

УДК 009.4

## ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ПЕРЕВАГ SQL ТА NOSQL ПІДХОДІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ У CRM

О. В. Тимченко, В. О. Чорняк

Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

*Системи керування взаємовідносинами з клієнтами (далі CRM) є критичними елементами сучасних бізнес та інформаційних еко-систем, оскільки дозволяють забезпечити автоматизацію інтеграції, керування, аналізу та обробку даних клієнтів. Важливим аспектом є вибір конкретної архітектури системи управління базами даних (далі СУБД), котра достатня для оптимальної продуктивності, масштабованості та доступності, для конкретної специфічної CRM-системи. У статті приведено дані порівняльного аналізу продуктивності реляційних (далі SQL) та нереляційних (далі NoSQL) баз даних з урахуванням таких параметрів, як транзакційна консистентність, доступність, швидкодія, горизонтальне масштабування та продуктивність під навантаженням.*

*Розглянуто даною статтею найпоширеніші SQL-СУБД (MySQL, PostgreSQL, Oracle Database, Microsoft SQL Server, SQLite, MariaDB, IBM Db2, SAP HANA) з точки зору забезпечення ACID-властивостей (транзакційної цілісності) та найпоширеніші NoSQL-СУБД (MongoDB, Cassandra, Redis, DynamoDB, Couchbase, Firebase Realtime Database, Elasticsearch, Neo4j) з точки зору відповідності BASE-властивостям. А також проведено їх груповий порівняльний аналіз по ключовим параметрів ефективності.*

**Ключові слова:** CRM-системи, реляційні і нереляційні бази даних (SQL і NoSQL), обробка даних, транзакційна цілісність - ACID, BASE, ефективність зберігання даних, SAP, СУБД.

**Постановка проблеми.** Наявні системи керування взаємовідносинами з клієнтами (далі CRM-системи) стикаються з низкою викликів, пов'язаних з ростом обсягів даних та все більшою ускладненістю їх структури. По мірі того, як підприємства накопичують маси даних про клієнтів (поведінкові, демографічні, транзакційні і т.д), зростає критичність вибору методів їх обробки, зберігання та аналізу. Вибір між реляційними і нереляційними системами управління баз даних (далі SQL та NoSQL СУБД) безпосередньо впливає на продуктивність та можливість масштабування CRM-систем. Однак все ще немає чіткої відповіді на питання: який тип СУБД забезпечує гармонійні умови для обробки даних при аналізі даних клієнтів. Відсутність єдиного підходу до вибору СУБД та аналітичного інструментарію обумовлює необхідність досліджень у цьому питанні. Актуальність цієї статті полягає в оцінці ефективності SQL та NoSQL СУБД у контексті задач CRM.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз літератури щодо вибору архітектури баз даних для CRM-систем демонструє значний інтерес до порівняння SQL і NoSQL платформ у контексті їх продуктивності, масштабованості та підтримки структурованих і неструктурованих даних. В роботі [1] розглядаються характеристики продуктивності SQL та NoSQL баз при обробці великих обсягів даних у CRM-системах. Автори відзначають, що SQL бази даних, завдяки забезпеченню транзакційної цілісності (ACID), мають переваги у випадках, де потрібна консистентність даних, а NoSQL підходи, зокрема MongoDB, є ефективними при горизонтальному масштабуванні та обробці неструктурованих даних у реальному часі.

Більше того, стаття [2] висвітлює перспективи гібридних архітектур, які поєднують SQL та NoSQL підходи для задоволення вимог до масштабованості та консистентності. Такі моделі демонструють потенціал для CRM, що обробляють різноманітні типи даних, але залишають питання довгострокової стійкості та продуктивності при високих навантаженнях.

Інші дослідження, зокрема праця [3], фокусуються на ролі NoSQL баз у підвищенні продуктивності систем з високим рівнем динамічної аналітики. Автор статті наголошує, що NoSQL рішення дозволяють ефективно обробляти дані, які швидко змінюються, однак втрачають у сфері забезпечення транзакційної надійності, що може бути критичним для деяких CRM-систем.

