

УДК 004.652.4:004.6

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-6\(47\)-1417-1428](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-6(47)-1417-1428)

Нежуренко Олександр Григорович кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Житомирський державний університет імені Івана Франка, <https://orcid.org/0009-0007-4594-9606>

ВПЛИВ NOSQL НА РОЗВИТОК СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Анотація. Мета статті. Стаття спрямована на вивчення впливу технологій NoSQL на еволюцію сучасних інформаційних систем (ІС), зосереджуючись на їхній ролі в забезпеченні гнучкості, масштабованості, безпеки та інтеграції з передовими технологіями, зокрема хмарними обчисленнями, машинним навчанням і блокчейном.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає у всебічному аналізі впливу NoSQL баз даних на трансформацію архітектури ІС, включаючи оцінку їхніх архітектурних особливостей, енергоефективності та можливостей інтеграції з інноваційними технологіями. У роботі представлено унікальний підхід до імітації роботи NoSQL у пам'яті, що дозволяє досліджувати принципи їхньої дії без зовнішніх серверів, а також узагальнено дані про їхнє застосування у різних предметних областях на основі аналізу сучасних наукових джерел.

Результати. Дослідження виявило, що NoSQL технології суттєво впливають на розвиток ІС, забезпечуючи підтримку неструктурованих і напівструктурованих даних, високу масштабованість та адаптивність до розподілених мікросервісних архітектур. Аналіз типів NoSQL (ключ-значення, документоорієнтовані, стовпцеві, графові) показав їхню спеціалізацію для конкретних сценаріїв, таких як соціальні мережі, IoT та аналітика великих даних. Доведено, що принцип BASE сприяє підвищенню доступності та продуктивності в розподілених системах. Вивчено енергоефективність (наприклад, переваги MongoDB над стовпцевими базами) та безпеку (інтеграція з машинним навчанням і блокчейном), що підкреслює їхній потенціал для хмарних середовищ. Ілюстративний код у пам'яті продемонстрував гнучкість роботи з JSON-подібними документами.

Висновки. NoSQL технології відіграють вирішальну роль у модернізації ІС, сприяючи переходу від монолітних до розподілених архітектур і підвищуючи ефективність обробки великих даних. Оптимальний вибір типу NoSQL залежить від вимог до структури даних, консистентності та продуктивності.

Безпека та енергоефективність залишаються пріоритетними напрямками для подальших розробок, а інтеграція з блокчейном і машинним навчанням відкриває нові горизонти для інноваційних рішень. Результати підкреслюють необхідність подальшого дослідження гібридних систем і автоматизованих методів налаштування NoSQL для адаптації до динамічних навантажень.

Ключові слова: нереляційні бази даних, інформаційні системи, високонавантажені системи, сучасні IT-архітектури.

Nezhurenko Oleksandr Phd in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Computer Science and Information Technology, Zhytomyr Ivan Franko State University, <https://orcid.org/0009-0007-4594-9606>

NOSQL INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT OF MODERN INFORMATION SYSTEMS

Abstract. The purpose of the article. The article aims to study the impact of NoSQL technologies on the evolution of modern information systems (IS), focusing on their role in providing flexibility, scalability, security and integration with advanced technologies, in particular cloud computing, machine learning and blockchain.

Scientific novelty. The scientific novelty lies in a comprehensive analysis of the impact of NoSQL databases on the transformation of the IS architecture, including an assessment of their architectural features, energy efficiency, and the ability to integrate with innovative technologies. The paper presents a unique approach to simulating the operation of NoSQL in memory, which allows students to study the principles of their operation without external servers and summarizes data on their application in various subject areas based on the analysis of modern scientific sources.

Results.

The study revealed that NoSQL technologies have a significant impact on the development of IS, providing support for unstructured and semi-structured data, high scalability and adaptability to distributed microservice architectures. The analysis of NoSQL types (key-value, document-oriented, columnar, graph) showed their specialization for specific scenarios, such as social networks, IoT, and big data analytics. The BASE principle has been proven to improve availability and performance in distributed systems.

The energy efficiency (e.g., advantages of MongoDB over columnar databases) and security (integration with machine learning and blockchain) are studied, which emphasizes their potential for cloud environments. Illustrative in-memory code demonstrated the flexibility of working with JSON-like documents.

Conclusions. NoSQL technologies play a crucial role in the modernization of IP, facilitating the transition from monolithic to distributed architectures and increasing the efficiency of big data processing. The optimal choice of NoSQL type depends on the requirements for data structure, consistency, and performance. Security and energy efficiency remain priority areas for further development, and integration with blockchain and machine learning opens new horizons for innovative solutions. The results emphasize the need for further research into hybrid systems and automated NoSQL tuning methods to adapt to dynamic workloads.

