

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.
Ефективна економіка. 2025. № 7.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.7.44>

УДК 004.652.4:330.101.541:005.311.121

О. К. Єлісєєва,

д. е. н, професор, професор кафедри економічного моделювання, обліку та статистики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4907-5700>

В. С. Белозерцев,

к. е. н, доцент, доцент кафедри економічного моделювання, обліку та статистики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4191-9382>

В. В. Моргуненко,

студент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0167-0117>

ЕВОЛЮЦІЯ МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНИХ ДАНИХ: ВІД РЕЛЯЦІЙНОЇ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ДО АСОЦІАТИВНОЇ ГНУЧКОСТІ

O. Yelisyeyeva,

Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Economic Modeling, Accounting and Statistics, Oles Honchar Dnipro National University

V. Bielozertsev,

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Modeling, Accounting and Statistics,

Oles Honchar Dnipro National University

V. Morhunenko,

Student, Oles Honchar Dnipro National University

THE EVOLUTION OF ECONOMIC DATA MODELS: FROM RELATIONAL FORMALIZATION TO ASSOCIATIVE FLEXIBILITY

Стаття присвячена аналізу еволюції моделей економічних даних – від реляційної формалізації до асоціативної гнучкості. Досліджено трансформацію підходів до організації економічних даних під впливом цифровізації, стрімкого зростання обсягів неструктурованих даних і розвитку бізнес-аналітики. Висвітлено особливості традиційних реляційних моделей, їхні переваги для структурованих даних, а також обмеження в умовах динамічних бізнес-процесів. Окрему увагу приділено нереляційним (NoSQL) і асоціативним (графовим) моделям даних, їх місцю в сучасних системах аналітики, витратам на впровадження та практичним кейсам застосування. У статті проаналізовано тенденції використання гібридних архітектур баз даних, оцінено економічну доцільність їх застосування для українських компаній. Підкреслено важливість асоціативної гнучкості моделей даних для ефективного управління знаннями, оптимізації бізнес-процесів і підвищення конкурентоспроможності підприємств у цифровій економіці.

The article explores the evolution of economic data models – from the strict relational formalization to the flexible associative approaches – in the context of digital transformation and the rapid development of business analytics. It highlights the role of relational databases as a traditional basis for structured economic information storage, emphasizing their advantages such as data integrity, standardization, and transactional reliability. However, the study reveals the limitations of relational models when dealing with unstructured or semi-structured data, dynamic business environments, and real-time analytics tasks.

Special attention is given to the rise of NoSQL technologies, including document-oriented, column-based, key-value, and graph databases, which provide high flexibility, horizontal scalability, and adaptability to rapidly changing data structures. The article analyses the economic efficiency of implementing these models in enterprise environments, considering both infrastructure costs and

organizational challenges, particularly within Ukrainian companies transitioning towards data-driven management.

Graph databases and enterprise knowledge graphs are examined as promising tools for visualizing complex interdependencies between business entities, enhancing decision-making processes, and supporting advanced analytics like fraud detection, customer behavior analysis, and supply chain management.

The study emphasizes that hybrid data architectures combining relational, NoSQL, and graph models represent a key trend in modern business intelligence systems, ensuring optimal performance across various analytical tasks. Moreover, the research underscores the strategic importance of associative flexibility in data models for enhancing knowledge management, optimizing data integration, and maintaining competitiveness in the global knowledge economy.

The findings are supported by recent literature reviews (2021–2025), statistical data, and case studies, providing practical recommendations for business practitioners and researchers. The article concludes that the effective combination of relational and flexible data models is a critical factor for the success of enterprises operating in the digital economy, particularly in countries striving for technological and economic integration, such as Ukraine.

Ключові слова: *моделі даних, асоціативна модель економічних даних, реляційна модель економічних даних, реляційні бази даних, NoSQL, графові бази даних, асоціативна гнучкість, бізнес-аналітика, цифрова трансформація, управління знаннями, економіка знань, гібридні архітектури даних, корпоративні графи знань, інтеграція даних.*

Keywords: *Data models, Associative model of economic data, Relational model of economic data, Relational databases, NoSQL, Graph databases, Associative flexibility, Business analytics, Digital transformation, Knowledge management, Knowledge economy, Hybrid data architectures, Enterprise knowledge graphs, Data integration.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Сучасна цифрова економіка характеризується стрімким зростанням обсягів та різноманітності даних. Традиційні реляційні моделі даних, запропоновані ще в 1970-х роках Е. Ф. Коддом, забезпечили формальний апарат для структурованого зберігання й обробки інформації у вигляді таблиць (відношень) [1]. Реляційні системи керування базами даних отримали домінування в економічній аналітиці та бізнес-аналітиці завдяки забезпеченню цілісності даних, стандартизації мови SQL та надійності транзакцій. Однак у XXI столітті суттєве зростання обсягів даних, поява підходу до обробки даних, відомого як Big Data та потреби у більш гнучких підходах висвітлили обмеження жорстких схем реляційних баз даних. Близько 90% світових даних є неструктурованими, а їх обсяг зростає утричі швидше, ніж обсяг структурованих даних [2]. Вже у 2025 році загальний обсяг даних може сягнути 175 зетабайт, причому переважна частина – неструктурована інформація (текст, зображення, лог-файли тощо) [3]. Така ситуація вимагає еволюції моделей даних – від реляційної формалізації до більш асоціативних і гнучких способів організації даних.