Незважаючи на широту досліджень, залишається недостатньо вивченим питання щодо адаптації SQL та NoSQL підходів у специфічному контексті CRM-систем, зокрема, з огляду на потреби персоналізації даних та підтримку динамічних маркетингових стратегій.

**Мета статті.** Мета статті полягає в компаративному аналізі SQL і NoSQL СУБД, задля визначення ефективності та релевантності кожної з архітектур для обробки даних в рамках CRM-систем. Завдання дослідження полягає у розробці методології оцінки ефективності СУБД в CRM, розгляд впливу архітектурних особливостей баз даних на швидкість виконання запитів різної складності, оцінка продуктивності в межах ACID- та BASE-властивостей. Результати дослідження повинні надати емпіричне обґрунтування вибору СУБД для CRM, підвищуючи якість і надійність у галузі управління взаємовідносин з клієнтами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження були вибрані CRM-системи базуючись на їх частці ринку (рис. 1).

Однією з ключових характеристик ефективності баз даних у CRM-системах є час виконання простих запитів (рис. 2). Простими вважаються операції, які включають базове читання або запис даних, без складних обчислень чи агрегацій [4, 5].

SQL-бази даних, такі як MySQL, PostgreSQL, Oracle Database та Microsoft SQL Server, забезпечують стабільний час виконання запитів у різних CRM-системах, що робить їх придатними для структурованих середовищ. Легковагові SQLite і MariaDB демонструють повільніші результати у високонавантажених системах, таких як Salesforce і Microsoft Dynamics. У свою чергу, NoSQL бази, зокрема

MongoDB і Redis, показують високий рівень продуктивності в CRM, орієнтованих на аналітику в реальному часі, як-от Adobe і SAP, тоді як DynamoDB і Cassandra є оптимальними для розподілених систем із високим навантаженням [6-8].

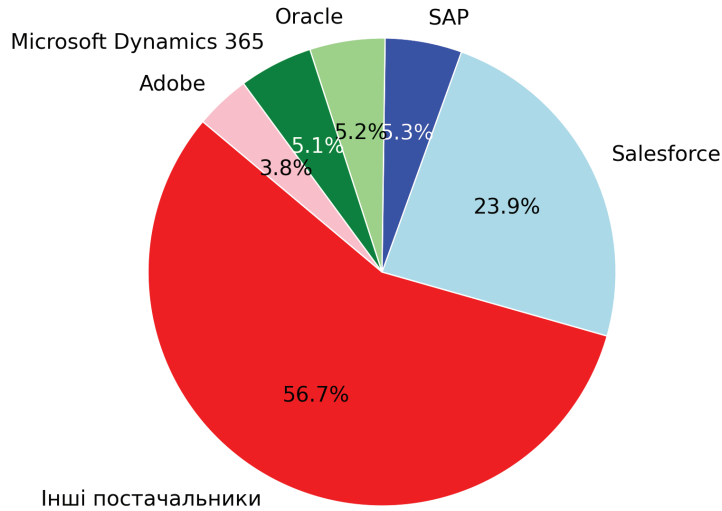


Рисунок 1. Глобальний розподіл ринку CRM-систем. Дані Statista.