Keywords: non-relational databases, information systems, high-load systems, modern IT architectures.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні системи (ІС) характеризуються експоненційним зростанням обсягів даних, різноманітністю їх структур та підвищеними вимогами до продуктивності обробки інформації. Традиційні реляційні системи управління базами даних (РСУБД), засновані на принципах ACID та строгій схемі даних, демонструють обмеження у контексті розподіленого зберігання, горизонтального масштабування та обробки неструктурованих даних. Це спричинило активний розвиток технологій NoSQL (Not Only SQL), які пропонують альтернативні підходи до зберігання та управління даними. NoSQL бази даних, розроблені для роботи з неструктурованими та напівструктурованими даними, забезпечують рішення для цих завдань завдяки розподіленій архітектурі та гнучким схемам. Проте їхній вплив на еволюцію ІС, зокрема в аспектах масштабованості, безпеки, енергоефективності та інтеграції з новітніми технологіями, такими як хмарні обчислення, машинне навчання та блокчейн, потребує системного аналізу. Проблематика дослідження полягає у необхідності комплексного аналізу внеску NoSQL технологій в трансформацію архітектури, продуктивності та функціональних можливостей сучасних інформаційних систем, а також визначення оптимальних сценаріїв їх застосування у різних предметних областях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження NoSQL-технологій активно висвітлюються в науковій літературі.

Радченко К. О. та Петрашенко А. В. [1] систематизують основи NoSQL баз даних, описуючи їхні типи (ключ-значення, документоорієнтовані, стовпцеві, графові) та застосування в інформаційно-пошукових системах. Є. В. Крилов та В. К. Анікін [2] аналізують принципи проектування NoSQL для систем із високими вимогами до масштабованості. Souza F., Tavares E., Araújo C. [3] досліджують енергоефективність NoSQL-систем, пропонуючи моделі оцінки енергоспоживання. Afif M., A., Dega A. K., Idham R., Agung W. [4], Ferreira S., Mendonça J., Nogueira B. [5] оцінюють рівні консистентності NoSQL у хмарних середовищах за допомогою бенчмаркінгу YCSB. Питання безпеки NoSQL

розглядаються в роботі Kanade A., Vibhute A. D., Kanade S. [6], де запропоновано ансамблевий алгоритм на основі логістичної регресії для захисту даних. Інтеграція NoSQL із блокчейн-технологіями досліджується в роботі T. B, I. R, H. M та Kowsar A. [7], де описано розподілену модель із підвищеною безпекою. Ngalamulume P. M., Ilunga, J. N. [8] аналізують використання NoSQL у поєднанні з машинним навчанням, акцентуючи на типових архітектурах. Kang R., Chen Y., Liu Y. et al. [9] представляють серверлес-архітектуру ABase для NoSQL у хмарних середовищах. Benmakhlouf A. [10] пропонує модель структурування NoSQL-даних на основі класифікаторів машинного навчання. Ці роботи підкреслюють багатогранність NoSQL-технологій, але потребують узагальнення для оцінки їхнього впливу на розвиток інформаційних систем.

Мета статті – дослідження впливу NoSQL баз даних на розвиток сучасних інформаційних систем шляхом аналізу їхньої ролі в забезпеченні масштабованості, гнучкості, безпеки та інтеграції з технологіями хмарних обчислень, машинного навчання та блокчейну.

Виклад основного матеріалу. Сучасні інформаційні системи завдячують багатьма своїми змінами впливу баз даних NoSQL на зберігання, обробку та управління даними. Вони впливають на роботу з даними без фіксованої форми або з невеликою структурою, добре масштабуються, адаптуються та об'єднуються з хмарними обчисленнями, машинним навчанням і блокчейном. На відміну від реляційних систем баз даних, NoSQL дозволяє швидко обробляти великі, різноманітні дані, має низький час відгуку і вписує технологію в структуру мікросервісу. Ключ-значення (Redis, DynamoDB), документ-орієнтовані (MongoDB, CouchDB), стовпчикові (Cassandra, HBase) та графові (Neo4j, Amazon Neptune) типи баз даних NoSQL знаходять застосування в соціальних мережах, світі Інтернету речей, аналізі великих даних та рекомендаційних системах [1].