Однією з відповідей на цей виклик стало поширення нереляційних (NoSQL) підходів та асоціативних моделей, що акцентують зв'язки між елементами даних замість фіксованих таблиць [5]. До NoSQL-рішень належать документо-орієнтовані, колонкові, ключ-значення та графові бази даних. Вони дозволяють зберігати дані без жорсткого схемного обмеження, горизонтально масштабуватися на дешевих серверах та обробляти великі обсяги розрізнених даних. Паралельно виникають концепції Data Lake, Data Lakehouse та Data Fabric, які забезпечують гнучку інтеграцію різноманітних джерел даних. Асоціативна гнучкість моделей проявляється, зокрема, у графових базах даних та семантичних сховищах знань (knowledge graphs), де інформація представлена у вигляді зв'язного графу об'єктів і відношень. Це відкриває нові можливості для економічного аналізу: від виявлення

прихованих закономірностей між бізнес-процесами до побудови 360°-профілів клієнтів у реальному часі [3].

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю оцінити еволюцію моделей економічних даних та проаналізувати вартість впровадження новітніх підходів у бізнес-аналітику. Більшість підприємств уже інвестує у технології Big Data: за останніми оцінками, понад 97% компаній у світі вкладають кошти у великі дані, хоча лише 24% з них ефективно використовують зібрані дані для прийняття рішень [4]. Глобальні витрати на аналіз даних невинно зростають і прогнозовано сягнуть \$396 млрд у 2025 році (проти приблизно \$240 млрд у 2021) [4]. Отже, на порядку денному постає питання: чи виправдовують себе інвестиції у гнучкі асоціативні моделі даних порівняно з традиційними реляційними підходами, особливо з огляду на економічні потреби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реляційні бази даних історично стали основою інформаційних систем в економіці та менеджменті. Їх перевагою є формальна строгість: схема бази чітко визначає структуру таблиць, а мова SQL дозволяє виконувати складні аналітичні запити (OLAP) із гарантією ACID-властивостей транзакцій. Літературні джерела відзначають високу надійність та цілісність реляційних СКБД, можливість забезпечення одночасного багатокористувацького доступу і захисту даних [9]. Реляційні сховища даних широко застосовуються для фінансового обліку, ERP-систем, OLAP-кубів у бізнес-аналітиці. У порівнянні з ієрархічними чи мережевими моделями, реляційні СКБД забезпечують зручність маніпулювання даними завдяки реляційній алгебрі та оптимізації запитів [1]. Проте жорстка нормалізована схема обмежує гнучкість: при зміні вимог бізнесу оновлення схем є трудомістким; важко працювати з напівструктурованими або неструктурованими даними. З розвитком концепції Big Data виникло поняття NoSQL, яке початково означало «Not Only SQL», тобто альтернативи SQL-підходу для особливих задач масштабування та гнучкості.

У період 2021–2025 рр. з'явилося багато досліджень щодо нереляційних моделей даних в контексті промисловості 4.0 та цифрової трансформації [8]. Багато дослідників відзначають, що вибір логічної моделі даних значно впливає на продуктивність smart factory систем, особливо при роботі з Big Data [5]. NoSQL-системи характеризуються відсутністю фіксованої схеми та орієнтацією на агрегати даних, що забезпечує високу гнучкість у роботі зі складними, швидко змінними наборами даних. Існують різновиди NoSQL баз даних: документо-орієнтовані (наприклад, MongoDB, RavenDB), колонкові (Cassandra, HBase), ключ-значення (Redis) та графові (Neo4j). Кожна з перелічених баз даних оптимізована під певні випадки використання. Зокрема, документо-орієнтовані бази даних зберігають записи у форматі JSON/XML, дозволяючи зберігати напівструктуровані дані і легко змінювати структуру запису [8]. Колонкові бази даних (таблиці з динамічними стовпцями) ефективні для дуже великих розріджених таблиць, де різні рядки можуть мати різні набори атрибутів. Графові бази даних моделюють дані у вигляді вузлів та ребер – це і є асоціативна модель, що концентрується на взаємозв'язках. В огляді таких дослідників, як Семенюк А. та Юхимчук М. [6] показано, що графові бази даних ефективно моделюють та аналізують складні взаємозв'язки в кібербезпеці, перевершуючи традиційні реляційні бази даних у виявленні аномалій. Зокрема, використання графових баз даних дозволило підвищити точність виявлення кіберзагроз на 25% та скоротити час реагування на інциденти на 30% порівняно з реляційною базою. Це є яскравим прикладом переваг асоціативної моделі у задачах, де критичними є складні зв'язки між даними.

