

Хохлачова Юлія Євгеніївна*Державний торговельно-економічний університет, м. Київ*
ORCID 0000-0002-0787-5112**Хавікова Юлія Ігорівна***Державний торговельно-економічний університет, м. Київ*
ORCID 0000-0003-1017-3602**Черкаський Давид Олександрович***Національний технічний університет Дніпровська політехніка, м. Дніпро*
ORCID: 0009-0003-8516-6252**Зубченко Назар Станіславович***Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро*
ORCID: 0009-0000-9973-7624**Переметчик Данило Олександрович***Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро*
ORCID: 0009-0006-1978-5858

МОДЕЛІ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ Е-УРЯДУВАННЯ ТА ЇХ АДАПТАЦІЯ ДО РЕІНЖИНІРИНГУ ПОСЛУГ

Анотація. У статті здійснено порівняльний аналіз моделей цифрових платформ публічних послуг, що застосовуються в електронному урядуванні: централізованої, федеративної, модульної та реєстрово-орієнтованої. Показано, що вибір архітектурної моделі визначає не лише технічні характеристики платформи, а й можливості реінжинірингу (глибинного перепроєктування) бізнес-процесів е-послуг, ступінь повторного використання компонентів, гнучкість змін та операційну стійкість. Запропоновано формальну багатокритеріальну модель оцінювання цифрової платформи, яка включає індекс сумісності реєстрів, індекс зрілості програмного інтерфейсу застосунків (Application Programming Interface, API), показник складності інтеграції та інтегральний індекс доцільності реінжинірингу. Розроблено підхід до моделювання переходу між архітектурними моделями в ході реінжинірингу послуг із урахуванням обмежень ресурсів, регуляторних вимог та організаційної готовності. Наведено приклад використання середовища Matlab для візуалізації профілів інтеграційної складності різних моделей платформи, а також псевдокод алгоритму планування переходу між ними. Окреслено основні бар'єри впровадження модернізованих платформ: фрагментованість реєстрів, відсутність єдиних довідників, низька стандартизація API, інерційність бек-офісних процесів, кадрові та інституційні обмеження. Запропоновано шляхи подолання цих бар'єрів: створення національної рамки інтероперабельності, послідовний реінжиніринг критичних процесів, поетапна міграція до реєстрово-орієнтованої або модульної платформи, застосування контрактів на рівні сервісів і даних, а також використання аналітики журналів подій для пріоритизації змін. Результати можуть бути використані органами публічної влади під час вибору цільової архітектури е-урядування, планування програм цифрової трансформації та обґрунтування інвестицій у реінжиніринг е-послуг.

Ключові слова: електронне урядування, цифрова платформа, реінжиніринг послуг, централізована модель, федеративна модель, модульна платформа, реєстрово-орієнтована архітектура, інтероперабельність реєстрів, API, бек-офісні процеси, Matlab-візуалізація.

Khokhlachova Yuliia*State University of Trade and Economics, Kyiv*
ORCID 0000-0002-0787-5112**Khavikova Yuliia***State University of Trade and Economics, Kyiv*
ORCID 0000-0003-1017-3602**Cherkasky David***National Technical University Dnipro Polytechnic, Dnipro*
ORCID: 0009-0003-8516-6252

Zubchenko NazarUniversity of Customs and Finance, Dnipro
ORCID: 0009-0000-9973-7624**Peremetchyk Danylo**University of Customs and Finance, Dnipro
ORCID: 0009-0006-1978-5858

MODELS OF DIGITAL E-GOVERNMENT PLATFORMS AND THEIR ADAPTATION TO SERVICE

Abstract. The article provides a comparative analysis of models of digital platforms of public services used in e-government: centralized, federated, modular and registry-oriented. It is shown that the choice of architectural model determines not only the technical characteristics of the platform, but also the possibilities of reengineering (deep redesign) of e-services business processes, the degree of component reuse, flexibility of changes and operational stability. A formal multi-criteria model for evaluating a digital platform is proposed, which includes the registry compatibility index, the application programming interface (API) maturity index, the integration complexity index and the integral reengineering feasibility index. An approach to modeling the transition between architectural models during service reengineering is developed, taking into account resource constraints, regulatory requirements and organizational readiness. An example of using the Matlab environment to visualize the integration complexity profiles of different platform models is given, as well as pseudocode for the transition planning algorithm between them. The main barriers to the implementation of modernized platforms are outlined: fragmentation of registries, lack of unified directories, low API standardization, inertia of back-office processes, personnel and institutional constraints. Ways to overcome these barriers are proposed: creation of a national interoperability framework, sequential reengineering of critical processes, phased migration to a registry-oriented or modular platform, application of contracts at the service and data levels, as well as the use of event log analytics to prioritize changes. The results can be used by public authorities when choosing a target e-government architecture, planning digital transformation programs, and justifying investments in reengineering e-services.

Keywords: e-government, digital platform, service reengineering, centralized model, federated model, modular platform, registry-oriented architecture, registry interoperability, API, back-office processes, Matlab visualization.

1. Вступ

Цифрова трансформація публічного управління зумовлює перехід від розрізнених інформаційних систем до інтегрованих платформ, що підтримують надання публічних послуг через єдині вікна, мобільні застосунки та галузеві цифрові екосистеми [1–3]. У низці міжнародних досліджень підкреслюється, що саме архітектура цифрової платформи – від рівня інтеграції реєстрів до організації бізнес-процесів – визначає спроможність урядів реалізовувати стратегії сталого розвитку, підвищувати ефективність використання ресурсів і забезпечувати соціальну справедливість у технологічну епоху [2–5,13,14,20]. У цьому контексті публічний сектор дедалі частіше переймає підходи до цифрового переходу, напрацьовані у корпоративному середовищі та представлено в сучасних працях із бізнес-процесів і цифрової трансформації [1,4,5,13,14]. Ключовою методологічною парадигмою, що лежить в основі трансформації платформ е-урядування, виступає управління бізнес-процесами (Business Process Management, BPM) та реінжиніринг бізнес-процесів (Business Process Reengineering, BPR) [6,9,11,15,17]. Дослідження з управління якістю та продуктивністю показують, що структуроване моделювання процесів, виділення критичних ланок і систематичне вдосконалення операцій дозволяють досягати суттєвого зростання результативності та орієнтації на споживача навіть у складних галузях, таких як авіаперевезення чи туризм [9,10]. У публічному секторі це доповнюється вимогами до прозорості, підзвітності та багаторівневого управління, що потребує комплексних рішень з підтримки прийняття змін, формалізації ієрархій, управління знаннями та формування «Mode 2» моделей виробництва знань [11,15,16]. Окремі дослідження акцентують увагу на реінжинірингу наскрізних ланцюгів створення цінності «від запиту до надання послуги», що безпосередньо корелює з задачами реформування адміністративних процедур і сервісів е-урядування [6,17,19]. Розвиток цифрових платформ публічних послуг відбувається на тлі ускладнення технологічних та інфраструктурних умов – від масового впровадження концепцій «Індустрії 4.0» до появи багатодомених кіберфізичних систем [7,8,12,13]. Це висуває підвищені вимоги до надійності, безпеки, управління ризиками та стійкості цифрових рішень, що широко обговорюється у працях з безпеки та надійності складних технічних систем [12], цифрових «розумних» середовищ [14,18] та нових архітектур телекомунікаційних мереж [8]. Одночасно зростає роль формальних методів аналізу бізнес-процесів – зокрема, процес-майнінгу, який забезпечує виявлення реальних сценаріїв виконання