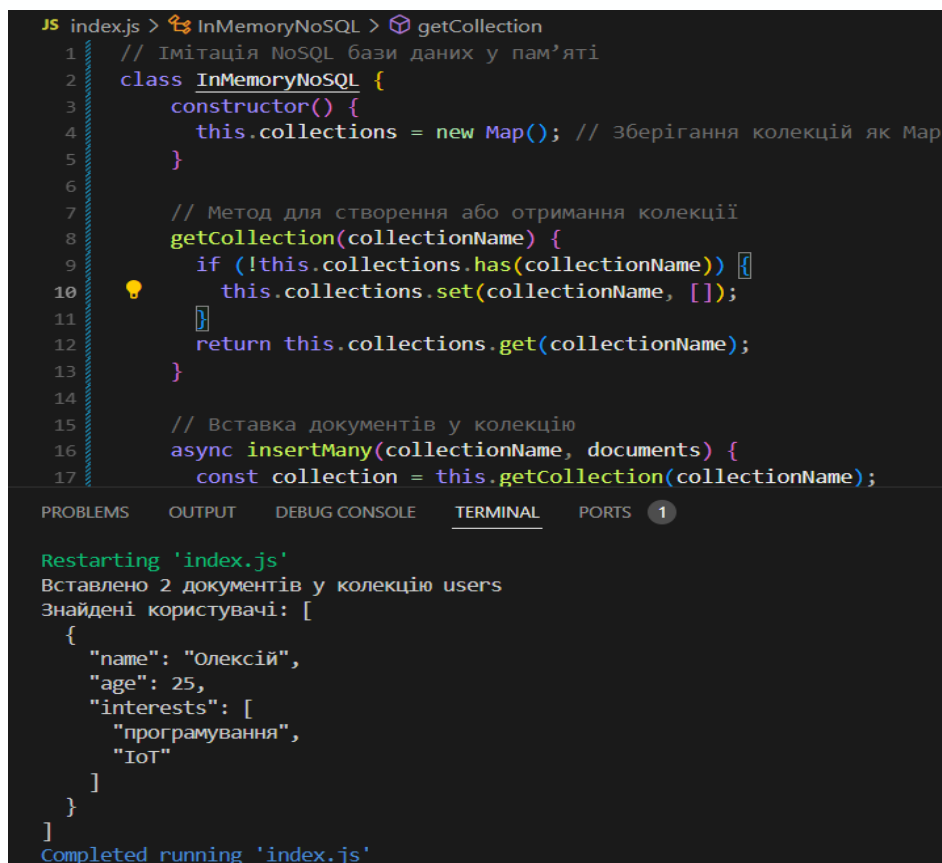
Вони замінюють стандартну реляційну модель методами, які простіше модифікувати та обробляти більші обсяги даних. MongoDB і CouchDB є прикладами документно-орієнтованих NoSQL, Cassandra і HBase - стовпчикових, Neo4j і Amazon Neptune - графових, а Redis і DynamoDB - баз даних типу «ключ-значення».

Для ілюстрації ми розглянемо, як документи можна вставляти і шукати в документно-орієнтованій базі даних NoSQL з JavaScript, без залучення зовнішнього сервера. Це демонструє, що NoSQL може керувати напівструктурованими даними і бути частиною нових інформаційних систем.

Кейс показує, що за допомогою NoSQL можна легко працювати з даними як в інструментах управління контентом CMS, так і в гнучких аналітичних базах даних. В IoT використання документів для зберігання даних полегшує управління напівструктурованими вхідними даними з датчиків, які

повідомляють про час і місцезнаходження або інші важливі значення пристрою. Це пояснює, що використання NoSQL у поєднанні з сучасними інструментами веб-розробки, такими як JavaScript і Node.js, є простим і популярним серед розробників.

Також можна дослідити особливості роботи з даними при нестачі пам'яті, що допомагає розробляти легкі або прототипи додатків з симуляцією NoSQL в пам'яті. Наприклад, якщо стартап або невеликий проект не може встановити кластер баз даних, цей підхід дозволяє попрацювати з даними і налагодити роботу до того, як ви створите справжню NoSQL-систему. Це забезпечує середовище для перевірки продуктивності та роботи запитів, що дозволяє оцінити, як NoSQL-системи використовуються в реальному світі.



```
JS index.js > InMemoryNoSQL > getCollection
1 // Імітація NoSQL бази даних у пам'яті
2 class InMemoryNoSQL {
3   constructor() {
4     this.collections = new Map(); // Зберігання колекцій як Map
5   }
6
7   // Метод для створення або отримання колекції
8   getCollection(collectionName) {
9     if (!this.collections.has(collectionName)) {
10      this.collections.set(collectionName, []);
11    }
12    return this.collections.get(collectionName);
13  }
14
15  // Вставка документів у колекцію
16  async insertMany(collectionName, documents) {
17    const collection = this.getCollection(collectionName);
18    collection.push(...documents);
19  }
20
21  // Пошук документів за допомогою find
22  find(collectionName, query) {
23    const collection = this.getCollection(collectionName);
24    return collection.filter(doc => {
25      for (let key in query) {
26        if (doc[key] !== query[key]) {
27          return false;
28        }
29      }
30      return true;
31    });
32  }
33 }
34
35 // Використання
36 const db = new InMemoryNoSQL();
37 db.insertMany('users', [
38   { name: 'Олексій', age: 25, interests: ['програмування', 'IoT'] },
39   { name: 'Марія', age: 30, interests: ['мистецтво', 'спорт'] }
40 ]);
41 console.log(db.getCollection('users'));
42
43 Restarting 'index.js'
44 Вставлено 2 документів у колекцію users
45 Знайдені користувачі: [
46   {
47     "name": "Олексій",
48     "age": 25,
49     "interests": [
50       "програмування",
51       "IoT"
52     ]
53   },
54   {
55     "name": "Марія",
56     "age": 30,
57     "interests": [
58       "мистецтво",
59       "спорт"
60     ]
61   }
62 ]
63 Completed running 'index.js'
```

