

РОЗРОБКА БАЗОВОГО МЕТОДУ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ХМАРНОЇ МІГРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто застосування засобів Process Mining для стратегічного планування хмарної міграції інформаційних систем, що є актуальним завданням для сучасних підприємств у контексті цифрової трансформації. Проаналізовано можливості автоматичного відтворення моделі бізнес-процесів (БП) на основі даних з журналів подій, що дозволило отримати об'єктивну картину фактичного виконання операцій та виявити критичні вузькі місця. Проведено ретельний аналіз отриманої моделі, визначено ступінь сумісності поточних БП із вимогами хмарного середовища, а також обґрунтовано необхідність оптимізації БП шляхом їх розширення та адаптацію до нових умов експлуатації. Запропоновано загальний метод, що включає етапи збору даних, побудови початкової моделі з використанням будь-якого відповідного алгоритму Process Mining, детального аналізу отриманої моделі з виявленням закономірностей, вузьких місць та критичних ланок, а також її подальшого розширення для забезпечення адаптації до хмарного середовища. Оцінено відповідність поточної архітектури системи вимогам розширеної моделі, що дозволило сформулювати пріоритетний набір БП для розробки нової архітектури після міграції та вибору оптимальної стратегії хмарної міграції.

1. Вступ.

У сучасних умовах зростаючої кількості та складності бізнес-процесів (БП) Process Mining набуває особливої актуальності як ефективний інструмент аналізу та оптимізації БП. Засобами Process Mining можливо автоматично відтворити модель БП, виконати порівняльний аналіз з метою визначення ступеня відповідності фактичного виконання БП встановленим стандартам та удосконалити існуючі моделі БП, з метою їх подальшої реалізації та впровадження. Це дозволяє як об'єктивно оцінити ефективність БП організації, так і виявити «вузькі місця», що спричиняють зниження продуктивності.

В останні роки сфера інформаційних технологій зазнає суттєвого зсуву парадигми, оскільки все більше організацій переходять на хмарні обчислення. Надзвичайна гнучкість хмари у масштабуванні ресурсів набуває особливої важливості у мінливому бізнес-середовищі [1]. У подальшому під хмарною міграцією будемо розуміти весь комплекс дій, необхідних для переходу організацій до використання хмарних обчислень, зокрема переміщення їхніх застосунків, сервісів, даних, коду та пов'язаних БП із локального середовища в інфраструктуру обраного хмарного провайдера [2]. Отже, одним з ключових аспектів хмарної міграції є визначення пріоритетних БП, їх адаптація та оптимізація до хмарного середовища з подальшою зміною логіки та архітектури компонентів інформаційної системи (ІС), що автоматизують дані БП. Пріоритезація та модернізація БП є одним з визначальних чинників стратегічного планування хмарної міграції. Під стратегічним плануванням тут і далі розуміємо визначення довгострокових цілей та шляхів їх досягнення, з урахуванням поточних бізнес-потреб та ресурсних обмежень.

Застосування моделей і методів Process Mining у процесі стратегічного планування хмарної міграції надає ряд переваг. По-перше, це забезпечує прозорість БП та надає можливість виявити приховані залежності між ними, що допомагає приймати аргументовані рішення щодо розподілу та масштабування ресурсів у хмарному середовищі. По-друге, Process Mining дозволяє ідентифікувати та усувати «вузькі місця» в поточних БП ще до переносу їх у хмарну інфраструктуру, тим самим зменшуючи витрати та ризики невідповідності бізнес-потреbam. Під «вузьким місцем» тут розуміємо точку в

БП, де найчастіше виникають затримки, накопичення завдань чи необхідність додаткових витрат, що не дає можливості підвищити загальну продуктивність. По-третє, аналітичні можливості Process Mining підтримують формування дорожніх карт з модернізації БП, зокрема визначення пріоритетів міграції та подальшого технічного переоснащення ІС.

Незважаючи на велику кількість досліджень в галузі Process Mining і його прикладного застосування в сфері хмарних обчислень, наразі бракує досліджень, які б розкрили тему інтеграції Process Mining в стратегічне планування хмарної міграції ІС. Теоретична значущість дослідження полягає у розумінні ролі Process Mining у стратегічному плануванні хмарної міграції ІС, а практична цінність – у розробці методу, що інтегрує результати Process Mining в стратегічне планування хмарної міграції ІС.

2. Аналіз літературних джерел та визначення проблеми дослідження

Process Mining є міждисциплінарною галуззю, що інтегрує методи обчислювального інтелекту, Data Mining та моделювання БП, дозволяючи за допомогою спеціалізованих алгоритмів аналізувати великі обсяги даних, отриманих із журналів подій інформаційних систем типу Enterprise Resource Planning та Customer Relationship Management [3]. У [3] та [4] показано, як широкий спектр застосування Process Mining охоплює різні галузі: у охороні здоров'я – оптимізацію лікувальних маршрутів та зниження часу очікування пацієнтів, у фінансовому секторі – підвищення прозорості та відповідності нормативним вимогам, у виробництві – оптимізацію управління ланцюгами постачання, у сфері інформаційних технологій та електронної комерції – покращення управління інцидентами та аналіз поведінки клієнтів та управління БП. Таким чином, інтеграція даних, отриманих під час роботи системи в штатному режимі, із сучасними методами аналізу та моделювання БП створює основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на підвищення операційної ефективності та забезпечення відповідності організацій стратегічним цілям у контексті цифрової трансформації [3].

Застосування Process Mining поділяється на три основні етапи, кожен з яких виконує специфічну роль під час аналізу та вдосконалення БП.

Перший етап – відкриття (Discovery) – полягає у відтворенні моделі БП на основі журналу подій. На цьому етапі виконується автоматичне генерування моделі, яка відображає фактичну поведінку системи, зафіксовану у даних. Використання алгоритмів для аналізу послідовностей подій сприяє отриманню об'єктивної картини виконання БП, що є основою для подальшого аналізу та оптимізації.

Другий етап – відповідність (Conformance) – орієнтований на перевірку відповідності відтвореної на першому етапі моделі БП фактичним даним. Порівнюючи відтворену модель з даними, отриманими з журналів подій, можна виявити відхилення та розбіжності між запланованим і реальним виконанням БП. Це дозволяє не лише визначити причини невідповідностей, але й розробити заходи для корекції БП, забезпечуючи його відповідність встановленим стандартам і бізнес-вимогам.

Третій етап – вдосконалення (Enhancement) – спрямований на покращення та розширення моделі БП, отриманої після виконання перших двох етапів, на основі результатів аналізу журналів подій. На цьому етапі виконується адаптація моделі до нових умов та змін у бізнес-середовищі, шляхом інтеграції нових даних та виявлених закономірностей.

Всі описані вище етапи є циклічними, тобто мова йде про постійне вдосконалення БП, яке сприяє безперервному розвитку, дозволяючи організаціям ефективно реагувати на виклики сучасного ринку [4].

Водночас, Process Mining також стикається з низкою викликів. По-перше, цей інструмент базується на обробці великих обсягів журналів подій, у яких може міститися

як бізнесова, так і персональна інформація. Тому критично важливо забезпечити дотримання вимог щодо конфіденційності та інформаційної безпеки. Недооцінка цих аспектів може створити ризики не лише для збереження даних, а й для відповідності внутрішнім політикам та державним регуляторним вимогам.

По-друге, інтеграція Process Mining із наявними ІС може бути ускладнена технологічною несумісністю та ізолюваністю даних. Багато організацій прагнуть зберегти чинні підходи до управління БП, але їхня інфраструктура або застарілі платформи не завжди підтримують сучасні інструменти Process Mining. У результаті виникають бар'єри на рівні сумісності та організаційної культури, що гальмують впровадження інноваційних БП-орієнтованих рішень.

По-третє, масштабованість і обчислювальна складність стають серйозним викликом для великих підприємств, що генерують колосальні обсяги подій. За зростанням кількості журнальних записів зростає потреба в потужних механізмах індексації та швидкій обробці даних.