послуг, «вузьких місць» та ефектів від змін архітектури платформи на основі журналів подій [21]. Таким чином, розроблення формальних моделей оцінювання та трансформації архітектур цифрових платформ е-урядування спирається на міждисциплінарний масив напрацювань із BPM/BPR, управління якістю, цифрової трансформації, інженерії знань та аналізу процесів [1–21] і є *актуальним завданням* як для теорії, так і для практики публічного управління.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Вибір методології дослідження обумовлений необхідністю поєднати концептуальний аналіз архітектур цифрових платформ е-урядування з їх формалізованим кількісним оцінюванням та перевіркою на прикладних сценаріях реінжинірингу бізнес-процесів. З огляду на це, в роботі використано комплексний підхід, що спирається на сучасні напрацювання у сфері цифрового урядування, управління бізнес-процесами та реінжинірингу (BPM/BPR), процес-майнінгу, а також моделювання складних соціотехнічних систем [1–7,9–11,15–21]. Зокрема, загальна логіка дослідження узгоджується з рекомендаціями щодо проектування платформ публічних послуг та їх ролі в трансформації ланцюгів створення публічної цінності [1–4,6,17,19]. На першому етапі здійснюється формалізована класифікація архітектурних моделей цифрових платформ (централізована, федеративна, модульна, реєстрово-орієнтована) з позицій інтеперабельності реєстрів, зрілості API, автоматизації бек-офісних процесів та інтеграційної складності. На основі праць з BPM/BPR і процес-майнінгу [6,9,11,15,18,21] для кожної моделі визначаються релевантні показники, індекси та обмеження, що дозволяє перейти від вербального опису архітектур до формалізованих векторів параметрів. Далі вводяться узагальнені індекси (сумісності реєстрів, зрілості API, автоматизації, інтеграційної складності, придатності до реінжинірингу), які використовуються в багатокритеріальній оптимізаційній постановці задачі вибору та поетапної трансформації цільової архітектури [5–7,11,15–17,20]. На наступних етапах передбачається побудова моделі траєкторій переходу між архітектурами з урахуванням ресурсних, часових та ризикових обмежень, а також апробація запропонованих показників і правил на прикладі сценаріїв реінжинірингу е-послуг із використанням інструментів Matlab для візуалізації профілів інтеграційної складності та індексів придатності до реінжинірингу [7,8,12–14,18]. Така комбінація якісних і кількісних методів забезпечує можливість не лише порівняти існуючі архітектурні рішення, а й сформувати формалізовану дорожню карту переходу до більш зрілих моделей цифрових платформ е-урядування.

3. Мета і задачі дослідження

Мета дослідження полягає в розробленні формалізованої багатокритеріальної моделі оцінювання та вибору архітектури цифрових платформ е-урядування з урахуванням їх придатності до реінжинірингу бізнес-процесів публічних послуг.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **задачі дослідження**:

1. Здійснити порівняльний аналіз архітектурних моделей цифрових платформ е-урядування (централізованої, федеративної, модульної та реєстрово-орієнтованої) з позицій їх технічних характеристик, можливостей інтеграції та гнучкості модернізації.
2. Розробити систему кількісних показників інтеперабельності та інтеграційної складності цифрових платформ, що включає індекс сумісності реєстрів, індекс зрілості API, індекс автоматизації бек-офісних процесів та показник інтеграційної складності.
3. Сформувати інтегральний індекс архітектурної придатності до реінжинірингу на основі багатокритеріального підходу, який дозволяє враховувати множинні аспекти трансформації платформ.
4. Побудувати формальну модель вибору цільової архітектури та планування траєкторій переходу між архітектурними моделями з урахуванням ресурсних, часових, регуляторних та ризикових обмежень.
5. Розробити алгоритмічний підхід до поетапної трансформації цифрових платформ е-урядування з можливістю його програмної реалізації та візуалізації в середовищі Matlab.
6. Ідентифікувати основні бар'єри впровадження модернізованих платформ е-урядування та запропонувати комплекс механізмів їх подолання для практичного застосування органами публічної влади.

4.1. Класифікація архітектурних моделей цифрових платформ

Під цифровою платформою е-урядування в даній роботі розуміється інтегрована соціотехнічна система, що охоплює сукупність технічних засобів, програмного забезпечення, реєстрів даних, сервісних модулів, каналів доступу (вебпортالي, мобільні застосунки, службові інтерфейси) та формалізованих організаційних регламентів, які спільно забезпечують повний життєвий цикл публічних послуг у цифровій формі – від ініціювання звернення до фіксації результату та аналітичного супроводу [1,6,11,16]. На відміну від окремих інформаційних систем, така платформа функціонує як

цілісне середовище оркестрації бізнес-процесів, даних і сервісів, у межах якого реалізуються механізми автентифікації та авторизації користувачів, маршрутизації запитів, транзакційної обробки звернень, моніторингу показників якості послуг і підтримки управлінських рішень [6,9,15,17,20]. Структурно цифрова платформа е-урядування включає, як правило, кілька взаємопов'язаних шарів: інфраструктурний (обчислювальні ресурси, мережі, засоби надійності та безпеки), платформний (шини даних, API-шлюзи, модульні сервіси, інструменти управління процесами), прикладний (галузеві підсистеми, сервіси е-послуг, інтерфейси для посадових осіб) та організаційно-нормативний (регламенти надання послуг, SLA/SLO, політики доступу до даних, моделі відповідальності) [7,8,12–14,18]. Саме узгодженість між цими шарами, ступінь стандартизації інтерфейсів, єдність довідників та моделей даних визначають потенціал платформи щодо масштабування, повторного використання компонентів і проведення глибинного реінжинірингу бізнес-процесів на основі підходів BPM/BPR та процес-майнінгу [6,9,11,15,18,21]. Узагальнюючи наведене, цифрова платформа е-урядування розглядається не лише як технологічна основа автоматизації послуг, а як комплексний інструмент реалізації стратегій цифрової трансформації публічного сектору, що забезпечує інтегроване управління потоками даних, процесів і публічної цінності [1,4,5,13,16,19,20]. Розглянемо чотири узагальнені архітектурні моделі таких платформ, які найчастіше фіксуються в сучасній науковій та прикладній літературі і слугують базою для їх порівняльного аналізу та планування переходів між архітектурами [1–7,11,15–17,20].

