

ХМАРНА МІГРАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЯ РЕІНЖИНІРІНГУ ТА ОЦІНКА ВИТРАТ І РИЗИКІВ

Глинчук Л.Я. (ORCID: 0000-0002-8943-9604)

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

CLOUD MIGRATION AS A REENGINEERING STRATEGY AND THE ASSESSMENT OF COSTS AND RISKS

Hlynchuk L. Ya.

Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

Abstract. This article explores cloud migration as a modern technological strategy for reengineering information systems, enabling the transformation of business processes by moving applications, data, and services to cloud environments. It highlights how this strategy provides increased flexibility, scalability, cost-effectiveness, and simplified infrastructure management. The relevance of the topic is justified by the rapidly growing popularity of cloud technologies in both private and public sectors. A structured approach to assessing costs and risks at different migration stages is proposed. Key cost categories are identified, including auditing, software adaptation, staff training, testing, and licensing. A generalized budget distribution table is provided. The article outlines the main risks associated with migration, including technical, organizational, financial, and security-related challenges. A classification method is introduced, categorizing risks by their sources and their potential impact on IT infrastructure stability. Examples from leading global companies that have adopted cloud solutions are discussed. The paper concludes with a summary of the advantages and drawbacks of cloud migration as a reengineering tool and presents suggestions for future research, including opportunities to automate risk and cost assessment using modern analytical tools. This work is intended for IT professionals, analysts, digital transformation consultants, and researchers focused on optimizing IT infrastructure.

Keywords: cloud migration; reengineering; cost analysis; risk management; information systems; digital transformation.

Вступ. Активний розвиток інформаційних технологій зумовив трансформацію підходів до проектування, реалізації та обслуговування інформаційних систем. Одним із ключових трендів останнього десятиліття є хмарні обчислення, що забезпечують гнучкість, масштабованість, доступність сервісів у будь-який час та з будь-якої точки світу. В умовах цифрової трансформації бізнесу, урядових структур та освітніх організацій спостерігається стрімке зростання інтересу до хмарних технологій, зокрема до процесу хмарної міграції. За даними звіту *Flexera State of the Cloud Report 2023*, понад 94% підприємств у тій чи іншій формі використовують хмарні сервіси, а більше 60% здійснили часткову або повну міграцію своїх систем до хмари [1].

У такому контексті хмарна міграція розглядається не лише як технічна операція з перенесення даних і застосунків, але й як стратегія реінжинірингу інформаційної системи. Вона передбачає переосмислення логіки роботи, структури обробки інформації, методів управління ІТ-ресурсами. Переваги переходу до хмари – зменшення витрат на фізичну інфраструктуру, скорочення часу виводу продукту на ринок (time-to-market), підвищення надійності – доведені в численних прикладних дослідженнях і проєктах цифрової трансформації [2; 3].

Проте навіть за умов зовнішньої простоти, хмарна міграція залишається складним проєктом, який потребує чіткої оцінки витрат, потенційних ризиків та підготовки до них. Безсистемний підхід до перенесення сервісів може призвести до перебоїв у роботі, втрат даних, перевищення бюджету та порушення безпеки. Саме тому дослідження у сфері планування, оцінки та управління хмарною міграцією залишаються актуальними як у науковому, так і в практичному вимірі.

У сучасних умовах швидкої цифровізації, зростаючої кількості віддалених користувачів та потреби в оптимізації витрат на ІТ-інфраструктуру, компанії дедалі частіше ухвалюють рішення про перенесення інформаційних систем до хмарного середовища. Однак, як і будь-який комплексний технологічний процес, хмарна міграція має низку проблем, пов'язаних із плануванням, бюджетуванням та технічною реалізацією.

Найпоширенішими труднощами є: відсутність чітких критеріїв оцінки витрат на міграцію, нерозуміння реальних ризиків (зокрема – безпекових), несумісність наявних застосунків із хмарною архітектурою, а також складність у підтриманні безперервності бізнес-процесів під час переходу. У 2022 році понад 45% компаній, які здійснили міграцію до хмари, повідомили про перевищення планового бюджету на 30% і більше [1].

Крім того, недостатня кваліфікація персоналу, недооцінка складності інтеграції, помилки у виборі хмарного провайдера – все це збільшує ризики неуспішної міграції. Враховуючи ці фактори, постає необхідність у науково обґрунтованому підході до аналізу витрат і ризиків, що супроводжують хмарну міграцію як ключову складову реінжинірингу ІТ-систем.