Рис. 1. Імітація роботи з NoSQL базою даних у пам'яті за допомогою JavaScript

Джерело: авторська розробка

На рисунку 1 наведено код, який слугує базовою симуляцією NoSQL-бази даних в пам'яті для документів. Код містить код класу InMemoryNoSQL для збереження колекцій, вставки багатьох документів за допомогою insertMany і пошуку цих документів за допомогою find, а також приклади, що показують, як

вставити два документи і знайти один з них. Колекції даних зберігаються у цьому класі у вигляді значень на карті, а дані кожної колекції представлені у вигляді масиву, який працює так само, як і MongoDB з тими самими даними. Щоб додати багато документів, використовуйте `insertMany`, а для пошуку - `find`, зосереджуючись на масивах (наприклад, у критеріях відбору). Результат показує, що використання JSON-подібних структур в NoSQL приносить користь сучасним інформаційним системам. Якщо ви спробуєте цю функцію в CodeSandbox, ви побачите два вставлені документи і один з них з користувачем «Олексій», який любить програмувати.

Такий спосіб запуску бази даних NoSQL без сервера ідеально підходить для демонстрації прикладів, оскільки вам не потрібно покладатися на Mongo by Atlas або подібну систему. Як результат, розробникам не потрібно робити багато додаткової роботи для тестування концепцій NoSQL, які можуть вплинути на навчання або дослідницькі зусилля. Це дозволяє розробникам швидко тестувати концепції NoSQL без додаткових налаштувань, що є важливим у навчальних чи дослідницьких сценаріях. Крім того, приклад ілюструє одну з основних переваг NoSQL — гнучкість схеми даних. У реальних системах, таких як MongoDB, документи в одній колекції можуть мати різні структури (наприклад, різні поля або типи даних), і цей код відображає цю можливість, дозволяючи зберігати документи з різними наборами полів без попереднього визначення схеми.

Архітектурні особливості NoSQL систем характеризуються горизонтальним масштабуванням, розподіленістю, гнучкістю схеми даних та оптимізацією для специфічних типів запитів. На відміну від реляційних баз даних, які забезпечують строгу консистентність (ACID), NoSQL системи часто реалізують принцип BASE (Basically Available, Soft state, Eventual consistency), що дозволяє досягти вищої доступності та продуктивності у розподілених середовищах.

Для ілюстрації характеристик NoSQL баз даних наведено таблицю 1, яка підсумовує їхні ключові особливості.

Таблиця 1.**Основні характеристики типів NoSQL баз даних**

Тип бази даних	Структура даних	Масштабованість	Консистентність	Застосування
Ключ-значення	Прості пари ключ-значення	Висока	Eventual	Кешування, сесії, корзини
Документоорієнтована	Напівструктуровані документи (JSON-подібні)	Висока	Eventual/Strong	CMS, аналітика

Тип бази даних	Структура даних	Масштабованість	Консистентність	Застосування
Стовпцева	Стовпці з даними (колонки та суперколонки)	Дуже висока	Eventual (налаштовувана)	Веб-додатки, CMS, каталоги, аналітика
Графова	Вузли та ребра	Середня	Strong	Соціальні мережі, рекомендаційні системи

Таблиця 1 узагальнює основні характеристики різних типів NoSQL баз даних, акцентуючи на їхній структурі даних, масштабованості, консистентності та типових застосуваннях. Це дозволяє оцінити, як різні типи NoSQL сприяють розвитку ІС у специфічних сценаріях. Таблиця демонструє різноманітність підходів NoSQL технологій до зберігання та обробки даних, кожен з яких оптимізований для специфічних сценаріїв використання.