Централізована модель цифрової платформи е-урядування передбачає розміщення ключових сервісів, реєстрів та бізнес-логіки в єдиному центрі обробки даних із домінуванням монолітного прикладного комплексу або жорстко інтегрованого ядра модулів, що управляються однією архітектурною командою [1,4,6]. Такий підхід забезпечує високий ступінь уніфікації даних, єдину політику безпеки, централізовану автентифікацію й авторизацію, спрощений аудит транзакцій та регуляторний нагляд за всіма процесами надання послуг [3,5,20]. Архітектурно централізована платформа є зручною точкою концентрації журналів подій, телеметрії та реєстрових операцій, що створює передумови для впровадження єдиного центру обробки аналітики безпеки, моніторингу продуктивності та якості сервісів. У контексті нейронних технологій така модель дає змогу будувати централізовані конвеєри обробки подій із застосуванням LSTM- та CNN-LSTM-архітектур для прогнозування навантажень, виявлення аномалій у запитах до реєстрів, кореляції інцидентів та адаптивного налаштування правил доступу [18,19,21]. Єдиний дата-центр полегшує розгортання інтегрованих IDS/SIEM-рішень на основі глибокого навчання, де потоки журналів платформи й реєстрів подаються на нейромережеві моделі процес-майнінгу та предиктивного моніторингу бізнес-процесів, що дає змогу своєчасно виявляти «вузькі місця» та відхилення від регламентів [15,18,21]. Водночас надмірна централізація обмежує гнучкість локального реінжинірингу окремих підсистем, створює ризики «vendor lock-in» та ускладнює незалежне експериментування з альтернативними нейромережевими сервісами без втручання у центральне ядро платформи [6,11].

Федеративна модель орієнтована на існування множини відомчих або регіональних платформ, кожна з яких зберігає автономію в реалізації бізнес-логіки та внутрішньої інфраструктури, але дотримується спільних стандартів інтероперабельності, обміну даними та безпеки [2,5,10]. На відміну від централізованого підходу, міжвідомча взаємодія забезпечується через узгоджені протоколи, національні або галузеві шини даних, а також спільні базові сервіси (ідентифікація, електронний підпис, транспортний рівень повідомлень), які формують «федеративний каркас» екосистеми е-урядування [3,12,20]. Перевагою моделі є можливість поетапного розвитку та модернізації окремих платформ без критичної залежності від єдиного центру, а також краща відповідність специфічним потребам різних органів влади чи секторів [4,6,13]. У сфері нейроорієнтованої реалізації федеративна архітектура є природним середовищем для застосування концепцій федеративного навчання, коли локальні моделі глибинного навчання (наприклад, LSTM- або AE+LSTM-моделі для предиктивного моніторингу процесів і виявлення аномалій у журналах подій) тренуються на відомчих даних, а до центрального рівня передаються лише агреговані або узагальнені параметри [18,19]. Це дає змогу враховувати обмеження щодо конфіденційності та суверенітету даних, знижуючи потребу в масовій централізованій консолідації чутливої інформації. Додатковою можливістю є побудова міжвідомчих репозиторіїв моделей, де типові нейронні сервіси (класифікація звернень, пріоритизація заяв, виявлення підозрілих транзакцій) адаптуються до конкретних контекстів через механізми донавчання, що підтримується спільними, але гнучкими архітектурними стандартами [11,16,17]. Разом з тим неоднорідність технічної бази та рівня зрілості окремих учасників федерації ускладнює уніфіковане розгортання складних нейромережових конвеєрів і потребує додаткових механізмів узгодження якості даних та моделей [6,13].

Модульна модель будується навколо набору повторно використовуваних сервісних компонентів – модулів електронної ідентифікації та автентифікації, електронного підпису й документообігу, платежів, сповіщень, трекінгу звернень, аналітики та звітності, які підключаються до прикладних систем через стандартизовані API й типові адаптери [1,4,7]. У цій архітектурі платформа виступає «конструктором сервісів», де нові е-послуги формуються шляхом композиції наявних модулів та оркестрації їх взаємодії згідно з модельованими бізнес-процесами [6,11,15]. Модульність природно узгоджується з мікросервісними підходами та DevOps-практиками, що істотно скорочує цикл розроблення, тестування та введення в експлуатацію нових рішень, а також полегшує поетапний реінжиніринг окремих сегментів платформи. У контексті нейронних технологій модульна модель дозволяє винести функції інтелектуальної обробки даних у спеціалізовані «ML-модулі» – модулі предиктивної аналітики, модулі процес-майнінгу, модулі антифрод-контролю тощо, які реалізують CNN, LSTM, AE+LSTM чи інші глибинні архітектури як незалежні сервіси [18,19,21]. Це спрощує експерименти з різними нейромережевими підходами, дає змогу масштабувати обчислювальні ресурси саме під «важкі» аналітичні задачі та забезпечує повторне використання моделей у різних послугах без дублювання коду. Додаткову перевагу становить можливість впровадження «канонічних» API для обслуговування запитів до нейросервісів (наприклад, для оцінки ризику транзакції, прогнозування часу обробки звернення, класифікації запитів громадян), що сприяє стандартизації інтеграції й зменшує інтеграційну складність при розширенні портфеля послуг [7,15,17]. Водночас модульність вимагає жорсткого управління залежностями між компонентами, прозорого версіювання моделей та підтримки узгодженості даних між різними аналітичними модулями, що ускладнює супровід екосистеми без належної архітектурної дисципліни [6,11].

Реєстрово-орієнтована архітектура фокусується на первинних державних реєстрах (населення, бізнесу, нерухомості, податків, транспортних засобів тощо), які розглядаються як «джерела істини» з чітко визначеними моделями даних, сервісами читання/запису через стандартизовані API, політиками доступу та обов'язковим журналюванням усіх операцій [2,5,10,12]. Платформа в такій моделі виконує роль оркестратора бізнес-процесів, що в режимі «одного запиту» забезпечують комплексне обслуговування подій життя та бізнес-подій громадян і організацій, звертаючись до кількох реєстрів та модулів одночасно [3,4,6]. Відмова від дублювання даних, сувора нормалізація довідників і єдині ідентифікатори сутностей значно підвищують якість інформаційної бази для подальшого реінжинірингу послуг і роблять реєстрово-орієнтовану модель найбільш придатною до побудови просунутої аналітики та інтелектуальних сервісів [5,13,20]. Саме на цьому рівні найбільш перспективною є «нейро реалізація» у вигляді комплексних конвеєрів на основі процес-майнінгу та глибинного навчання: реєстрові події та журнали оркестрації утворюють багатовимірні часові ряди та графи взаємодії, на яких можна будувати LSTM- і AE+LSTM-моделі для прогнозування відмов, затримок, порушень SLA/SLO, а також графові нейронні мережі для виявлення підозрілих зв'язків між суб'єктами й об'єктами (антифрод, протидія відмиванню коштів, виявлення конфліктів інтересів) [18,19,21]. Висока структурованість даних у поєднанні з повнотою журналів забезпечує якісну базу для навчання моделей предиктивного моніторингу бізнес-процесів, систем для службовців (оптимальні маршрути обробки звернень, підказки щодо необхідних документів), а також для побудови цифрових двійників ключових реєстрів, що дає змогу моделювати ефекти змін у регламентах або бізнес-логіці до їх реального впровадження [14,18,21]. Водночас початкова побудова такої архітектури та міграція на неї наявних систем є ресурсомісткими й потребують високого рівня міжвідомчої координації, узгодження прав власності на дані та єдиної політики управління метаданими [6,12,13].