Багато джерел також наголошує, що NoSQL не витісняє повністю реляційний підхід, а часто доповнює його. Згідно з опитуваннями розробників [5], майже половина (49%) спеціалістів використовують комбінацію SQL та NoSQL, тоді як тільки приблизно 8% обходяться виключно NoSQL. Це підтверджує концепцію «polyglot persistence», коли різні завдання в бізнес-аналітиці вирішуються різними спеціалізованими

інструментами. Наприклад, документо-орієнтована база даних може використовуватися для збору логів і соціальних медіа, а агреговані результати періодично переносяться до реляційного сховища для звітності (через механізми реплікації або ETL) [5]. Гнучкі сховища даних також включають Data Lake – репозиторії сирих даних у різних форматах, що дозволяють відтермінувати схему до моменту читання (schema-on-read). Вони дешевші в зберіганні, ніж сховища даних (data warehouse), оскільки використовують масштабоване файлове середовище хмарних платформ. IBM та інші джерела відзначають, що відокремлення сховища від обчислень у Data Lake дає кращу масштабованість і нижчу вартість для великих обсягів даних [8]. Натомість, класичні Data Warehouse зі структурованими даними забезпечують швидкі SQL-запити, але ціною більш високих витрат на підтримання жорсткої моделі та трансформацію даних.

Останніми роками спостерігається бум на побудову корпоративних графів знань (Enterprise Knowledge Graphs) – по суті, асоціативних моделей, що інтегрують розподілені дані організації в єдину семантичну мережу. За прогнозами, впровадження технологій графів знань здатне збільшити інновації у бізнес-аналітиці більше ніж на 70% до 2026 року, а частка організацій, що застосовують графи знань у прийнятті рішень постійно збільшується [7]. Це зумовлено тим, що графи знань дають уніфіковане уявлення про дані підприємства, поєднуючи різні джерела та домени знань. Вони дозволяють на льоту інтегрувати структуровані, напівструктуровані й неструктуровані дані, формуючи зв'язний граф фактів, доступний для аналітики та штучного інтелекту. Наприклад, у банківському секторі графи використовуються для побудови 360-градусного огляду клієнта, де інформація з транзакційних систем, CRM, соцмереж зв'язується за допомогою графових відношень, що спрощує виявлення шахрайства чи персоналізацію пропозицій [3].

McKinsey [8] відзначає, що гнучкі сховища даних та графові моделі стали однією з ключових характеристик data-driven підприємств 2025 року,

оскільки дозволяють інтегрувати дані для готовності до використання та прийняття рішень у реальному часі. Компанії все більше застосовують різні типи баз даних – графові, хронологічні, документо-орієнтовані – у доповнення до реляційних, щоб швидше знаходити зв'язки в даних та прискорювати розвиток AI-рішень.

Таким чином, літературний огляд показує, що в період 2021–2025 рр. відбувся значний зсув від монолітного використання реляційних баз даних до багатомодельних архітектур, де співіснують SQL і NoSQL рішення. Причинами цього є вибухове зростання обсягів неструктурованих даних, потреба у горизонтальному масштабуванні в реальному часі, а також розвиток хмарних технологій і мікросервісів. Водночас, традиційні реляційні системи не зникають: вони залишаються так званим «золотим стандартом» для транзакційності та структурованої аналітики, але доповнюються гнучкими сховищами для нових типів даних. У табл. 1 узагальнено ключові характеристики різних підходів.

Таблиця 1. Порівняння реляційної, NoSQL та асоціативної моделей даних: ключові характеристики, переваги та недоліки

Модель даних	Переваги	Недоліки	Типові сфери застосування
Реляційна (SQL)	- Строга цілісність і консистентність даних (ACID-транзакції) - Стандартизована мова запитів SQL для складної аналітики - Надійність, безпека та керування доступом у СКБД - Оптимальна для структурованих даних (числові показники, реєстри)	- Жорстка схема, складність змін структури даних під нові вимоги - Обмежена масштабованість по горизонталі (масштабування шляхом залучення дорогого обладнання) - Неефективність зберігання неструктурованих даних (потрібна попередня обробка) - Витрати на ліцензії комерційних СКБД (Oracle, MS SQL)	Фінансовий облік, бухгалтерія, банківські послуги, товарні системи Сховища даних для BI (з відносно фіксованою схемою)

Модель даних	Переваги	Недоліки	Типові сфери застосування
NoSQL (документо-орієнтовані, колонкові, Key-Value)	- Гнучка схема: дані можуть мати різні структури, <i>schema-on-read</i> - Горизонтальне масштабування на кластері недорогих серверів (<i>shared-nothing</i>) - Висока продуктивність для великих обсягів даних і високонавантажених веб-сервісів - Підтримка зберігання JSON, XML, графів, мультимедіа тощо без перетворення	- Відсутність уніфікованого стандарту запитів (не завжди є аналог SQL) - Компроміс між консистентністю і доступністю (CAP-теорема, <i>eventual consistency</i>) - Складність інтеграції результатів з різних NoSQL для комплексної аналітики (часто дані треба копіювати в SQL для звітності) - Необхідність спеціалізованих навичок адміністрування (менш розповсюджені, ніж SQL)	Веб-аналітика, журнали подій, Соціальні мережі, текстові дані, IoT-дані, часові ряди (sensor data), Еластичний пошук (ElasticSearch для логів)
Асоціативна (Графова)	- Природне відображення складних взаємозв'язків між сутностями (мережеві структури) - Ефективне виконання запитів типу “шляхів” для соціальних графів, рекомендацій, виявлення шахрайства - Можливість семантичного моделювання знань (ontologies, RDF) для AI/ML - Гнучкість додавання нових типів зв'язків без зміни всієї моделі	- Відносно нові технології, відсутність кадрів з досвідом використання графових баз даних у бізнесі - Продуктивність може падати при дуже великих графах без оптимізації (вимоги до пам'яті) - Не всі задачі ефективні в графовій моделі (там, де мало зв'язків, граф дає зайві накладні витрати) - Інструменти аналітики графів ще розвиваються, інтеграція з існуючими системами потребує зусиль	Рекомендаційні системи (роздрібна торгівля), Виявлення шахрайства у фінансах (аналіз зв'язків між транзакціями), Управління знаннями в організації (knowledge graph для пошуку інформації) Кібербезпека (графи атак та вразливостей)

