

ФОРМАЛІЗОВАНІ ПІДХОДИ ДО ІНТЕГРАЦІЇ RFID-ТЕХНОЛОГІЙ У ЦИФРОВУ ІНФРАСТРУКТУРУ МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДІВ

У роботі представлено формалізований підхід до впровадження RFID-систем у сфері охорони здоров'я, заснований на математичному моделюванні критичних параметрів і вимог до точності, часу відгуку та захищеності даних. Підкреслюється важливість стандартизації технічних характеристик RFID-засобів відповідно до нормативів ISO/IEC, HL7 та IEC 60601. Наведено формули для оцінки ефективності зчитування та часу реакції системи, а також логічну схему покриття ключових зон медичного процесу. Обґрунтовано необхідність інтеграції RFID з існуючими інформаційними платформами на основі HL7 FHIR. Зазначено, що запропоновані підходи дозволяють попередньо оцінити RFID-інфраструктуру перед реальним впровадженням і можуть слугувати основою для подальшої автоматизації клінічних аудитів.

Ключові слова: RFID, охорона здоров'я, ідентифікація пацієнтів, формалізація, стандарти ISO, HL7, FHIR, час зчитування, точність, безпека даних.

Технології радіочастотної ідентифікації (RFID) мають потенціал значно підвищити ефективність і безпеку клінічних процесів, однак на практиці їх впровадження часто супроводжується технічними невідповідностями та недостатнім урахуванням вимог середовища. Актуальним завданням є розробка формалізованої системи технічних вимог, яка дозволить не лише обрати відповідний тип RFID-рішення, а й оцінити його відповідність до впровадження на етапі моделювання.

У роботі запропоновано набір метрик та аналітичних критеріїв, які можуть бути використані для кількісного аналізу RFID-систем у медичних умовах. Однією з базових величин є інтегральна ймовірність точного зчитування тегів у конкретному середовищі:

$$P_{read} = \frac{N_{valid}}{N_{total}}, P_{read} \geq 0.99, \quad (1)$$

де N_{valid} — кількість правильно зчитаних міток, N_{total} — загальна кількість спроб зчитування. Окрім цього, вводиться коефіцієнт латентності відповіді:

$$T_{resp} = t_{recv} - t_{scan}, T_{resp} \leq 500 \text{ мс} \quad (2)$$

Запропонована модель враховує вплив частотного діапазону, типу мітки, середовища (наявність рідин, металів), а також просторової конфігурації зчитувачів. Граничні умови встановлюються відповідно до стандартів ISO/IEC 18000-6C, ISO 14443 та IEC 60601 для медичних електронних систем [1].

Зокрема, для UHF-міток (860–960 МГц) було враховано, що ефективна дальність зчитування знижується до 60–70% у присутності вологи або металевих конструкцій. Це накладає обмеження на їх застосування поблизу пацієнтів і вимагає точного розміщення антен. У свою чергу, HF-мітки (13,56 МГц), хоч і мають меншу дальність, демонструють стабільнішу роботу в таких умовах і можуть бути рекомендовані для ідентифікації пацієнтів у ліжковому фонді.

На Рисунок 1 наведено модель типової RFID-інтеграції в лікарні, яка охоплює вузли ідентифікації пацієнта, контроль медикаментів, прив'язку до процедур та ведення історії хвороби. Кожен блок має бути пов'язаний із цільовими процедурами – сканування браслета, відстеження ліків, реєстрація дій персоналу – і відповідати інтерфейсам HL7/FHIR [2, 3].

