УДК 004.652.4 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.33

В. М. ПАХОМОВА
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електронних обчислювальних машин
Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту
Українського державного університету науки і технологій
ORCID: 0000-0002-0022-099X

В. А. ТОДОРОВ
аспірант кафедри електронних обчислювальних машин
Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту
Українського державного університету науки і технологій
ORCID: 0009-0005-3097-5073

ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ РОЗПОДІЛЕНОЇ БАЗИ ДАНИХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЗАКУПІВЕЛЬ B2B КОМПАНІЙ

У даній роботі виконано розгляд можливих варіантів архітектури розподіленої бази даних як інноваційне рішення у системах управління закупівлями для B2B (business-to-business) компанії та проведено обґрунтування вибору системи управління базами даних (СУБД).

Під час воєнної агресії українські компанії потребують трансформації бізнес-моделей, спостерігається активне впровадження цілого ряду управлінських рішень, що в свою чергу потребує удосконалення відповідних інформаційних систем на основі інтеграції локальних баз даних. Запропоновані деякі архітектури розподіленої бази даних: архітектура «клієнт-сервер» з незалежними серверами; архітектура «клієнт-сервер» з взаємодіючими серверами та змішана архітектура, що передбачає наявність хмарного сховища, локальних серверів, а також їх поєднання та використання CRM/ERP (Customer Relationship Management / Enterprise Resource Planning) систем і нейронних мереж. Здійснено аналіз найбільш популярних систем управління базами даних щодо використання в системах управління закупівлями для B2B компанії, серед яких: PostrgreSQL; Oracle Database; MySQL; Microsoft SQL Server; MongoDB; MariaDB; IBM DB2; SAP HANA у контексті їх застосування в автоматизованих системах управління закупівельною діяльністю. Значна частина сучасних систем управління базами даних демонструє високу адаптивність до бізнес-процесів різного рівня складності. Представлені результати можуть бути використані як методологічна основа для побудови інформаційних систем закупівель, а також адаптації розподілених технологій у процесах цифрової трансформації корпоративного управління. Наукова новизна полягає в обґрунтуванні доцільності застосування змішаної (гібридної) клієнт-серверної архітектури розподілених баз даних в системах управління закупівлями для B2B компанії.

Ключові слова: *розподілена база даних, архітектура, клієнт-сервер, незалежні сервера, взаємодіючі сервера, гібридна модель, хмарне сховище, система управління базою даних.*

V. M. PAKHOMOVA
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Electronic Computers
Dnipro Institute of Infrastructure and Transport
of Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0000-0002-0022-099X

V. A. TODOROV
Postgraduate Student at the Department of Electronic Computers
Dnipro Institute of Infrastructure and Transport
of Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0009-0005-3097-5073

RESEARCH ON THE ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED DATABASES IN PROCUREMENT MANAGEMENT SYSTEMS OF B2B COMPANIES

This paper explores possible architectures of distributed databases as an innovative solution for procurement management systems in B2B (business-to-business) companies and provides a rationale for selecting a databases management system (DBMS).

During the period of military aggression, Ukrainian companies face the need to transform their business models, with the active implementation of various managerial decisions. This, in turn, necessitates the improvement of corresponding

information systems through the integration of local databases. Several distributed database architectures are proposed: client-server architecture with independent servers, client-server architecture with cooperating servers, and a hybrid architecture that includes cloud storage, local servers, and their integration, along with the use of CRM/ERP (Customer Relationship Management / Enterprise Resource Planning) systems and neural networks. An analysis of the most widely used database management systems is conducted, including PostgreSQL, Oracle Database, MySQL, Microsoft SQL Server, MongoDB, MariaDB, IBM DB2, and SAP HANA, in the context of their application in automated procurement management systems. Many modern database management systems demonstrate high adaptability to business processes of varying complexity. The presented results can serve as a methodological basis for the development of procurement information systems and for the adaptation of distributed technologies in the processes of corporate digital transformation. The scientific novelty lies in the substantiation of the feasibility of using a mixed (hybrid) client-server architecture for distributed databases in procurement management systems for B2B companies.