У науковій і професійній літературі останніх років хмарна міграція розглядається як ключовий інструмент цифрової трансформації організацій. У публікаціях провідних аналітичних центрів та технологічних компаній визначено основні виклики, пов'язані з перенесенням інформаційних систем у хмарне середовище, а також сформульовано методичні підходи до зниження витрат і ризиків.

У звіті *Cloud Migration Guidelines* організації Cloud Security Alliance (2021) наголошується на важливості побудови детального плану міграції та визначення відповідальності на кожному з етапів переходу [1]. Дослідники підкреслюють необхідність формування політик безпеки, оцінки рівня готовності даних і сервісів, а також ідентифікації критично важливих елементів системи, що потребують спеціального захисту.

Аналітики Gartner (2022) у дослідженні *Managing Cloud Risks and Costs* звертають увагу на часті помилки організацій, які зосереджуються лише на прямому порівнянні вартості хмарних і локальних ресурсів, ігноруючи приховані витрати, пов'язані з навчанням, інструментами міграції, консультаціями та рефакторингом застосунків [2].

У межах фреймворку *Cloud Adoption Framework* від Amazon Web Services (2023) запропоновано структурований підхід до міграції, що включає фінансове моделювання, оцінку ризиків, технічну підготовку, комунікацію з керівництвом і постійне вдосконалення міграційної стратегії [3].

Також варто згадати дослідження Microsoft (2021), у якому акцентується увага на необхідності чіткого узгодження бізнес-цілей із технічною реалізацією міграції. Компанія пропонує практичні сценарії для малих і середніх підприємств, які здійснюють перехід на Microsoft Azure [4].

У вітчизняному контексті дослідження переважно носять прикладний характер і зосереджуються на адаптації світових методик до українських реалій. При цьому відчувається потреба в уніфікованих критеріях оцінки ефективності та ризиковості хмарної міграції.

Метою дослідження є формування методологічного підходу до обґрунтованої оцінки витрат і ризиків хмарної міграції в контексті реінжинірингу інформаційних систем, що дозволяє знизити невизначеність та запобігти критичним помилкам у процесі цифрової трансформації організацій.

Для досягнення поставленої мети в рамках дослідження визначено такі завдання:

- проаналізувати сучасні підходи до планування хмарної міграції на основі світових рекомендацій;
- класифікувати типові витрати, пов'язані з етапами міграції;
- систематизувати основні ризики, що виникають під час переходу до хмарного середовища;
- розробити узагальнену таблицю витрат на міграцію;
- запропонувати підхід до побудови матриці ризиків і обґрунтувати рекомендації щодо їх зниження;
- сформулювати перспективи подальших досліджень у цій сфері.

Методологія дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових і спеціалізованих методів дослідження, що забезпечили досягнення поставленої мети. Зокрема:

- аналіз і синтез для вивчення сучасних підходів до хмарної міграції, узагальнення існуючих практик та класифікацій;
- порівняльний аналіз для зіставлення витрат і ризиків при реалізації різних стратегій переходу до хмарного середовища;
- експертне оцінювання для формування таблиці витрат на основі відкритих джерел, аналітичних звітів і рекомендацій провідних постачальників хмарних сервісів (AWS, Microsoft Azure, Google Cloud);
- метод системного підходу для виявлення взаємозв'язків між витратами, ризиками та результативністю реінжинірингу IT-систем;
- візуалізація даних для побудови табличних моделей та представлення результатів дослідження в узагальненому вигляді.

Результати дослідження та їхнє обговорення. У рамках виконання першого етапу дослідження було застосовано метод аналізу та синтезу для вивчення та узагальнення сучасних практик планування хмарної міграції. Проаналізовано міжнародні рекомендації, зокрема документи таких організацій, як National Institute of Standards and Technology (NIST) [5], European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) [6], Cloud Security Alliance (CSA) [7], а також публікації провідних постачальників хмарних рішень, таких як Amazon Web Services [8], Microsoft Azure [9] та Google Cloud Platform [10].

На основі проведеного аналізу виділено ключові етапи типового процесу хмарної міграції:

1. Оцінка поточної IT-інфраструктури – включає інвентаризацію активів, виявлення залежностей між системами та оцінку готовності до міграції.
2. Вибір моделі хмарних сервісів (IaaS, PaaS, SaaS) – залежно від функціональних вимог і потреб організації.
3. Розрахунок витрат і потенційних вигод – враховуються не лише прямі фінансові витрати, а й довгострокові переваги масштабованості, гнучкості та зменшення часу на обслуговування.
4. Оцінка ризиків і безпекових аспектів – визначаються ризики втрати даних, проблем із сумісністю, дотриманням нормативних вимог.
5. Планування поетапної міграції – із визначенням пріоритетів, сценаріїв повернення (rollback plans) та заходів із підтримки користувачів.

