

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-62-32>

УДК 004.9

Сіденко Євген Вікторович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6496-2469>

Смоленський Микита Михайлович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0008-3071-4350>

Чорноморський національний університет ім. П.Могили, м. Миколаїв, Україна

## АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ RFID-ОРІЄНТОВАНОЇ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Сіденко Є.В., Смоленський М.М. Архітектурні рішення та програмна реалізація RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи. У сучасних медичних закладах активне впровадження RFID-технологій спрямоване на підвищення точності ідентифікації пацієнтів, оптимізацію внутрішньої логістики та зменшення адміністративного навантаження на медичний персонал. Використання радіочастотної ідентифікації дозволяє автоматизувати процеси обліку та контролю, мінімізувати людський фактор і забезпечити оперативний доступ до актуальної інформації у межах клінічних процесів. У зв'язку з цим RFID розглядається як важливий компонент цифрової інфраструктури охорони здоров'я, що інтегрується з медичними інформаційними системами різного рівня. Значна кількість наукових робіт присвячена архітектурним моделям RFID-орієнтованих систем, у яких розглядаються загальні принципи взаємодії апаратних і програмних компонентів, питання безпеки та інтеграції з іншими інформаційними платформами. Водночас практична програмна реалізація таких архітектур часто розглядається фрагментарно або залишається поза межами досліджень. Як наслідок, відсутній детальний опис серверної логіки, механізмів організації баз даних, клієнтських інтерфейсів та програмних інтерфейсів прикладного рівня, що ускладнює відтворення запропонованих рішень і їх адаптацію до умов реальних медичних установ. Метою даної роботи є дослідження та опис архітектурних рішень і програмної реалізації RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи на основі клієнт-серверної моделі. У статті розглянуто загальну структуру програмної системи, особливості реалізації серверної частини, організацію взаємодії з клієнтськими застосунками та підходи до інтеграції з іншими інформаційними системами. Особливу увагу приділено модульності, масштабованості та можливості подальшого розвитку системи. Результати дослідження демонструють, що реалізація клієнт-серверної архітектури у вигляді повноцінної програмної платформи підтверджує життєздатність раніше запропонованих архітектурних моделей та створює практичну основу для подальших експериментальних і прикладних досліджень у сфері цифрової медицини.

**Ключові слова:** RFID-технології, медичні інформаційні системи, клієнт-серверна архітектура, програмна реалізація, інтеграція систем, автоматизація медичних процесів.

**Sidenko Ie., Smolenskyi M. Architectural Solutions and Software Implementation of an RFID-Oriented Medical Information System.** In modern healthcare institutions, the active adoption of RFID technologies is aimed at improving the accuracy of patient identification, optimizing internal logistics, and reducing the administrative burden on medical staff. The use of radio frequency identification enables the automation of accounting and control processes, minimizes the human factor, and ensures timely access to up-to-date information within clinical workflows. In this context, RFID is increasingly regarded as an essential component of the digital healthcare infrastructure, integrated with medical information systems at various levels. A significant number of scientific studies are devoted to architectural models of RFID-oriented systems, addressing general principles of interaction between hardware and software components, security issues, and integration with other information platforms. However, the practical software implementation of such architectures is often considered only fragmentarily or remains outside the scope of research. As a result, detailed descriptions of server-side logic, database organization mechanisms, client interfaces, and application programming interfaces are frequently missing, which complicates the reproducibility of proposed solutions and their adaptation to real healthcare environments. The purpose of this work is to investigate and describe architectural solutions and the software implementation of an RFID-oriented medical information system based on a client-server model. The paper examines the overall structure of the software system, features of the server-side implementation, organization of interaction with client applications, and approaches to integration with other information systems. Particular attention is paid to modularity, scalability, and the potential for further system development. The results of the study demonstrate that implementing a client-server architecture in the form of a full-fledged software platform confirms the viability of previously proposed architectural models and provides a practical foundation for further experimental and applied research in the field of digital healthcare.

**Keywords:** RFID technologies, medical information systems, client-server architecture, software implementation, system integration, healthcare automation.

### Постановка проблеми

Цифрова трансформація охорони здоров'я є одним із ключових напрямів розвитку сучасних інформаційних технологій і зумовлює суттєве зростання вимог до медичних інформаційних систем. Такі системи повинні забезпечувати не лише швидкий і зручний доступ до клінічних даних, але й високу надійність їх обробки, цілісність інформації, а також відповідність вимогам безпеки та конфіденційності. В умовах підвищеного навантаження на медичні заклади, зростання обсягів даних і ускладнення клінічних процесів особливої актуальності набуває автоматизація процедур ідентифікації пацієнтів, медичного персоналу, обладнання та лікарських засобів.

Технології радіочастотної ідентифікації (RFID) розглядаються як один із найбільш перспективних інструментів для вирішення зазначених завдань. Їх використання дозволяє мінімізувати людський фактор, зменшити кількість помилок під час обліку та ідентифікації, а також забезпечити оперативне отримання інформації в режимі, близькому до реального часу. У медичному середовищі RFID знаходить застосування у процесах ідентифікації пацієнтів, контролю переміщення медичного обладнання, управління запасами лікарських засобів та інтеграції ідентифікаційних подій з електронними медичними записами.