Масштабованість NoSQL забезпечується горизонтальним розподілом даних між вузлами, що дозволяє обробляти великі навантаження з низькою затримкою [2]. Cassandra реалізує дизайн сховища, який забезпечує постійний доступ до її сервісів. За словами Ferreira, S., Mendonça, J., Nogueira, B. [5], NoSQL може використовуватися для різних цілей, оскільки її можна налаштувати на будь-який рівень узгодженості.

Оскільки системи NoSQL є розподіленими, їхня безпека є особливо важливою. Kanade, A., Vibhute, A. D., Kanade, S. [6] запропонували ансамблевий алгоритм з логістичної регресії для захисту даних. Цей підхід використовує блокчейн, щоб переконатися, що розподілені NoSQL-системи зберігають дані більш безпечно. Застосування ансамблевих алгоритмів, свого роду машинного навчання, може допомогти створити кращий захист інформації в NoSQL-середовищах.

Енергоефективність NoSQL-систем відіграє ключову роль у хмарних середовищах. Рішення NoSQL є цінними в хмарі, оскільки вони ефективно використовують енергію. Souza, F., Tavares, E., Araújo, C. [3] розробили модель, яка показує, що MongoDB та подібні документно-орієнтовані бази даних менш енергоємні, ніж стовпчасті бази даних за певних умов роботи. Дослідження показують, що моделювання їхнього енергоспоживання допомагає скоригувати дизайн і витратити менше коштів на експлуатацію системи.

Для організацій з великими центрами обробки даних, а також хмарних провайдерів це дуже важливо.

Рисунок 2 ілюструє, як влаштована NoSQL-система при використанні з хмарними ресурсами. Схема показує, як дані розподіляються між вузлами, і пояснює, як клієнтські запити управляються за допомогою NoSQL API.

Архітектура NoSQL-системи в хмарному середовищі

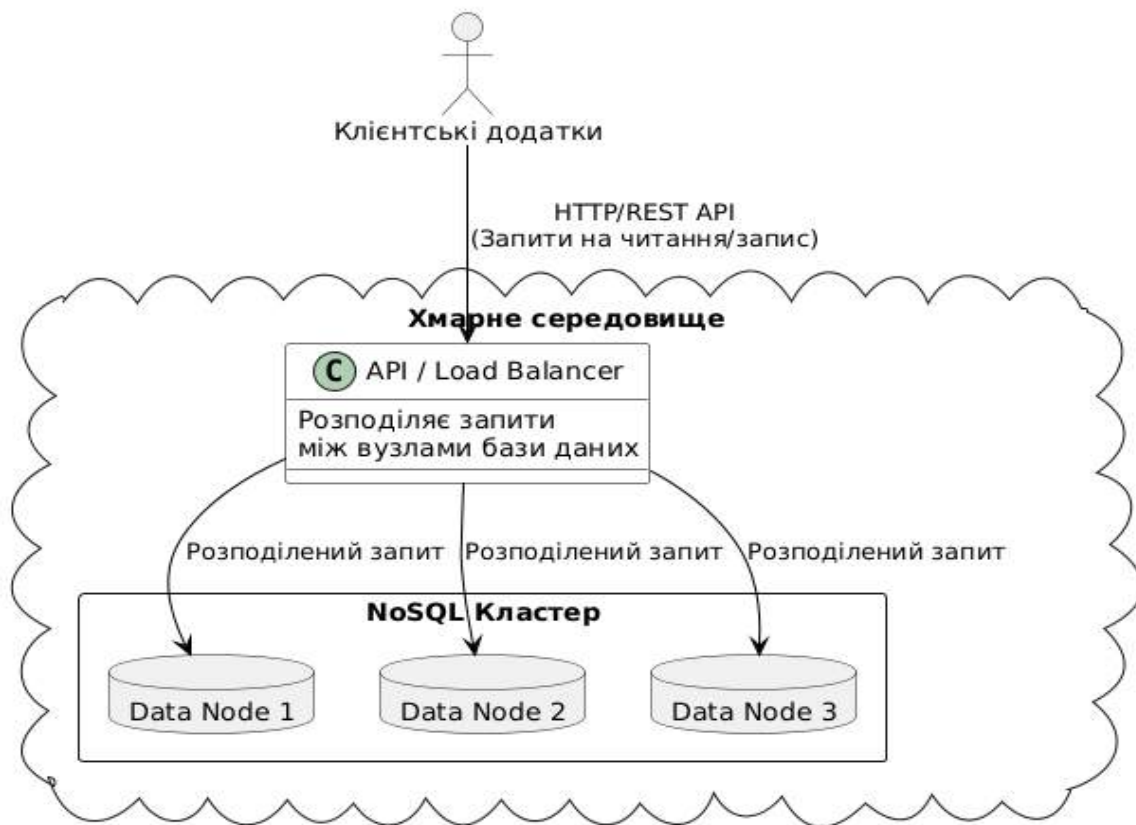


Рис. 2. Архітектура NoSQL-системи в хмарному середовищі
Джерело: авторська розробка в PlantUML online editor

Рисунок 2 ілюструє типову розподілену архітектуру NoSQL-системи в хмарному середовищі.