Таким чином, використання Process Mining надає потужні інструменти для виявлення, аналізу й оптимізації БП та сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень. Втім, згадані виклики можуть істотно ускладнити впровадження Process Mining у великих чи динамічних організаціях і потребують ретельного аналізу та досліджень.

У свою чергу, в [2] та [5] обґрунтовується доцільність застосування хмарних обчислень як фундаментальної платформи для побудови гнучкої та масштабованої інформаційної інфраструктури. Хмарні обчислення – це сучасна модель надання обчислювальних ресурсів, послуг, платформ та застосунків за запитом через мережу, яка забезпечує абстрагування, пулінг та масштабування ресурсів. Завдяки віртуалізації апаратного забезпечення та використанню спеціалізованого програмного забезпечення, хмарні середовища дозволяють організаціям ефективно розподіляти обчислювальні потужності, зберігати та обробляти великі обсяги даних, а також отримувати доступ до інноваційних сервісів без необхідності значних капіталовкладень у власну апаратну інфраструктуру. Такий підхід забезпечує гнучкість у масштабуванні робочих навантажень, оптимізацію витрат, а також підвищення продуктивності за рахунок швидкого реагування на змінні вимоги бізнесу.

Сучасна архітектура хмарних обчислень включає різні моделі розгортання, серед яких публічні, приватні, гібридні хмари та мультихмари. Публічні хмари забезпечують доступ до ресурсів, що розподіляються між багатьма користувачами, зазвичай на умовах оплати за використані ресурси, тоді як приватні хмари надають ексклюзивне середовище для окремих організацій, що сприяє підвищенню рівня безпеки та контролю. Гібридні рішення поєднують переваги як публічних, так і приватних хмар, що дозволяє ефективно керувати робочими навантаженнями та оптимізувати використання ресурсів у відповідності до конкретних потреб бізнесу. Ця інтеграція різних підходів у створенні динамічних обчислювальних середовищ є ключовою для підтримки цифрової трансформації та забезпечення високої доступності та надійності ІС [2].

Не менш важливим напрямом цифрової трансформації є хмарна міграція ІС, детально розглянута в роботах [5], [6]. Під хмарною міграцією розуміємо процес переміщення застосунків, сервісів, даних, коду та БП з локального розгортання до інфраструктури обраного хмарного провайдера. Цей процес включає адаптацію існуючих систем до умов хмарного середовища, що вимагає ретельного аналізу БП а також сумісності та модифікації програмного забезпечення. Хмарна міграція сприяє оптимізації операційних витрат, підвищенню доступності ресурсів і забезпеченню масштабованості ІС, що дозволяє організаціям ефективно реагувати на змінні вимоги ринку та забезпечувати гнучкість у розвитку цифрової інфраструктури [5].

Хмарна міграція інформаційних систем супроводжується низкою викликів, які потребують ретельного аналізу та планування для забезпечення успішного переходу. Ці виклики виникають як через складність самих застарілих систем, так і через динамічний розвиток хмарних технологій, а також через фактори організаційних змін [7].

Однією з ключових проблем є накопичення технічного боргу та застарілі архітектури. Багато застарілих застосунків є результатами численних компромісних рішень, прийнятих під час їх розробки для дотримання обмежень ІТ-проектів або вирішення термінових завдань, що призводить до утворення неефективних систем. Крім того, застосунки, побудовані на монолітних архітектурах, важко адаптувати до мікросервісних структур, які є пріоритетом сучасних хмарних рішень, що, у свою чергу, ускладнює та затримує хмарну міграцію.

Іншою суттєвою проблемою є питання сумісності з сучасними хмарними середовищами. Застарілі системи часто залежать від застарілих технологій, мов програмування та апаратного забезпечення, що може створювати труднощі при порті коду, інтеграції з хмарними сервісами або забезпеченні безперервності роботи в умовах нових технологічних вимог. Особливу увагу слід приділити питанням безпечної міграції даних, де забезпечення цілісності інформації, мінімізація простоїв та уникнення втрати даних є критично важливими, що вимагає впровадження надійних механізмів шифрування, контролю доступу та моніторингу.

Крім технічних аспектів, процес хмарної міграції часто потребує ретельного аналізу та перегляду поточних БП організації з метою їх пріоритезації та адаптації під хмарне середовище. Прийняття рішення щодо необхідності хмарної міграції інформаційної системи породжує необхідність обрання найкращої стратегії хмарної міграції – тобто способу, у який буде виконано хмарну міграцію [6].

Згідно з [7] та [8], найпопулярнішими стратегіями хмарної міграції на сьогодні є:

- стратегія повного переносу (Rehosting);
- стратегія рефакторингу (Refactoring);
- стратегія реінжинірингу (Reengineering).

Стратегія Rehosting (також відома як Lift-and-Shift) передбачає перенесення компонентів ІС з локальної інфраструктури до хмарного середовища без суттєвих змін в архітектурі. На практиці це означає «копіювання» існуючої системи до хмари, що дає змогу доволі швидко виконати міграцію та скоротити початкові витрати. Збереження знайомої архітектури зазвичай знижує ризик операційних збоїв, проте у такий спосіб не вдається повною мірою реалізувати переваги хмарних сервісів. Більше того, спадковані недоліки системи можуть залишитися або навіть посилюватися, оскільки фундаментальні архітектурні обмеження та застарілі БП переважно не зазнають жодних змін [9].

Стратегія Refactoring (або її окремий випадок Re-Platforming) передбачає внесення помірних змін до компонентів ІС з метою поліпшення сумісності з хмарним середовищем. Такий підхід дає змогу підвищити продуктивність, раціональніше використовувати ресурси та поступово модернізувати застарілу систему без повної її перебудови. Водночас, складність таких змін вимагає глибокого розуміння як наявного спадкованого застосунку, так і хмарних технологій. Крім того, відсутність повного перегляду архітектури може залишити частину її обмежень невирішеними, а це висуває підвищені вимоги до кваліфікації фахівців у двох технологічних середовищах [10].

Стратегія Reengineering (або її окремий випадок Re-Architecting) полягає в повній перебудові компонентів ІС на базі хмарно-орієнтованих архітектур, зазвичай із переходом до мікросервісного підходу. Така трансформація дає змогу повною мірою використати потенціал хмарної інфраструктури (масштабованість, висока продуктивність, гнучка

інтеграція). Результатом стає перспективна і розширювана система, готова до подальшого розвитку та впровадження сучасних технологій. Проте варто враховувати високі початкові витрати ресурсів і часу, а також ймовірні труднощі, пов'язані зі складними архітектурними рішеннями. Крім того, цей підхід може вимагати глибоких організаційних змін і формування нових компетенцій фахівців [11].

Однією з важливих проблем стратегічного планування хмарної міграції є вибір найкращої стратегії міграції, яка б враховувала бізнес-вимоги, наявну архітектуру та БП організації. Аналізуючи описане вище, можна дійти висновку, що визначальним чинником в кожній стратегії є архітектура ІС. В свою чергу, архітектура ІС визначається набором БП організації, які ця ІС реалізує. Таким чином, ключова роль БП організації в стратегічному плануванні хмарної міграції ІС породжує інтерес до використання засобів Process Mining в даному контексті, однак відсутність достатньої кількості досліджень за даною тематикою викликано відносною новизною галузі Process Mining, а також стрімким збільшенням попиту на використання організаціями хмарних обчислень через глобальні чинники, зумовлені світовими подіями. Попри наявність великої кількості досліджень, присвячених Process Mining, хмарним обчисленням, хмарній міграції ІС та стратегіям її виконання, відсутній цілісний методологічний підхід, який би об'єднав всі описані процеси в логічну послідовність.

