підприємства також повинні культивувати цифрову культуру, яка підтримує інновації та інтегрує прийняття рішень з інструментами, що ґрунтуються на роботі з даними.

З позиції нормативно-правового регулювання уряд повинен посилити правове поле через запровадження положень, що стосуються цифрового нагляду, захисту даних і прийняття рішень на основі штучного інтелекту. Оскільки безперервний аудит передбачає збір та моніторинг конфіденційної інформації, чіткість нормативно-правового регулювання надзвичайно важлива для забезпечення підзвітності та дотримання вимог. Зближення Азербайджану з Європейським Союзом у рамках Східного партнерства дає можливість гармонізувати власні стандарти з практиками ЄС, де технології цифрового аудиту й моделювання вже широко застосовують у телекомунікаційному секторі.

Доцільно посилити стратегічну співпрацю держав і приватних секторів. Державна підтримка у вигляді стимулів, пільгового фінансування та програм передачі технологій прискорила би впровадження технологій цифрових двійників і безперервного аудиту. У довгостроковій перспективі такі рішення варто розглядати не лише як технічні інновації, а й як невід'ємні елементи стратегії цифрового переходу для підприємств зв'язку. На основі досвіду ЄС та адаптації рішень до місцевих потреб Азербайджан може зміцнити свою конкурентну позицію, забезпечивши сталий прогрес у цифровій економіці.

Список використаної літератури

- Abu-Hassan, K., McElhone, D., & Cassey, B. (2024, October 9). The role of digital twins in driving sustainability. *Open Access Government*, 90–91. <https://doi.org/10.56367/OAG-044-11453>
- Ahmed, F. (2024, October). *Big data and AI revolution in audit: Investigating the shift in methodologies and outcomes* [Unpublished]. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36400.16646>

- Altair. (2022). *2022 Digital Twin Global Survey Report*. https://altair.com/docs/default-source/pdfs/altair_dt-global-survey-report_web.pdf
- Attaran, M., & Celik, B. G. (2023, March). Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, Article 100165. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277266222300005X?via%3Dihub>
- AzInTelecom. (n.d.). *Documents and reports*. <https://azintelecom.az/en/documents>.
- Aztekom. (n.d.). *Annual report*. <https://aztekom.az/en/menu/125-annual-report>.
- Fang, Q., Wang, Z., & Dang, L. (2025, December). Audit effort in the digital era: Uncovering the dynamic interplay of business strategy and digital transformation. *International Journal of Accounting Information Systems*, 56, Article 100747. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2025.100747>
- Freedom House. (2024). *Freedom on the net 2024: Azerbaijan*. <https://freedomhouse.org/country/azerbaijan/freedom-net/2024>
- Grieves, M. (2024). Intelligent digital twins and the development and management of complex systems. *Digital Twin*, 1(1). <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17574.1>
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems* (pp. 85–113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- Kaur, M. J., Mishra, V. P., & Maheshwari, P. (2020). The convergence of digital twin, IoT, and machine learning: Transforming data into action. In M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far, & H. Jahankhani (Eds.), *Digital twin technologies and smart cities* (pp. 3–25). Springer.
- Kokina, J., & Davenport, T. H. (2017). The emergence of artificial intelligence: How automation is changing auditing. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 14(1), 115–122. <https://doi.org/10.2308/jeta-51730>
- Liu, X., Jiang, D., Tao, B., Xiang, F., Jiang, G., Sun, Y., Kong, J., & Li, G. (2023). A systematic review of digital twin about physical entities, virtual models, twin data, and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 55, Article 101876. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101876>
- Ogewell, V. (2018, January 4). *Digital twins: Beware of naive faith in simplicity*. Engineering.com. <https://www.engineering.com/digital-twins-beware-of-naivefaith-in-simplicity>
- OECD. (2022, April 27). *Promoting enterprise digitalisation in Azerbaijan* [Report]. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/promoting-enterprise-digitalisation-in-azerbaijan_6a612a2a-en.html

- Porter, G., Vickers, J., Savoie, R., & Aubanel, M. (2024). NASA's Michoud assembly facility: Developing a factory digital twin. In M. Grieves & E. Y. Hua (Eds.), *Digital twins, simulation, and the metaverse* (pp. 145–162). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69107-2_8
- PwC. (2020). *Digitalisation in finance and accounting: And what it means for financial statement audits*. <https://www.pwc.de/en/digitalisation-in-finance-and-accounting.html>
- Rezaee, Z., Sharbatoghlie, A., Elam, R., & McMickle, P. L. (2002). Continuous auditing: Building automated auditing capability. *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 21(1), 147-163. <https://doi.org/10.2308/aud.2002.21.1.147>
- World Economic Forum. (2022, January 11). *The Global Risks Report 2022 (17th ed.)*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf

Отримано: 1 серпня 2025 р.

Рецензовано: 19 серпня 2025 р.

Рекомендовано до друку: 25 вересня 2025 р.