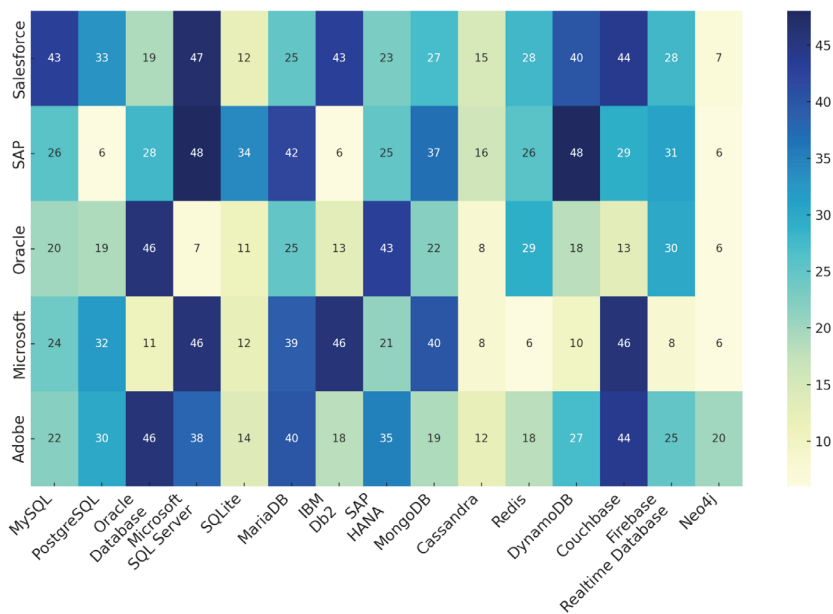


Рисунок 2: Час виконання простих запитів у CRM-системах (мс)

CRM-системи демонструють варіативність у часі виконання запитів залежно від їх архітектури та обсягу даних. Salesforce і Microsoft Dynamics мають довший час виконання через більші обсяги даних і складні запити, тоді як SAP і Oracle працюють ефективніше. CRM Adobe, орієнтована на маркетингову аналітику, показує найкращі результати з NoSQL базами, такими як MongoDB і Redis, тоді як Redis серед NoSQL баз виділяється найшвидшою продуктивністю у всіх CRM. Водночас Neo4j, орієнтована на графові запити, демонструє слабкі результати для CRM, які не оптимізовані для графової аналітики.

Складні запити є важливим аспектом роботи баз даних у CRM-системах, особливо в сценаріях, де потрібні багатоступеневі обчислення, об'єднання даних з кількох таблиць або виконання вкладених запитів. Ефективність роботи з такими запитами безпосередньо впливає на швидкість доступу до критично важливої аналітичної інформації, яка використовується для прийняття бізнес-рішень (рис. 3).

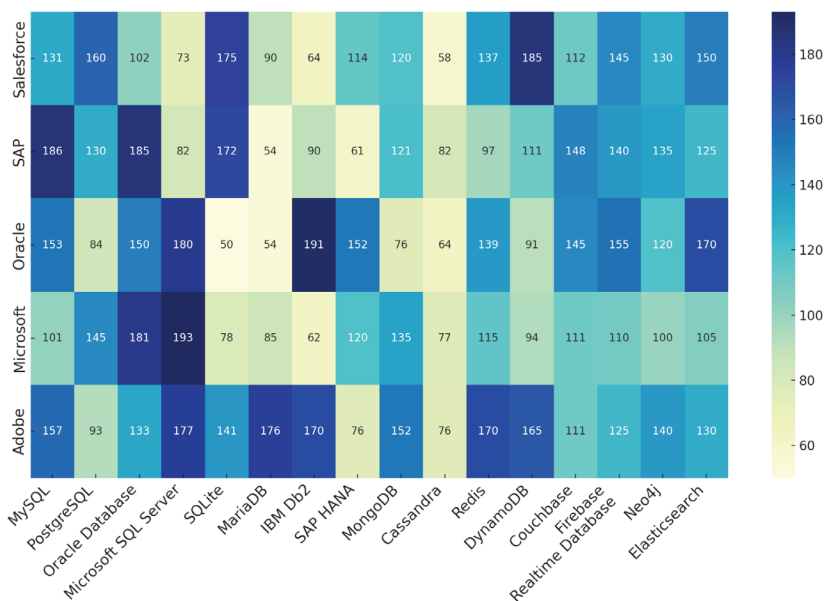


Рисунок 3: Час виконання складних запитів у CRM-системах (мс)