Для переходу від якісного опису архітектурних моделей цифрових платформ е-урядування до їх формалізованого порівняння доцільно ввести систему узгоджених показників, що відображають ключові властивості інтегрованості, інтеграційної складності та придатності до реінжинірингу. Охарактеризовані вище централізована, федеративна, модульна та реєстрово-орієнтована моделі відрізняються не лише організацією бізнес-логіки та розподілом ролей між учасниками, а насамперед способами інтеграції реєстрів, стандартами API, ступенем автоматизації бек-офісних процесів і структурою інтеграційних зв'язків [1–4,6,11,15,20]. У сучасних дослідженнях цифрового урядування та BPM наголошується, що саме ці характеристики значною мірою визначають операційну стійкість платформи, можливості масштабування сервісів, ефективність впровадження аналітики й інтелектуальних модулів, а також витрати на підтримку та модернізацію [3,5,6, 9,11,17]. Однак інтуїтивне, суто описове порівняння архітектур виявляється недостатнім для задач планування переходу між моделями, обґрунтування інвестицій у реінжиніринг е-послуг і побудови формальних алгоритмів трансформації платформ. Для підтримки прийняття рішень потрібні кількісні індикатори, які б відображали ступінь узгодженості реєстрів, зрілість API, рівень автоматизації бек-офісу,

складність інтеграційної тканини та інтегральну придатність платформи до глибинних змін бізнес-процесів [6,9,11,15,18,21]. Саме тому далі вводяться показники інтегрованості та інтеграційної складності, а також формулюється модель вибору й трансформації архітектури, яка дозволяє описати процес реінжинірингу як послідовність переходів між централізованою, федеративною, модульною та реєстрово-орієнтованою моделями з урахуванням ресурсних, регуляторних і ризикових обмежень [1–7,11,15–17,20]. Це створює формальну основу для подальшої побудови оптимізаційних процедур і нейроорієнтованих інструментів підтримки рішень щодо розвитку цифрових платформ е-урядування.

4.2. Показники інтегрованості та інтеграційної складності

Для кількісної оцінки моделей введемо такі поняття.

Нехай $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ — множина реєстрів; $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ — множина сервісів е-послуг; $M = \{M_1, M_2, \dots, M_k\}$ — множина сервісних модулів платформи.

Індекс сумісності реєстрів I_{reg} визначимо як середнє нормоване значення ступеня узгодженості схем даних та протоколів доступу між парами реєстрів:

$$I_{\text{reg}} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m c_{ij}, \quad (1)$$

де $c_{ij} \in [0,1]$ — показник сумісності пари реєстрів R_i, R_j (1 — повна сумісність, 0 — відсутність інтегрованості).

Індекс зрілості API I_{api} для платформи визначимо як:

$$I_{\text{api}} = \frac{1}{p} \sum_{\ell=1}^p w_{\ell} a_{\ell}, \quad (2)$$

де p — кількість оцінюваних характеристик (наприклад, стандартизація, версіонування, безпека, продуктивність, документація), $a_{\ell} \in [0,1]$ — оцінка відповідної характеристики, w_{ℓ} — ваги, $\sum_{\ell=1}^p w_{\ell} = 1$.

Індекс автоматизації бек-офісних процесів I_{back} :

$$I_{\text{back}} = 1 - \frac{\sum_{q=1}^h t_q^{\text{man}}}{\sum_{q=1}^h (t_q^{\text{man}} + t_q^{\text{auto}})}, \quad (3)$$

де h — кількість типових операцій у бек-офісі, t_q^{man} — середній час виконання операції вручну, t_q^{auto} — час автоматизованого виконання (якщо є). Чим більше I_{back} , тим вищий рівень автоматизації.

Показник інтеграційної складності C_{int} запропонуємо у вигляді:

$$C_{\text{int}} = \alpha L_{\text{links}} + \beta L_{\text{proto}} + \gamma L_{\text{trans}}, \quad (4)$$

де L_{links} — кількість логічних зв'язків між системами (інтерфейсів), L_{proto} — кількість різних протоколів/форматів даних, L_{trans} — кількість трансформацій даних між моделями; α, β, γ — вагові коефіцієнти.

Інтегральний індекс архітектурної придатності до реінжинірингу I_{BPR} визначимо як:

$$I_{\text{BPR}} = \lambda_1 I_{\text{reg}} + \lambda_2 I_{\text{api}} + \lambda_3 I_{\text{back}} - \lambda_4 \frac{C_{\text{int}}}{C_{\text{max}}}, \quad (5)$$

де C_{max} — максимальне значення складності серед розглянутих варіантів, $\lambda_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1$. Чим вище I_{BPR} , тим більш придатною є модель платформи до проведення глибинного реінжинірингу послуг.

4.3. Модель вибору та трансформації архітектури

Нехай $A = \{A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}, A^{(4)}\}$ — множина можливих архітектурних моделей: централізована, федеративна, модульна, реєстрово-орієнтована. Для кожної з них можна оцінити вектор показників:

$$z^{(j)} = (I_{\text{reg}}^{(j)}, I_{\text{api}}^{(j)}, I_{\text{back}}^{(j)}, C_{\text{int}}^{(j)}), \quad j = 1, \dots, 4.$$

Тоді задача вибору цільової архітектури A^* формулюється як:

$$A^* = \arg \max_{A^{(j)} \in A} I_{\text{BPR}}^{(j)} \quad (6)$$

за умови дотримання ресурсних та регуляторних обмежень:

$$\begin{cases} \text{Cost}(A^{(j)}) \leq C_{\text{budget}}, \\ \text{Time}(A^{(j)}) \leq T_{\text{limit}}, \\ \text{Risk}(A^{(j)}) \leq R_{\text{max}}. \end{cases} \quad (7)$$

Процес реінжинірингу можна розглядати як послідовність переходів між архітектурами:

$$A^{(0)} \rightarrow A^{(1)} \rightarrow \dots \rightarrow A^{(f)},$$

де $A^{(0)}$ — поточна архітектура, $A^{(f)}$ — цільова. Для кожного кроку k необхідно оцінити приріст індексу реінжинірингової придатності $\Delta I_{\text{BPR}}^{(k)}$ та витрати $\Delta C^{(k)}$, що дозволяє сформувати оптимальну траєкторію переходу.