Key words: *distributed database, architecture, client-server, independent servers, interacting servers, hybrid model, cloud storage, database management system.*

Постановка проблеми

Воєнний стан, що триває в Україні з 2022 року, призводить до скорочення внутрішнього ринку, втрати інфраструктури, закриття портів і логістичних ланцюгів. У поєднанні з високою міжнародною конкуренцією та масовою міграцією населення це формує надзвичайно складне середовище для ведення бізнесу в Україні. У цих умовах українські компанії потребують трансформації бізнес-моделей, спостерігається активне впровадження цілого ряду управлінських рішень, що в свою чергу потребує удосконалення відповідних інформаційних систем, основу яких складають бази даних (БД). З розвитком технологій і зростанням використання відповідних даних з'являються розподілені бази даних, багатоваріантність структур яких вимагає проведення дослідження, що підтверджує актуальність теми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз наукових джерел засвідчує, що вітчизняні дослідження, зокрема Берко А. Ю. та ін. [1, с. 38], зосереджені переважно на загальних підходах до проектування баз даних у корпоративних інформаційних системах, тоді як аспекти розподіленості розглядаються переважно як другорядні. Постніков О. О. [2, с. 53] та Швайко М. Л. [3, с. 167] досліджують управління закупівлями в умовах криз і цифрової трансформації, однак їхні роботи орієнтовані на управлінські та регуляторні аспекти без детального аналізу інформаційних архітектур. У міжнародному сегменті A. Althabatah та співавтори [4, с. 30], S. Herold та ін. [5, с. 434] висвітлюють вплив цифровізації та технологій Industry 4.0 на закупівельні процеси, тоді як B. Bender та співавтори [6, с. 489–490] аналізують еволюцію корпоративних моделей зберігання даних. Проте у згаданих працях розподілені БД здебільшого виступають як інфраструктурний компонент без фокусування на специфіці закупівельного функціоналу. Такий дисбаланс підтверджує наукову й практичну доцільність дослідження, присвяченого архітектурним рішенням для розподілених БД у системах управління закупівлями.

Формулювання мети дослідження

Проведені дослідження ставили за мету проєктування розподіленої бази даних як інтеграції існуючих локальних баз даних в системах управління закупівлями для B2B компанії. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: розгляд можливих варіантів архітектур розподілених баз даних та обґрунтування вибору СУБД.

Викладення основного матеріалу дослідження

Постановка задачі. У сучасних умовах трансформації бізнесу, особливо в період повномасштабної війни, системи управління B2B компаній зазнають суттєвих змін. Їх основними характеристиками є гнучкість, децентралізованість, адаптивність до зовнішніх викликів та високий рівень цифровізації. Такі системи включають корпоративні інструменти для документообігу, аналітики, командної взаємодії, а також активне використання хмарних сервісів та аутсорсингових моделей для другорядних бізнес-процесів.

На сучасному етапі поширеними локальними базами даних, що застосовуються у B2B сегменті, є:

1) Microsoft SQL Server (класичне рішення для локального зберігання структурованих даних);
2) Oracle DB (потужна СУБД для великих корпорацій);
3) 1С:Підприємство (поширена ERP-система з вбудованою БД, що активно використовується в українських компаніях). Однак у зв'язку з ускладненням бізнес-операцій, розширенням географії діяльності та збільшенням обсягів даних, виникає потреба у переході до розподілених баз даних, які забезпечують масштабованість, високу доступність і стійкість до збоїв. Крім того, дедалі актуальнішим стає застосування нейронних мереж та інших методів штучного інтелекту у B2B управлінні, зокрема:

1) розпізнавання бізнес документів (Optical Character Recognition);
2) аналіз залишків на складах;
3) автоматизації рутинних бізнес-процесів завдяки генеративному AI (Artificial Intelligence).