У науковій літературі достатньо широко представлені концептуальні та архітектурні моделі RFID-орієнтованих медичних систем. Більшість досліджень зосереджуються на загальних принципах побудови таких систем, питаннях безпеки, конфіденційності та сумісності з іншими компонентами цифрової інфраструктури охорони здоров'я. Описуються типові структурні схеми, взаємодія апаратних компонентів, а також інтеграція RFID-рішень у ширший контекст Інтернету медичних речей та клінічних інформаційних систем.

Водночас практична реалізація запропонованих архітектур у вигляді повноцінних програмних систем залишається недостатньо висвітленою. У значній кількості робіт програмна складова або розглядається фрагментарно, або обмежується загальними описами без деталізації серверної логіки, структури баз даних, механізмів взаємодії з клієнтськими застосунками та організації програмних інтерфейсів. Як наслідок, архітектурні моделі часто залишаються на рівні концепцій і не супроводжуються прикладами їх реалізації у вигляді керованих та масштабованих програмних платформ.

Такий підхід створює суттєвий розрив між теоретичними моделями RFID-орієнтованих медичних систем і можливістю їх практичного впровадження у медичних закладах. Відсутність детального опису програмної архітектури ускладнює відтворюваність рішень, оцінку їх придатності до реальної експлуатації та адаптацію до конкретних умов функціонування. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки та обґрунтування архітектурних і програмних рішень, які поєднують теоретичні принципи RFID-орієнтованих систем із практичною реалізацією у вигляді цілісної клієнт-серверної медичної інформаційної платформи.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У сучасних наукових дослідженнях RFID-технології розглядаються як один із ключових інструментів цифровізації медичних процесів, зокрема у сфері ідентифікації пацієнтів, управління матеріальними та інформаційними ресурсами, а також інтеграції з медичними інформаційними системами різного рівня. Застосування RFID у медицині асоціюється з підвищенням точності обліку, скороченням часу виконання операцій та зменшенням впливу людського фактора у критично важливих клінічних процесах. У цьому контексті RFID розглядається не лише як апаратна технологія, але й як складова програмно-інформаційної інфраструктури сучасних медичних закладів.

Значна частина наукових публікацій зосереджена на архітектурних підходах до побудови RFID-орієнтованих систем, питаннях інформаційної безпеки, захисту персональних даних та інтеграції з іншими цифровими платформами. При цьому програмна реалізація таких систем у більшості випадків описується узагальнено, без детального аналізу структури серверної частини, логіки обробки подій та організації взаємодії між компонентами системи. Це обмежує можливість відтворення запропонованих рішень та їх подальшого практичного застосування.

У роботі Marchang та співавт. [1] запропоновано архітектуру реального часу для систем Інтернету медичних речей, у якій серверна частина виконує роль центрального вузла збору, обробки та агрегації подій. Основну увагу автори приділяють питанням безпеки та надійності функціонування системи в умовах високого навантаження. Хоча дослідження орієнтоване на IoT, запропоновані архітектурні принципи, зокрема централізована обробка даних та розмежування функцій між компонентами, є релевантними для RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем.

У дослідженні Raso, Bianco та Marrocco [2] розглянуто архітектури RFID- та NFC-сенсорних систем для медичних застосувань з акцентом на конфіденційність і безпеку інформації. Автори аналізують структурні рішення побудови систем, механізми захисту даних та особливості використання сенсорних технологій у клінічному середовищі. Водночас програмна реалізація розглядається переважно на рівні окремих компонентів, без опису цілісної серверної платформи та її взаємодії з клієнтськими застосунками.

Bianco та Raso [3] представляють архітектуру та практичні аспекти реалізації RFID- і NFC-рішень у точках медичного обслуговування. У роботі наведено приклади впровадження таких технологій у конкретних сценаріях використання, зокрема в умовах локальних медичних підрозділів. Проте запропоновані рішення розглядаються як ізольовані або локальні системи, без узагальнення програмної платформи клієнт-серверного типу, придатної до масштабування та повторного використання.

Оглядове дослідження RFID in health care: Where are we? [4] узагальнює сучасний стан впровадження RFID у медицині та підкреслює зростаючу роль програмних платформ для інтеграції RFID-подій у клінічні процеси. Автори відзначають необхідність переходу від окремих технічних рішень до комплексних інформаційних систем. Водночас питання архітектури та детальної реалізації серверної частини таких систем залишається недостатньо деталізованим.

Аналогічно, у роботі The Adoption and Implementation of RFID Technologies in Healthcare [5] проаналізовано основні тенденції впровадження RFID-рішень у медичних закладах, а також організаційні та технічні чинники, що впливають на їх ефективність. Автори наголошують на необхідності інтеграції RFID із наявними інформаційними системами, проте програмна реалізація таких інтеграцій здебільшого описується на концептуальному рівні без наведення конкретних архітектурних або програмних рішень.

Подальший розвиток RFID-технологій у медичних інформаційних системах пов'язаний із їх інтеграцією з концепцією Інтернету медичних речей та інтелектуальними системами обробки медичних даних. У роботі Srivastava та співавт. [6] розглянуто сучасні тенденції розвитку IoT-орієнтованих медичних систем, зокрема архітектурні підходи до організації збору та обробки даних у реальному часі, а також питання інтеграції сенсорних технологій у клінічні процеси. Автори підкреслюють важливість використання RFID та суміжних технологій для ідентифікації пацієнтів і управління медичними ресурсами, проте програмні аспекти реалізації серверної інфраструктури описуються переважно на концептуальному рівні.