Джерело: сформовано на основі [1], [2], [6], [9].

Огляд літератури демонструє, що сучасні дослідники сходяться на думці: не існує універсальної моделі даних, оптимальної для всіх випадків. Реляційні бази даних залишаються фундаментом для структурованої економічної інформації, проте набувають розвитку гібридні архітектури, де реляційні сховища співіснують із NoSQL та графовими компонентами. Подальші напрями досліджень зосереджені на поєднанні найкращих властивостей різних моделей (multi-model databases), стандартів сумісності даних та автоматизації управління даними (наприклад, концепція Data Fabric з використанням метаданих і AI для інтеграції джерел).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є здійснити глибокий аналіз еволюції моделей економічних даних від реляційних до асоціативних, оцінити переваги, недоліки та витрати на впровадження цих підходів у бізнес-аналітику.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз відкритих даних підтверджує експоненційне зростання інвестицій у гнучкі моделі даних та Big Data-аналітику. Як показано на рис. 1, глобальний ринок великих даних та бізнес-аналітики зростав з \$240,6 млрд у 2021 році до очікуваних \$396,4 млрд у 2025 році. Це відповідає середньорічному темпу зростання приблизно 13,4%. Найбільш різке збільшення витрат прогнозується у 2024–2025 рр., що збігається з активним впровадженням хмарних аналітичних сервісів та AI-рішень. Така динаміка свідчить про стратегічну важливість даних для бізнесу: компанії дедалі більше витрачають на збір, зберігання та аналіз даних у реальному часі. За оцінками Gartner, глобальні витрати саме на Big Data (апаратне і програмне забезпечення та послуги) досягнуть \$230 млрд вже у 2025 році [8]. Отримані результати узгоджуються з тезою McKinsey про те, що дані стають основою кожного бізнес-процесу, а гнучкі сховища – необхідною умовою конкурентоспроможності [3].

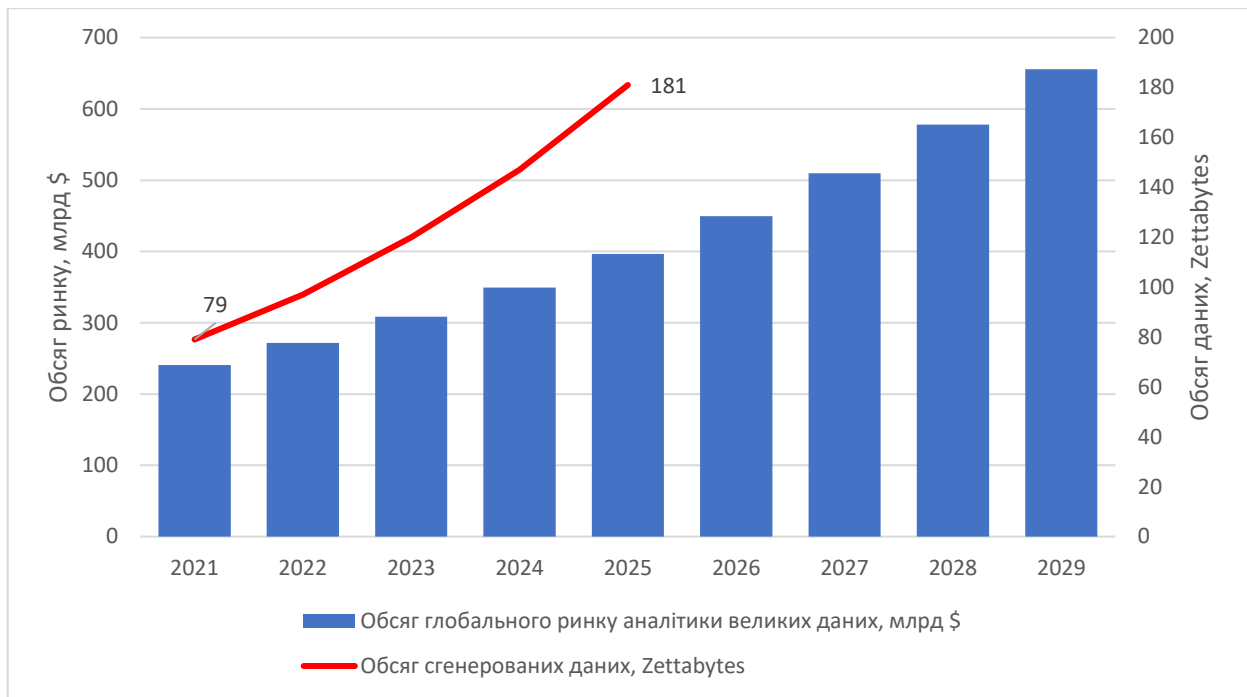


Рис. 1. Глобальний ринок Big Data та бізнес-аналітики за роками

Джерело: Систематизовано, узагальнено та згруповано за даними [4], [8].