Таким чином, постає завдання: надати загальну характеристику систем управління B2B-компаній, визначити існуючі локальні СУБД, а також обґрунтувати необхідність переходу до розподілених архітектур з інтеграцією штучного інтелекту для підвищення ефективності управлінських рішень.

Розробка архітектур розподіленої бази даних. У контексті зростання обсягів даних та потреби в їх оперативній обробці, вибір моделі зберігання та керування інформаційними ресурсами стає критичним стратегічним рішенням для підприємств, зокрема у сфері закупівель. Залежно від рівня вимог до безпеки, витрат, гнучкості масштабування та контролю над інфраструктурою, найбільш поширеними є три підходи: хмарні, локальні та гібридні. В таблиці 1 наведено порівняльну характеристику кожної з моделей.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз моделей зберігання даних

Критерій	Хмарна модель	Локальна модель	Гібридна модель
Безпека	Обмежена, залежить від провайдера	Висока, контроль на стороні організації	Висока, контроль над критичними даними зберігається
Вартість	Низька початкова, зростає з обсягами	Висока початкова, сталі витрати	Середня, залежить від конфігурації
Масштабованість	Висока, автоматичне масштабування	Обмежена, потребує ручного втручання	Висока, за рахунок хмарного компонента
Контроль доступу	Обмежений, регламентований SLA	Повний контроль адміністратора	Регульований, з пріоритетом локального керування

Примітка: сформовано авторами на основі [7, с. 25].

У контексті проектування інформаційно-аналітичних систем, зокрема в сфері управління закупівлями, на думку Фісун М. Т., критично важливим є вибір архітектури розподіленої бази даних, яка б відповідала як функціональним вимогам, так і структурним особливостям організації. Архітектурна модель визначає спосіб взаємодії вузлів, рівень централізації обробки, способи синхронізації транзакцій і ефективність обміну даними.

До найбільш репрезентативних архітектурних підходів належать клієнт-серверна модель (у варіаціях з незалежними та взаємодіючими серверами), однорангова (peer-to-peer), а також змішана (гібридна), кожна з яких володіє специфічними перевагами й обмеженнями в контексті організаційної побудови системи, які відображені в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика архітектур розподілених БД

Архітектурна модель	Особливості реалізації	Доцільність використання у структурі компанії
Клієнт-сервер з незалежними серверами	Сервери функціонують автономно, обробка даних – локалізована	Доцільна для географічно розподілених відділів з високою автономією
Клієнт-сервер з взаємодіючими серверами	Сервери мають синхронізовану взаємодію, забезпечують узгодженість	Підходить для централізованих організацій зі складною координацією
Однорангова (P2P)	Відсутній централізований вузол, усі вузли – рівноправні	Ефективна в децентралізованих структурах або тимчасових об'єднаннях
Змішана (гібридна)	Комбінує характеристики кількох моделей залежно від задач	Універсальна для великих компаній із комбінованою структурою управління

Примітка: сформовано авторами на основі [8, с. 56–57].

Архітектура «клієнт-сервер» з незалежними серверами (рисунок 1) обробляє запити клієнтів виключно через центральний сервер, а допоміжні модулі не мають прямого зв'язку між собою.

Клієнт надсилає файл або запит до Procurement Server. Цей сервер окремо звертається до AI Server для обробки, до бази даних – для збереження полів, і до хмарного сховища – для зберігання файлу. Усі сервери ізольовані і не мають прямого зв'язку між собою – вся логіка проходить через головний сервер.

Архітектура «клієнт-сервер» з взаємодіючими серверами (рисунок 2) дозволяє модулям напряму обмінюватись даними, що знижує навантаження на центральний вузол і дозволяє паралельну обробку запитів.