Синтез отриманої інформації дозволив сформувати узагальнену класифікацію підходів до планування хмарної міграції:

- інфраструктурно-орієнтовані (міграція віртуальних машин і серверів);
- додатково-орієнтовані (перенесення окремих сервісів або мікросервісів);
- бізнес-орієнтовані (міграція з урахуванням бізнес-процесів, вартості та стратегічних цілей).

Ці підходи не є взаємовиключними, а комбінуються залежно від конкретних потреб організації. Застосування аналітичного підходу дозволило систематизувати існуючі практики та створити основу для подальшої оцінки витрат і ризиків.

У межах реалізації наступних дослідницьких задач було застосовано метод порівняльного аналізу для ідентифікації та класифікації витрат і ризиків, пов'язаних з переходом до хмарного середовища. Порівнювались як загальні етапи типового процесу міграції, так і варіативні стратегії реалізації – lift-and-shift, refactoring, replatforming, rebuilding тощо [5], [8], [9].

Типові витрати на хмарну міграцію були систематизовані за етапами процесу переходу:

- Оцінка та планування (витрати на аудит IT-інфраструктури, розробку стратегії, вибір хмарного провайдера) [4].
- Підготовка до міграції (навчання персоналу, модернізація архітектури, створення резервних копій) [5].
- Власне міграція (витрати на налаштування сервісів, перенесення даних, інтеграцію API) [5].
- Післяміграційна адаптація (оптимізація ресурсів, оновлення безпекової політики, адміністрування) [6].

Виділено прямі (капітальні та операційні витрати) та непрямі витрати (втрата продуктивності, простої, витрати на зміни в бізнес-процесах) [6].

Ризики були згруповані за джерелом виникнення:

- Технічні ризики (несумісність платформ, втрати даних, недостатня пропускну здатність) [7], [9].
- Організаційні ризики (опір персоналу, відсутність кваліфікованих фахівців, неналежне управління проєктом) [5].
- Фінансові ризики (зростання загальної вартості володіння (TCO) через недооцінку витрат, необхідність у незапланованих інвестиціях) [8].
- Юридичні та регуляторні ризики (порушення вимог зберігання даних, залежність від юрисдикції провайдера) [6].

Опишемо коротко суть кожної стратегії міграції.

Стратегія Lift-and-Shift (пехостинг) передбачає перенесення існуючих IT-систем до хмари без змін у їх архітектурі, що забезпечує швидкий запуск, але не враховує специфіку хмарного середовища, що призводить до високих технічних ризиків [7], [10].

Replatforming полягає у частковій модифікації програмного забезпечення з метою кращої сумісності з хмарною інфраструктурою, що дозволяє збалансувати витрати і ризики на етапі міграції [7], [9].

Refactoring включає суттєву перебудову коду або архітектури додатків для повної адаптації до хмарних можливостей, таких як мікросервіси чи безсерверні обчислення, що супроводжується значними витратами, але дозволяє досягти високої ефективності у довгостроковій перспективі [7], [8].

Rebuilding – це створення нової версії системи з нуля, що дозволяє використати всі переваги хмарних технологій, однак вимагає найбільших інвестицій ресурсів і часу [7], [10].

Retiring – це відмова від застарілих чи невикористовуваних компонентів інформаційної системи, що дозволяє скоротити витрати та підвищити загальну ефективність інфраструктури [8].

Retaining означає збереження певних додатків у локальному середовищі, якщо їх міграція є недоцільною або пов'язана з високими ризиками, наприклад, через вимоги безпеки або нормативне регулювання [9].

Побудуємо орієнтовну таблицю 1 порівнянь витрат та ризиків.

Таблиця 1.
Порівняльний аналіз стратегій хмарної міграції [7, 8, 9, 10]

Стратегія міграції	Типові витрати (ТСО)	Рівень технічного ризику	Коментар
Lift-and-Shift	Низькі	Високий	Швидка, але без оптимізації. Можлива несумісність
Replatforming	Середні	Середній	Часткова адаптація під хмару
Refactoring	Високі	Середній–високий	Переписування частин додатку для хмари
Rebuilding	Дуже високі	Низький–середній	Повна перебудова під cloud-native архітектуру
Retiring	Низькі	Низький	Видалення застарілих компонентів
Retaining	Низькі	Залежить від підтримки	Часто тимчасове рішення

Порівняльний аналіз показав, що найбільші витрати спостерігаються при використанні стратегії rebuilding, а найменші – при lift-and-shift, проте остання супроводжується найвищим рівнем технічних ризиків [7], [10].