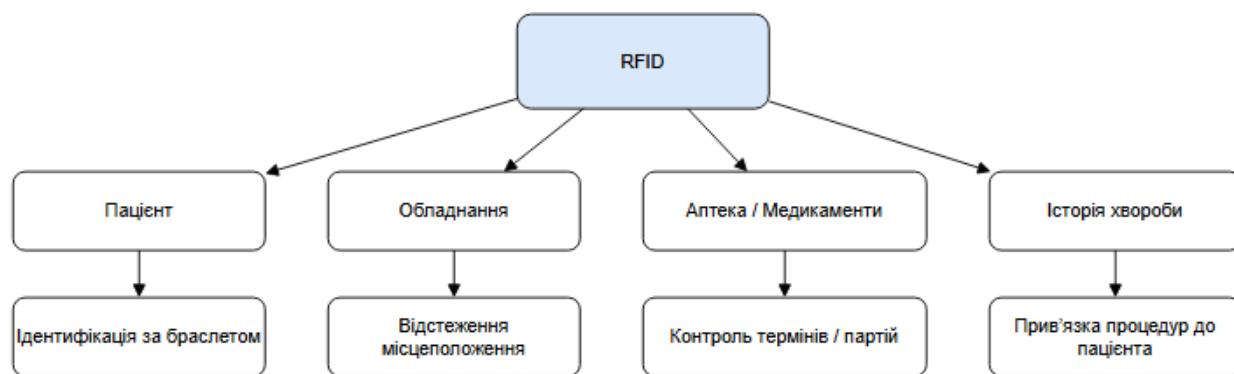


Рис. 1. Діаграма інтеграції RFID
Джерело: сформовано автором

Пропонується структурувати архітектуру таким чином, щоб критичні події (видача препарату, початок процедури, зміна розташування пацієнта) супроводжувалися RFID-подією, що потрапляє у центральну інформаційну систему.

Розроблена модель формалізації також враховує можливість автоматизованого аудиту RFID-інфраструктури. Пропонується ввести набір KPI, зокрема:

– коефіцієнт критичного часу ідентифікації:

$$K_{crit} = \frac{N_{<300}}{N_{total}}, \quad (3)$$

де $N_{<300}$ — кількість зчитувань з відгуком до 300 мс;

– коефіцієнт інтероперабельності: частка подій, які успішно інтегрувались у HL7-повідомлення, розраховується через аудит логів системи.

Ці метрики можуть бути використані для прийняття рішень на рівні IT-відділів лікарень, а також у майбутніх державних закупівлях як критерії ефективності.

Задля перевірки відповідності RFID-системи до реальних умов, було змодельовано тестовий сценарій «Реєстрація введення препарату». У тесті з використанням HF-міток середній час зчитування склав $T_{resp}=240\pm35$ мс при 98,7% успішності. При цьому встановлено, що рівень хибних спрацювань (зчитування стороннього тега) не перевищував 0,3% за умови екранування антени зони сканування.

Таблиця 1.

Результати тестування RFID-сценаріїв у клінічних умовах

№	Тип мітки	Умови середовища	N_{valid}	N_{total}	P_{read}	Середній T_{resp} , мс	K_{crit}
1	HF (13,56 МГц)	Палата без перешкод	295 / 300	300	0.983	240	0.963
2	HF (13,56 МГц)	Металеве ліжко поруч	287 / 300	300	0.957	285	0.893
3	UHF (868 МГц)	Відкрите приміщення	299 / 300	300	0.997	170	0.993
4	UHF (868 МГц)	Металева шафа на фоні	274 / 300	300	0.913	230	0.870
5	HF + екран	Зона сканування локалізована	299 / 300	300	0.997	215	0.897

Джерело: сформовано автором

У таблиці 1 наведено результати тестування RFID-зчитування для кількох типових сценаріїв. Як видно з розрахунків, HF-мітки забезпечують стабільні результати в умовах, близьких до пацієнта, однак їх чутливість до металевих предметів дещо знижує точність. У той же час UHF-мітки демонструють вищу швидкість та точність у відкритих зонах, але мають гірші результати в умовах відбиття сигналу. Найкращі результати показав сценарій з HF-міткою та екрануванням зони зчитування, де точність зчитування досягла 99,7%, а час реакції системи залишився в межах 215 мс, що відповідає критичним межам (2).

Додатково для кожного сценарію було обчислено коефіцієнт критичного часу ідентифікації K_{crit} (3), який показує частку зчитувань, виконаних із часом відповіді до 300 мс. Як видно з таблиці 1, сценарії з HF + екраном та UHF у відкритому приміщенні демонструють найвищу ефективність, з коефіцієнтом понад 0.98. У складніших умовах (наприклад, UHF при металевому фоні) цей показник знижується до 0.87, що є граничним рівнем, нижче якого система може бути визнана критично чутливою до затримок.