У дослідженні Abdulmalek та співавт. [7] представлено огляд IoT-орієнтованих систем моніторингу стану здоров'я, спрямованих на підвищення якості медичного обслуговування. Автори аналізують структуру таких систем, механізми передачі даних та особливості взаємодії між їх компонентами. Водночас питання практичної реалізації програмної архітектури та організації обробки подій у клієнт-серверному середовищі розглядаються узагальнено.

Mutlag та співавт. [8] досліджують технологічні засади функціонування Інтернету медичних речей, визначаючи ключові архітектурні компоненти, серед яких важливу роль відіграють RFID-технології як засіб автоматизованої ідентифікації та збору даних. У роботі розглянуто питання масштабованості, надійності та безпеки медичних систем, однак практичні аспекти програмної реалізації відповідних платформ залишаються недостатньо деталізованими.

У роботі Hossain та Muhammad [9] запропоновано хмарно-орієнтований підхід до організації систем моніторингу стану здоров'я, що передбачає централізовану обробку даних і використання розподілених обчислювальних ресурсів. Запропонована архітектура забезпечує ефективну інтеграцію медичних даних у мережеве середовище, проте детальний опис серверної логіки та механізмів взаємодії компонентів системи подано обмежено.

У роботі Bouhassoune та співавт. [10] представлено огляд застосування RFID-технологій у поєднанні з концепцією Інтернету речей у сфері охорони здоров'я. Автори аналізують принципи функціонування RFID-сенсорів, особливості їх використання у медичних інформаційних системах та можливі сценарії впровадження у клінічному середовищі. У дослідженні розглянуто архітектурні підходи до побудови RFID-орієнтованих IoT-систем, їх переваги та обмеження, а також перспективи використання сенсорних технологій для моніторингу стану пацієнтів. Водночас програмна реалізація серверної частини та механізми інтеграції компонентів системи описуються переважно на концептуальному рівні.

Таким чином, аналіз наявних публікацій свідчить про відсутність узагальненого та детального опису практичної програмної реалізації RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем у вигляді цілісних клієнт-серверних платформ. Це зумовлює актуальність даного дослідження, спрямованого на заповнення виявленого розриву між теоретичними архітектурними моделями та їх практичним програмним втіленням у реальних умовах функціонування медичних закладів.

### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження**

Реалізація RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем у практичному середовищі вимагає комплексного підходу, який виходить за межі коректного вибору апаратних компонентів та засобів ідентифікації. Ключовим аспектом у цьому контексті є створення програмної платформи, здатної забезпечити централізовану обробку RFID-подій, узгоджене управління медичними даними та інтеграцію з різноманітними клієнтськими застосунками. Саме програмна складова визначає можливість використання RFID не як ізольованої технології, а як повноцінного елемента цифрової інфраструктури медичного закладу.

Проектування RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи у межах даного дослідження здійснювалось на основі формалізованої методики, що поєднує архітектурні вимоги, проектні допущення, типові сценарії використання та критерії оцінки прийнятих рішень. Такий підхід дозволяє розглядати запропоновану архітектуру не лише як концептуальну модель, а як відтворюване інженерне рішення.

Вихідні вимоги до архітектури системи включали централізовану обробку RFID-подій, забезпечення цілісності медичних даних, керованість доступу до інформації, а також можливість інтеграції з іншими медичними інформаційними системами. Архітектура мала забезпечувати розширюваність і адаптацію до змін функціональних вимог без порушення цілісності серверної частини.

Проектні допущення, прийняті у межах дослідження, передбачали реалізацію адміністративного сценарію використання системи з одним типом користувача, централізовану серверну логіку обробки даних та відсутність прямого доступу клієнтських застосунків до бази даних. Такі допущення дозволили зосередитись на архітектурних аспектах і перевірці життєздатності клієнт-серверного підходу без ускладнення моделі ролей.

Сценарії використання, розглянуті у дослідженні, охоплювали реєстрацію RFID-подій, їх зв'язування з медичними сутностями (пацієнти, персонал, обладнання), збереження подій у централізованому сховищі та адміністративне управління медичними даними через серверний інтерфейс.

Критерії оцінки архітектурних рішень включали керованість системи, модульність серверної частини, відтворюваність архітектури, а також готовність до подальшої інтеграції з зовнішніми інформаційними системами через програмний інтерфейс прикладного рівня. Зазначені критерії використовувались для обґрунтування вибору клієнт-серверної моделі та модульної організації серверної платформи.

На рис. 1 наведено узагальнену архітектуру серверної RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи. Архітектура побудована за клієнт-серверною моделлю та включає рівень зчитування RFID-даних, мережевий рівень передавання інформації та централізовану серверну платформу. Серверна частина інкапсулює бізнес-логіку обробки RFID-подій, механізми безпеки, валідації та доступу до даних, а також взаємодію з базою даних. Клієнтські компоненти та зовнішні джерела RFID-подій взаємодіють із сервером виключно через програмний інтерфейс прикладного рівня, що забезпечує контроль доступу та узгоджену обробку ідентифікаційної інформації.

У контексті аналізу наявних наукових досліджень встановлено, що значна частина робіт зосереджується на концептуальних або прототипних архітектурах RFID-орієнтованих систем. Такі дослідження, як правило, описують загальні принципи взаємодії компонентів, потоки даних або апаратні конфігурації, однак залишають поза увагою питання повноцінної програмної реалізації серверної частини. Зокрема, недостатньо висвітлюються аспекти організації бізнес-логіки, управління станом системи, зберігання та обробки подій у довготривалій перспективі, а також інтеграції серверної платформи з клієнтськими інтерфейсами різного типу.