Для переходу від якісного опису до аналітичних висновків введено систему показників

інтероперабельності й інтеграційної складності: індекс сумісності реєстрів, індекс зрілості API, індекс автоматизації бек-офісних процесів, інтеграційний показник складності та інтегральний індекс архітектурної придатності до реінжинірингу. На їх основі сформульовано багатокритеріальну модель вибору цільової архітектури з урахуванням ресурсних та регуляторних обмежень, а також подано формалізацію процесу реінжинірингу як послідовності переходів між архітектурними станами з оцінкою приросту ефективності та витрат. Додатково запропоновано алгоритмічний підхід до планування трансформації платформи, який передбачає поетапну уніфікацію реєстрів, стандартизацію та розгортання API-шлюзів, модульну реорганізацію бек-офісних процесів і перехід до реєстрово-орієнтованої логіки. Для візуалізації профілів інтеграційної складності та інтегральних індексів придатності до реінжинірингу обґрунтовано використання середовища Matlab. Сукупність запропонованих методів забезпечує відтворювану процедуру оцінювання й порівняння архітектурних моделей, а також слугує базою для побудови дорожніх карт трансформації цифрових платформ е-урядування, що безпосередньо пов'язує теоретичні положення з подальшим розділом, присвяченим результатам та їх аналізу.

4.3. Результати та їх аналіз

На основі введених вище показників інтероперабельності, інтеграційної складності та інтегрального індексу архітектурної придатності здійснено кількісне зіставлення централізованої, федеративної, модульної та реєстрово-орієнтованої моделей, що дозволяє перейти від суто якісних характеристик до формалізованих профілів їх сильних і слабких сторін [1–7,11,15–21]. Результати структуровано таким чином, щоб послідовно продемонструвати: по-перше, узагальнені експертні оцінки ключових критеріїв у табличній формі; по-друге, приклади розрахунку інтеграційної складності та інтегральних індексів із подальшою візуалізацією у середовищі Matlab; по-третє, оцінювання очікуваних ефектів реінжинірингу для різних архітектур на основі зміни відповідних індексів; по-четверте, практичну інтерпретацію псевдокоду алгоритму планування трансформації платформи в контексті реальних сценаріїв цифрової трансформації. Такий підхід забезпечує логічний перехід від розроблених теоретико-методичних положень до їх прикладної апробації та створює основу для подальшого обговорення отриманих результатів і формування практичних рекомендацій для органів публічної влади.

Порівняння архітектурних моделей. Для ілюстрації відмінностей між розглянутими архітектурними моделями доцільно узагальнити їх ключові характеристики у вигляді єдиної порівняльної матриці. На основі експертних оцінок та аналізу практик впровадження рішень е-урядування в окремих країнах (Естонія, Данія, Південна Корея, Сінгапур) систематизовано показники, що безпосередньо впливають на здатність платформи підтримувати реінжиніринг е-послуг: індекс сумісності реєстрів, індекс зрілості API, індекс автоматизації бек-офісу, інтеграційна складність, гнучкість реінжинірингу, залежність від постачальника та бар'єри міграції до цільового стану. Таблиця 1 узагальнює ці оцінки для централізованої, федеративної, модульної та реєстрово-орієнтованої моделей, відображаючи їх відносні переваги й обмеження з погляду інтеграції, модернізації та довгострокової стійкості архітектури. Це створює базу для подальшого кількісного аналізу, моделювання інтеграційної складності та оцінювання ефектів реінжинірингу для різних траєкторій переходу між моделями.

Як видно з табл. 1, централізована модель забезпечує відносно передбачувану інтеграційну складність, але обмежує гнучкість реінжинірингу. Федеративна модель має високі інтеграційні витрати через різномірність реєстрів та API, але дає органам влади автономію. Модульна та реєстрово-орієнтована моделі краще підтримують глибинний реінжиніринг завдяки чіткому розділенню даних і сервісів.

Моделювання інтеграційної складності та Matlab-візуалізації. Розглянемо спрощений приклад розрахунку показника C_{int} за формулою (4) для різних моделей. Нормуємо ваги $\alpha = 0,5$, $\beta = 0,3$, $\gamma = 0,2$. Нехай для певної країни отримано:

централізована модель: $L_{\text{links}} = 20$, $L_{\text{proto}} = 4$, $L_{\text{trans}} = 10$;

федеративна модель: $L_{\text{links}} = 60$, $L_{\text{proto}} = 10$, $L_{\text{trans}} = 40$;

модульна модель: $L_{\text{links}} = 35$, $L_{\text{proto}} = 6$, $L_{\text{trans}} = 20$;

реєстрово-орієнтована модель: $L_{\text{links}} = 30$, $L_{\text{proto}} = 5$, $L_{\text{trans}} = 18$.

Тоді, наприклад, для модульної моделі:

$$C_{\text{int}}^{\text{mod}} = 0,5 \cdot 35 + 0,3 \cdot 6 + 0,2 \cdot 20 = 17,5 + 1,8 + 4 = 23,3.$$

Аналогічно обчислюються C_{int} для інших моделей. Нормувавши C_{int} до $[0,1]$ за $C_{\text{max}} = \max C_{\text{int}}^{(j)}$, можна підставити у формулу (5) для обчислення I_{BPR} .

Таблиця 1

Порівняльна характеристика архітектурних моделей цифрових платформ

Критерій	Централізована	Федеративна	Модульна	Реєстрово-орієнтована
Індекс сумісності реєстрів	середній	низький-середній	середній-високий	високий
Індекс зрілості API	середній	різний	високий	високий
Індекс автоматизації бек-офісу	середній	різний	високий	високий
Інтеграційна складність	середня	висока	середня	середня
Гнучкість реінжинірингу	низька-середня	середня	висока	висока
Залежність від постачальника	висока	середня	середня	середня-низька
Бар'єри міграції до цільового стану	низькі-середні	високі	середні	високі на старті, далі знижуються

Для ілюстрації використання Matlab розглянемо візуалізацію профілів інтеграційної складності чотирьох моделей. Наведемо приклад коду:

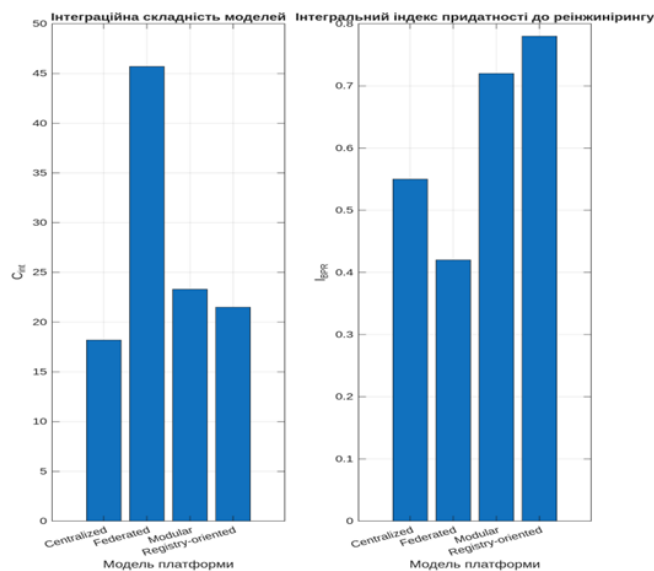


Рис. 1. Приклад Matlab-візуалізації інтеграційної складності та індексу придатності до реінжинірингу для різних архітектурних моделей.