Наслідком такої фрагментарності є зниження точності стратегічного планування: без повноцінної інтеграції аналізу фактичних БП засобами Process Mining із конкретними вимогами та обмеженнями хмарних середовищ стратегічні рішення можуть прийматися на основі неповної або неточної інформації. Як результат, організаціям важко визначити послідовність кроків міграції та вибрати оптимальну стратегію, що може призвести до надлишкових витрат ресурсів, порушення термінів чи зниження ефективності самої міграції. Тому вирішення проблеми вибору найкращої стратегії міграції є актуальним з теоретичної та прикладної точок зору.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є підвищення точності вибору стратегії хмарної міграції ІС за рахунок використання методів та засобів Process Mining, які дозволяють врахувати специфіку фактичних БП об'єкту автоматизації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- вдосконалити опис архітектури ІС шляхом додавання до нього моделі БП об'єкта автоматизації, модифікованої із застосуванням методів і засобів Process Mining;
- розробити базовий метод стратегічного планування хмарної міграції ІС на основі використання результатів Process Mining.

4. Матеріали і методи дослідження

4.1. Об'єкт, предмет та основна гіпотеза дослідження

Об'єкт дослідження – процеси стратегічного планування хмарної міграції. Предмет дослідження – моделі і методи формування моделі БП, яка відображує поточний стан автоматизованих БП об'єкта автоматизації. Основна гіпотеза дослідження: в результаті використання моделі БП об'єкту автоматизації, створеної за результатами аналізу експлуатації існуючої ІС інструментами Process Mining, можна підвищити точність стратегічного планування хмарної міграції.

4.2. Process Mining в контексті оптимізації бізнес-процесів організації

Методи Process Mining відіграють ключову роль у контексті оптимізації організаційних БП, оскільки надають можливість об'єктивно аналізувати фактичні дані з журналів подій та виявляти реальний перебіг робочих процедур. На відміну від традиційних підходів, де результати залежать від суб'єктивних оцінок експертів або від

формальних регламентів, Process Mining ґрунтується на аналізі цифрових слідів, які фіксують усі дії учасників БП. Завдяки цьому досягається висока точність і релевантність висновків щодо функціонування системи, а також формується детальне уявлення про ефективність, надійність і масштабованість БП організації.

Застосування Discovery-алгоритмів, таких як Alpha Miner, Heuristics Miner, Inductive Miner та Evolutionary Miner, дає змогу автоматично побудувати модель БП, спираючись на емпіричні дані про події та транзакції.

Alpha Miner є базовим методом, який полягає в аналізі послідовності подій у журналі та встановлює відношення «до того, як» між ними. Він ефективно обробляє журнали структурованих БП, однак обмежено придатний для роботи з циклами, паралельними БП та даними з високим рівнем шуму. Рекомендується використовувати Alpha Miner для чистих, добре структурованих журналів подій, де БП мають мінімальні варіації та невеликий рівень невизначеності.

Heuristics Miner, полягає у використанні статистичних показників для визначення залежностей між подіями, він дозволяє аналізувати частотність переходів і ефективно фільтрувати шум, що дає змогу будувати гнучкіші та адаптивніші моделі. Його застосування рекомендовано у випадках, коли журнали подій містять численні випадкові відхилення або незначні розбіжності, які можуть спотворити результати побудови моделі.

Inductive Miner полягає у створенні ієрархічних моделей БП у вигляді дерев, що дозволяє точно відтворювати як послідовні, так і паралельні БП, зберігаючи стійкість до шуму. Завдяки цьому Inductive Miner є особливо корисним для аналізу складних та масштабних БП, де важлива гнучкість та адаптивність моделі. Його застосування доцільно, коли необхідно працювати з великими наборами даних, що містять як структуровані, так і неформальні компоненти.

Evolutionary Miner базується на еволюційному пошуку та генетичних алгоритмах, використовує ітеративні зміни для оптимізації моделі БП, прагнучи знайти найоптимальніше відображення даних з журналу подій. Його застосування обґрунтовано у випадках, коли БП мають складні залежності і стандартні алгоритми не можуть забезпечити адекватне відображення. Недоліком Evolutionary Miner є можливість значного зростання його потреб у обчислювальних ресурсах [12].

У випадку, коли формальні схеми виконання завдань суттєво відрізняються від отриманої моделі БП, можна зробити висновок про наявність прихованих процедур чи неформальних обходів, що виникли під впливом реальних виробничих потреб. Це особливо важливо у великих організаціях, де стале уявлення про «офіційні» БП нерідко не відображає фактичного перебігу роботи й призводить до хибної оцінки продуктивності або до вибору неефективних рішень щодо оптимізації. Аналіз отриманої моделі дає змогу виявити частоту настання тих чи інших подій, структуру послідовності дій і потенційні точки ризику.

Порівняння відповідності фактичної моделі БП еталонній дає змогу виявити, на якому етапі відбуваються відхилення, які підпроцеси реалізуються некоректно та як часто виникають нетипові сценарії. У контексті оптимізації БП організації це відкриває можливість визначити проблемні аспекти, що безпосередньо впливають на результативність: тривалі затримки, надлишкові процедури перевірки або невідповідність вимогам безпеки чи якості. Зокрема, у регульованих сферах (фінансовій, медичній, державній) виявлені порушення регламентів можуть свідчити про ризики недотримання нормативних актів, що ускладнює подальшу цифрову трансформацію.

На основі виявлених невідповідностей і точної моделі реальної поведінки здійснюють вдосконалення БП. Спираючись на наявні дані з журналів подій, фахівці мають змогу

визначити, які саме вузли чи переходи в ланцюгу завдань доцільно реорганізувати, а також оцінити потенційний вплив цих змін на загальну продуктивність. У такий спосіб забезпечується цілеспрямоване вдосконалення логіки БП без зайвих перебудов усієї системи БП організації, оскільки Process Mining дає змогу виявити конкретні точки оптимізації з огляду на реальні метрики [13].

Сучасним інструментом вирішення задачі порівняння еталонної та фактичної моделей є метод *trace-level alignments*, який порівнює фактичні послідовності подій із заданою моделлю БП на рівні окремих трас. Основна ідея цього методу полягає у знаходженні оптимального вирівнювання кожної траси журналу подій з відповідними діями у моделі БП. Під час вирівнювання відбувається послідовний аналіз кожної активності трас з метою знайти «синхронний хід» – ситуацію, коли активність із журналу узгоджується з відповідною дією, передбаченою моделлю. Якщо певна подія з журналу не може бути відображена безпосередньо у моделі, створюється так зване переміщення журналу (*log move*) або, навпаки, якщо модель вимагає виконання певної дії, але вона відсутня у журналі, генерується переміщення моделі (*model move*). Обидва типи переміщень пов'язані з певними штрафами, що визначаються через функцію вартості. Після знаходження оптимального вирівнювання для кожної траси обчислюється показник відповідності (*log fitness*), який характеризує частину подій журналу, яка відповідає заданій моделі.

Перевагою методу є його здатність детально аналізувати кожну трасу окремо, що дозволяє виявляти конкретні місця відхилень ходу виконання БП від його опису, створеного за допомогою відтвореної моделі. Завдяки цьому можна виявити та проаналізувати причини цих відхилень невідповідностей, що сприяє подальшій оптимізації БП та виявленню проблемних ділянок. Крім того, *trace-level alignments* надає можливість порівнювати різні варіанти виконання БП, що корисно для ідентифікації найчастіше повторюваних патернів і аномалій.

Серед недоліків цього методу можна зазначити високу обчислювальну складність, особливо при роботі з великими журналами подій, що може вимагати значних ресурсів і часу для розрахунків. Крім того, результати сильно залежать від правильно підібраної функції вартості, яка визначає штрафи за *log moves* та *model moves*: невірно налаштована функція може призвести до помилкових висновків про відповідність. Метод може бути менш ефективним у випадках, коли дані характеризуються високим рівнем шуму або коли фактичне виконання БП сильно відхиляється від стандартної моделі, оскільки в ході застосування методу може бути згенеровано надмірну кількість переміщень, що ускладнює інтерпретацію результатів.