Відсутність детального опису серверної архітектури та програмних механізмів взаємодії між компонентами створює розрив між теоретичними моделями та їх практичним впровадженням у медичних установах. У реальних умовах експлуатації медичних інформаційних систем важливими є питання масштабованості, керованості та надійності програмної платформи, які не можуть бути вирішені виключно на рівні концептуальних схем. Саме тому у межах даного дослідження запропоновано та реалізовано програмну архітектуру RFID-орієнтованої медичної системи, орієнтовану на практичну експлуатацію, довготривале використання, масштабованість та централізоване управління.

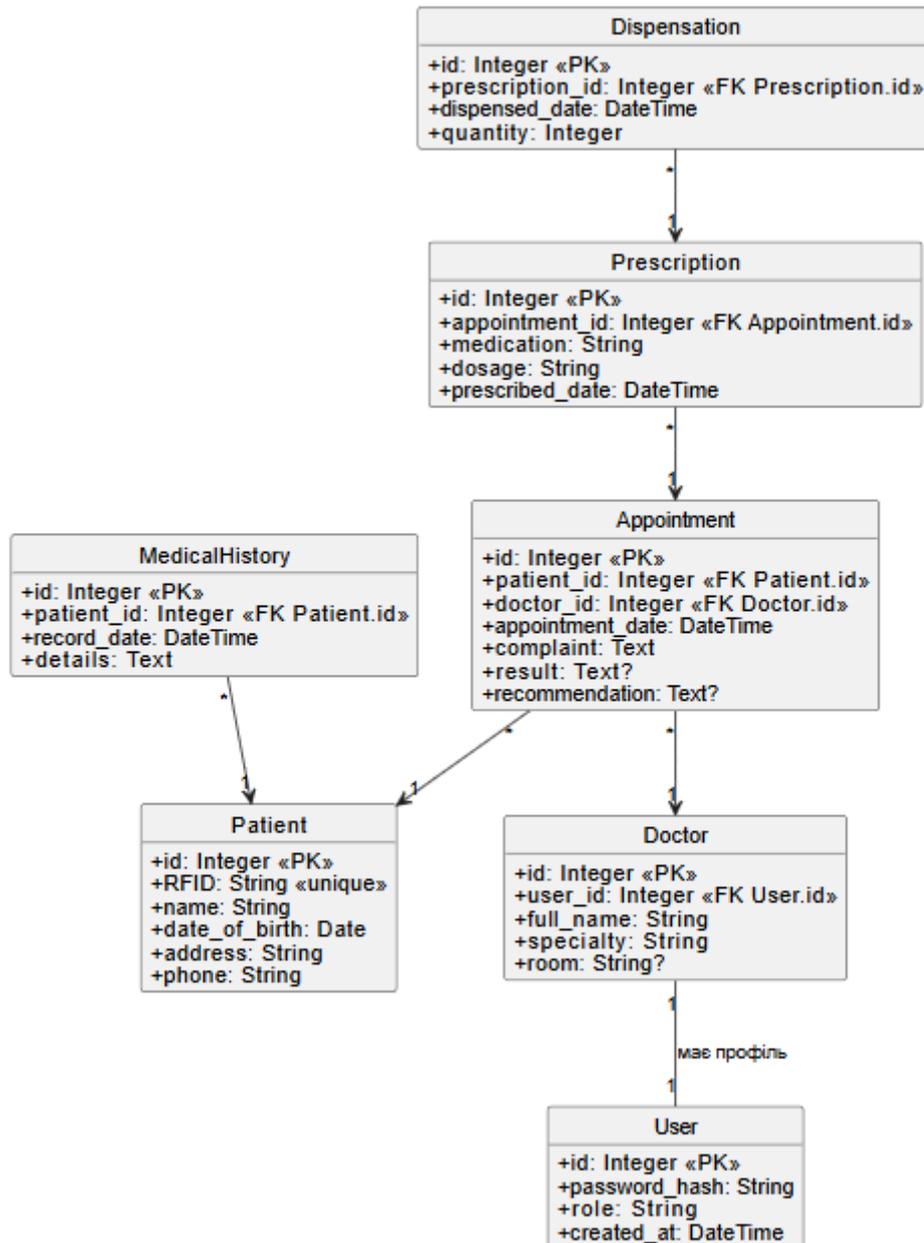


Рис. 1. Узагальнена архітектура серверної RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи

Запропонована система реалізована за клієнт-серверною моделлю, яка є однією з базових архітектурних парадигм побудови сучасних інформаційних систем у медичній галузі. У межах даного підходу серверна частина виступає єдиною централізованою точкою управління даними та реалізації бізнес-логіки, що дозволяє забезпечити узгоджену та контрольовану обробку інформації. Централізація серверної логіки створює умови для єдиного трактування RFID-подій, уніфікованого доступу до медичних даних та зниження ризику виникнення логічних неузгодженостей між різними компонентами системи.

Застосування клієнт-серверної моделі дозволяє чітко відокремити функції зберігання та обробки даних від функцій їх представлення та використання на стороні клієнта. Такий підхід сприяє підвищенню керованості системи, спрощує реалізацію механізмів контролю безпеки та дозволяє централізовано впроваджувати політики доступу до інформації. У контексті RFID-орієнтованих медичних систем це є особливо важливим, оскільки ідентифікаційні події повинні оброблятися у єдиному логічному просторі з урахуванням вимог до цілісності та достовірності даних.

