

ISSN 1998-7927(print) ISSN 2664-6498 (online)

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2026-304-6-121-127>

УДК 004.9

МЕТОД ІНТЕГРАЦІЇ РЕЛЯЦІЙНИХ І НЕРЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ У ГІБРИДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Іванов Д.В., Куршубадзе Т.Р.

METHOD FOR INTEGRATING RELATIONAL AND NON-RELATIONAL DATABASES IN HYBRID INFORMATION SYSTEMS

Ivanov D.V., Kurshubadze T.R.

У статті розглядається науково обґрунтований метод інтеграції реляційних і нереляційних баз даних у межах гібридних інформаційних систем. Запропонований метод базується на принципах polyglot persistence та враховує характеристики даних, вимоги до консистентності, швидкодії та розподіленості. Розроблений підхід дозволяє оптимально розподіляти навантаження між SQL- та NoSQL-компонентами, що забезпечує баланс між транзакційною надійністю та ефективністю роботи з великими обсягами інформації. В умовах сучасного розвитку інформаційно-технологічної сфери спостерігається стрімке збільшення обсягів даних та розширення різноманітності їх структур та високими вимогами до швидкості обробки й масштабованості систем. У таких умовах класичні реляційні бази даних, орієнтовані на сувору структуру й транзакційність, демонструють обмеження у роботі з неструктурованою та напівструктурованою інформацією. З іншого боку, нереляційні (NoSQL) бази даних забезпечують гнучкість, горизонтальне масштабування та високу продуктивність у середовищах великих даних (Big Data), але водночас мають обмеження у забезпеченні цілісності та підтримці складних транзакцій. Це зумовлює необхідність створення гібридних архітектур, які поєднують переваги обох підходів. Актуальність роботи підтверджується зростанням потреб у використанні гібридних архітектур у сферах аналітики великих даних, технологій штучного інтелекту (AI) та мережі Інтернет речей (IoT) та цифрової трансформації бізнес-процесів. Очікуваним результатом є підвищення продуктивності інформаційних систем за рахунок адаптивного вибору моделі зберігання, зниження витрат на масштабування та підвищення рівня узгодженості даних у розподілених середовищах. Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні методу інтеграції реляційних та нереляційних баз даних шляхом формалізації вибору моделі зберігання і розподілу навантаження між SQL та NoSQL компонентами з урахуванням характеристик даних, вимог до узгодженості та продуктивності. На відміну від підходів, орієнтованих переважно на окремі механізми синхронізації або

використання конкретних технологій, запропонований метод поєднує механізми уніфікованого доступу, синхронізації, трансформації запитів та кількісного оцінювання узгодженості й балансування навантаження в межах єдиної багаторівневої архітектури. Практична цінність полягає у можливості впровадження запропонованого підходу у системах інтелектуальної підтримки прийняття рішень та аналітичних платформах та високонавантажених веб-сервісах.

Ключові слова: нереляційні бази даних (NoSQL), реляційні бази даних (SQL), гібридні архітектури, інтеграція баз даних, великі дані (Big Data), штучний інтелект, цифрова трансформація.

Вступ. Сучасні інформаційні системи функціонують в умовах, що вимагають обробки великих обсягів даних, що мають різну структуру та різні вимоги до обробки. Реляційні бази даних (SQL) традиційно використовуються для зберігання структурованих даних, забезпечуючи високу транзакційну узгодженість та підтримку складних запитів. Однак вони мають обмеження у масштабованості та гнучкості при роботі з напівструктурованими та неструктурованими даними [1, 2].

Нереляційні системи керування базами даних (NoSQL), своєю чергою, характеризуються високою швидкістю, можливістю горизонтального масштабування та гнучкістю при опрацюванні різноманітних даних, зокрема документів, графових структур і моделей «ключ-значення». Їх застосування є особливо доцільним у галузях, пов'язаних з аналізом великих даних (Big Data), функціонуванням Інтернету речей (IoT) та розвитком технологій штучного інтелекту (AI) [2, 3]. Водночас системи класу NoSQL зазвичай поступаються реляційним базам даних у забезпеченні

транзакційної узгодженості та виконанні складних запитів [1, 4].