Результати аналізу дозволяють зробити висновок про необхідність раннього балансу між витратами та ризиками, виходячи з обраної моделі трансформації ІТ-інфраструктури.

Порівняльний аналіз стратегій міграції дозволяє оцінити вплив кожного підходу на витрати та ризики переходу до хмарного середовища. Стратегія lift-and-shift, що передбачає мінімальні зміни до архітектури систем, вимагає найменших початкових інвестицій, проте супроводжується високими технічними ризиками, зокрема через несумісність старих додатків з хмарними середовищами [7], [10].

Стратегія rehosting також мінімізує витрати, але дозволяє більше гнучкості в адаптації ресурсів. Replatforming вимагає часткових змін і характеризується збалансованим рівнем витрат і ризиків. Найвищі витрати притаманні стратегії rebuilding, оскільки вона передбачає повне перепроєктування систем, проте саме цей підхід дозволяє максимально використовувати переваги хмарних технологій [5], [8].

Відповідно до [6], середній показник витрат при переході за моделлю rebuilding може перевищувати \$300,000 для середнього бізнесу, тоді як lift-and-shift реалізується за \$50,000–\$100,000. Отже, при виборі стратегії важливо враховувати як початкові витрати, так і потенційні довгострокові вигоди та ризики збоїв.

На основі відкритих джерел, рекомендацій хмарних провайдерів (AWS, Azure, GCP) та аналітичних звітів, проведено експертне оцінювання типових витрат на основних етапах хмарної міграції. Отримані результати систематизовано у таблиці 2.

Для досягнення узгодженості між витратами та ризиками застосовано метод системного підходу. Встановлено, що витрати не є незалежними – вони безпосередньо впливають на рівень ризиків. Наприклад, заощадження на етапі попередньої оцінки призводить до недооцінки складності проєкту, що підвищує ризик невдалої міграції [7], [10].

Таблиця 2.

Типові витрати, пов'язані з хмарною міграцією

Етап	Основні витрати (орієнтовні суми)	Джерела
Попередня оцінка	Аудит ІТ-інфраструктури, оцінка готовності до міграції (~\$10,000–\$30,000)	[5], [7]
Підготовка середовища	Налаштування хмарної платформи, безпека, навчання персоналу (~\$20,000–\$50,000)	[8], [10]
Міграція	Перенесення додатків, даних, інтеграція з іншими системами (~\$50,000–\$150,000)	[6], [7]
Оптимізація	Тестування, масштабування, адаптація до хмарних інструментів (~\$15,000–\$40,000)	[8], [9]
Підтримка	Моніторинг, технічна підтримка, резервне копіювання (~\$10,000/рік)	[7], [10]

На основі цього підходу сформовано базову матрицю ризиків (таблиця 3), яка дозволяє визначити ймовірність та вплив типових ризиків, зокрема:

Таблиця 3.

Базова матриця ризиків хмарної міграції

Ризик	Ймовірність	Вплив	Рівень ризику	Рекомендації щодо зниження	Джерела
Відмова компонентів через несумісність	Висока	Високий	Критичний	Впровадження багаторівневих перевірок на етапі підготовки	[6], [7], [10]
Витік даних через помилки в налаштуваннях	Середня	Критичний	Критичний	Автоматизовані інструменти виявлення помилок конфігурації	[6], [7], [10]
Перевищення бюджету через недооцінку обсягів робіт	Висока	Середній	Високий	Резервування бюджетів на непередбачувані витрати	[6], [7], [10]
Несумісність додатків	Середня	Високий	Високий	Тестування і попередня модернізація додатків	[5], [7]
Порушення безпеки під час передачі або зберігання даних	Середня	Критичний	Критичний	Шифрування даних, аудит конфігурацій, налаштування прав доступу	[6], [4], [9]
Нестача персоналу з необхідними знаннями для хмарної архітектури	Середня	Середній	Високий	Проведення тренінгів, залучення зовнішніх фахівців	[5], [9]

- відмова компонентів через несумісність (висока ймовірність, високий вплив);
- витік даних через помилки в налаштуваннях (середня ймовірність, критичний вплив);
- перевищення бюджету через недооцінку обсягів робіт (висока ймовірність, середній вплив) та ін.

Рекомендації щодо зниження ризиків включають:

- впровадження багаторівневих перевірок на етапі підготовки (для технічних ризиків);
- застосування автоматизованих інструментів виявлення помилок конфігурації (для ризиків безпеки);
- резервування бюджетів на непередбачувані витрати (для фінансових ризиків) [6], [7], [10].