У [14] рекомендовано використовувати *trace-level alignments* у випадках, коли потрібно отримати детальний аналіз відповідності на рівні окремих трас і виявити конкретні відхилення, що можуть впливати на продуктивність або якість БП. Цей метод доцільно застосовувати у випадках, коли розмір журналу подій є прийнятним для обчислювальних ресурсів організації, а також коли є можливість налаштувати параметри функції вартості відповідно до специфіки БП. Він буде особливо корисним для організацій, які прагнуть детально аналізувати невідповідності та впроваджувати точкові заходи для вдосконалення БП, однак для попереднього аналізу великих обсягів даних можуть знадобитися оптимізації або комбінування цього підходу з іншими, менш обчислювально витратними методами [14].

Під час вдосконалення відтвореної моделі основну увагу приділяють двом підходам. Перший підхід – це «ремонт» (*repair*) моделі БП, який зосереджується на корекції її потоку керування (*control flow*). Якщо раніше було виявлено, що фактичний хід БП значно

відрізняється від його опису, створеного за допомогою відтвореної моделі, застосовується «ремонт», який полягає у коригуванні послідовності операцій з метою кращого відображення моделлю реального БП. Другий підхід – це розширення (extension) моделі БП шляхом додавання до початкової моделі нових аспектів або перспектив, які не було враховано первинно. У цьому випадку БП моделюється з урахуванням додаткових вимірів, таких як організаційна перспектива (інформація про ресурси, відповідальність суб'єктів), часова перспектива (час виконання завдань, частотність подій) та властивості кейсів (характеристики окремих випадків). Саме розширення дозволяє інтегрувати більше контекстної інформації, що сприяє точнішому аналізу та вдосконаленню БП [15].

Крім того, вдосконалені (або розширені) моделі БП можуть включати нові шляхи роботи, запропоновані користувачами чи аналітиками на основі практичного досвіду. Оскільки журнали подій відображають фактичні дії кожного суб'єкта, система аналізу легко виявляє успішні альтернативні сценарії, які раніше не передбачалися офіційними інструкціями. Така еволюція БП значно підвищує гнучкість організації та дає змогу швидше реагувати на зміни в діловому середовищі. З погляду оптимізації, це відкриває широкий простір для подальших експериментів з автоматизацією, а також для вдосконалення механізмів контролю якості та прийняття рішень.

Важливою перевагою Process Mining є можливість безперервного застосування методів збору та аналізу даних у реальному часі. У разі, якщо журнали подій системи періодично або постійно оновлюються, аналітики можуть динамічно відстежувати ефективність впроваджених змін і в режимі реального часу виявляти нові аномалії або ризики. Такий підхід узгоджується з принципами гнучкого управління БП, згідно з якими різні ітерації вдосконалення виконуються послідовно, а результати оцінюються на підставі об'єктивних показників. Технічно це може реалізовуватися шляхом інтеграції з хмарними платформами, які забезпечують автоматичну масштабованість обчислювальних потужностей, необхідних для аналітичної обробки великих обсягів журналів подій [16].

Слід зазначити, що вирішення задачі вибору конкретних алгоритмів Process Mining у даному дослідженні не розглядається, адже прийняття рішення щодо вибору того чи іншого алгоритму Process Mining для кожного з описаних вище етапів залежить від структури та організації поточних БП, реалізованих у ІС, і не залежить від задач проєкту хмарної міграції. Отже, такі рекомендації планується розробити у подальших дослідженнях базового методу стратегічного планування хмарної міграції ІС на основі використання результатів Process Mining.

Таким чином, у контексті оптимізації БП організації Process Mining є комплексним інструментом, який поєднує автоматичне відтворення фактичної моделі, порівняння її з еталонними схемами та цілеспрямоване вдосконалення на основі точних метрик продуктивності та відповідності. Завдяки такому інструменту вдається обґрунтовано впроваджувати зміни, мінімізуючи ризики та витрати часу на аналіз неактуальної або неповної інформації. Це, у свою чергу, сприяє формуванню стійкого й прозорого середовища для управління операційною діяльністю, ефективному масштабуванню БП та адаптації до вимог сучасного ринку.

4.3. Моделі опису архітектури інформаційної системи

Наочно зобразити архітектуру ІС дозволяють засоби графічного та візуального моделювання. Найрозповсюдженішим та широко використовуваним засобом візуального моделювання та опису архітектури ІС є Unified Modeling Language (UML). UML дозволяє не лише моделювати технічні аспекти ІС, а й інтегрувати БП організації у загальну архітектуру. Завдяки використанню різноманітних діаграм, таких як Component Diagram, Deployment Diagram, Activity Diagram та Sequence Diagram, UML забезпечує комплексний підхід до відображення БП.

Діаграми варіантів використання дозволяють визначити ключових акторів та їхню взаємодію із системою, що дає змогу чітко сформулювати бізнес-вимоги і описати основні сценарії роботи. Діаграми діяльності, з іншого боку, моделюють послідовність завдань і операцій, відображаючи потоки робіт, розгалуження рішень та цикли повторення, що є невід'ємною частиною БП. За допомогою діаграм послідовностей можна відобразити часову послідовність взаємодій між різними об'єктами та підсистемами, що забезпечує кращий аналіз та оптимізацію БП. Діаграми станів допомагають показати, як змінюється стан об'єктів протягом виконання БП, що корисно для розуміння динаміки системних БП.

Таким чином, UML дає змогу наочно показати, описати та відобразити БП організації в архітектурі ІС, тому його використання як основного інструменту моделювання є обґрунтованим [17].

5. Результати дослідження

5.1. Модифікована модель бізнес-процесів як визначальний елемент нової архітектури інформаційної системи

Модифікація моделі БП на підставі результатів Process Mining безпосередньо впливає на архітектуру ІС, оскільки зміни в логіці виконання БП передбачають коригування структури компонентів, механізмів взаємодії між ними та принципів зберігання й обробки даних. Для опису архітектури ІС, як було описано вище, доцільно використовувати мову UML, що дає змогу структуровано відобразити взаємозв'язки між компонентами через UML Component Diagram, UML Deployment Diagram, а також представити виконання БП у вигляді UML Activity Diagram або Sequence Diagram [18].

Насамперед, унаслідок вдосконалення моделі БП може виникнути потреба в нових функціональних модулях або сервісах, які реалізують оптимізовані сценарії БП. Це, відповідно, вимагає оновлення загальної архітектури: визначення точок інтеграції з наявними системами, перегляду інтерфейсів та розгортання додаткових віртуальних або контейнеризованих середовищ. У UML Component Diagram подібні зміни відображаються додаванням нових компонентів, оновленням інтерфейсів та змін у зв'язках між ними.

Впровадження модифікованої моделі БП передбачає уточнення вимог щодо доступності, пропускну здатності та масштабованості окремих компонентів. Якщо аналіз показує, що певний БП викликається часто й має бути виконаний за мінімально можливий час, архітектура може потребувати впровадження спеціалізованого кешування, механізмів балансування навантаження чи навіть переходу до безсерверних обчислень у хмарному середовищі. Якщо ж виявлено дублювання операцій або надмірну кількість взаємодій, можна застосувати централізовану чергу повідомлень або API-гейти для структурування потоків даних і уніфікації точок доступу [19]. Ці аспекти також відображаються на UML Deployment Diagram, де показано, як розподілені сервіси та компоненти розгортаються й взаємодіють між собою.

Важливим наслідком впровадження модифікованої моделі БП є перерозподіл бізнес-логіки між модулями: оптимізована модель може потребувати відокремлення певних функцій у самостійні компоненти. Це, у свою чергу, впливає на вибір архітектурного підходу (моноліт, мікросервіси, сервісно-орієнтована архітектура тощо) і вимагає визначення стандартів комунікації, таких як HTTP, REST чи gRPC. Якщо модель БП передбачає інтенсивнішу взаємодію між розподіленими компонентами, виникає потреба в удосконаленні мережевої інфраструктури, додаткових заходах безпеки та уніфікованих методах моніторингу, що також фіксується в UML Diagram (як правило, у вигляді розширених анотацій у Component Diagram).