Таким чином, обґрунтовується необхідність упровадження гібридних архітектур, які поєднують переваги обох підходів. Така інтеграція дозволяє оптимально розподіляти навантаження між SQL та NoSQL компонентами, забезпечуючи баланс між транзакційною надійністю та ефективністю роботи з великими обсягами даних [1, 2, 3].

Однак існуючі підходи до інтеграції реляційних та нереляційних баз даних часто є фрагментованими та не завжди забезпечують ефективне управління даними в гібридних середовищах. Більшість досліджень зосереджені на окремих аспектах інтеграції, таких як синхронізація даних або використання певних технологій, без комплексного підходу до побудови гібридних архітектур [2, 3].

Отже, постає проблема розробки науково обґрунтованого методу інтеграції реляційних та нереляційних баз даних, який дозволить ефективно поєднувати переваги обох підходів та забезпечити оптимальне управління даними в гібридних інформаційних системах [1–4].

Аналіз досліджень та публікацій. Останні роки характеризуються підвищеною увагою до інтеграції реляційних (SQL) та нереляційних (NoSQL) баз даних у гібридних інформаційних системах. Це зумовлено необхідністю ефективної обробки різноманітних типів даних, що мають різну структуру та вимоги до обробки.

У роботі [5] розглянуто архітектуру, яка забезпечує єдине використання гібридних SQL/NoSQL компонентів, що дозволяє зберігати дані в різних форматах та забезпечувати їх ефективну обробку.

У дослідженні [6] розглянуто особливості спільного використання SQL та NoSQL баз даних. Автор акцентує увагу на можливості застосування реляційних сховищ для структурованих і транзакційних даних та нереляційних систем для обробки великих обсягів гнучко структурованої інформації. Такий підхід демонструє практичну доцільність поєднання різних моделей зберігання залежно від характеристик даних та вимог прикладної задачі.

У роботі [7] досліджено архітектурні підходи до побудови масштабованих застосунків із використанням хмарних баз даних та технологій штучного інтелекту. Автор розглядає питання масштабованості, продуктивності та організації зберігання даних у сучасних розподілених інформаційних системах, що є актуальним для побудови гібридних архітектур із використанням SQL та NoSQL компонентів.

У дослідженні [8] запропоновано гібридну архітектуру управління даними на основі мікросервісного підходу з інтеграцією SQL та NoSQL баз даних для систем управління активами. Застосування мікросервісної архітектури дозволяє розподіляти функціональне навантаження між

окремими компонентами та використовувати відповідну модель зберігання залежно від типу даних і характеру операцій.

Таким чином, сучасні дослідження з інтеграції реляційних та нереляційних баз даних у гібридних інформаційних системах відзначаються високою ефективністю у забезпеченні масштабованості, продуктивності та гнучкості роботи з даними. Використання гібридних архітектур дозволяє оптимально поєднувати транзакційну надійність SQL з високою продуктивністю та гнучкістю NoSQL, забезпечуючи ефективне управління великими даними та підтримку аналітичних процесів. Інтеграція різних технологій зберігання даних створює можливості для розвитку інтелектуальних систем, цифрової трансформації підприємств та застосування AI у високонавантажених інформаційних середовищах.