SQL-бази даних, такі як Oracle Database, PostgreSQL та Microsoft SQL Server, забезпечують стабільну продуктивність у виконанні складних запитів, особливо у CRM-системах SAP і Oracle, які вимагають обробки структурованих даних. Водночас SQLite і MariaDB демонструють значно повільніший час виконання в умовах високого навантаження, таких як Salesforce. NoSQL-бази, зокрема MongoDB, Cassandra та Redis, виділяються високою продуктивністю в CRM-системах із аналітикою в реальному часі, як-от Adobe, де Redis показує найкращу швидкість обробки, а Cassandra масштабується під високим навантаженням. Salesforce і Microsoft Dynamics, завдяки своїй складній архітектурі, краще працюють із SQL базами, тоді як Neo4j, оптимізована під графові запити, має обмежену ефективність у CRM без графової аналітики.

Агрегаційні запити є важливою частиною роботи з базами даних у CRM-системах, оскільки вони забезпечують підсумовування, обчислення середніх значень, підрахунок кількості записів та інші операції, які використовуються для бізнес-аналітики. Ефективність виконання таких запитів має критичне значення для систем, орієнтованих на аналітику, таких як Adobe, SAP та Oracle.

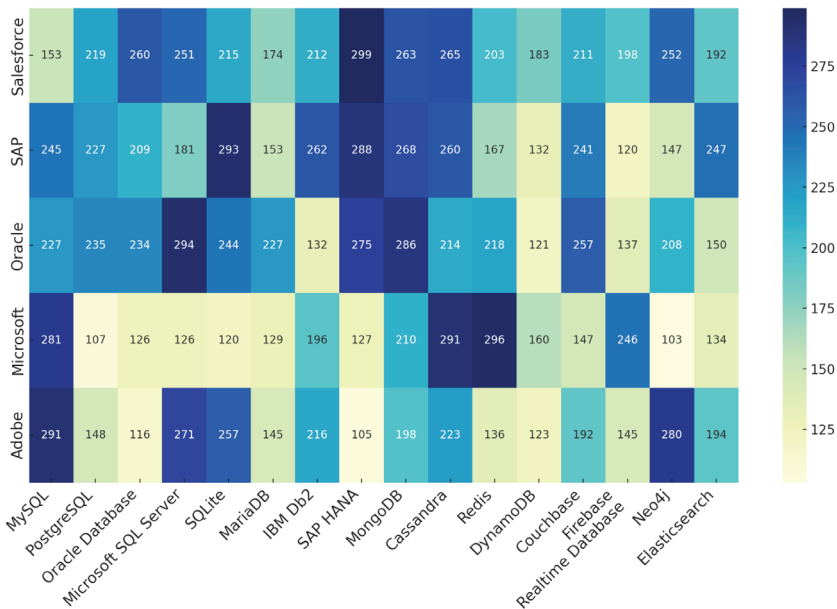


Рисунок 4: Час виконання агрегацій у CRM-системах (мс)

Транзакційна консистентність є одним із ключових критеріїв надійності баз даних, особливо в CRM-системах, де правильність обробки даних безпосередньо впливає на точність та цілісність бізнес-операцій. Консистентність забезпечує, що будь-яка транзакція, яка записує дані, залишає базу даних у коректному стані навіть у разі збоїв чи помилок (рис. 5).