Опитування розробників та аналітиків підтверджують, що реляційні СКБД залишаються найбільш поширеними, але все частіше доповнюються NoSQL. Як видно з рис. 2, лише 43% фахівців використовують тільки реляційні бази, тоді як майже половина (49%) поєднує реляційні і нереляційні технології; виключно NoSQL-решення використовують близько 8% респондентів. Це свідчить про тенденцію до гібридної архітектури даних: підприємства зберігають критичну інформацію у традиційних СКБД, але для специфічних задач (великий обсяг, висока швидкість, напівструктуровані дані) підключають спеціалізовані NoSQL-системи. Також опитування виявляють цікаву деталь: хоч розробники і висловлюють певну «втому» від старих RDBMS (27% хотіли б відмовитися від SQL-систем), повна відмова малоімовірна – NoSQL зазвичай працює в парі з SQL, а не повністю замість нього. Наприклад, Redis чи MongoDB майже завжди розгортаються поряд з існуючими базами для прискорення окремих функцій, з подальшою інтеграцією результатів у централізовану СУБД.

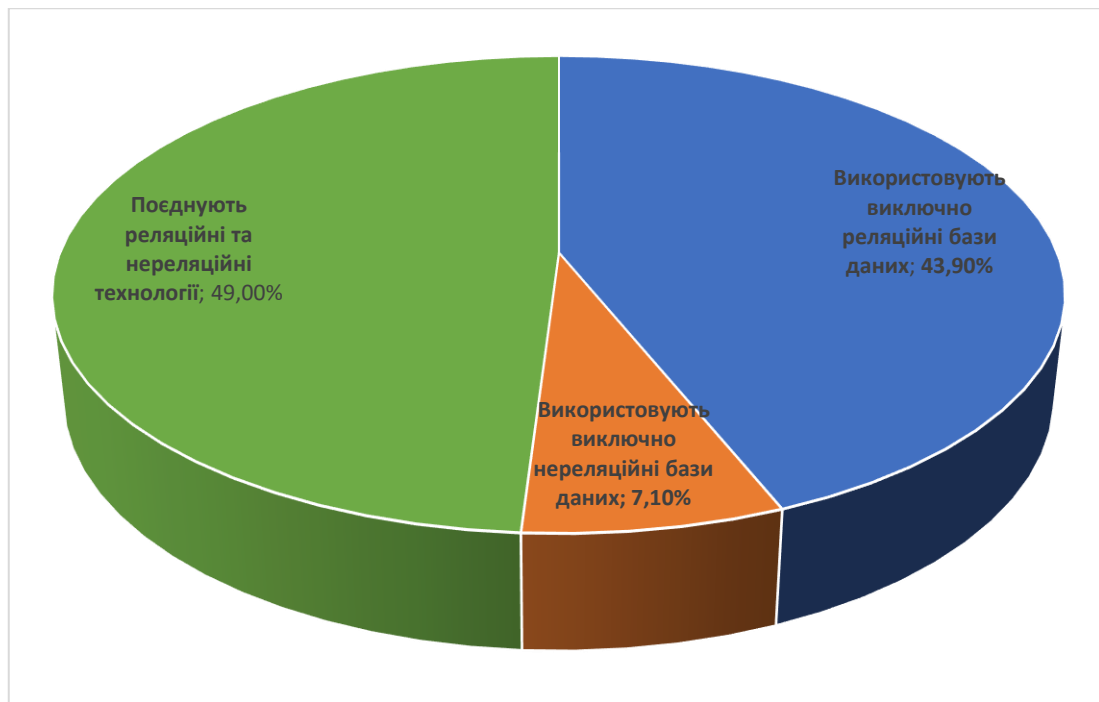


Рис. 2. Використання реляційних та нереляційних баз даних (за результатами опитування розробників, 2023)

Джерело: Систематизовано, узагальнено та згруповано за даними [5].

Зібрані дані щодо окупності проектів *Big Data* свідчать про неоднозначні результати. За дослідженням Capgemini, лише приблизно 27% компаній безпосередньо отримали прибуток від впровадження аналітики великих даних, ще 45% вийшли «в нуль» (без збитків), а приблизно 12% зазнали втрат [8]. Це підкреслює важливість контролю ROI: не всі інвестиції в дані одразу приносять віддачу, потрібні правильно визначені бізнес-кейси. Ключовими витратними елементами є не стільки обладнання чи програмне забезпечення, скільки людський фактор – формування команди дата-аналітиків, інженерів з обробки даних, що здатні реалізувати проекти [7]. Водночас, експерти відзначають, що довгострокові вигоди перевищують початкові витрати: успішні data-driven компанії отримують до 20% приросту ЕВІТ завдяки аналітиці та AI [3].