Метою роботи є розробка методу інтеграції реляційних (SQL) та нереляційних (NoSQL) баз даних у гібридних інформаційних системах з використанням сучасних інформаційних технологій з метою підвищення продуктивності, забезпечення масштабованості та оптимізації процесів керування даними в цифровому середовищі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Функціонування сучасних інформаційних систем відбувається в умовах стрімкого зростання обсягів і різноманіття даних, що зумовлено процесами цифрової трансформації, розвитком технологій Big Data та штучного інтелекту (AI). Зростання кількості підключених пристроїв, поширення хмарних сервісів, інтернету речей (IoT), соціальних мереж та мобільних застосунків призводить до безперервного генерування значних масивів інформації різного типу. Такі дані характеризуються високою швидкістю надходження, різноманітністю форматів представлення та необхідністю оперативного аналізу, що створює додаткові вимоги до засобів їх зберігання, обробки та управління. Традиційні реляційні системи керування базами даних, які забезпечують високий рівень структурованості, цілісності даних і надійності транзакцій завдяки дотриманню принципів ACID, протягом тривалого часу залишаються основою більшості корпоративних інформаційних систем. Вони ефективно підтримують складні запити, механізми контролю цілісності та транзакційні операції, що є критично важливим для фінансових, виробничих та адміністративних систем. Проте в умовах обробки великих обсягів неструктурованих і напівструктурованих даних їх використання супроводжується низкою обмежень, пов'язаних зі складністю горизонтального масштабування, зниженням продуктивності при значному навантаженні та необхідністю жорсткого визначення схеми даних. Водночас нереляційні бази даних (NoSQL) орієнтовані на забезпечення високої продуктивності, горизонтального масштабування та гнучкості при роботі з даними різної структури. Такі

системи підтримують різні моделі зберігання інформації, зокрема документоорієнтовані, графові, колоночні та сховища типу «ключ–значення». Використання NoSQL-рішень дозволяє ефективно працювати з форматами JSON, XML, графовими структурами та потоковими даними, що робить їх придатними для побудови високонавантажених вебсервісів, систем аналітики великих даних, платформ електронної комерції та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Крім того, такі системи забезпечують можливість динамічної зміни структури даних без необхідності модифікації жорстко визначених схем, що значно спрощує адаптацію інформаційних систем до нових бізнес-вимог та змін предметної області.

Однак використання виключно однієї з розглянутих технологій не завжди забезпечує досягнення необхідного рівня ефективності функціонування сучасних інформаційних систем. Реляційні бази даних демонструють високу надійність, узгодженість даних та підтримку складних транзакційних операцій, проте можуть виявляти обмеження при роботі з надвеликими обсягами даних та у середовищах, що потребують швидкого горизонтального масштабування. Натомість нереляційні системи забезпечують високу продуктивність, гнучкість структури даних і здатність обробляти значні потоки інформації в розподілених середовищах, але часто поступаються реляційним рішенням у питаннях підтримки складних транзакцій та забезпечення строгих вимог до цілісності даних. У практичних сценаріях функціонування корпоративних інформаційних систем, аналітичних платформ, вебсервісів та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень виникає потреба одночасного використання переваг обох підходів. Зокрема, критично важливі транзакційні дані доцільно зберігати в реляційних сховищах, тоді як великі масиви напівструктурованої та неструктурованої інформації ефективніше обробляти за допомогою NoSQL-рішень. Такий підхід дозволяє забезпечити баланс між надійністю, продуктивністю, масштабованістю та адаптивністю інформаційної системи до змінних вимог предметної області. Саме тому актуальним науково-практичним завданням є розробка методів, моделей та програмних засобів інтеграції реляційних і нереляційних баз даних у межах єдиного гібридного середовища. Створення таких підходів дає можливість ефективно поєднати переваги SQL та NoSQL технологій, забезпечити узгоджене управління різнорідними даними, підвищити продуктивність обробки інформації та створити основу для побудови масштабованих інтелектуальних інформаційних систем нового покоління.

Гібридні інформаційні системи передбачають використання різних моделей зберігання та обробки даних, інтегрованих у межах єдиної програмно-апаратної архітектури. Основною метою такого