Для наочного подання результатів дослідження інтеграційної складності та придатності до реінжинірингу побудовано Matlab-візуалізацію для чотирьох архітектурних моделей платформи е-урядування: централізованої, федеративної, модульної та реєстрово-орієнтованої. На стовпчикових діаграмах відображено відповідні кількісні оцінки моделі.

Отримані графіки дозволяють наочно порівняти моделі: федеративна демонструє найвищу інтеграційну складність, а реєстрово-орієнтована і модульна мають вищі значення I_{BPR} при помірній складності інтеграції.

Оцінювання ефектів реінжинірингу для різних моделей. Запропонований індекс I_{BPR} застосовано до оцінювання сценаріїв реінжинірингу е-послуг. Нехай I_{BPR}^{before} та I_{BPR}^{after} — значення індексу до та після реінжинірингу для відповідної моделі. Введемо відносний приріст:

$$\Delta_{rel} I_{BPR} = \frac{I_{BPR}^{after} - I_{BPR}^{before}}{I_{BPR}^{before}}. \quad (8)$$

Розглянемо гіпотетичний приклад (табл. 2).

Як бачимо, модульна та реєстрово-орієнтована моделі дають більший потенційний приріст I_{BPR} за умови реалізації відповідних заходів реінжинірингу порівняно з централізованою та федеративною моделями.

Псевдокод алгоритму планування трансформації платформи. Для практичної реалізації переходу від поточної архітектури $A^{(0)}$ до цільової $A^{(f)}$ доцільно використовувати поетапний підхід,

який враховує обмеження бюджету, часу та ризиків. Наведемо псевдокод узагальненого алгоритму (рис. 2).

Таблиця 2

Приклад відносного приросту індексу придатності до реінжинірингу

Модель	---	---	, %
Централізована	0.45	0.58	28.9
Федеративна	0.40	0.52	30.0
Модульна	0.55	0.75	36.4
Реєстрово-орієнтована	0.60	0.82	36.7

Лістинг 1.1 – Планування трансформації цифрової платформи е-урядування

```

1.  -
2.
3.
4.
5.  A_curr - (Centralized, Federated, Modular, Registry)
6.  A_target -
7.  Budget -
8.  T_limit -
9.  Risk_max -
10. Services[] -
11.
12.
13. Roadmap[] -
14.
15. 1. I_reg, I_api, I_back, C_int A_curr.
16.
17. 2. A_target ( ).
18.
19. 3. I_BPR_curr I_BPR_target.
20.
21. 4. s Services[]:
22. 4.1. s (legal, , ).
23. 4.2. C_int(s).
24. 4.3. Eff(s).
25.
26.
27. 5.
28. E1 -
29. E2 - API-.
30. E3 - -.
31. E4 - -.
32. E5 - -.
33.
34. 6. E1:
35. 6.1. Cost(E1), Time(E1), Risk(E1).
36. 6.2. I_BPR(E1).
37.
38. 7. Seq[] :
39. - Budget;
40. - T_limit;
41. - Risk_max;
42. -
43.
44. 8. seq Seq[]:
45. 8.1. I_BPR(seq).
46. 8.2. Cost(seq), Time(seq), Risk(seq).
47.
48. 9. seq* I_BPR(seq*)
49.
50. 10. seq* Roadmap[]
51.
52.
53. 11. Roadmap[] .

```

Рис. 2. Програмна реалізація

Така форма подання дозволяє узгодити аналітичну частину дослідження з практичною реалізацією, забезпечивши прозорість логіки прийняття рішень і відтворюваність результатів у різних сценаріях модернізації. Псевдокод виступає містком між концептуальною моделлю та її інженерною імплементацією. Структура алгоритму відображає комплексний характер трансформації платформ е-урядування, де технічні, організаційні та інтеграційні параметри взаємопов'язані. Алгоритм інтегрує оцінювання інтероперабельності реєстрів, зрілості API, складності інтеграції, автоматизації бек-офісних процесів, а також критичності та ефектів реінжинірингу е-послуг. Програмний результат демонструє повний цикл автоматизованого планування трансформації цифрової платформи е-урядування. Система проаналізувала поточну архітектуру типу Federated, оцінила індекси сумісності реєстрів, зрілості API, автоматизації бек-офісу та інтеграційної складності й визначила інтегральний показник придатності до реінжинірингу. Було розраховано, що поточне значення індексу становить 0.2925, а цільове значення архітектури Registry-oriented – 0.6425, тобто необхідний приріст має бути не меншим за 0.3500. Програма провела ранжування е-послуг за критичністю, складністю інтеграції та потенційним ефектом реінжинірингу, виокремивши ті, що найбільше впливають на загальний приріст ефективності. Після цього система оцінила параметри макроетапів трансформації, включно з вартістю, тривалістю, ризиками та очікуваним приростом індексу. Згенерувавши п'ять можливих послідовностей виконання етапів, алгоритм порівняв їх за сумарним ефектом та обмеженнями бюджету, часу й ризику. Найкращою виявилася послідовність, у якій етапи виконуються в порядку E1 → E2 → E3 → E4 → E5, оскільки вона забезпечує максимальний приріст індексу – 0.6650 – і при цьому вкладається у встановлені обмеження. На завершальному кроці система перетворила оптимальну послідовність у деталізовану дорожню карту, розбиту на п'ять хвиль реінжинірингу. Для кожної хвилі

визначено період виконання, очікуваний приріст ефективності, рівень ризику, вартість та перелік е-послуг, що входять у відповідний блок робіт. Отримана дорожня карта відображає послідовний перехід від очищення та уніфікації реєстрів до стандартизації API-шлюзів, модульної реорганізації бек-офісних процесів, впровадження реєстрово-орієнтованої логіки та фінальної оптимізації й моніторингу. Програмний результат фактично формує готовий сценарій трансформації, який можна використовувати як основу для управлінських рішень, бюджетного планування та подальшої деталізації проекту цифрової модернізації.