Клієнтські компоненти системи, зокрема веб-інтерфейс та зовнішні прикладні застосунки, взаємодіють із серверною частиною виключно через програмний інтерфейс прикладного рівня. Така

організація взаємодії знижує рівень зв'язності між компонентами, обмежує прямий доступ клієнтів до внутрішніх механізмів обробки даних та підвищує гнучкість системи в цілому. У результаті клієнтські компоненти можуть розвиватися незалежно від серверної логіки за умови збереження стабільності програмного інтерфейсу.

Архітектура серверної частини побудована за модульним принципом із чітким розмежуванням функціональних зон та відповідальностей між окремими компонентами. Кожен логічний елемент серверної платформи інкапсульовано у вигляді окремого програмного пакета, що відповідає загальноприйнятим принципам розподілу відповідальностей і сприяє підвищенню зрозумілості структури системи. Такий підхід дозволяє локалізувати зміни в межах окремих модулів та зменшити вплив модифікацій на інші частини системи.

Використання модульної архітектури спрощує супровід програмної платформи та полегшує її розвиток у довготривалій перспективі. Масштабування системи може здійснюватися шляхом розширення або модифікації окремих модулів без порушення цілісності вже реалізованих компонентів. Це є критично важливим для медичних інформаційних систем, які, як правило, функціонують протягом тривалого часу та потребують поступової адаптації до змін у вимогах і умовах експлуатації.

Серверна частина реалізована у вигляді вебзастосунку з модульною структурою, у якій виділено окремі підсистеми для управління даними, обробки запитів, взаємодії з базою даних та формування веб-інтерфейсу. Логіка маршрутизації організована через механізм модульних маршрутів, що дозволяє ізолювати API-ендпоінти від веб-частини системи. Така організація забезпечує можливість паралельного розвитку веб-інтерфейсу та зовнішніх клієнтів без дублювання логіки.

Використання пакетної структури з ініціалізаційними файлами дозволяє централізовано керувати конфігурацією застосунку, підключенням компонентів та ініціалізацією залежностей. Це знижує ризик появи прихованих зв'язків між модулями та підвищує прозорість архітектури. У порівнянні з монолітними підходами, запропонована структура спрощує тестування окремих підсистем та локалізацію помилок.

Ключовим елементом розробленої системи є централізована база даних, у якій зберігаються всі сутності, пов'язані з функціонуванням медичної інформаційної системи. До них належать облікові записи користувачів, дані про пацієнтів, лікарів, історію медичних подій, призначення та результати взаємодії з RFID-ідентифікаторами. Така модель забезпечує цілісність інформації та дозволяє реалізувати повноцінне управління життєвим циклом медичних даних.

Централізоване зберігання RFID-подій у базі даних дозволяє не лише відстежувати поточний стан об'єктів, але й формувати історичні вибірки для подальшого аналізу. На відміну від підходів, у яких RFID використовується як допоміжний механізм ідентифікації без накопичення подій, запропонована система розглядає RFID як повноцінне джерело даних, інтегроване у медичний інформаційний контекст.

Для забезпечення універсального та уніфікованого доступу до функціональних можливостей системи у межах даного дослідження реалізовано програмний інтерфейс прикладного рівня. Такий інтерфейс використовується як веб-інтерфейсом системи, так і зовнішніми клієнтськими застосунками, що дозволяє забезпечити єдиний механізм взаємодії незалежно від типу клієнта. Уніфікація доступу до функціоналу через програмний інтерфейс сприяє зниженню зв'язності між компонентами системи та підвищує узгодженість обробки запитів.

Структура зберігання даних у запропонованій системі формалізована у вигляді моделі сутностей та зв'язків, що відображає основні інформаційні об'єкти медичної інформаційної системи. На рис. 2 наведено ER-діаграму ключових сутностей, зокрема користувачів системи, лікарів, пацієнтів, медичних призначень та історії лікування. RFID-ідентифікатори інтегруються у модель даних через зв'язок із сутністю пацієнта, що дозволяє пов'язувати ідентифікаційні події з медичними записами та клінічними процесами. Така організація даних забезпечує цілісність інформації та підтримує історичний характер обробки RFID-подій.