Удосконалена модель БП може ініціювати зміну логіки зберігання та синхронізації даних. Якщо виявляється, що в поточному рішенні існують дублікати інформації або надмірні

переходи між різними сховищами, у межах нової архітектури доцільно консолідувати дані чи перейти на іншу модель даних (наприклад, NoSQL або графові бази) відповідно до конкретних патернів доступу. Така перебудова дає змогу підвищити швидкість виконання критичних операцій і зменшити ймовірність неузгодженостей між компонентами [20]. У UML Activity Diagram або Sequence Diagram це можна відобразити у вигляді спрощених потоків доступу до єдиного сховища або чіткого розподілу точок звернення до бази даних.

Запровадження модифікованої моделі БП впливає й на засоби забезпечення надійності та відмовостійкості. Якщо БП стають розподіленими й використовують мікросервісний або подійно-орієнтований підхід, критичною стає правильна реалізація транзакцій і механізмів відстеження стану. У такому разі архітектура доповнюється новими інструментами моніторингу та логування, що дають змогу аналізувати потік повідомлень і контролювати коректність виконання БП [21]. На діаграмах UML (Activity Diagram, Component Diagram) це може бути позначено додатковими «моніторинговими» чи «логувальними» компонентами.

5.2. Базовий метод стратегічного планування хмарної міграції інформаційної системи на основі використання результатів Process Mining

Інтеграція результатів аналізу фактичних БП, отриманих за допомогою Process Mining, у стратегічне планування хмарної міграції ІС передбачає узгодження детальної моделі поточного стану з довгостроковими цілями розвитку ІС. Виявлені «вузькі місця», недоліки та закономірності виконання БП у сукупності з технічними вимогами до хмарної інфраструктури дають змогу сформулювати обґрунтований план переходу, зокрема визначити пріоритетність міграційних кроків, оптимальний розподіл ресурсів та послідовність модифікації архітектури.

Для застосування Process Mining в контексті стратегічного планування хмарної міграції ІС пропонується базовий метод, який містить такі етапи та кроки:

Етап 1. Збір даних та побудова початкової моделі.

Крок 1.1. Збір даних з журналів подій. Визначення джерел даних (системні логи, транзакційні журнали, події користувачів тощо). Агрегація даних у централізований репозиторій для подальшої обробки.

Крок 1.2. Створення моделі множини фактичних БП P_{actual} на основі зібраних даних зібраних у репозиторії R . Формально таке створення M можна представити як відображення множини даних з репозиторію R у множину поточних БП P_{actual} :

$$M : R \rightarrow P_{actual}, \quad (1)$$

Етап 2. Аналіз та розширення моделі БП.

Крок 2.1. Аналіз отриманої моделі з метою виявити закономірності T , потенційні вузькі місця B та критичні ланки БП $P_{critical}$. Формально такий аналіз A_m можна представити як відображення множини поточних БП P_{actual} в множину результату $Outcome = \{T, B, P_{critical}\}$:

$$A_m : P_{actual} \rightarrow Outcome = \{T, B, P_{critical}\}. \quad (2)$$

Аналіз A_c множини поточних БП P_{actual} разом з множиною вимог до системи у хмарному середовищі R_{cloud} в такому випадку можна формально представити як відображення множини $\{P_{actual}, R_{cloud}\}$ у множину показників сумісності $Compatibility$:

$$A_c : \{P_{actual}, R_{cloud}\} \rightarrow Compatibility, \quad (3)$$

Крок 2.2. Покращення та розширення моделі як формування множини розширених БП

$P_{extended}$ на основі даних, отриманих в результаті формування множин $Outcome$ та $Compatibility$. Формально формування E можна представити як відображення множини $\{P_{actual}, Outcome, Compatibility\}$ у множину $P_{extended}$:

$$E : \{P_{actual}, Outcome, Compatibility\} \rightarrow P_{extended} . \quad (4)$$

Крок 2.3. Оцінка можливості реалізації розширеної моделі. Як таку оцінку запропоновано використовувати оцінку відповідності $Correspondence$ поточної архітектури системи $A_{current}$ можливостям реалізації розширеної моделі $P_{extended}$. Формально оцінка $Correspondence$ є результатом застосування спеціальної функції відповідності $F_{compatible}(P_{extended}, A_{current})$:

$$Correspondence = F_{compatible}(P_{extended}, A_{current}) . \quad (5)$$

Якщо функція $F_{compatible}$ приймає значення нижче критичного порогу θ , це свідчить про необхідність змін у кодовій базі та архітектурі.

Етап 3. Пріоритезація БП та стратегічне планування міграції.

Крок 3.1. Формування набору пріоритетних БП. У випадку, коли поточна архітектура не підтримує реалізацію $P_{extended}$, формується множина критичних БП $B_{prior} = \{B_1, B_2, ..., B_n\}$, де n – кількість БП, що є визначальними для вибору нової архітектури після міграції. Це дозволяє зосередити зусилля на оптимізації саме тих БП, які критично впливають на ефективність роботи системи у хмарному середовищі.

Крок 3.2. Формування множини візуальних моделей опису архітектури ІС після міграції A_{new} . $A_{new} = \{VM_1, VM_2, ..., VM_k\}$ де $VM_k \in k$ -ю візуальною моделлю, яка описує відповідні компоненти ІС. Формально таке формування множини A_{new} можна представити як відображення множини $\{A_{current}, B_{prior}\}$ у множину, $A_{new} = \{VM_1, VM_2, ..., VM_k\}$, тобто:

$$D : \{A_{current}, B_{prior}\} \rightarrow A_{new} = \{A_{current}, B_{prior}\} \rightarrow \{VM_1, VM_2, ..., VM_k\} . \quad (6)$$

Крок 3.3. Вибір стратегії хмарної міграції m , $m \in M$, де M – задана множина стратегій. Формально такий вибір є результатом пошуку оптимальної або раціональної стратегії з множини M , яка, у свою чергу, є результатом відображення:

$$S_{migration\ strategy} : \{P_{extended}, A_{new}, B_{prior}\} \rightarrow M . \quad (7)$$

5.3. Практичне застосування розробленого методу

Практичне застосування базового методу стратегічного планування хмарної міграції ІС на основі використання результатів Process Mining розглянуто на прикладі ІТ-проєкту з хмарної міграції ІС однієї зі страхових компаній України.

За результатами попереднього аналізу документів та БП вищеописаного підприємства сформовано перелік БП, наведений у табл. 1.

Під час виконання кроку 1.1 було здійснено збір даних з журналу подій ІС страхової компанії. Дані з журналу за останні 6 місяців функціонування ІС страхової компанії було вивантажено в окремий приватний репозиторій. Приклад спрощеного та очищеного вмісту журналу подій наведено у табл. 2.

Таблиця 1

Перелік бізнес-процесів організації (еталонна модель)

№	Назва бізнес-процесу	Опис бізнес-процесу
1	Оформлення страхового полісу	Клієнти оформлюють заявки через сайт. Заявки потребують додаткової ручної перевірки співробітником. Після перевірки співробітник вручну активує поліси в системі та відправляє клієнтам вручну сформований електронний лист.
2	Обробка страхових випадків	Документи завантажуються клієнтами онлайн. Перевірка комплектності та коректності документів здійснюється вручну. Співробітники вручну розподіляють документи для узгодження та подальшого затвердження.
3	Формування фінансової звітності	Система обліку автоматично накопичує дані, але для формування фінансових звітів необхідно вручну експортувати інформацію в Excel. Звіти надсилаються керівництву електронною поштою, що потребує додаткових ручних маніпуляцій.