Клієнт працює через Procurement Server, який ініціює обробку. Однак AI Server, база даних і Cloud Storage можуть напряму взаємодіяти між собою – обмінюватися файлами, записувати дані, виконувати запити. Це зменшує навантаження на центральний сервер і дозволяє паралельну обробку.

Гібридна архітектура (рисунок 3) поєднує централізоване управління із можливістю прямої взаємодії та масштабування окремих компонентів, зокрема за допомогою розподіленої бази даних. Клієнт надсилає дані через Procurement Server, який звертається до DB Node. Дані зберігаються не в одній базі, а в розподіленій системі з кількох DB вузлів, які можуть взаємодіяти між собою, у тому числі для шардування та реплікації. AI Server і Cloud Storage можуть напряму взаємодіяти з будь-яким вузлом, що забезпечує масштабованість і відмовостійкість.

З огляду на специфіку відділів закупівель великих B2B-компаній, які потребують підвищеного рівня безпеки, але не оперують критичними фінансовими транзакціями в реальному часі, доцільним виглядає впровадження гібридної моделі, що дозволяє зберігати конфіденційні документи локально, забезпечуючи максимальний

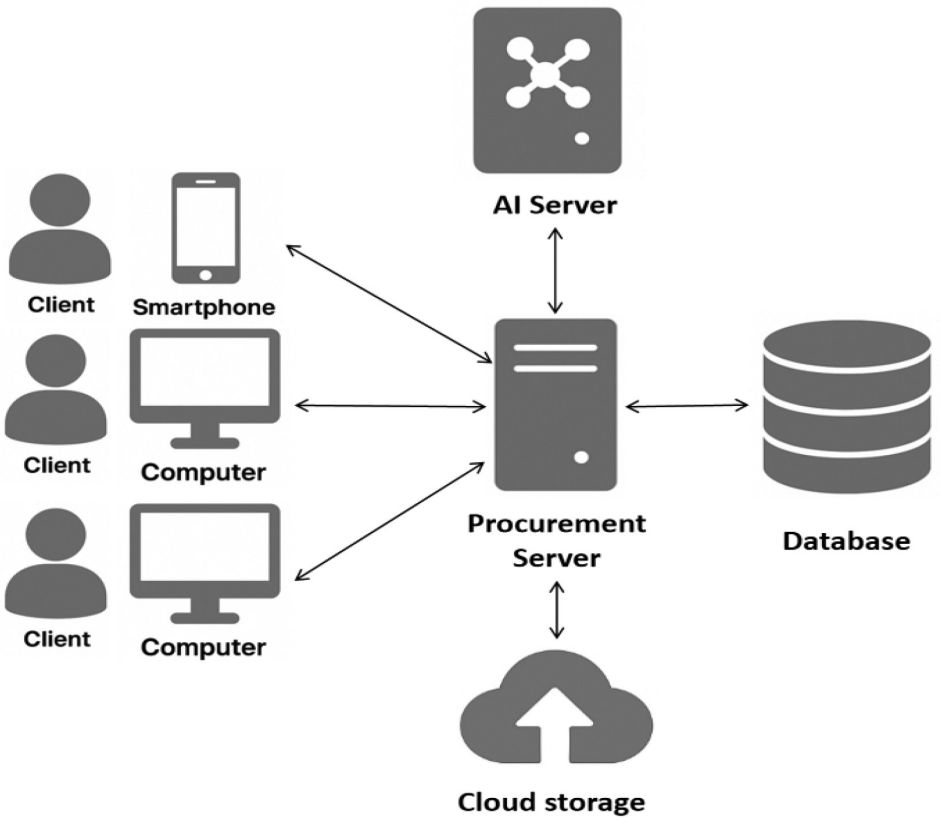

Рис. 1. Архітектура «клієнт-сервер» з незалежними серверами

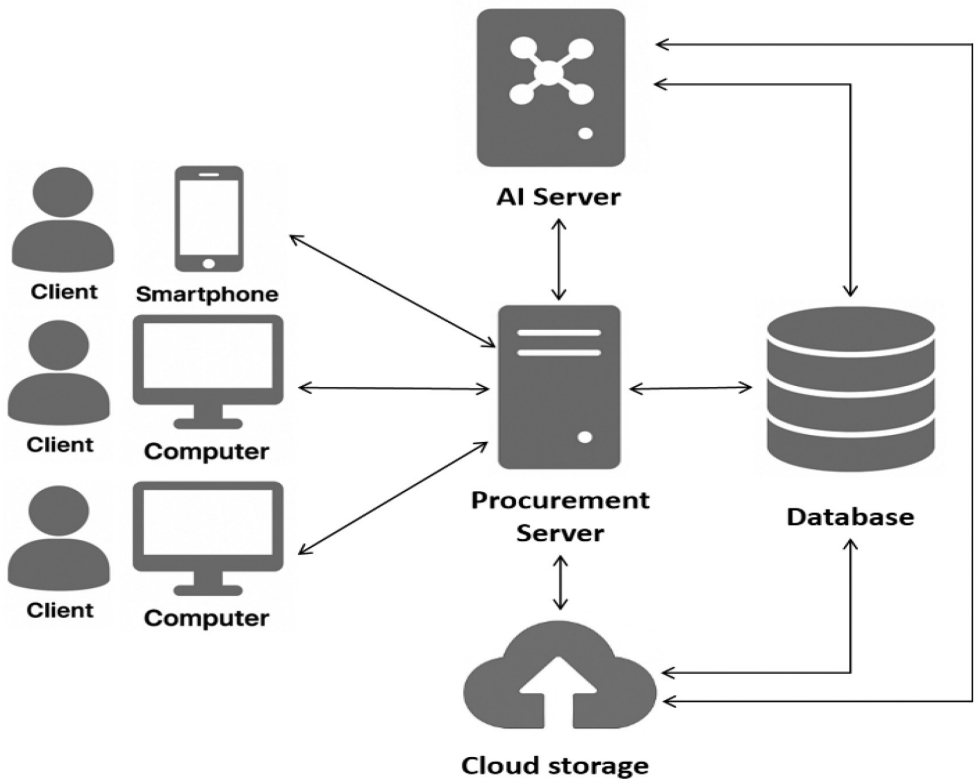

Рис. 2. Архітектура «клієнт-сервер» з взаємодіючими серверами

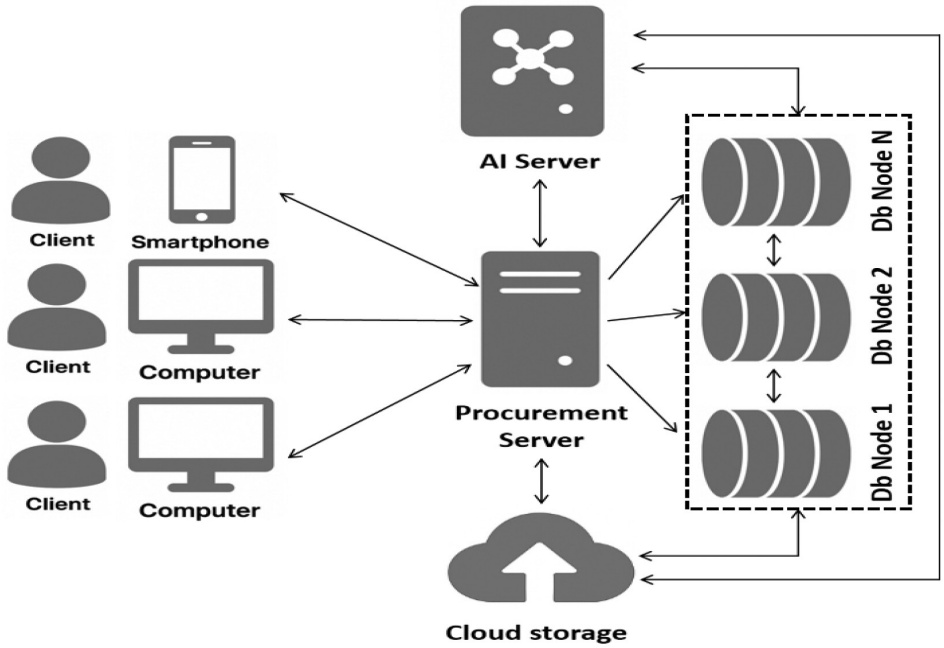

Рис. 3. Змішана (гібридна) архітектура

контроль, водночас використовуючи хмарні рішення для незначущих запитів і забезпечення масштабованості [7, с. 25–26].

Обґрунтування вибору СУБД щодо використання в системах управління закупівель великих B2B-компаній.