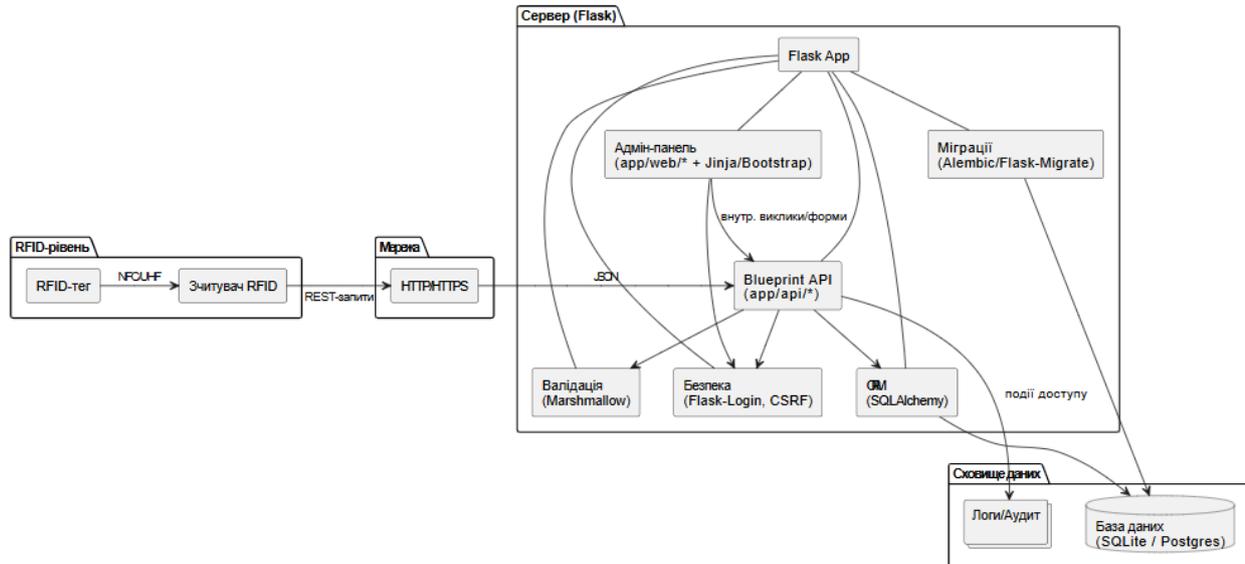


Рис. 2. ER-діаграма ключових сутностей

Запропонований підхід відповідає сучасним тенденціям побудови інформаційних систем, у яких API виступає основним механізмом інтеграції між окремими програмними компонентами та зовнішніми системами. У таких архітектурах програмний інтерфейс використовується не лише як засіб передачі даних, але і як формалізований контракт взаємодії, що визначає правила доступу до функціональних можливостей серверної частини. Це дозволяє стандартизувати процеси обміну даними та спростити інтеграцію системи з різними клієнтськими середовищами.

У межах даного дослідження програмний інтерфейс прикладного рівня розглядається не як допоміжний або другорядний компонент, а як архітектурне ядро системи. Саме через API реалізується доступ до ключової бізнес-логіки, що дозволяє відокремити внутрішні механізми обробки даних від способів їх використання на стороні клієнта. Такий підхід підвищує гнучкість архітектури та створює передумови для подальшого розвитку системи без необхідності суттєвих змін серверної логіки.

Реалізація програмного інтерфейсу прикладного рівня дозволяє чітко відокремити рівень представлення даних від рівня їх обробки. Це є особливо важливим у контексті інтеграції з мобільними застосунками або зовнішніми медичними інформаційними системами, які можуть використовувати різні технології та підходи до відображення інформації. За рахунок такого розділення забезпечується незалежність клієнтської логіки від внутрішньої реалізації серверної частини.

Крім того, використання API як основного механізму взаємодії створює передумови для масштабування системи та впровадження додаткових клієнтських сценаріїв без зміни базової серверної логіки. Додавання нових типів клієнтів або розширення функціональності може здійснюватися шляхом розвитку програмного інтерфейсу, що дозволяє зберегти стабільність архітектури та забезпечити її адаптацію до зростаючих вимог у межах довготривалої експлуатації.

Запропонована система орієнтована на адміністративний сценарій використання, у якому всі операції управління даними здійснюються централізовано. Обмеження доступу до функціоналу системи одним типом користувача дозволяє спростити модель контролю доступу та зосередитися на коректності обробки даних і стабільності архітектури. Такий підхід є виправданим на етапі дослідження та прототипування, оскільки дозволяє оцінити ефективність архітектурних рішень без ускладнення моделі ролей.

Адміністративний інтерфейс розробленої системи забезпечує повний та централізований контроль над основними сутностями, що використовуються у межах медичної інформаційної платформи. До таких сутностей належать облікові записи користувачів, дані про пацієнтів, інформація про медичний персонал, а також події, пов'язані з функціонуванням медичних процесів. Наявність єдиного адміністративного інтерфейсу дозволяє здійснювати управління зазначеними елементами в уніфікованому середовищі, що спрощує координацію операцій та знижує ризик виникнення неузгодженостей у даних.

Централізований характер адміністративного управління створює умови для впорядкованої взаємодії між окремими компонентами системи та забезпечує єдині правила обробки і актуалізації інформації. Адміністративний інтерфейс виступає інструментом контролю, за допомогою якого реалізується узгоджене управління сутностями системи протягом усього їх життєвого циклу. Такий підхід є особливо важливим для медичних інформаційних систем, у яких достовірність і актуальність даних мають критичне значення для підтримки клінічних та організаційних процесів.

Функціональні можливості адміністративного інтерфейсу підтверджують придатність запропонованої архітектури до використання у реальних сценаріях експлуатації. У практичних умовах функціонування медичних закладів необхідною є централізована координація процесів, контроль змін у даних та забезпечення їх узгодженості між різними підсистемами. Реалізований адміністративний інтерфейс дозволяє вирішувати зазначені завдання у межах єдиної архітектурної моделі, що свідчить про практичну цінність і життєздатність запропонованого підходу.

Результатом проведеного дослідження є програмна реалізація RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи з чітко визначеною архітектурою, модульною структурою та централізованим управлінням даними. Реалізована система являє собою повноцінну програмну платформу, у якій усі основні архітектурні рішення узгоджені між собою та спрямовані на забезпечення керованості, масштабованості й стабільності функціонування у практичних умовах. Запропонований підхід дозволяє розглядати систему не як сукупність окремих технічних компонентів, а як цілісний програмний продукт, орієнтований на довготривалу експлуатацію у медичному середовищі.