Клієнтські додатки взаємодіють з кластером NoSQL баз даних через API, який розподіляє запити між різними вузлами (Data Node 1, Data Node 2, Data Node 3).

Розподіл даних між вузлами забезпечує високу доступність та масштабованість, дозволяючи системі ефективно обробляти великі обсяги даних та запитів.

Рисунок 3 ілюструє еволюційний шлях архітектури інформаційних систем від традиційних централізованих РСУБД до сучасних розподілених мікросервісних архітектур, де NoSQL технології відіграють ключову роль у забезпеченні масштабованості та гнучкості.

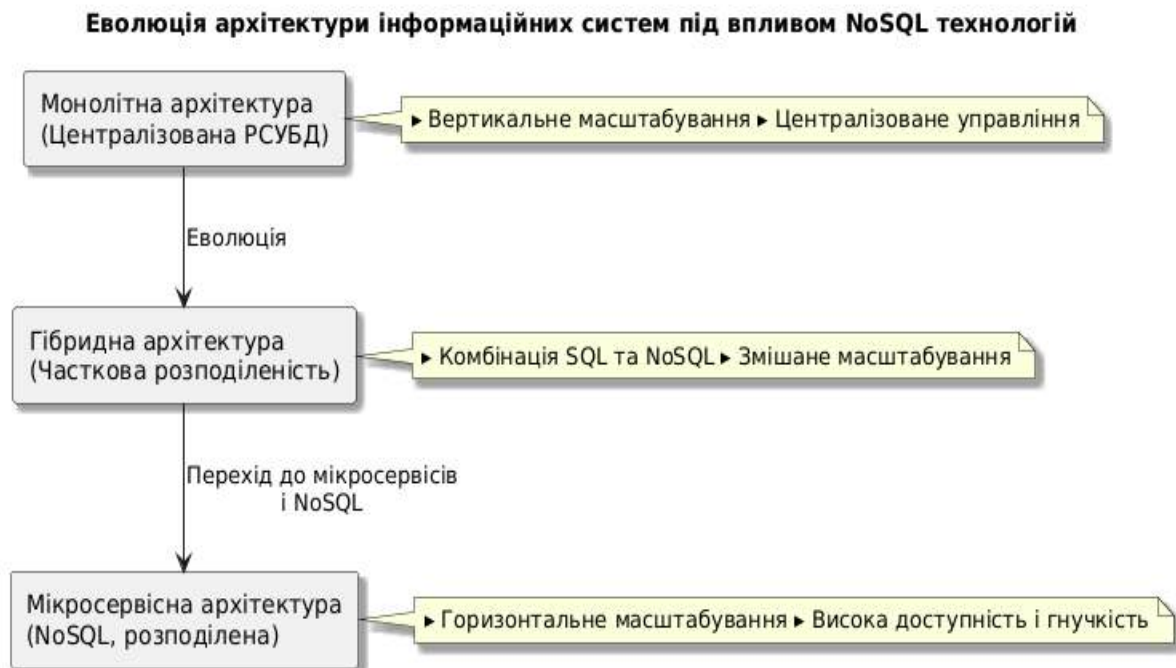


Рис. 3. Еволюція архітектури інформаційних систем під впливом NoSQL технологій

Джерело: авторська розробка в PlantUML online editor

Початкові монолітні системи з РСУБД покладалися на вертикальне масштабування та були централізованими. З появою гібридних систем почалося змішане масштабування та часткова розподіленість. Однак справжній стрибок до горизонтального масштабування та повністю розподілених систем стався завдяки мікросервісній архітектурі, нерозривно пов'язаній з NoSQL базами даних.

Ця еволюція відображає здатність NoSQL адаптуватися до зростаючих вимог сучасних ІС до обробки великих обсягів даних, високої доступності та гнучкості.

Інтеграція NoSQL із сучасними технологіями, такими як машинне навчання, розширює їхній потенціал.

Ngalamulume та Ilunga [8] описують архітектури, де NoSQL використовуються для зберігання даних для тренування моделей машинного навчання. Робота з даними NoSQL спрощується завдяки застосуванню класифікаторів, запропонованих Benmakhlouf, A. [10]. Завдяки безсерверній NoSQL, такі системи, як ABase [9], можуть бути переведені в онлайн за низькою вартістю і стати широкодоступними.