Окремим результатом є оцінка витрат на створення корпоративного графа знань (асоціативної бази даних) на підприємстві. За оцінкою Atkin [7], технічні витрати на інфраструктуру графа знань є мінімальними порівняно з витратами на підтримку розрізнених неінтегрованих даних. Основну частку бюджету (до 80%) становить робота команди (5–15 осіб), яка займатиметься

інтеграцією даних і наповненням графа. Пілотний проект корпоративного графа (на кілька пріоритетних бізнес-випадків) може коштувати приблизно \$1–3 млн, а повномасштабна реалізація – \$10–20 млн протягом кількох років [7]. Ці цифри співставні з вартістю впровадження великих сховищ даних у 2010-х, але графовий підхід обіцяє більшу гнучкість і перевикористання даних у різних додатках. Тобто, ціна входу висока, але стратегічно виправдана за рахунок усунення дублювання даних та прискорення отримання нових знань із них. З іншого боку, традиційні реляційні сховища також потребують значних інвестицій: ліцензія на потужну СКБД (Oracle, IBM DB2) і вартісне серверне обладнання для масштабування вертикально. Багато українських компаній долають цю проблему, переходячи на відкриті СКБД (PostgreSQL, MariaDB) або хмарні сервіси за підпискою, що знижує початкові витрати.

Результати аналізу практичних кейсів свідчать, що успішне впровадження гнучких моделей даних супроводжується використанням сучасних IT-рішень. Наприклад, впровадження Data Lakehouse архітектури (об'єднання озера даних і сховища) в аналітиці роздрібної торгівлі дозволило одній з компаній у США скоротити витрати на зберігання даних на приблизно 30% шляхом заміни комерційного DWH на хмарне S3-хранилище з аналітичною надбудовою [3]. Інший приклад – фінтех-компанії, які інтегрують графовий модуль Neo4j для аналізу зв'язків клієнтів і транзакцій можуть у результаті час виявлення підозрілих зв'язків скоротити з декількох днів до годин, що допомагає у боротьбі з шахрайством. В сфері менеджменту ланцюгів постачання асоціативні моделі (знаннєві графи) застосовуються для відстеження походження товарів та оцінки ризиків: за рахунок зв'язування даних про постачальників, логістичні події та ринкові фактори в єдиний граф можна підвищити прозорість ланцюгів і знизити операційні ризики.

З точки зору програмних інструментів, масове впровадження Hadoop-екосистеми з 2010-х змінюється на користь легших хмарних рішень. У 2021–2023 рр. зріс попит на managed services: Snowflake (аналітична СУБД в хмарі), Amazon DynamoDB (NoSQL як сервіс), Google BigQuery (масштабований SQL-двигун над data lake). Це підтверджує тренд, що навіть

складні технології стають доступнішими, оскільки постачальники беруть на себе частину задач з їх обслуговування. Для українських компаній розвиток хмарних сервісів відкриває шлях до впровадження передових моделей даних без значних капітальних витрат на власну інфраструктуру. Наприклад, в Україні дедалі більше банків та ритейлерів переходять на хмарні Data Lake для збору мультиканальних даних (інтернет-магазини, мобільні додатки, точки продажу) та їх подальшого аналізу засобами машинного навчання [6].

Отримані результати вказують на те, що еволюція моделей даних є невід'ємною частиною цифрової трансформації бізнесу. Підприємства, які вчасно адаптуються – впроваджують гнучкі моделі поряд із традиційними – отримують конкурентні переваги у швидкості прийняття рішень та інноваційності. Навпаки, організації, які ігнорують ці тенденції, ризикують відставати через громіздкість та негнучкість своїх інформаційних систем.

Традиційна реляційна модель чудово працювала в умовах відносно стабільних, добре структурованих даних (таблиці продажів, бухгалтерські реєстри тощо). Проте сучасні бізнеси генерують величезні масиви даних різних форматів – від кліків на сайті до показників IoT-датчиків. Як ми можемо бачити, 90% нових даних – неструктуровані, і їх ефективне використання неможливе без відходу від суто реляційної парадигми. Набуває розвитку концепція data diversity: дані можуть бути схемно різноманітними, і системи мають це приймати. Асоціативна гнучкість означає, що модель даних може еволюціонувати разом із даними – додавання нового типу сутності або зв'язку не повинно вимагати перебудови всієї системи. Графові бази даних є найяскравішим втіленням цієї ідеї, адже вони дозволяють напряму моделювати реальний світ як мережу сутностей. У економічних дослідженнях це відкриває нові горизонти: наприклад, побудова графів знань у макроекономіці для аналізу взаємозв'язків між показниками різних галузей, або в менеджменті – для відслідковування взаємовпливу проектів, ресурсів та ризиків у портфелі компанії. Можна сказати, що на практиці графові моделі вже довели ефективність у вузьких сферах (кібербезпека, рекомендації), а тенденції вказують на їх ширше застосування в подальшому. Разом з тим, варто враховувати, що не всі дані доцільно «графізувати» – існує чимало

задач (агрегатні звіти, прості облікові операції), де реляційна таблиця все ще оптимальна.