На відміну від підходів, описаних у проаналізованих наукових публікаціях, де RFID-орієнтовані рішення часто подаються у вигляді концептуальних схем, прототипів або локальних реалізацій, запропоноване рішення демонструє завершену програмну реалізацію. У цій реалізації архітектурні принципи не обмежуються теоретичними описами, а безпосередньо відображені у структурі працюючої системи, її програмних компонентах та механізмах взаємодії. Це забезпечує можливість оцінки ефективності архітектурних рішень у контексті реальної експлуатації та підтверджує їх практичну доцільність.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у формалізації та практичній реалізації архітектурного підходу до побудови RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем як програмних платформ клієнт-серверного типу, а не ізольованих технічних рішень. Запропонований підхід ґрунтується на поєднанні централізованої обробки RFID-подій, модульної серверної реалізації та універсального програмного інтерфейсу доступу до функціональних можливостей системи. Така комбінація дозволяє забезпечити узгоджену роботу всіх компонентів у межах єдиного інформаційного простору.

Запропонована архітектура підтверджує можливість інтеграції зазначених принципів у межах єдиної програмної системи, придатної до подальшого розвитку, масштабування та інтеграції з іншими інформаційними рішеннями. Отримані результати демонструють, що архітектурний підхід, реалізований у межах даного дослідження, може слугувати основою для створення RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем нового покоління, у яких програмна платформа виступає центральним елементом цифрової інфраструктури медичного закладу.

#### **Висновки та перспективи подальшого дослідження**

У межах даного дослідження розроблено, формалізовано та обґрунтовано архітектуру RFID-орієнтованої медичної інформаційної системи, яка спрямована на практичну програмну реалізацію у форматі клієнт-серверної платформи. Запропонована архітектура розглядає RFID-технології не як ізольований або допоміжний інструмент автоматичної ідентифікації, а як повноцінний функціональний компонент інформаційної інфраструктури медичного закладу. У такому підході RFID-ідентифікація інтегрується у централізовану систему управління даними та використовується як джерело структурованої інформації для підтримки медичних і адміністративних процесів.

Розроблена система забезпечує узгоджену обробку RFID-подій у межах єдиного серверного середовища, що дозволяє розглядати ідентифікаційні дані як частину загального інформаційного простору медичного закладу. Такий підхід сприяє підвищенню цілісності даних, спрощує контроль за їх обробкою та створює передумови для подальшого розширення функціональних можливостей системи. Орієнтація на клієнт-серверну модель дозволяє централізувати бізнес-логіку, уніфікувати доступ до даних та забезпечити керованість системи в умовах реальної експлуатації.

Основним результатом виконаної роботи є формування модульної серверної архітектури, у якій чітко визначено функціональні межі та розмежування відповідальностей між окремими програмними компонентами. Модульна організація серверної частини поєднується з централізованим зберіганням даних і використанням уніфікованого програмного інтерфейсу доступу до функціональних можливостей системи. Це дозволяє забезпечити узгоджену взаємодію між різними компонентами програмної платформи та спростити процес її супроводу і розвитку.

На відміну від підходів, представлених у проаналізованих наукових публікаціях, де програмна реалізація RFID-орієнтованих систем часто описується фрагментарно або на концептуальному рівні, запропоноване рішення демонструє цілісну програмну реалізацію у вигляді працюючої системи. Архітектурні принципи, задекларовані на рівні моделі, безпосередньо відображені у структурі серверного застосунку, організації бази даних та механізмах взаємодії з клієнтськими компонентами. Це підтверджує практичну придатність запропонованої архітектури та можливість її використання у реальних умовах функціонування медичних закладів.

Наукова новизна дослідження полягає у практичній реалізації та формалізації архітектурного підходу до побудови RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем як програмних платформ клієнт-серверного типу. Запропонований підхід поєднує модульну структуру серверної частини, централізоване управління медичними та ідентифікаційними даними, а також API-орієнтовану модель взаємодії з клієнтськими застосунками. Отримані результати підтверджують доцільність використання такого підходу для створення керованих, масштабованих і розширюваних інформаційних систем, здатних адаптуватися до змін у функціональних вимогах та умовах експлуатації.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої архітектури як базової основи для створення, адаптації та впровадження RFID-орієнтованих медичних інформаційних систем у реальних умовах діяльності медичних установ. Запропоновані архітектурні рішення можуть бути використані як типовий шаблон для розробки серверних платформ, орієнтованих на інтеграцію з веб- та мобільними клієнтами, а також на взаємодію з іншими медичними інформаційними системами у межах єдиного цифрового середовища.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з поетапним розширенням функціональних можливостей системи та ускладненням її архітектурної організації. Зокрема, доцільним є впровадження багаторівневої моделі користувачів, розмежування прав доступу відповідно до типових клінічних сценаріїв використання та інтеграція механізмів аудиту дій і контролю операцій. Окремим напрямом подальших досліджень є забезпечення сумісності з міжнародними стандартами обміну медичними даними, зокрема HL7 та HL7 FHIR, що дозволить інтегрувати RFID-події у ширший цифровий контур медичного закладу.