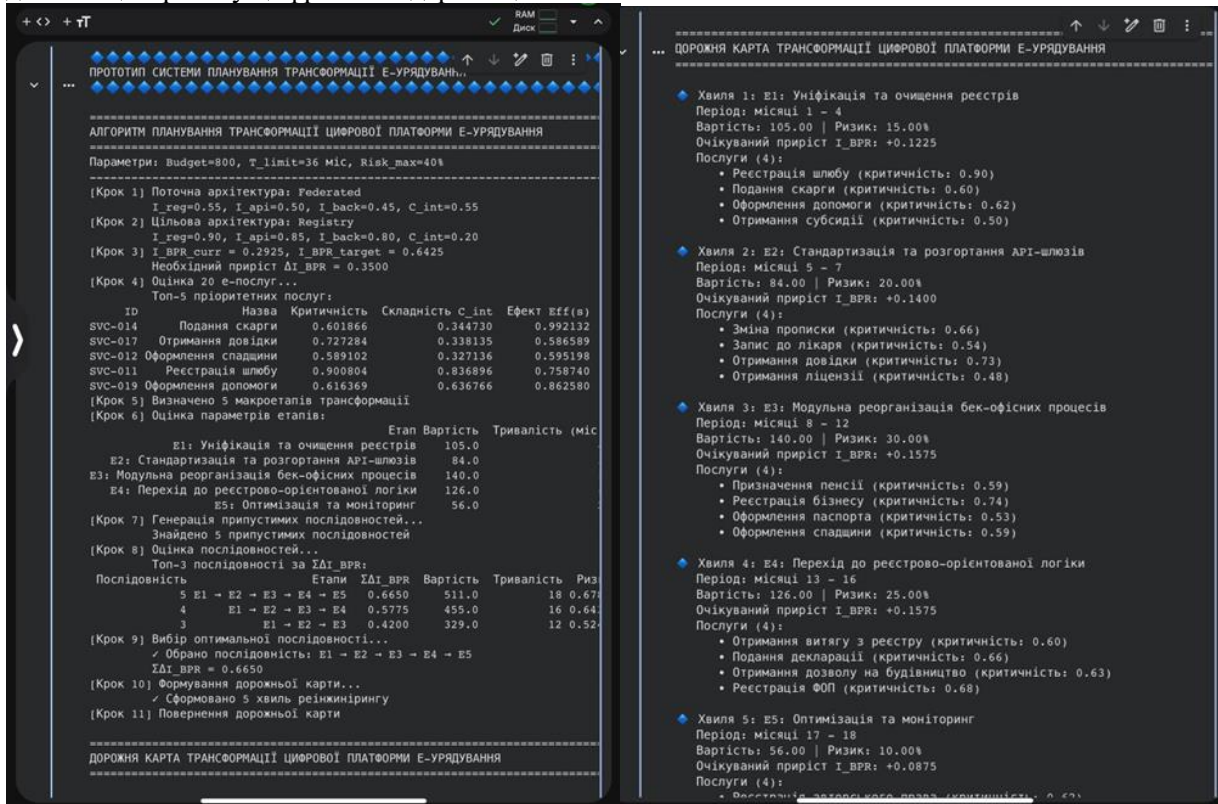


Рис. 3. Прототип системи планування трансформації цифрової платформи Е-урядування

Радіальна діаграма використана для наочного порівняння двох архітектур цифрової платформи е-урядування — поточної Federated та цільової Registry-oriented. Формат radar-chart дає змогу одночасно показати різницю за кількома ключовими індексами, що характеризують здатність платформи до інтеграції, автоматизації та реінжинірингу.



Рис. 4. Графік показників сумісності реєстрів

На графіку подано чотири основні показники: сумісність реєстрів (I_{reg}), зрілість API (I_{ari}), автоматизацію бек-офісу (I_{back}) та зворотний показник інтеграційної складності ($1-C_{int}$). Червона фігура відображає профіль поточної федеративної архітектури, а зелена — цільової реєстрово-орієнтованої. Чим далі значення виходить на зовнішнє кільце, тим зрілішою та більш інтероперабельною є архітектура. Зелений контур значно перевищує червоний за всіма показниками:

реєстрова модель забезпечує кращу узгодженість даних, вищу стандартизацію API, розвиненішу автоматизацію бек-офісних процесів і нижчу інтеграційну складність. Діаграма демонструє, що перехід до реєстрово-орієнтованої архітектури дає системний приріст у всіх ключових напрямках, пов'язаних із продуктивністю, гнучкістю та можливістю масштабного реінжинірингу е-послуг. Запропонований алгоритм може бути реалізований у вигляді програмного прототипу, який інтегрується з реєстрами е-послуг та інструментами моніторингу, використовуючи журнал подій, метрики продуктивності та аналітичні панелі.

Існуючі підходи до трансформації цифрових платформ е-урядування зазвичай фокусуються на окремих аспектах модернізації: управлінні бізнес-процесами, покращенні інтероперабельності, оптимізації інформаційних потоків або впровадженні стандартів API. У літературі широко представлені дослідження, що описують окремі моделі реінжинірингу або окремі архітектурні рішення, однак більшість із них подає процес трансформації як статичне або лінійне завдання, не враховуючи багатокроковість переходів між архітектурами, залежність між сервісами та обмеження ресурсів. Такі підходи залишають поза увагою системне поєднання критеріїв інтероперабельності, інтеграційної складності та придатності до реінжинірингу, що є визначальними для платформ із великою кількістю розподілених реєстрів і сервісних модулів. Запропонований нами метод принципово відрізняється тим, що формує трансформацію як формальну оптимізаційну задачу. Поєднання індексів сумісності реєстрів, зрілості API, автоматизації бек-офісу та інтеграційної складності створює багатовимірний профіль архітектури, який можна порівнювати, оцінювати й використовувати як основу для обчислення приросту ефективності I_BPR . На відміну від традиційних описових методів, наш алгоритм моделює не лише стан поточної та цільової архітектури, а всю траєкторію переходу між ними. Він генерує кілька можливих послідовностей етапів, обчислює їхній вплив на індекс реінжинірингової придатності та обирає оптимальну послідовність із урахуванням бюджету, часу та ризику. Цей підхід дозволяє перейти від інтуїтивних управлінських рішень до формалізованої, відтворюваної та доказової процедури вибору дорожньої карти трансформації. Інноваційність підходу полягає також у тому, що він інтегрує стратегічний рівень (оцінка архітектурних моделей) із тактичним (пріоритизація е-послуг) та операційним (класифікація хвиль реінжинірингу). На практиці це дає змогу адаптувати дорожню карту під конкретну платформу, визначати критичні групи послуг, прогнозувати ефект змін та мінімізувати інтеграційні ризики. На відміну від існуючих методів, що трактують модернізацію як разову або монолітну ініціативу, запропонований алгоритм дозволяє будувати гнучкі поетапні сценарії переходу, включно з проміжними архітектурними станами. Таким чином, наш підхід створює універсальну інструментальну основу для планування трансформації в умовах обмежених ресурсів, високої фрагментованості даних і складної інституційної структури публічного сектору, забезпечуючи якісну перевагу над статичними або вузькофокусованими методиками.