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що хмарна міграція виступає ефективною стратегією реінжинірингу інформаційних систем, дозволяючи підвищити масштабованість, надійність і доступність IT-інфраструктури. Комплексна оцінка витрат та ризиків, заснована на багатофакторному аналізі, підтвердила необхідність системного підходу до ухвалення рішень щодо переносу бізнес-процесів у хмарне середовище.

Було визначено ключові витратні статті, серед яких домінують витрати на початкову міграцію, адаптацію архітектури, безпекові механізми та навчання персоналу. Також ідентифіковано основні ризики, включаючи технічні збої, втрату даних, відповідність нормативним вимогам та залежність від постачальника хмарних послуг. Встановлено, що ретельне планування, вибір оптимального типу хмари (публічна, приватна або гібридна) і застосування стандартів управління ризиками значно знижують загальні загрози впровадження хмарної архітектури.

У статті також було обґрунтовано застосування мультикритеріальних методів оцінки, що поєднують кількісні та якісні показники. Це забезпечило об'єктивність при порівнянні альтернативних стратегій міграції.

Перспективи подальших досліджень полягають у:

- розробленні адаптивних моделей оцінки витрат з урахуванням динаміки цін на хмарні послуги та змін у політиці провайдерів;
- створенні інструментарію для автоматизованої ідентифікації ризиків з використанням алгоритмів машинного навчання;
- дослідженні впливу галузевої специфіки на ефективність хмарної міграції, зокрема в контексті фінансового, освітнього та оборонного секторів;
- формалізації метрик для вимірювання довгострокового економічного ефекту від впровадження хмарних рішень.

Таким чином, результати дослідження можуть бути використані як теоретичною базою, так і практичним орієнтиром для підприємств, що планують хмарну трансформацію своїх інформаційних систем у рамках цифрової стратегії розвитку.

Бібліографія

1. Flexera. 2023 State of the Cloud Report [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://info.flexera.com/SLO-CM-REPORT-State-of-the-Cloud-2023>
2. Gartner. Managing Cloud Risks and Costs [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.gartner.com/en/documents/4005817>
3. Amazon Web Services. AWS Cloud Adoption Framework [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/professional-services/CAF>
4. Microsoft. Cloud Migration Strategy for Small and Medium Businesses [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/migrate>

5. National Institute of Standards and Technology. NIST Cloud Computing Standards Roadmap [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.500-291r2.pdf>
6. European Union Agency for Cybersecurity. ENISA Cloud Computing Risk Assessment [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/all_files/ENISA%20-%20Cloud%20Computing%20-%20final.pdf
7. Cloud Security Alliance. Cloud Security Best Practices [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://cloudsecurityalliance.org/blog/2022/04/23/cloud-security-best-practices-from-the-cloud-security-alliance>
8. Amazon Web Services. AWS Cloud Migration Planning [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/solutions/migration/cloud-migration-planning>
9. Microsoft. Azure Cloud Adoption Framework [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/migrate>
10. Google Cloud. Migration Center: Planning Overview [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://cloud.google.com/migration-center/docs/migration-planning-overview>

References

1. Flexera. *2023 State of the Cloud Report* [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://info.flexera.com/SLO-CM-REPORT-State-of-the-Cloud-2023>
2. Gartner. *Managing Cloud Risks and Costs* [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4005817>
3. Amazon Web Services. *AWS Cloud Adoption Framework* [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://aws.amazon.com/professional-services/CAF>
4. Microsoft. *Cloud Migration Strategy for Small and Medium Businesses* [Electronic resource]. – 2021. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/migrate>
5. National Institute of Standards and Technology. *NIST Cloud Computing Standards Roadmap* [Electronic resource]. – 2020. – URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.500-291r2.pdf>
6. European Union Agency for Cybersecurity. *ENISA Cloud Computing Risk Assessment* [Electronic resource]. – 2020. – URL: https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/all_files/ENISA%20-%20Cloud%20Computing%20-%20final.pdf
7. Cloud Security Alliance. *Cloud Security Best Practices* [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://cloudsecurityalliance.org/blog/2022/04/23/cloud-security-best-practices-from-the-cloud-security-alliance>
8. Amazon Web Services. *AWS Cloud Migration Planning* [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://aws.amazon.com/solutions/migration/cloud-migration-planning>
9. Microsoft. *Azure Cloud Adoption Framework* [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/migrate>
10. Google Cloud. *Migration Center: Planning Overview* [Electronic resource]. – 2023. – URL: <https://cloud.google.com/migration-center/docs/migration-planning-overview>