підходу є забезпечення максимально ефективного використання переваг кожної технології залежно від характеру даних, вимог до продуктивності та особливостей прикладної задачі. На відміну від традиційних монолітних рішень, гібридні системи дозволяють адаптивно розподіляти навантаження між різними сховищами даних, оптимізуючи швидкість, масштабованість і надійність інформаційної інфраструктури. У таких архітектурах реляційні бази даних продовжують виконувати роль основного середовища для зберігання критично важливих транзакційних даних, підтримки складних аналітичних запитів та забезпечення високого рівня цілісності інформації. Завдяки використанню механізмів транзакційного контролю та принципів ACID вони гарантують узгодженість даних навіть у системах з великою кількістю одночасних операцій. Це робить SQL-рішення незамінними для фінансових систем, систем управління ресурсами підприємств, електронного документообігу та інших застосувань, де точність і надійність обробки інформації мають критичне значення. Водночас NoSQL-системи забезпечують ефективну роботу з великими обсягами структурованих, напівструктурованих і неструктурованих даних, підтримують горизонтальне масштабування та високу швидкість обробки інформації в розподілених середовищах. Вони є особливо ефективними для обслуговування високонавантажених вебдодатків, платформ електронної комерції, систем моніторингу в режимі реального часу, соціальних мереж та сервісів потокової обробки даних. Крім того, гнучка модель зберігання інформації дозволяє оперативно адаптувати структуру даних до змін бізнес-процесів без необхідності суттєвого перепроєктування схеми бази даних. Особливого значення гібридні архітектури набувають у сфері штучного інтелекту, машинного навчання та аналітики великих даних, де одночасно виникає потреба у зберіганні транзакційної інформації, історичних наборів даних та високошвидкісній обробці потоків подій. Поєднання SQL та NoSQL технологій у межах єдиного середовища дозволяє створювати масштабовані, відмовостійкі та продуктивні інформаційні системи, здатні ефективно функціонувати в умовах постійного зростання обсягів даних і підвищення вимог до швидкості їх обробки.

Порівняльна характеристика SQL та NoSQL:

- SQL: структурованість, транзакційність (ACID), складні аналітичні запити, сильна узгодженість.

- NoSQL: висока масштабованість, низькі затримки, гнучкість у роботі з даними, підтримка BASE-підходу.

Інтеграція зазначених технологій забезпечує підтримання балансу між узгодженістю, продуктивністю та масштабованістю.

У ході дослідження було розроблено схему методу інтеграції реляційних та нереляційних баз

даних у гібридних інформаційних системах (рис. 1). Запропонована архітектура включає кілька взаємопов'язаних рівнів, що забезпечують узгоджену роботу різних типів джерел даних та створюють єдине інформаційне середовище для їх зберігання, обробки й аналізу. Розроблений метод орієнтований на вирішення проблем сумісності різнорідних сховищ даних, підвищення ефективності доступу до інформації та забезпечення масштабованості системи в умовах зростання обсягів даних. Основою запропонованого підходу є багаторівнева архітектура, у межах якої кожен функціональний рівень виконує визначені завдання щодо збору, інтеграції, перетворення та управління даними. Нижній рівень представлений джерелами даних, що можуть включати як традиційні реляційні бази даних, так і нереляційні сховища різних типів. Наступний рівень відповідає за механізми інтеграції та синхронізації даних, забезпечуючи обмін інформацією між компонентами системи та підтримку актуальності даних у різних сховищах. Важливим елементом архітектури є рівень уніфікації доступу до даних, який забезпечує стандартизований інтерфейс взаємодії із різнорідними джерелами незалежно від їх внутрішньої структури та моделі зберігання. Це дозволяє прикладним сервісам і користувачам працювати з даними через єдиний механізм доступу без необхідності врахування особливостей конкретної системи керування базами даних. Додатково на цьому рівні можуть реалізовуватися механізми трансформації форматів даних, кешування результатів запитів та оптимізації продуктивності. Верхній рівень архітектури призначений для функціонування прикладних сервісів, аналітичних модулів, систем підтримки прийняття рішень та інтелектуальних компонентів, що використовують інтегровані дані для виконання бізнес-процесів. Завдяки такому підходу забезпечується поєднання транзакційної надійності реляційних баз даних із масштабованістю та гнучкістю NoSQL-рішень, що підвищує ефективність функціонування гібридних інформаційних систем і створює передумови для їх використання в умовах обробки великих обсягів різнорідних даних.