Таблиця 2

Вміст журналу подій

ID події	Бізнес-процес	Подія	Дата та час	Виконавець
0001	Оформлення полісу	Отримано заявку клієнта	2025-03-14 09:05:01	MedUser54
0002	Оформлення полісу	Перевірка заявки	2025-03-14 09:06:01	MedUser54
0003	Оформлення полісу	Поліс створено	2025-03-14 09:06:10	SYSTEM

Під час виконання кроку 1.2 для створення моделі фактичних БП було обрано алгоритм Alpha Miner як рекомендований до використання для чистих, добре структурованих журналів подій, де БП мають мінімальні варіації та невеликий рівень невизначеності [12]. Моделі фактичних БП, виявлені за допомогою алгоритму Alpha Miner, наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Моделі фактичних бізнес-процесів

№	Назва бізнес-процесу	Виявлені етапи
1	Оформлення страхового полісу	Отримання заявки клієнта.
		Перевірка заявки пропускається (5 % випадків).
		Створення полісу здійснюється автоматично без попередньої ручної перевірки (у 15 % випадків).
		Вручну надсилається електронний лист клієнту
2	Обробка страхових випадків	Завантаження документів клієнтом.
		Ручна перевірка комплектності документів (у 35 % випадків – циклічна).
		Вручну активується БП виплати компенсації.
3	Формування фінансової звітності	Дані з підсистем агрегуються вручну.
		Звіт направлено на проміжні перевірки (у 10 % випадків цей етап пропущено).
		Звіт надіслано менеджеру.

Під час виконання кроку 2.1 було проведено порівняльний аналіз отриманої моделі, результати якого із зазначенням відхилень та наслідків для підприємства наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Результати порівняльного аналізу фактичної та еталонної моделей

№	Назва бізнес-процесу	Відповідність фактичної моделі еталонній	Виявлені відхилення	Наслідки
1	Оформлення страхових полісів	Часткова невідповідність	У 5-15 % випадків заявки оформлюються та активуються без ручної перевірки, передбаченої регламентом.	Порушення процедури перевірки може призвести до помилок та ризиків шахрайства.
2	Обробка страхових випадків	Низька відповідність	Фактично перевірка документів відбувається вручну, але часто (у 35 % випадків) БП містить повторні перевірки (не передбачені регламентом), які затримують обробку.	Збільшення тривалості обробки страхових випадків, нераціональне використання робочого часу співробітників, затримки у виплатах клієнтам.
3	Формування фінансової звітності	Часткова невідповідність	У 10 % випадків ігноруються етапи проміжного контролю звітів. Відсутня автоматизація експорту даних, яка призводить до помилок.	Погіршення якості та достовірності фінансових даних, ризик прийняття помилкових управлінських рішень, потенційні проблеми з податковою службою.

Таким чином, було сформовано множину поточних БП:

$$P_{actual} = \{P_1, P_2, P_3\},$$

де P_1 – БП оформлення страхових полісів; P_2 – БП обробки страхових випадків; P_3 – БП формування фінансової звітності.

Для кожного БП було визначено закономірності T , потенційні вузькі місця B та критичні ланки $P_{critical}$, які є елементами множини $Outcome$. Результати визначення цих елементів наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Елементи множини результату аналізу $Outcome$

i	Назва бізнес-процесу, P_i	Закономірності, T_i	Вузькі місця, B_i	Критичні ланки, $P_{critical}^i$
1	Оформлення страхового полісу	Більшість полісів видається після стандартної перевірки заявки (85 % випадків)	Ручна перевірка та активація полісу	Періодичне ігнорування перевірки (15 % випадків)
2	Обробка страхових випадків	Ручна перевірка документів завжди є обов'язковим етапом	Той самий поліс страхування вручну перевіряється різними користувачами, що не регламентовано БП (35 % випадків)	Надмірна ручна перевірка, що збільшує час обробки
3	Формування фінансової звітності	Звіти формуються вручну (100 % випадків)	Вручну здійснюється агрегація та надсилання звітів	Проміжний контроль звітів пропускається (10 % випадків)

Виходячи з формули (2), множину результату аналізу *Outcome* було сформовано в результаті відображення визначених у табл. 5 елементів:

$$Outcome = \{\{T_1, T_2, T_3\}, \{B_1, B_2, B_3\}, \{P_{critical}^1, P_{critical}^2, P_{critical}^3\}\}.$$

Далі було сформовано множину вимог до системи в хмарному середовищі $R_{cloud} = \{\text{швидкість, цілісність даних}\}$.

Потім за формулою (3) було оцінено відповідність поточних БП *Compatibility* заданим вимогам R_{cloud} . Для простоти оцінювання використано якісні критерії «низька», «середня», «висока». Під час оцінювання було зроблено такі припущення:

- а) кожен елемент множини R_{cloud} має рівноцінно впливати на загальну оцінку;
- б) якщо під час оцінювання БП елементи множини R_{cloud} отримують пари оцінок «низька, середня» або «середня, висока», обираємо меншу з оцінок («низька» або «середня» відповідно);
- в) якщо під час оцінювання БП елементи множини R_{cloud} отримують пару оцінок «низька, висока», обираємо проміжну оцінку «середня».

Результати оцінювання наведено у табл. 6.

Таблиця 6

Оцінка відповідності поточної моделі бізнес-процесів вимогам хмарного середовища

<i>i</i>	Назва бізнес-процесу, P_i	Вимоги		Загальна оцінка
		Швидкість	Цілісність	
1	Оформлення страхового полісу	середня	низька	низька
2	Обробка страхових випадків	низька	висока	середня
3	Формування фінансової звітності	низька	низька	низька

З табл. 6 видно, що БП «Формування фінансової звітності» та «Оформлення страхового полісу» найгірше відповідають заданим вимогам. В свою чергу, показник відповідності БП «Обробка страхових випадків» є задовільним. З цього випливає, що в цілому поточна модель БП не відповідає заданим вимогам.

Під час виконання кроку 2.2, враховуючи недоліки, а також оцінку відповідності моделі заданим вимогам, визначені на минулому кроці, було прийнято рішення щодо модифікації поточної моделі БП згідно з формулою (4). Для формування модифікованої моделі БП було використано метод «ремонт» через необхідність сфокусуватися на поточній логіці виконання, без необхідності розширення [15]. Результати модифікації наведено у табл. 7.

Під час виконання кроку 2.3 було зроблено припущення, що моделювання поточної архітектури ІС $A_{current}$ має проводитися як формування діаграми композитної структури ІС. Функція відповідності $F_{compatible}(P_{extended}, A_{current})$ в даному випадку приймає значення в інтервалі $[1, \dots, 0]$ і розраховується за формулою:

$$F_{compatible}(P_{extended}, A_{current}) = \sum_{i=1}^n \frac{CompatibilityLevel_i}{2n}, \quad (8)$$

де $CompatibilityLevel_i$ – оцінка сумісності i -го БП модифікованої моделі; n – кількість БП.

Таблиця 7

Модифікована модель бізнес-процесів $P_{extended}$

i	Назва бізнес-процесу, $P_{extended}^i$	Етапи
1	Оформлення страхового полісу	Автоматична перевірка та активація полісу, автоматичне надсилання полісів клієнтам
2	Обробка страхових випадків	Автоматична перевірка документів (ШІ), автоматична маршрутизація документів, автоматизація виплат компенсацій
3	Формування фінансової звітності	Автоматичний експорт і формування звітів у реальному часі, автоматичний контроль та надсилання звітів керівництву

Значення оцінки $CompatibilityLevel_i$ встановлюється за такими правилами:

а) якщо у таблиці 6 загальна оцінка БП отримала значення «низька», $CompatibilityLevel_i = 0$;

б) якщо у таблиці 6 загальна оцінка БП отримала значення «середня», $CompatibilityLevel_i = 1$;

а) якщо у таблиці 6 загальна оцінка БП отримала значення «висока», $CompatibilityLevel_i = 2$.

Якщо $F_{compatible} < 0,5$, то потрібні суттєві зміни в поточній архітектурі ІС або її повна переробка. Якщо $0,5 \leq F_{compatible} < 0,75$, то потрібні помірні зміни поточної архітектури ІС. Якщо $F_{compatible} \geq 0,75$, поточна архітектура ІС дозволяє реалізувати модифіковану модель БП з мінімальними змінами.