Подальший розвиток системи також може включати масштабування серверної частини, оптимізацію процесів обробки RFID-подій в умовах підвищеного навантаження та розширення клієнтської складової шляхом реалізації повноцінних мобільних застосунків. Це створює передумови для використання запропонованої архітектури у складніших клінічних сценаріях і додатково підтверджує актуальність обраного напрямку дослідження у контексті сучасних процесів цифрової трансформації охорони здоров'я.

#### Список бібліографічного опису

1. Марчанг Дж., Аль-Дубаї А., Аль-Рахамі М. та ін. Безпечна за проєктуванням архітектура Інтернету медичних речей у реальному часі для моніторингу здоров'я населення (RTPM) // *Informatics*. – 2024. – Т. 5, № 3. – С. 31. – DOI: 10.3390/informatics5030031.
2. Расо Е., Б'янко Дж. М., Марокко Дж. Архітектури NFC та RFID-сенсорів з урахуванням конфіденційності для медичних застосунків // *Sensors*. – 2022. – Т. 22, № 24. – Стаття 9692. – DOI: 10.3390/s22249692.
3. Б'янко Дж., Расо Е. UHF RFID та NFC у точках медичного обслуговування: архітектура, безпека та реалізація [Електронний ресурс] // *arXiv*. – 2023. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2304.08015>
4. Радіочастотна ідентифікація (RFID) в охороні здоров'я: поточний стан (оглядове дослідження) // *Health and Technology*. – 2023.
5. Впровадження та реалізація RFID-технологій в охороні здоров'я: огляд літератури // *Journal of Medical Systems*. – 2023.
6. Шривастава Дж., Роутрей С., Ахмад С., Варіс М. та ін. Інтернет медичних речей (IoMT) як основа інтелектуальних систем охорони здоров'я: тенденції та перспективи розвитку // *Sensors*. – 2022. – Т. 22, № 8. – Стаття 2959. – DOI: 10.3390/s22082959.
7. Абдулмалек С., Насір А., Джаббар В. А., Альмухайя М. А., Байрагі А. К., Хан М. А., Кі С.-Х. IoT-орієнтовані системи моніторингу здоров'я для підвищення якості життя: огляд // *Healthcare*. – 2022. – Т. 10, № 11. – Стаття 2264. – DOI: 10.3390/healthcare10112264.

8. Мутлаг А. А., Абд Гані М. К., Арункумар Н. та ін. Технології забезпечення Інтернету медичних речей (ІоМТ): застосування, виклики та перспективи розвитку // *Future Generation Computer Systems*. – 2021. – Т. 97. – С. 561–578.
9. Хоссейн М. С., Мухаммад Г. Хмарно-орієнтована архітектура Industrial Internet of Things для моніторингу стану здоров'я // *Future Generation Computer Systems*. – 2021.
10. Бухассун І., Шаїбі Х., Чехрі А., Саадане Р. RFID-орієнтований Інтернет речей у сфері охорони здоров'я: нові напрями застосування RFID // *Procedia Computer Science*. – 2022. – Т. 203. – С. 543–550. – DOI: 10.1016/j.procs.2022.09.478.

#### References

1. Marchang J., Al-Dubai A., Al-Rakhami M., et al. Secure-by-design real-time Internet of Medical Things architecture for e-health population monitoring (RTPM). *Informatics*, 2024, vol. 5, no. 3, p. 31. DOI: 10.3390/informatics5030031.
2. Raso E., Bianco G. M., Marrocco G. Privacy-aware architectures for NFC and RFID sensors in healthcare applications. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 24, art. 9692. DOI: 10.3390/s22249692.
3. Bianco G., Raso E. UHF RFID and NFC point-of-care: Architecture, security, and implementation. *arXiv*, 2023. Available at: <https://arxiv.org/abs/2304.08015>
4. Radio Frequency Identification (RFID) in health care: Where are we? A scoping review. *Health and Technology*, 2023.
5. The Adoption and Implementation of RFID Technologies in Healthcare: A Literature Review. *Journal of Medical Systems*, 2023.
6. Srivastava J., Routray S., Ahmad S., Waris M., et al. Internet of Medical Things (IoMT)-Based Smart Healthcare System: Trends and Progress. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 8, art. 2959. DOI: 10.3390/s22082959.
7. Abdulmalek S., Nasir A., Jabbar W. A., Almuhaia M. A., Bairagi A. K., Khan M. A., Kee S.-H. IoT-Based Healthcare Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review. *Healthcare*, 2022, vol. 10, no. 11, art. 2264. DOI: 10.3390/healthcare10112264.
8. Mutlag A. A., Abd Ghani M. K., Arunkumar N., et al. Enabling Technologies for Internet of Medical Things (IoMT): Applications, Challenges, and Future Trends. *Future Generation Computer Systems*, 2021, vol. 97, pp. 561–578.
9. Hossain M. S., Muhammad G. Cloud-Assisted Industrial Internet of Things (IIoT)-Enabled Framework for Health Monitoring. *Future Generation Computer Systems*, 2021.
10. Bouhassoune I., Chaibi H., Chehri A., Saadane R. A Review of RFID-Based Internet of Things in the Healthcare Area, the New Horizon of RFID. *Procedia Computer Science*, 2022, vol. 203, pp. 543–550. DOI: 10.1016/j.procs.2022.09.478.

Історія статті:

Отримано: 11.02.2026 Доопрацьовано: 10.03.2026 Прийнято до друку: 23.03.2026 Опубліковано: 29.03.2026