На першому рівні архітектури розташовані джерела даних, представлені реляційними та нереляційними базами даних, які виконують функцію первинного зберігання інформаційних ресурсів системи. Реляційні бази даних (SQL) забезпечують надійне зберігання структурованої інформації у вигляді взаємопов'язаних таблиць, підтримують механізми транзакційної обробки, контроль цілісності даних та виконання складних аналітичних запитів. Завдяки дотриманню принципів ACID вони гарантують узгодженість і достовірність інформації, що є критично важливим для фінансових, управлінських та виробничих інформаційних систем. Поряд із реляційними сховищами використовуються нереляційні бази даних (NoSQL), орієнтовані на

роботу з неструктурованими та слабо структурованими даними. До таких даних належать JSON-документи, XML-файли, графові структури, журнали подій, мультимедійний контент, а також дані, організовані за моделлю «ключ–значення». Використання NoSQL-рішень дозволяє забезпечити високу швидкість обробки інформації, ефективне горизонтальне масштабування та підтримку великих обсягів даних, що постійно надходять із розподілених джерел. Спільне використання SQL та NoSQL сховищ на рівні джерел даних дозволяє враховувати особливості різних типів інформації та застосовувати найбільш ефективну модель її зберігання. Такий підхід забезпечує раціональний розподіл даних між компонентами системи, підвищує продуктивність обробки запитів і створює основу для подальшої інтеграції різнорідних інформаційних ресурсів у межах єдиної гібридної архітектури.

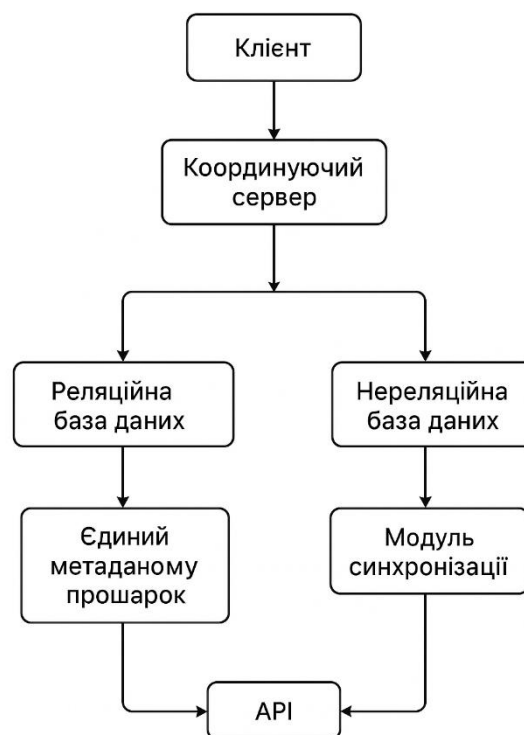


Рис. 1. Метод інтеграції реляційних і нереляційних баз даних у гібридних інформаційних системах

Другий рівень становить інтеграційний модуль, до складу якого входить:

- модуль уніфікованого доступу, що забезпечує прозоре виконання запитів незалежно від типу СУБД;
- механізм синхронізації для підтримання узгодженості між SQL і NoSQL сховищами;
- шар обробки запитів (Query Engine), який виконує трансляцію запитів у відповідний формат для конкретної бази даних.

На третьому рівні архітектури передбачено розташування аналітичних засобів, які забезпечують оброблення значних масивів даних, їх комплексний