Окрім технічних вимірів, у роботі проведено порівняльний аналіз нормативної бази, прийнятої у США (FDA UDI Rule, HIPAA), ЄС (EU MDR + GDPR), та України (ISO/IEC адаптації через накази МОЗ та ДСТУ). Особливу увагу приділено стандарту ISO/IEC 29167, який встановлює механізми шифрування на рівні радіоінтерфейсу. Його реалізація дозволяє уникати несанкціонованого зчитування навіть у публічному середовищі. В європейському контексті з 2021 року вимагається використання унікального Device Identifier (UDI), який часто реалізується у вигляді RFID-мітки з підтримкою GTIN. Це забезпечує простежуваність обігу медичних виробів і гарантує сумісність між різними медичними установами.

Наукова новизна роботи полягає в математичному уточненні критичних параметрів RFID-систем, застосовуваних у лікарнях, та введенні формалізованого ядра вимог у вигляді граничних формул. Результати можуть бути використані як основа для проєктування інтелектуальних RFID-систем контролю, а також для створення інструментів автоматизованого аудиту відповідності RFID-інфраструктури вимогам регуляторних стандартів.

У роботі представлено модель формалізації RFID-систем медичного призначення з урахуванням технічних, середовищних і нормативних параметрів. Запропоновано аналітичні формули, сценарії тестування та логічну структуру застосування RFID у закладах охорони здоров'я. Результати можуть бути адаптовані до будь-якого типу медичного закладу, який прагне інтегрувати цифрові рішення без шкоди для клінічної безпеки. Практична значущість полягає в можливості об'єктивної попередньої оцінки RFID-інфраструктури, що дає змогу скоротити ризики впровадження та зменшити залежність від конкретного виробника рішень.

References

1. Wamba, S.F., Anand, A., & Carter, L. (2013). A literature review of RFID-enabled healthcare applications and issues. *International Journal of Information Management*, 33(5), (pp. 875–891) [in English].
2. Gazzarata, R., Almeida, J., Lindsköld, L., Cangiolli, G., Gaeta, E., Fico, G., & Chronaki, C.E. (2024). HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR) in digital healthcare ecosystems for chronic disease management: Scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 189, (Article 105507) [in English].
3. Dridi, A., Sassi, S., Chbeir, R., & Faiz, S. (2020). A flexible semantic integration framework for fully-integrated EHR based on FHIR standard. *Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2020)*, (pp. 684–691) [in English].

DOI 10.34132/mspc2025.01.14.18

Mykyia Smolenskyi,
Ievgen Sidenko,

FORMALIZED APPROACHES TO INTEGRATING RFID TECHNOLOGIES INTO THE DIGITAL INFRASTRUCTURE OF HEALTHCARE INSTITUTIONS

This paper introduces a formalized approach to implementing RFID systems in healthcare, based on mathematical modeling of critical performance parameters such as reading accuracy, response time, and data protection. The importance of standardizing RFID technical specifications in accordance with ISO/IEC, HL7, and IEC 60601 is emphasized. The paper includes formulas for calculating system efficiency and latency, along with a logical diagram covering core areas of clinical workflow. The integration of RFID systems with existing medical information platforms using HL7 FHIR is justified. The proposed methodology enables pre-deployment evaluation of RFID infrastructure and may serve as a foundation for future clinical audit automation.

Key words: RFID, healthcare, patient identification, formalization, ISO standards, HL7, FHIR, reading time, accuracy, data security.

Відомості про автора / Information about the Author

Микита Смоленський, аспірант кафедри інтелектуальних інформаційних систем, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: nikitasmolenskyi@gmail.com, orcid: <https://orcid.org/0009-0008-3071-4350>.

Mykyia Smolenskyi, PhD student of the Intelligent Information Systems Department of the Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: nikitasmolenskyi@gmail.com, orcid: <https://orcid.org/0009-0008-3071-4350>.

Євген Сіденко, канд. техн. наук, доцент кафедри інтелектуальних інформаційних систем, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: ievgen.sidenko@chmmu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6496-2469>.

Ievgen Sidenko, PhD, Associate Professor of the Intelligent Information Systems Department of the Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: ievgen.sidenko@chmmu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6496-2469>.

© М. Смоленський, Є. Сіденко
19.05.2025.

Стаття отримана редакцією