1) **Oracle Database** – одна з провідних СУБД, оптимізована для хмарного середовища та здатна працювати на одному або кількох серверах. Вона ефективно обробляє масиви даних до сотень мільярдів записів. Завдяки grid-архітектурі, фізичні зміни в структурі не впливають на логічний доступ користувачів, що забезпечує гнучкість та високу швидкодію. Oracle вирізняється надійною системою безпеки: транзакції ізольовані, підтримується контроль доступу, аудит та адміністрування. Переваги: інноваційність, широкі функціональні можливості, постійна підтримка. Недоліки: висока вартість ліцензії та значні вимоги до апаратного забезпечення. Підходить для великих компаній із високими вимогами до продуктивності та безпеки.

2) **MySQL** – одна з найпопулярніших відкритих реляційних СУБД, широко використовується у веб-розробці, особливо на Linux-серверах. Переваги: безкоштовна для базового використання, має хорошу документацію, підтримує численні інтерфейси, легко інтегрується з іншими СУБД (DB2, Oracle). Недоліки: складне налаштування деяких простих операцій, відсутність підтримки XML (eXtensible Markup Language) і OLAP (Online Analytical Procession). Найбільш підходить для малих і середніх компаній, що розробляють веб-додатки з високими вимогами до швидкості доступу та простоти розгортання.

3) **Microsoft SQL Server** – потужна СУБД з підтримкою гібридної архітектури (хмара + локальні сервери), з 2016 року сумісна з Linux. Має функцію dynamic data masking для захисту конфіденційної інформації. Переваги: простота використання, стабільність під навантаженням, розвинені інструменти моніторингу, інтеграція з Power BI, Azure, SharePoint. Недолік – висока вартість ліцензій. Рекомендована для великих організацій, особливо тих, що вже працюють в екосистемі Microsoft.