аналіз та інтелектуальне опрацювання. Цей рівень є ключовим елементом гібридної інформаційної системи, оскільки саме тут відбувається перетворення накопичених даних на знання, необхідні для підтримки процесів прийняття рішень, прогнозування подій та оптимізації функціонування інформаційної системи. Аналітичний рівень використовує інтегровані дані, отримані з реляційних та нереляційних джерел, забезпечуючи їх узгоджене використання в межах єдиного інформаційного простору. До складу цього рівня входить модуль Big Data, призначений для обробки та аналізу великих обсягів різномірної інформації. Застосування технологій Big Data дозволяє здійснювати аналіз поточних даних у режимі реального часу, виявляти приховані закономірності, визначати тенденції розвитку процесів та оперативно реагувати на зміни в інформаційному середовищі. Використання розподілених обчислювальних механізмів забезпечує високу продуктивність системи навіть за умов значного навантаження та постійного зростання обсягів даних. Важливим компонентом аналітичного рівня є модуль AI/ML (Artificial Intelligence / Machine Learning), у межах якого реалізуються методи штучного інтелекту та машинного навчання. Цей модуль забезпечує автоматизоване виявлення закономірностей у даних, побудову прогнозних моделей, класифікацію інформаційних об'єктів, виявлення аномалій та підтримку інтелектуального прийняття рішень. Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє адаптувати систему до змінних умов функціонування та підвищувати точність прогнозування на основі накопиченого досвіду та історичних даних. Крім того, результати роботи AI/ML-модуля можуть використовуватися для оптимізації процедур виконання запитів, автоматичного вибору найбільш ефективних маршрутів доступу до даних, балансування навантаження між компонентами гібридної архітектури та підвищення загальної продуктивності інформаційної системи. Таким чином, аналітичний рівень забезпечує не лише обробку великих масивів інформації, а й формування інтелектуальних механізмів підтримки прийняття рішень, що є необхідною умовою ефективного функціонування сучасних гібридних інформаційних систем.

На четвертому рівні архітектури розташовано інтерфейс взаємодії з кінцевими користувачами та прикладними системами, які отримують доступ до інформаційних ресурсів через єдиний програмний інтерфейс (API). Даний рівень виконує роль точки доступу до функціональних можливостей гібридної інформаційної системи та забезпечує взаємодію між користувачами, програмними сервісами й інтегрованими джерелами даних. Використання єдиного API дозволяє стандартизувати процедури обміну даними та спростити інтеграцію системи з зовнішніми програмними продуктами, вебсервісами та корпоративними інформаційними платформами. Важливою особливістю цього рівня є абстрагування

внутрішньої складності архітектури від кінцевого користувача. Користувачі та прикладні сервіси взаємодіють із системою через уніфікований інтерфейс, не враховуючи особливостей фізичного розміщення даних, типів використовуваних баз даних або механізмів їх синхронізації. У результаті забезпечується прозорий доступ до інформаційних ресурсів незалежно від того, чи зберігаються дані в реляційних або нереляційних сховищах. Крім забезпечення доступу до даних, даний рівень може реалізовувати функції автентифікації та авторизації користувачів, моніторингу запитів, контролю доступу до інформаційних ресурсів, ведення журналів подій та управління сервісними операціями. Це сприяє підвищенню безпеки, надійності та керованості системи в умовах багатокористувацького середовища. Таким чином, четвертий рівень забезпечує зручну та ефективну взаємодію користувачів і програмних компонентів із гібридною інформаційною системою, створюючи єдиний інформаційний простір для доступу до даних, результатів аналітичної обробки та інтелектуальних сервісів. Завдяки цьому досягається підвищення гнучкості системи, спрощення процесів інтеграції та покращення користувацького досвіду при роботі з інформаційними ресурсами.

Запропонований метод інтеграції забезпечує:

- підвищення продуктивності завдяки розподілу навантаження між SQL і NoSQL;
- масштабованість для роботи з Big Data;
- підтримку AI-додатків і аналітики у режимі реального часу;
- збереження узгодженості та надійності критично важливих транзакцій;
- зниження витрат на інфраструктуру через оптимізацію обчислювальних ресурсів.

Таким чином, запропонований метод поєднує переваги реляційних баз (надійність, транзакційність) і нереляційних рішень (масштабованість, гнучкість). Це дозволяє створювати гібридні інформаційні системи, які одночасно задовольняють потреби у зберіганні структурованих даних і забезпечують ефективну роботу з великими масивами неструктурованої інформації.

Продуктивність гібридної системи можна подати через співвідношення кількості оброблених запитів до часу:

$$P = \frac{Q}{T}, \quad (1)$$

де P – продуктивність системи (запити/сек.);

Q – кількість виконаних запитів; T – час обробки.