Одним з ключових результатів проведеного дослідження є те, що не спостерігається повної заміни реляційної моделі на NoSQL, скоріше можна казати про їх симбіоз. Дані результати узгоджуються з концепцією *polyglot persistence*, висунутою ще наприкінці 2000-х: використовувати різні сховища для різних видів даних. Наприклад, електронна комерція може поєднувати: реляційну базу даних для транзакцій (замовлення, платежі), документо-орієнтовану – для каталогу товарів (JSON-описи, які часто змінюються), пошуковий індекс – для швидкого текстового пошуку, і граф – для аналізу поведінки клієнтів та соціальних зв'язків (реферальні програми тощо). Дані дослідження підтверджують: 92% фахівців залучають SQL принаймні для частини задач, тобто організацій, що повністю відмовляються SQL дуже мало. Це пояснюється низкою факторів. По-перше, SQL і реляційні бази – це зрілі технології з розвинутою екосистемою аналітичних інструментів. По-друге, регуляторні вимоги у фінансах, обліку часто диктують використання транзакційних систем з повною консистентністю – сфера, де NoSQL (особливо *eventually consistent* схеми) не завжди підходять. Отже, замість революційного відкидання старих методів відбувається еволюційне розширення інструментарію. Бази даних «нового покоління» інтегруються через коннектори, потоки (Kafka, RabbitMQ) або *ETL*-процеси з традиційними системами. Важливо зазначити, що сучасні СКБД також адаптуються: PostgreSQL додав зберігання JSON та повнотекстовий пошук; MySQL підтримує ключ-значення та шардинг. Тобто межа між SQL та NoSQL поступово розмивається (багато СКБД стають мультимодельними), що ще раз підкреслює не протиставлення, а злиття підходів.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

Таким чином, еволюція моделей економічних даних від реляційної формалізації до асоціативної гнучкості є закономірною відповіддю на виклики цифрової ери. Реляційна модель залишається фундаментом, особливо для критично важливих структурованих даних (фінансова звітність, облік). Її науково-практична цінність підтверджена десятиріччями

використання. Проте жорсткі рамки реляційних схем обмежують здатність організацій швидко адаптуватися до нових типів інформації та масштабів даних.

Можна стверджувати, що NoSQL-підходи додали гнучкості та масштабованості. З 2021 по 2025 рр. відбулося масове впровадження документо-орієнтованих, колонкових, графових баз даних у доповнення до існуючих систем. Витрати на їх впровадження стають дедалі виправданішими з огляду на зростання обсягів неструктурованих даних та потребу обробки потоків у реальному часі. У бізнес-аналітиці це дозволило отримувати нові інсайти (напрямку з текстів відгуків клієнтів, соціальних мереж, логів), які раніше ігнорувалися через невідповідність реляційній моделі.

Асоціативна гнучкість та графові моделі економічних даних відкривають якісно нові можливості для аналізу взаємозв'язків і знань. Корпоративні графи знань здатні об'єднати розрізнені «острівці» даних організації, забезпечивши цілісну картину для прийняття рішень. Це особливо перспективно для великих компаній та холдингів, де накопичено багато даних у різних підрозділах. Впровадження графів потребує інвестицій та організаційних змін, але світовий досвід (Google, Amazon, Meta вже використовують knowledge graphs) доводить їх ефективність. Для України, що прагне інтегруватися у світову економіку знань, розвиток експертизи у цій галузі є стратегічно важливим.

Вартість впровадження нових моделей окуповується за рахунок підвищення ефективності рішень, що приймаються на основі даних. Хоча спочатку бізнес несе додаткові витрати (навчання персоналу, експерименти з технологіями, найм фахівців з даних), у довгостроковому періоді вигоди перевищують витрати. Поліпшення якості прийняття рішень, зниження операційних ризиків завдяки кращій аналітиці, персоналізовані маркетингові стратегії – все це приводить до зростання доходів і оптимізації витрат. Натомість, зволікання з оновленням підходів до даних може призвести до «технічного боргу» і втрати конкурентних переваг. Висновок однозначний:

інвестиції у сучасні моделі даних – це інвестиції у стійкість і гнучкість бізнесу.

Дане дослідження виявило ряд питань, що потребують глибшого вивчення. По-перше, це кількісна оцінка ROI від впровадження конкретних моделей даних в українських реаліях. По-друге, актуальною є тема автоматизації вибору моделі даних: розробка рекомендаційних систем або фреймворків, які на основі характеристик набору даних і запитів радять оптимальне сховище (SQL, NoSQL чи граф). По-третє, варто дослідити гібридні мови запитів до баз даних та платформи, які дозволяють виконувати єдині аналітичні запити по різних типах сховищ (SQL + NoSQL) – це сприятиме зручності використання поліглотних архітектур. Крім того, перспективним напрямом є безсерверні (serverless) сховища даних та їх економічна ефективність: оплата лише за виконані запити може зробити аналітику ще доступнішою. Нарешті, в умовах воєнного та післявоєнного відновлення України цікавим є дослідження, як гнучкі моделі даних можуть допомогти в державному управлінні та гуманітарних проектах (зокрема, інтеграція різних державних реєстрів через графи знань для прозорості і ефективності рішень). Ці напрямки забезпечать подальший розвиток теорії і практики управління даними в економіці.