4) **PostgreSQL + Citus** – розширення до PostgreSQL, яке перетворює її на розподілену СУБД з горизонтальним масштабуванням. Працює на основі шардінгу таблиць і автоматично розподіляє дані між вузлами кластера. Підходить для OLTP (Online Transaction Processing) і аналітичних навантажень у режимі реального часу. Переваги: розподілена архітектура, сумісність з PostgreSQL, відкритий код, підтримка реплікації, висока доступність, ефективна робота з великими обсягами даних. Недоліки: складність конфігурації при нестандартних сценаріях, потреба у глибшому адмініструванні, обмеження на деякі SQL-операції (Structured Query Language) в розподілених таблицях. Оптимальний варіант для середніх і великих компаній, які потребують масштабованої, надійної та доступної системи з гнучкою структурою.

5) **MongoDB** – одна з провідних NoSQL-СУБД (Not Only SQL), побудована на документоорієнтованій моделі з використанням формату BSON (Binary JavaScript Object Notation). Підтримує зберігання різноструктурованих документів в одній колекції, що забезпечує гнучкість моделювання даних без нормалізації. Ключові переваги: горизонтальне масштабування (шардінг), багатодокументні транзакції (від версії 4.0), реплікація з автоматичним перемиканням при збоях, підтримка багатьох мов програмування. MongoDB ефективна для систем, що працюють

з великими обсягами різнорідних даних, зокрема у сфері закупівель, де потрібна масштабованість, гнучкість та висока доступність.