Оскільки гібридна архітектура включає SQL, NoSQL та інтеграційний шар, середній час відповіді можна описати як:

$$T_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{sql,i} + t_{nosql,i} + t_{int,i})}{n}, \quad (2)$$

де SQL: $t_{sql} = \{20, 25, 22\}$ мс;

NoSQL: $t_{nosql} = \{15, 18, 17\}$ мс;

інтеграція: $t_{int} = \{5, 6, 5\}$ мс.

Для оцінки узгодженості використовується коефіцієнт:

$$C = \frac{D_{sync}}{D_{total}}, \quad (3)$$

де D_{sync} – кількість синхронізованих записів;

D_{total} – загальна кількість записів.

Для балансування навантаження між SQL та NoSQL використовується зважене рівняння:

$$L = \alpha \cdot L_{sql} + \beta \cdot L_{nosql}, \quad \alpha + \beta = 1 \quad (4)$$

Результати оцінки продуктивності системи представлені в таблиці.

Таблиця

Відні дані та результати розрахунків

Metric	Value
Total queries (Q)	18000
Time window (T), s	60
SQL times, ms	[20, 25, 22]
NoSQL times, ms	[15, 18, 17]
Integration layer times, ms	[5, 6, 5]
Synced records (D _{sync})	47500
Total records (D _{total})	50000
Alpha (α)	0.6
Beta (β)	0.4
SQL load (L _{sql})	200
NoSQL load (L _{nosql})	500

Якщо політика оптимізації визначає, що 60% запитів має оброблятися SQL ($\alpha=0.6$), а 40% – NoSQL ($\beta=0.4$), при навантаженнях $t_{sql} = 200$ та $t_{nosql} = 500$, отримаємо: $L = 320$.

Це свідчить про ефективний баланс, за якого NoSQL бере на себе складні запити з неструктурованими даними, тоді як SQL – транзакційні.

Таким чином, поєднання якісного опису запропонованої архітектури та кількісного аналізу у вигляді розрахункових показників і прикладів дозволяє обґрунтувати доцільність інтеграції SQL та NoSQL у межах єдиного гібридного рішення. Наведені розрахунки характеризують потенційні показники функціонування запропонованої архітектури, тоді як повноцінна експериментальна оцінка її переваг потребує проведення порівняльного тестування з альтернативними підходами.

Висновки. У статті розглянуто розроблений метод інтеграції реляційних і нереляційних баз даних у гібридних інформаційних системах з урахуванням сучасних тенденцій цифрової трансформації, Big Data та застосування технологій штучного інтелекту. Запропонований підхід дозволяє:

1. Забезпечити єдиний доступ до даних різної природи (структурованих та неструктурованих), що знижує часові та обчислювальні витрати на аналітику.

2. Підвищити продуктивність роботи з великими даними через використання спільної архітектури SQL+NoSQL, що підвищує продуктивність гібридних систем.

3. Удосконалити оцінювання ефективності інтеграції SQL та NoSQL шляхом використання кількісних показників узгодженості даних і балансування навантаження між компонентами гібридної архітектури. Запропонований підхід дозволяє враховувати характеристики даних, вимоги до продуктивності та узгодженості під час вибору моделі зберігання і розподілу навантаження, що формує основу для обґрунтованого налаштування конфігурації гібридної інформаційної системи.

4. Реалізувати ефективну інтеграцію на основі уніфікованої схеми даних, яка забезпечує взаємодію між транзакційними та аналітичними навантаженнями.

5. Підвищити рівень гнучкості інформаційних систем, що є критично важливим у середовищах цифрової трансформації та швидкої зміни бізнес-вимог.

Проведені розрахунки на основі заданих параметрів продуктивності, часу обробки запитів, рівня синхронізації та розподілу навантаження демонструють доцільність запропонованого підходу до інтеграції SQL та NoSQL компонентів. Отримані результати підтверджують можливість забезпечення балансу між продуктивністю, масштабованістю та узгодженістю даних у межах гібридної інформаційної системи. Водночас кількісна оцінка переваг запропонованого методу порівняно з альтернативними архітектурами потребує проведення додаткового експериментального дослідження з використанням ідентичних навантажень та контрольованих умов тестування.