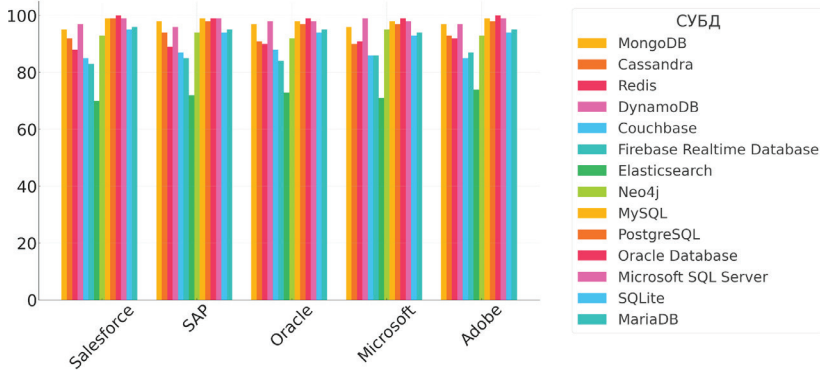


Рисунок 5: Транзакційна консистентність у CRM-системах

SQL бази даних, такі як Oracle Database і PostgreSQL, демонструють найкращу продуктивність під час виконання агрегаційних запитів у CRM-системах завдяки оптимізованим механізмам роботи з великими обсягами структурованих даних. Водночас SQLite, через свої обмеження, значно поступається в продуктивності і не підходить для CRM із високим навантаженням. У розподілених середовищах SQL бази показують стабільну ефективність, забезпечуючи надійну обробку структурованих запитів.

NoSQL бази даних, як-от MongoDB і Redis, виділяються високою продуктивністю в CRM-системах, орієнтованих на динамічні дані, таких як Adobe, а Cassandra і DynamoDB демонструють відмінну масштабованість у високонавантажених системах, наприклад, Salesforce. CRM-системи, орієнтовані на реальну аналітику (Adobe), показують збалансовані результати з обома типами баз даних, тоді як SAP і Oracle найбільше виграють від використання SQL баз. Загалом SQL бази краще працюють у середовищах із чіткою структурою даних, тоді як NoSQL бази ефективніші у динамічних і розподілених сценаріях, підтверджуючи свою доцільність залежно від завдань CRM [9, 10].

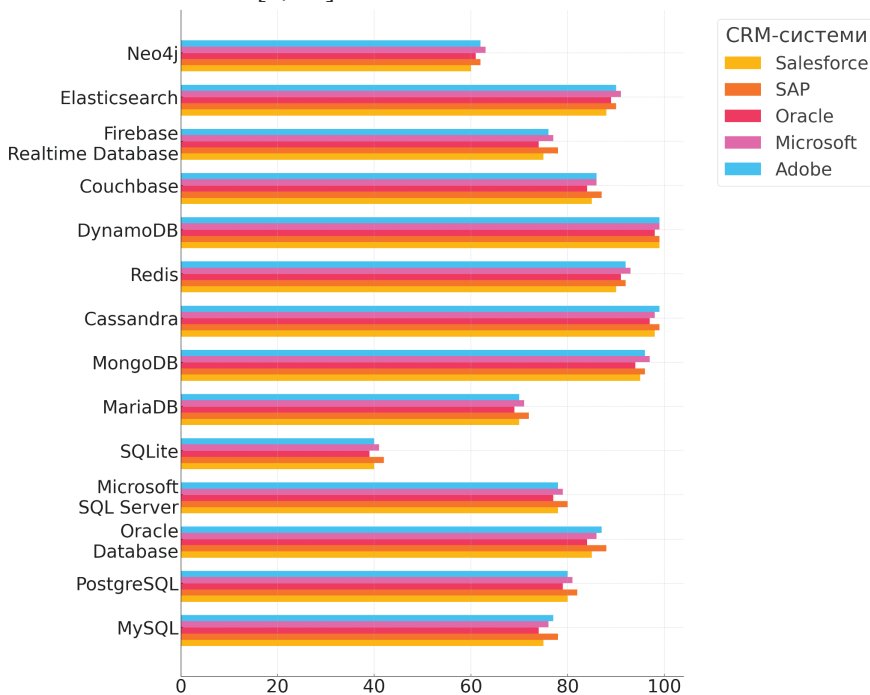


Рисунок 6: Ефективність горизонтального масштабування

Горизонтальне масштабування є критично важливою характеристикою баз даних для CRM-систем, які працюють із великими обсягами даних і вимагають високої продуктивності навіть у сценаріях із великим навантаженням. Це масштабування дозволяє розподіляти дані між кількома серверами, забезпечуючи кращу продуктивність і стійкість системи (рис. 6).