6) **MariaDB** – сучасна СУБД з відкритим кодом, створена як форк MySQL, повністю сумісна з нею за синтаксисом і API (Application Programming Interface). Переваги: підтримка кількох рушіїв зберігання (InnoDB, Aria, XtraDB тощо), гнучка архітектура, розширювана система плагінів, розвинене шифрування, активна підтримка спільноти, висока швидкість розвитку. Підтримує інструменти продуктивності й логування, що полегшує адміністрування. Оптимальний вибір для проєктів, яким потрібна більша гнучкість, ніж надає MySQL.

7) **IBM DB2** – високопродуктивна СУБД, яка поєднує реляційні можливості з обробкою JSON (JavaScript Object Notation) та XML, що дозволяє працювати з різними типами даних. Працює на Windows, Linux, Unix; має гібридні варіанти розгортання. Переваги: автоматизований багатофазовий оптимізатор SQL-запитів, технологія Blu Acceleration для роботи з великими даними, висока надійність і масштабованість. Недолік – висока вартість ліцензії та обслуговування. Рекомендована для великих організацій із високими вимогами до продуктивності та аналітики.

8) **SAP HANA** – високопродуктивна СУБД з in-memory архітектурою та стовпчиковим зберіганням, що забезпечує обробку великих обсягів даних у реальному часі. Поєднує функції OLTP і OLAP, підтримує SQL, працює з даними SAP і сторонніми джерелами. Переваги: висока швидкодія, масштабованість, інтеграція з BI-інструментами (Business Intelligence tools), стиснення даних, аналітика в реальному часі. Недолік – підтримка лише сертифікованого обладнання, що збільшує вартість впровадження. Рекомендована для великих компаній із високими аналітичними навантаженнями та необмеженим IT-бюджетом.

Висновки

В умовах зростаючих вимог до інформаційної безпеки, гнучкості та масштабованості корпоративних IT-систем, розподілені бази даних демонструють високий потенціал як архітектурне рішення для підрозділів закупівель у B2B-секторі. Рекомендовано архітектуру розподіленої бази даних реалізувати за змішаною (гібридною) моделлю, яка поєднує локальне та хмарне зберігання. Зокрема, для збереження неструктурованих даних (медіафайлів, документів) використовується Azure Blob Storage, що забезпечує масштабованість, георедундантність та швидкий доступ. Основні структуровані дані, включно з транзакційною інформацією, будуть зберігатися у локальній інсталяції PostgreSQL, масштабованій за допомогою розширення Citus, що забезпечує розподілений підхід до обробки запитів, або Microsoft SQL Server, якщо екосистема Microsoft. Такий підхід дозволяє оптимізувати продуктивність і витрати, забезпечуючи при цьому гнучкість у зберіганні та доступі до даних у межах сучасної розподіленої архітектури.