Поеднуючи блокчейн з базами даних NoSQL, отримаємо можливість підтримувати зростаючі організації, забезпечувати незмінність даних і децентралізувати їх зберігання.

Поєднання NoSQL з блокчейном створює можливості для покращення управління фінансами, логістикою та ланцюгами поставок.

Розробка системи з базою даних NoSQL та безсерверними опціями гарантує, що вона працюватиме ефективно, коштуватиме дешевше і самостійно справлятиметься з додатковим навантаженням.

Зробити SaaS багатокористувацькою означає ефективно розгортати ресурси і зберігати дані кожного клієнта за власним брандмауером.

NoSQL бази даних з класифікаторами машинного навчання можуть допомогти автоматизувати роботу з планування та вдосконалення баз даних. Метод вибору залежить від використання вашого додатку та типу даних, що в ньому зберігаються.

Завдяки таким інтеграціям NoSQL вважається ключовим інструментом для створення сучасних інформаційних систем, які залишаються гнучкими, розширюваними і безпечними, оскільки з'являється все більше даних і потрібна вища продуктивність.

Висновки. NoSQL отримала свою назву завдяки гнучкості та здатності обробляти великі обсяги нових різновидів даних, що значно покращує розвиток сучасних інформаційних систем.

Три ключові наслідки: зміна архітектури системи від однієї великої програми до мікросервісів, вища продуктивність при масштабуванні між групами серверів і більш ефективна робота з неструктурованими даними.

Згідно з дослідженнями, вибір типу бази даних NoSQL повинен залежати від того, як додаток повинен організувати свої дані, яка потрібна узгодженість, наскільки він може розширюватися і наскільки добре він працює.

Більшість сучасних веб-додатків та аналітичних систем найкраще працюють з використанням документно-орієнтованих і стовпчикових баз даних.

Існує потреба в подальших дослідженнях, щоб зробити системи NoSQL ефективними та безпечними.

Використання методів машинного навчання для підвищення енергоефективності та безпеки енергосистем виглядає багатообіцяючим і потребує подальшого розвитку. Поєднуючи NoSQL з блокчейном, машинним навчанням і безсерверними системами, можна розробити цікаві інформаційні системи.

Тенденції свідчать про те, що середовище NoSQL швидко розвивається і стане ключовим фактором в архітектурі майбутніх інформаційних систем.

Сфери для подальших досліджень включають створення об'єднаних систем, що поєднують підходи SQL і NoSQL, розробку методів забезпечення надійної роботи з багатьма базами даних і створення інтелектуальних рішень для автоматичного вибору і налаштування NoSQL-рішень на основі потреб користувачів.

Література:

1. Бази даних NoSQL. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення мультимедійних та інформаційно-пошукових систем», які вивчають навчальну дисципліну «Програмне забезпечення інформаційно-пошукових систем 1. Бази даних NoSQL» / К. О. Радченко, А. В. Петрашенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронне мережне навчальне видання (1 файл: 3,45 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 270 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6192566d-eb6b-4c74-8e78-dd9200ebd089/content>
2. Крилов Є. В. Технології проєктування No Sql баз даних [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» спец. 126 Інформаційні системи та технології / Є. В. Крилов, В. К. Анікін; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 117 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b89d8289-4c26-42f8-8fe8-ae0d72d4eb2c/content>
3. Souza F., Tavares E., Araújo C. A modelling approach for estimating energy consumption of NoSQL-based storage systems. The Journal of Supercomputing. 2025. Vol. 81, No. 6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-025-07298-4>
4. Afif Muhamad A., Dega Adhi Kusuma, Idham Renaldi. Studi Literatur Komparasi SQL dan NoSQL dalam Pemilihan Basis Data Ideal untuk Skalabilitas Tinggi. Jurnal Informatika Dan Kesehatan. 2025. Vol. 2, No. 1, pp. 37–48. DOI: <https://doi.org/10.35473/ikn.v2i1.3693>
5. Ferreira S., Mendonça J., Nogueira B. Benchmarking Consistency Levels of Cloud-Distributed NoSQL Databases Using YCSB. IEEE Access. 2025. Vol. 13, pp. 63428–63438. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2025.3558923>
6. Kanade A., Vibhute A. D., Kanade S. Novel ensemble bagging-logistic regression algorithm for NoSQL database security. Applied Intelligence. 2025. Vol. 55. No. 7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-025-06358-9>
7. B, T., R, I., M, N. et al. Block Chain-Based Distributed NoSQL Databases with secure and Scalable Framework. International Journal of Scientific Research in Engineering and Management. 2025. Vol. 09, No. 01, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.55041/ijserm40361>
8. Ngalamulume P. M., Ilunga J. N. NoSQL et Machine Learning: Cas d’usage et architectures typiques. British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies. 2025. Vol. 6, No. 1, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.04219> URL: <https://bjmas.org/index.php/bjmas/article/view/11357>
9. Kang R., Chen Y., Liu Y. et al. ABase: the Multi-Tenant NoSQL Serverless Database for Diverse and Dynamic Workloads in Large-scale Cloud Environments (Version 1). arXiv, 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2505.07692>
10. Benmakhlouf A. An model for structured the NoSQL databases based on machine learning classifiers. International Journal of Informatics and Communication Technology (IJ-ICT). 2025. Vol. 14, No. 1, pp. 229–239. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijict.v14i1.pp229-239>