Література

1. Bjeladinovic S., Marjanovic Z., Babarogic S. A proposal of architecture for integration and uniform use of hybrid SQL/NoSQL database components // Journal of Systems and Software. 2020. Vol. 168. Article 110633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110633>
2. Kazanavičius J., Mažeika D., Kalibaitienė D. An approach to migrate a monolith database into multi-model polyglot persistence based on microservice architecture: A case study for mainframe database // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, No. 12. Art. 6189. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12126189>
3. Zhang L., Li X. JSON-based control model for SQL and NoSQL data integration in hybrid cloud storage // Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications. 2022. Vol. 11, No. 1. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00302-9>
4. Tripathi N. NoSQL database education: A review of models, tools and teaching methods // Journal of Systems and Software. 2025. Vol. 226. Art. 112391. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2025.112391>
5. Ragunathan A. Integration of NoSQL and Relational Databases for Efficient Data Management in Hybrid Cloud Architectures // Journal of Machine and Computing. 2025. Vol. 5, No. 2. P. 1277–1286. DOI: <https://doi.org/10.53759/7669/jmc202505100>
6. Bitton U. Using SQL and NoSQL Databases Together // Tech Odyssey. 2025. March 24. URL: <https://medium.com/tech-odyssey/using-sql-and-nosql-databases-together-8452a32a9227>
7. Bhupathi S. Building Scalable AI-Powered Applications with Cloud Databases: Architectures, Best Practices and Performance Considerations // arXiv. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2504.18793>
8. Goze I. M., Erginer G., Dilber C., Pozut B., Ozpinar A. Hybrid Data Management Architecture with Microservices Integrating SQL and NoSQL Databases for Asset Management Companies // Oracle Journal of Research. 2024. Vol. 12, No. 1. P. 45–58. URL: <https://journals.orclever.com/oprd/article/view/586>

Ivanov D.V., Kurshubadze T.R. Method for integrating relational and non-relational databases in hybrid information systems

This paper introduces a methodologically substantiated approach to integrating relational and non-relational databases within hybrid information systems. The proposed solution is based on the principles of polyglot persistence and considers both data characteristics and requirements related to consistency, performance, and distribution. The approach enables effective workload distribution between SQL and

NoSQL components, achieving a balance between reliable transaction processing and efficient handling of large-scale data. Currently, the evolution of information technologies is characterized by a rapid increase in data volume, diversity of data formats, and growing demands for processing speed and scalability. Under such conditions, conventional relational databases, which emphasize rigid schemas and strong transactional guarantees, encounter difficulties when dealing with unstructured and semi-structured data. In contrast, NoSQL systems offer flexibility, horizontal scalability, and high performance in Big Data scenarios, yet they often lack robust mechanisms for ensuring consistency and supporting complex transactions. These challenges highlight the necessity of hybrid architectures that combine the advantages of both paradigms. The relevance of this study is driven by the rising demand for hybrid data management solutions in domains such as Big Data analytics, artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and enterprise digital transformation. The expected outcomes of the research include improved system performance through adaptive selection of data storage models, reduced costs associated with scaling, and enhanced consistency in distributed environments. The scientific contribution of this work lies in the formalization of the integration process and the establishment of a foundation for developing universal hybrid data management platforms. The practical value of the proposed method is demonstrated by its applicability to intelligent decision support systems, analytical platforms, and high-load web applications.

Keywords: NoSQL databases, relational databases (SQL), hybrid architectures, database integration, Big Data, artificial intelligence, digital transformation.

Іванов Денис Валерійович – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,

ORCID ID: 0000-0001-8660-0928

e-mail: ivanov.d.v@nmu.one

Куршубадзе Тамара Ревазівна – магістр за спеціальністю F6 «Інформаційні системи і технології» Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0009-0007-6980-353X

e-mail: Kurshubadze.Ta.R@nmu.one

Дата першого надходження статті 19.06.2026.

Дата прийняття статті до друку після рецензування 26.08.2026.

Дата публікації 30.09.2026.



Стаття з відкритим доступом,
відповідно до умов ліцензії
[Creative Commons \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)