SQL-бази, такі як Oracle Database, PostgreSQL та Microsoft SQL Server, демонструють найвищий рівень консистентності (98–100%) у CRM-системах, як-от Oracle та SAP. MongoDB і DynamoDB серед NoSQL баз також забезпечують високу консистентність (96–98%), що робить їх ефективними для масштабованих систем, таких як Salesforce. Водночас Redis і Cassandra мають середні показники, а Couchbase і Firebase обмежені найнижчою консистентністю (83–87%), що знижує їхню надійність у критичних середовищах [11].

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** SQL і NoSQL бази даних мають чіткі відмінності, що визначає їхнє оптимальне застосування в CRM-системах. SQL бази, такі як Oracle Database та PostgreSQL, забезпечують високу транзакційну консистентність і надійність, що робить їх ідеальними для централізованих CRM, як-от SAP і Oracle. Вони демонструють стабільний час виконання запитів завдяки структурованій природі даних і підтримці ACID-гарантій, що підтверджує їхню перевагу в системах із високими вимогами до транзакційної обробки.

NoSQL бази даних, як-от DynamoDB, Cassandra та MongoDB, виділяються ефективністю горизонтального масштабування та доступністю до 99%. Ці бази є оптимальними для CRM із розподіленою архітектурою, такими як Salesforce і Microsoft Dynamics, де важливими є обробка великих обсягів неструктурованих даних і робота в реальному часі. MongoDB та Redis забезпечують найкращу продуктивність у CRM-системах, орієнтованих на динамічні дані, наприклад Adobe, тоді як Cassandra добре масштабується для великих навантажень.

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на гібридних підходах, які поєднують сильні сторони SQL і NoSQL. Наприклад, PostgreSQL із підтримкою JSONB дозволяє працювати з напівструктурованими даними, а MongoDB Atlas забезпечує гнучке масштабування. Дослідження продуктивності баз даних у середовищах із десятками тисяч одночасних запитів, а також інтеграція з хмарними платформами, такими як AWS та Azure, відкривають перспективи для підвищення ефективності та доступності CRM-систем.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Saha, L., Tripathy, H. K., Nayak, S. R., & Barsocchi, P. (2021). Amalgamation of customer relationship management and data analytics in different business sectors—A systematic literature review. *Sustainability*, 13(9), 5279.
2. Jani, Y. (2021). The role of SQL and NoSQL databases in modern data architectures.
3. Faraz, H., & Chausson, A. (2022). SQL vs. NoSQL: Optimizing database performance for modern e-commerce systems.
4. Malyi, R., & Serdyuk, P. (2024). Developing a performance evaluation benchmark for event sourcing databases.
5. Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2016). *Fundamentals of database systems* (7th ed.). Pearson.
6. Buttle, F., & Maklan, S. (2019). *Customer relationship management: Concepts and technologies* (4th ed.). Routledge.
7. H.R. Vyawahare, P.P. Karde, V.M. Thakare. (2021). Hybrid approaches in database management for scalable CRM systems.

8. Nasser Taleb, Mohammad Salahat, Liaqat Ali. (2022). Impact of data storage techniques on CRM efficiency.
9. Kola, H. G. (2023). SQL in Data Engineering: Techniques for Large Datasets.
10. Kosasih, O., Hidayat, K., & Hutahayan, B. (2024). Developing sustainable business-to-business (B2B) strategies in service innovation for enhancing customer loyalty in the petrochemical industry: A systematic review. Taylor & Francis.
11. Hasan, M. M. (2024). Customer Relationship Management Practices by Inpace Management Services Ltd. United International University Repository.