Для кожного модифікованого БП було розраховано значення $CompatibilityLevel_i$. Результат наведено в таблиці 8.

Таблиця 8

Оцінка $CompatibilityLevel_i$

i	Назва бізнес-процесу, P_i	Оцінка
1	Оформлення страхового полісу	1
2	Обробка страхових випадків	0
3	Формування фінансової звітності	0

За формулою (8) було розраховано значення функції $F_{compatible}$ як показника *Correspondence*:

$$Correspondence = \sum_{i=1}^n \frac{CompatibilityLevel_i}{2n} = \frac{1+0+0}{2 \cdot 3} \approx 0,17.$$

Отримане значення показника *Correspondence* відповідає випадку $F_{compatible} < 0,5$, а отже, необхідно впроваджувати суттєві зміни до наявної архітектури $A_{current}$.

Під час виконання кроку 3.1 на основі результатів попереднього аналізу, отриманих на кроках 2.1-2.3, було виявлено, що поточна архітектура ІС $A_{current}$ демонструє низький рівень сумісності з оптимізованими БП $P_{extended}$. Тому було сформовано множину пріоритетних БП з найнижчою оцінкою $CompatibilityLevel_i - B_{prior} = \{P_2, P_3\}$.

Під час виконання кроку 3.2 було висунуто припущення про можливість застосування для опису нової архітектури ІС після міграції A_{new} діаграм компонентів, розгортання та прецедентів UML. Базуючись на цьому припущенні, було сформовано опис нової архітектури ІС після міграції A_{new} як множину візуальних моделей

$$A_{new} = \{VM_1, VM_2, VM_3\},$$

де VM_1 – діаграма компонентів, що відображає всі нові компоненти ІС; VM_2 – діаграма розгортання, яка описує розгортання нових компонентів ІС з урахуванням особливостей хмарної платформи; VM_3 – діаграма прецедентів.

Під час виконання кроку 3.3 було сформовано множину стратегій хмарної міграції $M = \{Lift-and-Shift, Refactoring, Reengineering\}$. На основі множини модифікованих БП $P_{extended}$, множини пріоритетних БП B_{prior} , а також нової архітектури ІС A_{new} було обрано оптимальну стратегію хмарної міграції m , $m \in M$. Цей вибір базується на таких висновках:

а) поточна архітектура не відповідає вимогам до хмарного середовища, а саме, низька автоматизація та низька ефективність свідчать про неможливість простого перенесення (*Lift-and-Shift*);

б) виявлені суттєві відхилення фактичних БП від регламентів вказують на потребу в кардинальному перегляді логіки їх реалізації на принципово новій архітектурі;

в) запропоновані моделі ($VM1$, $VM2$, $VM3$) демонструють, що найефективнішою стратегією для розглянутої хмарної міграції ІС страхової компанії є *Reengineering*.

Обрана стратегія $m = Reengineering$ для використаної у цьому прикладі ІС страхової компанії дозволить максимально ефективно використовувати переваги хмарного середовища та суттєво покращити операційну ефективність.

6. Обговорення результатів дослідження

За результатами дослідження було представлено базовий метод стратегічного планування хмарної міграції ІС, що враховує результати Process Mining. Основною метою цього методу є підвищення точності вибору стратегії хмарної міграції ІС за рахунок використання об'єктивних даних про фактичне виконання БП.

Згідно із визначеними завданнями, було удосконалено опис архітектури ІС шляхом інтеграції модифікованої моделі БП, одержаної внаслідок застосування Process Mining, до загального опису архітектури.

Розроблено базовий метод стратегічного планування хмарної міграції ІС, що передбачає етапи збору та аналізу журналів подій, побудови початкової моделі БП, розширення моделі з урахуванням вимог хмарного середовища та оцінки поточної архітектури на предмет її відповідності новим вимогам. Запропонований метод дозволяє виявляти найкритичніші «вузькі місця» у БП, що потенційно можуть створити перешкоди при міграції ІС у хмарне середовище, пріоритезувати БП залежно від їхнього впливу на ефективність роботи системи після міграції, розробляти архітектурні рішення з урахуванням реальних показників продуктивності та особливостей хмарної інфраструктури. Крім того, запропонований метод дає змогу підвищити точність стратегічного планування за рахунок урахування прихованих сценаріїв виконання БП, які не відображаються у формальних моделях, забезпечити прозорість прийняття рішень щодо хмарної міграції, оскільки всі рекомендації базуються на виявлених БП і закономірностях та інтегрувати результати Process Mining безпосередньо у БП розробки оновленої архітектури ІС, що мінімізує ризик пропуску критичних для міграції БП. Порівняно з роботами, у яких розглядається лише вибір стратегії міграції без урахування реальної

динаміки БП, розроблений базовий метод дає цілісний підхід до міграції: від аналізу наявних БП до вибору конкретної стратегії та побудови архітектури, узгодженої з вимогами хмарного середовища та потребами бізнесу [22]- [24].

Роботи з подальшого вдосконалення запропонованого базового методу можуть бути проведені за такими напрямками.

По-перше, необхідно детально описати, які саме методи чи підходи використовуються для виявлення закономірностей T , вузьких місць B та критичних ланок $P_{critical}$.

По-друге, вимагає уточнення процедура оцінки сумісності поточної моделі з вимогами хмарного середовища (які метрики або порівняльні показники слід використовувати для розрахунку значення *Compatibility*).

По-третє, необхідне деталізоване дослідження способу реалізації відображення (4), який забезпечить формування розширеної моделі $P_{extended}$ на основі даних аналізу *Outcome* та оцінки сумісності *Compatibility*. В процесі цих досліджень *необхідно* також встановити, які саме інсайти з аналізу використовуються для покращення моделі та як ці інсайти впливають на структуру моделі $P_{extended}$.

По-четверте, необхідно визначити особливості побудови функції відповідності $F_{compatible}$ (які параметри архітектури $A_{current}$ враховуються, як саме відбувається порівняння з вимогами $P_{extended}$, як встановлюється критичний поріг θ , які значення вважаються прийнятними, а також хто їх визначає).

По-п'яте, необхідно визначити, за якими критеріями БП потрапляють до множини B_{prior} , які показники (наприклад, міра впливу на ключові показники продуктивності, частота використання, критичність операцій) враховуються при формуванні цієї множини.

По-шосте, для формування архітектури системи після міграції необхідно розробити опис процесу розробки або модифікації архітектури, який дозволить адаптувати систему під вимоги критичних БП. В межах цього опису необхідно також встановити, які моделі, шаблони або інструменти використовуються для цього переходу, та уточнити, як враховуються зовнішні вимоги і технічні обмеження під час формування нової архітектури A_{new} .

По-сьоме, необхідно розробити і детально описати алгоритми агрегування результатів аналізу, визначення нової архітектури та пріоритетних БП для вибору стратегії міграції m , а також відбору стратегій до множини M та формування множини критеріїв, на яких базується їх вибір.

Проведення цих досліджень з подальшого розвитку запропонованого методу дозволить мінімізувати ризики й скоротити витрати на міграцію, зберігаючи водночас гнучкість і масштабованість ІС.

7. Висновки

В процесі виконання даного дослідження було удосконалено опис архітектури ІС шляхом інтеграції модифікованої моделі БП, отриманої за результатами застосування моделей та методів Process Mining. Було показано, що реальні дані, зібрані з журналів подій, дозволяють об'єктивно відобразити фактичну логіку БП, виявити приховані залежності й усунути неузгодженості, які не можна виявити за допомогою традиційних формальних методів. Це сприяло формуванню достовірнішої моделі БП, яка стала основою для модернізації архітектури ІС і побудови нової архітектури ІС у вигляді UML-діаграм. Визначено критичні місця, які потребують першочергової уваги при міграції системи в хмарне середовище.

Розроблено базовий метод стратегічного планування хмарної міграції ІС на основі отриманих результатів Process Mining. Запропонований метод включає послідовність дій

від збору журналів подій і побудови початкової моделі БП до оцінювання відповідності цієї моделі вимогам хмарного середовища та формування розширеної моделі БП. Запропонована функція відповідності дозволяє оцінити відповідність опису існуючої архітектури ІС вимогам оптимізованої моделі БП з погляду обчислювальних та організаційних ресурсів.