References:

1. Radchenko, K. O., & Petrashenko, A. V. (2023). Bazy danykh NoSQL. Konspekt leksiі [NoSQL databases. Lecture notes] [Elektronnyi resurs: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 121 "Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia", osvithoi programy "Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia multymediinykh ta informatsiino-poshukovykh system", yaki vyvchaiut navchalnu dystsyplinu "Prohramne zabezpechennia informatsiino-poshukovykh system 1. Bazy danykh

NoSQL"] / KPI im. Ihoria Sikorskoho – Elektronne merezhne navchalne vydannia (1 fail: 3.45 Mbaityt). Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. 270. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6192566d-eb6b-4c74-8e78-dd9200ebd089/content> [in Ukrainian].

2. Krylov, Ye. V., & Anikin, V. K. (2023). Tekhnolohii proektuvannia NoSQL baz danykh [Design technologies of NoSQL databases] [Elektronnyi resurs: navch. posib. dlia zdobuvachiv stupenia mahistra za osvitu. programoiu "Informatsiine zabezpechennia robototekhnichnykh system" spets. 126 "Informatsiini systemy ta tekhnolohii"] / KPI im. Ihoria Sikorskoho – Elektron. tekst. dany (1 fail). Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. 117. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b89d8289-4c26-42f8-8fe8-ae0d72d4eb2c/content> [in Ukrainian].

3. Souza, F., Tavares, E., & Araújo, C. (2025). A modelling approach for estimating energy consumption of NoSQL-based storage systems. *The Journal of Supercomputing*, 81(6). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-025-07298-4> Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-025-07298-4> [in English].

4. Afif Muhamad, A., Dega Adhi Kusuma, Idham Renaldi, & Agung Wibowo. (2025). Studi Literatur Komparasi SQL dan NoSQL dalam Pemilihan Basis Data Ideal untuk Skalabilitas Tinggi. *Jurnal Informatika Dan Kesehatan*, 2(1), 37–48. DOI: <https://doi.org/10.35473/ikn.v2i1.3693> Retrieved from <https://jurnal.unw.ac.id/index.php/IKN/article/view/3693> [in English].

5. Ferreira, S., Mendonça, J., Nogueira, B., Tiengo, W., & Andrade, E. (2025). Benchmarking Consistency Levels of Cloud-Distributed NoSQL Databases Using YCSB. *IEEE Access*, 13, 63428–63438. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2025.3558923> Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/10955378> [in English].

6. Kanade, A., Vibhute, A. D., & Kanade, S. (2025). Novel ensemble bagging-logistic regression algorithm for NoSQL database security. *Applied Intelligence*, 55(7). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-025-06358-9> Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10489-025-06358-9> [in English].

7. B, T., R, I., M, N., & Kowsar, A. (2025). Block Chain-Based Distributed NoSQL Databases with secure and Scalable Framework. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 09(01), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.55041/ijrsrem40361> Retrieved from <https://ijrsrem.com/download/block-chain-based-distributed-nosql-databases-with-secure-and-scalable-framework/> [in English].

8. Ngalamulume, P. M., & Ilunga, J. N. (2025). NoSQL et Machine Learning : Cas d'usage et architectures typiques. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 6(1), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.04219> Retrieved from <https://bjmas.org/index.php/bjmas/article/view/11351> [in English].

9. Kang, R., Chen, Y., Liu, Y., Jiang, F., Li, Q., Ma, M., Liu, J., Zhao, G., Zhang, T., Chen, J., & Zhang, L. (2025). ABase: the Multi-Tenant NoSQL Serverless Database for Diverse and Dynamic Workloads in Large-scale Cloud Environments (Version 1). arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2505.07692> Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2505.07692v1> [in English].

10. Benmakhlouf, A. (2025). An model for structured the NoSQL databases based on machine learning classifiers. *International Journal of Informatics and Communication Technology (IJ-ICT)*, 14(1), 229. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijict.v14i1.pp229-239> Retrieved from <https://ijict.iaescore.com/index.php/IJICT/article/view/21251> [in English].