Список використаної літератури

1. Берко А. Ю., Верес О. М., Пасічник В. В. Системи баз даних та знань. Кн. 2: Системи управління базами даних та знань: навч. посіб. Львів : Магнолія–2006, 2021. 584 с.
2. Постніков О. О. Баланс між прозорістю та безпекою в управлінні державними закупівлями в кризових ситуаціях. Проблеми системного підходу в економіці. 2024. С. 51–59. DOI: 10.32782/2520-2200/2024-2-7
3. Швайко М. Л. Трансформація системи публічних закупівель і фінансів в умовах цифровізації: у чому ризики і шанси для економічного відновлення України під час війни? Актуальні проблеми державного управління. 2024. № 2(65). С. 165–186. DOI: 10.26565/1684-8489-2024-2-09
4. Althabatah A., Yaqot M., Menezes B., Kerbache L. Transformative procurement trends: integrating Industry 4.0 technologies for enhanced procurement processes. Logistics. 2023. Vol. 7, № 3. Is. 63. C. 1–21. DOI: 10.3390/logistics7030063. (дата звернення: 22.05.2025).
5. Herold S., Heller J., Rozemeijer F., Mahr D. Dynamic capabilities for digital procurement transformation: a systematic literature review. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2023. Vol. 53, № 4. P. 424–447. DOI: 10.1108/IJPDLM-12-2021-0535
6. Bender B., Bertheau C., Körppen T. et al. A proposal for future data organization in enterprise systems – an analysis of established database approaches. Information Systems and e-Business Management. 2022. Vol. 20. P. 441–494. DOI: 10.1007/s10257-022-00555-6
7. Ярцев В. П. Розподілені бази даних: навч. посіб. Київ: ДУТ, 2018. 97 с.
8. Фісун М. Т., Дворецький М. Л., Дворецька С. В. Побудова моделей для оптимізації структури бази даних вузла у корпоративних інформаційних системах. ІТКІ. 2020. № 48, вип. 2. С. 52–60. DOI: 10.31649/1999-9941-2020-48-2-52-60

References

1. Berko A. Yu., Veres O. M., Pasichnyk V. V. (2021) Systemy baz danykh ta znan. Kn. 2: Systemy upravlinnia bazamy danykh ta znan: navchalnyi posibnyk [Database and knowledge systems. Book 2: Database and knowledge management systems: textbook]. Lviv : Mahnoliia–2006. 584 p. [in Ukrainian]

2. Postnikov O. O. (2024) Balans mizh prozoristiu ta bezpekoiu v upravlinni derzhavnymy zakupivliamy v kryzovykh sytuatsiiakh [Balance between transparency and security in public procurement management in crisis situations]. *Problems of the system approach in economics*, pp. 51–59. DOI: 10.32782/2520-2200/2024-2-7 [in Ukrainian].

3. Shvaiko M. L. (2024) Transformatsiia systemy publichnykh zakupivel i finansiv v umovakh tsyfrovizatsii: u chomu ryzyky i shansy dlia ekonomichnoho vidnovlennia Ukrainy pid chas viiny? [Transformation of the public procurement and finance system under digitalization: risks and opportunities for Ukraine's economic recovery during war?]. *Current Issues of Public Administration*, no. 2(65), pp. 165–186. DOI: 10.26565/1684-8489-2024-2-09 [in Ukrainian].

4. Althabatah A., Yaqot M., Menezes B., Kerbache L. (2023) Transformative procurement trends: integrating Industry 4.0 technologies for enhanced procurement processes. *Logistics*, vol. 7, no. 3, iss. 63, pp. 1–21. DOI: 10.3390/logistics7030063 (date of access: 22.05.2025).

5. Herold S., Heller J., Rozemeijer F., Mahr D. (2023) Dynamic capabilities for digital procurement transformation: a systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 53, no. 4, pp. 424–447. DOI: 10.1108/IJPDLM-12-2021-0535

6. Bender B., Bertheau C., Körppen T. et al. (2022) A proposal for future data organization in enterprise systems – an analysis of established database approaches. *Information Systems and e-Business Management*, vol. 20, pp. 441–494. DOI: 10.1007/s10257-022-00555-6

7. Yartsev V. P. (2018) Rozpodileni bazy danykh: navchalnyi posibnyk [Distributed databases: textbook]. Kyiv : DUT. 97 p. [in Ukrainian]

8. Fisun M. T., Dvoretskyi M. L., Dvoretska S. V. (2020) Pobudova modelei dlia optymizatsii struktury bazy danykh vuzla u korporatyvnykh informatsiinykh systemakh [Model building for optimizing the node database structure in corporate information systems]. ITKI, no. 48, iss. 2, pp. 52–60. DOI: 10.31649/1999-9941-2020-48-2-52-60