Хоча Process Mining є достатньо дослідженим науковим напрямом, застосування моделей, методів та алгоритмів Process Mining у запропонованому методі для стратегічного планування хмарної міграції ІС є новим напрямом, який потребує значних подальших теоретичних та практичних досліджень.

Перелік посилань

1. Mohit Mittal. The Great Migration: Understanding the Cloud Revolution in IT. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2024. Vol. 10, No. 6. С. 2222–2228. URL: <https://doi.org/10.32628/cseit2410612423>
2. Jamshidi P., Ahmad A., Pahl C. Cloud Migration Research: A Systematic Review. *IEEE Transactions on Cloud Computing*. 2013. V. 1, no. 2. P. 142–157. URL: <https://doi.org/10.1109/tcc.2013.10>
3. Thummarakoti S. Transforming Business Processes with Process Mining and Cloud Integration: Applications, Challenges, and Innovations. *International journal of novel research and development (IJNRD)*. 2025. V. 10, No. 1. P. 82–86.
4. El-Gharib N. M., Amyot D. Process Mining for Cloud-Based Applications: A Systematic Literature Review. *2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference Workshops (REW)*, м. Jeju Island, Korea (South), September 23-27, 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/rew.2019.00012>
5. Kesavulu M., Bezbradica M., Helfert M. Generic Refactoring Methodology for Cloud Migration – Position Paper. *7th International Conference on Cloud Computing and Services Science*, м. Porto, Portugal, April 24-26, 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.5220/0006373106920695>
6. Tupsakhare P. Strategies for Legacy Application to Cloud Migration: Navigating Challenges and Maximizing Benefits. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. 2022. V. 9, No. 12. P. 165–168. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13919524>
7. Sukhpreet K. Cloud Migration: Benefits, Challenges, and Mitigation Strategies. 2023. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12132.76167>
8. Mani R. Migration Strategies for Legacy Billing Systems to Cloud Platforms: Challenges, Approaches, and Future Directions. *International Journal of Computer Engineering and Technology*. 2025. V. 16, No. 1. P. 1506–1520. URL: https://doi.org/10.34218/ijcet_16_01_111
9. The Cloud Migration Handbook: Moving Applications and Data to the cloud. SGSH Publication, 2025. 57 с.
10. Antara F. Cost-Efficiency And Performance In CloudMigration Strategies: An Analytical Study. *Journal of Novel Research and Innovative Development*. 2023. V. 1, no. 6. P. 1–13.
11. Abbas Z., Edward E. Cloud Migration Strategies: Moving Applications and Workloads to the Cloud. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/372826166_Cloud_Migration_Strategies_Moving_Applications_and_Workloads_to_the_Cloud
12. Bettacchi A., Polzonetti A., Re B. Understanding Production Chain Business Process Using Process Mining: A Case Study in the Manufacturing Scenario. *Advanced Information Systems Engineering Workshops. CAiSE 2016. Lecture Notes in Business Information Processing*. Cham, 2016. Vol. 249. P. 193–203. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-39564-7_19
13. Giraldo J., Jiménez J., Tabares M. Integrating Business Process Management and Data Mining for Organizational Decision Making. *Research in Computing Science*. 2015. T. 100, № 1. С. 89–102. URL: <https://doi.org/10.13053/rcs-100-1-8>.
14. Rehse, J., Pufahl, L., Grohs, M., Klein, L. Process Mining Meets Visual Analytics: The Case of Conformance Checking. *Hawaii International Conference on System Sciences*. 2022. P. 1-7. URL: <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2209.09712>
15. Yasmin F., Bukhsh F. A., Silva P. d. A. Process Enhancement in Process Mining: A Literature Review. *8th IFIP WG 2.6 International Symposium on Data Driven Process Discovery and Analysis, SIMPDA, 2018, Seville, Spain, Desember13-14, 2018*. P. 65–68.
16. Sodiq Oyetunji Rasaq. Next-Generation Business Process Management: The Evolution of Process Mining Technologie. *International Journal of Novel Research in Engineering & Pharmaceutical Sciences*. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/389099488_Next-Generation_Business_Process_Management_The_Evolution_of_Process_Mining_Technologies

17. Medvidovic N., Rosenblum D. S., Redmiles D.F., Robbins J.E. Modeling software architectures in the Unified Modeling Language / *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*. 2002. Vol. 11, Iss. 1. P. 2–57. URL: <https://doi.org/10.1145/504087.504088>
18. Dobing B., Parsons J. How UML is used. *Communications of the ACM*. 2006. Vol. 49, No. 5. P. 109–113. URL: <https://doi.org/10.1145/1125944.1125949>
19. Urrea–Contreras S. J., Astorga–Vargas M. A., Flores–Rios B. L. et al. Applying Process Mining: The Reality of a Software Development SME. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 4. P. 1402. URL: <https://doi.org/10.3390/app14041402>
20. Vavpotič D., Bala S., Mendling J., Hovelja T. Software Process Evaluation from User Perceptions and Log Data. *Journal of Software: Evolution and Process*. 2022. Vol. 34, No. 4. URL: <https://doi.org/10.1002/smr.2438>
21. Sahlabadi M., Muniyandi R. Ch., Shukur Z. et al. LPMSAEF: Lightweight process mining–based software architecture evaluation framework for security and performance analysis. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 5. e26969. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26969>
22. Bollineni S. Evaluating cloud migration approaches and strategies for successful cloud migration projects for transitioning legacy systems. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. 2019. Vol. 6, No. 2. P. 105–110. URL: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14211128>
23. Suraj P. Migrating To the Cloud: A Step-By-Step Guide for Enterprise. *Iconic Research and Engineering Journals*. 2023. Vol. 7, No. 2. P. 742–748.
24. Srinivas Reddy Pinnapureddy. SAP Cloud Migration: Strategies, Challenges, and Best Practices. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2025. Vol. 11, No. 1. P. 845–853. URL: <https://doi.org/10.32628/cseit25111288>

Надійшла до редколегії 18.03.2025 р.

Євланов Максим Вікторович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: maksym.ievlanov@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6703-5166>

Шутько Віктор Валерійович, аспірант кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: viktor.shutko@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0527-4401>

УДК 004.032.16+519.2:37.018.43-043.332 DOI: 10.30837/0135-1710.2025.184.070

І.М. ВОВЧОК, П.П. МУЛЕСА

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ АДАПТИВНОГО НАВЧАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННОЇ LSTM-МЕРЕЖІ

Розглянуто основні аспекти застосування нейронних мереж для адаптивного навчання здобувачів вищої освіти (далі – здобувачів) на основі аналізу їхніх відповідей. Встановлено, що ефективне персоналізоване навчання потребує автоматизованих методів виявлення прогалин у знаннях та прогнозування успішності здобувача. Розроблено модель довгої короткочасної пам'яті (LSTM), яка аналізує послідовності відповідей здобувачів і визначає необхідність корекції навчального процесу. Проведено порівняльний аналіз точності моделі LSTM з іншими засобами машинного навчання, такими як градієнтний бустинг (XGBoost) та випадковий ліс (Random Forest). Експериментальні результати підтвердили ефективність запропонованого підходу для автоматичного оцінювання рівня знань та формування рекомендацій для покращення навчального процесу.

1. Вступ

Сучасна освіта все більшою мірою переходить до персоналізованих і адаптивних моделей навчання, в яких зміст і траєкторія навчання підлаштовуються під потреби кожного здобувача освіти. Традиційні підходи часто не дозволяють вчасно виявити прогалини у знаннях здобувачів та відреагувати на них [1], [2]. Це може призводити до ситуацій, коли здобувач накопичує нерозуміння з певної теми, що знижує ефективність навчання. Натомість адаптивне навчання ставить за мету динамічно коригувати