Висновки і перспективи подальших досліджень

У роботі обґрунтовано, що вибір архітектурної моделі цифрової платформи е-урядування безпосередньо визначає її придатність до глибинного реінжинірингу послуг. На основі системи показників інтероперабельності та інтеграційної складності (індекс сумісності реєстрів, індекс зрілості API, індекс автоматизації бек-офісу, показник інтеграційної складності) сформовано інтегральний індекс придатності до реінжинірингу, який дозволяє здійснювати кількісне порівняння архітектур. Показано, що модульна та реєстрово-орієнтована моделі мають суттєво вищий потенціал для поетапної модернізації та повторного використання компонентів порівняно з централізованою та федеративною архітектурами, які обмежують гнучкість змін або породжують надмірну інтеграційну складність. Запропоновано формалізовану постановку задачі вибору цільової архітектури як оптимізаційної задачі максимізації інтегрального індексу за ресурсними та ризиковими обмеженнями, а також алгоритм планування трансформації платформи у вигляді псевдокоду. Алгоритм поєднує стратегічний рівень (вибір цільової архітектури) з тактичним і операційним (пріоритизація послуг, оцінювання ефектів та витрат, формування хвиль реінжинірингу) та може бути покладений в основу програмних засобів підтримки прийняття рішень. Демонстрація у середовищі Matlab підтвердила придатність запропонованих показників для візуального аналізу профілів інтеграційної складності й архітектурної зрілості. Окремо ідентифіковано ключові бар'єри трансформації платформ е-урядування технічного, організаційного, регуляторного та фінансово-кадрового характеру, а також запропоновано комплекс механізмів їх подолання: формування національної рамки інтероперабельності, сегментований реінжиніринг критичних послуг, формалізація API-контрактів, розвиток практик управління даними й метаданими, посилення ролі архітектора підприємства, системне використання аналітики журналів подій. Практичні рекомендації щодо аудиту поточної архітектури, вибору цільового стану, побудови

дорожньої карти трансформації та інтеграції інструментів візуальної аналітики створюють методичну основу для органів публічної влади, які планують модернізацію цифрових платформ. Подальші дослідження доцільно спрямувати на поглиблення економіко-математичних моделей оцінки вартості володіння платформою з урахуванням ризиків кібербезпеки, а також на моделювання кризових сценаріїв функціонування різних архітектурних рішень за умов пікових навантажень чи відмов окремих реєстрів. Це дозволить доповнити запропонований підхід інструментами стійкісного планування та надати урядовим інституціям ще більш обґрунтовані рекомендації щодо вибору та поетапної реалізації цільової архітектури е-урядування.

Список використаної літератури

1. Ammirato S., Cutri L., Felicetti A. M., Di Maio F. Business process management and digital transition: the case study of an Italian public university. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 2024, vol. 18, no. 4, pp. 825–855. DOI: 10.1108/TG-04-2024-0087.
2. Economic Sustainability and Social Equality in the Technological Era: proceedings of the 3rd International Conference on Humanities and Social Sciences (ICHSOS 2023), Malang, Indonesia, 30–31 Aug. 2023 / D. Irawan et al. (eds). London: Routledge, 2024. DOI: 10.1201/9781003534495.
3. Innovation and Technological Advances for Sustainability: proceedings of the ITAS 2023 Conference, Doha, Qatar, 1–3 March 2023 / S. AlNaemi et al. (eds). London: CRC Press, 2024. DOI: 10.1201/9781003496724.
4. Proceedings of the 2nd International Conference on Administrative Science (ICAS 2024) / A. Y. Andi, I. Nuralamsyah (eds). Dordrecht: Atlantis Press, 2025. DOI: 10.2991/9789464637915.
5. Proceedings of the 9th International Conference on Accounting, Management, and Economics 2024 (ICAME 2024). Dordrecht: Atlantis Press, 2025. DOI: 10.2991/9789464637588.
6. Fasna M. F. F., Gunatilake S. Towards successful strategies to overcome BPR implementation issues: case of Sri Lanka. *Business Process Management Journal*, 2020, vol. 26, no. 6, pp. 1241–1259. DOI: 10.1108/BPMJ-03-2019-0087.
7. Proceedings of the International Conference on Enterprise and Industrial Systems (ICOEINS 2023). Dordrecht: Atlantis Press, 2023. DOI: 10.2991/9789464633405.
8. Qian Z., Jabbar M. A., Li X. (eds). Proceedings of 2021 International Conference on Wireless Communications, Networking and Applications. Singapore: Springer, 2022. DOI: 10.1007/9789811924569.
9. Singh A. K., Sushil. Modeling enablers of TQM to improve airline performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2013, vol. 62, no. 3, pp. 250–275. DOI: 10.1108/17410401311309177.
10. Križaj D. Integration of quality, continuous improvement, and innovation in tourism: the QCII model. *Academica Turistica*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 97–110. DOI: 10.26493/2335-4194.13.97-110.
11. Veit D. R., Lacerda D. P., Camargo L. F. R., Kipper L. M., Dresch A. Towards Mode 2 knowledge production. *Business Process Management Journal*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 293–328. DOI: 10.1108/BPMJ-03-2016-0045.
12. Haugen S., Barros A., van Gulijk C., Kongsvik T., Vinnem J. E. (eds). Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World: ESREL 2018. London: CRC Press, 2018. DOI: 10.1201/9781351174664.
13. Tupa J., Steiner F. Industry 4.0 and business process management. *Tehnički glasnik*, 2019, vol. 13, no. 4, pp. 349–355. DOI: 10.31803/tg-20181008155243.
14. Daniotti B., Gianinetto M., Della Torre S. (eds). Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment. Cham: Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-33570-0.
15. Alrabiah A., Drew S. Formulating optimal business process change decisions using a computational hierarchical change-management structure framework. *Journal of Systems and Information Technology*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 207–240. DOI: 10.1108/JSIT-08-2017-0069.
16. Serrat O. Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance. Singapore: Springer, 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-0983-9.
17. Rimini G., Roberti P. Reengineering lead-to-cash: process and organization. In: *E-Government: ICT Professionalism and Competences*. Boston: Springer, 2008, pp. 219–226. DOI: 10.1007/978-0-387-09712-1_24.
18. Chang S., Nam K. Exploring the sustainable values of smart homes to strengthen adoption. *Buildings*, 2022, vol. 12, no. 11, article 1919. DOI: 10.3390/buildings12111919.
19. Serafeimidis V., Smithson S. Information systems evaluation as an organizational institution: experience from a case study. *Information Systems Journal*, 2003, vol. 13, no. 3, pp. 251–274. DOI: 10.1046/j.1365-2575.2003.00142.x.
20. Janssen M., van der Voort H. Adaptive governance: towards a stable, accountable and responsive government. *Government Information Quarterly*, 2016, vol. 33, no. 1, pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.giq.2016.02.003.
21. van der Aalst W. Process Mining: Data Science in Action. 2nd ed. Berlin: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.