### REFERENCES

1. Saha, L., Tripathy, H. K., Nayak, S. R., & Barsocchi, P. (2021). Amalgamation of customer relationship management and data analytics in different business sectors—A systematic literature review. *Sustainability*, 13(9), 5279.
2. Jani, Y. (2021). The role of SQL and NoSQL databases in modern data architectures.
3. Faraz, H., & Chausson, A. (2022). SQL vs. NoSQL: Optimizing database performance for modern e-commerce systems.
4. Malyi, R., & Serdyuk, P. (2024). Developing a performance evaluation benchmark for event sourcing databases.
5. Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2016). *Fundamentals of database systems* (7th ed.). Pearson.
6. Buttle, F., & Maklan, S. (2019). *Customer relationship management: Concepts and technologies* (4th ed.). Routledge.
7. H.R. Vyawahare, P.P. Karde, V.M. Thakare. (2021). Hybrid approaches in database management for scalable CRM systems.
8. Nasser Taleb, Mohammad Salahat, Liaqat Ali. (2022). Impact of data storage techniques on CRM efficiency.
9. Kola, H. G. (2023). SQL in Data Engineering: Techniques for Large Datasets.
10. Kosasih, O., Hidayat, K., & Hutahayan, B. (2024). Developing sustainable business-to-business (B2B) strategies in service innovation for enhancing customer loyalty in the petrochemical industry: A systematic review. Taylor & Francis.
11. Hasan, M. M. (2024). Customer Relationship Management Practices by Inpace Management Services Ltd. United International University Repository.

doi: 10.32403/1998-6912-2024-2-69-46-54

### EVALUATION OF THE PERFORMANCE AND ADVANTAGES OF SQL AND NOSQL APPROACHES FOR DATA STORAGE AND ANALYSIS IN CRM

O. V. Tymchenko, V. O. Chornyak

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine  
o\_tymch@ukr.net, vovan41nsou@gmail.com*



*CRM-systems are critical elements of modern business and information ecosystems, as they allow for the automation of integration, management, analysis and processing of customer data. An important aspect is the choice of a DBMS architecture that is sufficient for optimal performance, scalability and availability for a specific CRM system. The article presents data from a comparative analysis of the performance of relational (SQL) and non-relational (NoSQL) databases, taking into account such parameters as transactional consistency, availability, speed, horizontal scaling and performance under load.*

*This article examines the most common SQL-DBMSs (MySQL, PostgreSQL, Oracle Database, Microsoft SQL Server, SQLite, MariaDB, IBM Db2, SAP HANA) from the point of view of ensuring ACID-properties (transactional integrity) and the most common NoSQL-DBMSs (MongoDB, Cassandra, Redis, DynamoDB, Couchbase, Firebase Realtime Database, Elasticsearch, Neo4j) from the point of view of compliance with BASE-properties. And also conducted their group comparative analysis on key performance parameters.*

*SQL and NoSQL databases have clear differences, which determines their optimal use in CRM-systems. SQL databases provide high transactional consistency and reliability, which makes them ideal for centralized CRM. They demonstrate stable query execution time due to the structured nature of data and support for ACID guarantees, which confirms their advantage in systems with high requirements for transactional processing. NoSQL databases are distinguished by their horizontal scaling efficiency and availability of up to 99%. These databases are optimal for CRM with a distributed architecture, where processing large volumes of unstructured data and real-time operation are important. MongoDB and Redis provide the best performance in CRM systems focused on dynamic data.*

*Further research into database performance in environments with tens of thousands of simultaneous queries, as well as integration with cloud platforms, opens up prospects for improving the efficiency and availability of CRM systems.*

**Keywords:** CRM systems, relational and non-relational databases (SQL and NoSQL), data processing, transactional integrity - ACID, BASE, data storage efficiency, CAP, DBMS.

*Стаття надійшла до редакції 05.07.2024.*

*Received 05.07.2024.*