Таким чином, еволюція моделей економічних даних – це безперервний процес, що йде пліч-о-пліч із технологічним прогресом. Реляційна формалізація заклала міцний фундамент, але майбутнє за асоціативною гнучкістю, яка дозволяє отримувати максимальну цінність із даних. Компанії, що опановують цю гнучкість, матимуть вирішальну перевагу у світі, де інформація – це нова валюта економіки знань.

Література

1. de Oliveira V. Furlan, Pessoa M. Amorim de Oliveira, Junqueira F., Miyagi P. Eigi. SQL and NoSQL Databases in the Context of Industry 4.0. *Machines*. 2022. Vol. 10, No 1. P. 1–22. DOI: 10.3390/machines10010020
2. Jawad M. S., Dhawale C., Ramli A. A. B., Mahdin H. Adoption of knowledge-graph best development practices for scalable and optimized

manufacturing processes. *MethodsX*. 2023. Vol 10, Article 102124. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.mex.2023.102124

3. Assur N., Rowshankish K. The data-driven enterprise of 2025. *McKinsey & Company*. 28 Jan 2022. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-data-driven-enterprise-of-2025> (дата звернення: 01.07.2025).

4. Al Rousan W. Quantifying the ROI of Data Analytics Initiatives. *Datahub Analytics Blog*. 20 May 2024. URL: <https://datahubanalytics.com/quantifying-the-roi-of-data-analytics-initiatives> (дата звернення: 01.07.2025).

5. RavenDB. 2024 NoSQL Database Trends Report. *RavenDB Whitepaper*, 2024. URL: <https://ravendb.net/whitepapers/2024-nosql-database-trend-report> (дата звернення: 09.07.2025)

6. Семенюк А., Юхимчук М. Використання графових баз даних у кібербезпеці. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2025. №1(81). С. 70–78. DOI: 10.31891/2219-9365-2025-81-9

7. Atkin M. Knowledge Graph Implementation: Costs & Obstacles. *Cutter Consortium Executive Update*. Vol. 2, No. 1, April 2023. URL: <https://www.cutter.com/article/knowledge-graph-implementation-costs-obstacles> (дата звернення: 01.07.2025)

8. DemandSage. Big Data Statistics 2025: Market Size & Adoption. URL: <https://www.demandsage.com/big-data-statistics/> (дата звернення: 01.07.2025)

9. Белозерцев В., Харакоз Л., Моргуненко В. ERP-системи у стратегічному управлінні корпоративними ресурсами: переваги, виклики та перспективи розвитку. *Електронний журнал "Ефективна економіка"*. 2025. № 6. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.6.90> (дата звернення: 10.07.2025).

References

1. de Oliveira, V.F. Pessoa, M.A. de O. Junqueira, F. and Miyagi, P.E. (2022), “SQL and NoSQL databases in the context of Industry 4.0”, *Machines*, vol. 10, no. 1, pp. 1–22. <https://doi.org/10.3390/machines10010020>

2. Jawad, M.S. Dhawale, C. Ramli, A.A.B. and Mahdin, H. (2023), “Adoption of knowledge-graph best development practices for scalable and optimized manufacturing processes”, *MethodsX*, vol. 10, Article 102124, pp. 1–8.
3. Assur, N. and Rowshankish, K. (2022), “The data-driven enterprise of 2025”, *McKinsey & Company*, available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-data-driven-enterprise-of-2025> (Accessed 1 July 2025).
4. Al Rousan, W. (2024), “Quantifying the ROI of data analytics initiatives”, *Datahub Analytics Blog*, available at: <https://datahubanalytics.com/quantifying-the-roi-of-data-analytics-initiatives> (Accessed 1 July 2025).
5. RavenDB (2024), “2024 NoSQL database trends report”, available at: <https://ravendb.net/whitepapers/2024-nosql-database-trend-report> (Accessed 9 July 2025).
6. Semeniuk, A. and Yukhymchuk, M. (2025), “Use of graph databases in cybersecurity”, *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, vol. 1(81), pp. 70–78. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-9>
7. Atkin, M. (2023), “Knowledge graph implementation: Costs & obstacles”, *Cutter Consortium Executive Update*, vol. 2, no. 1, available at: <https://www.cutter.com/article/knowledge-graph-implementation-costs-obstacles> (Accessed 1 July 2025).
8. DemandSage (2025), “Big data statistics 2025: Market size & adoption”, available at: <https://www.demandsage.com/big-data-statistics/> (Accessed 1 July 2025).
9. Bieloziertsev, V. Kharakoz, L. and Morgunenko, V. (2025), “ERP systems in strategic management of corporate resources: advantages, challenges and development prospects”, *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 6, available at: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.6.90> (Accessed 10 July 2025).

Стаття надійшла до редакції 15.07.2025 р.