

УДК 004.891.3; 004.031.43 : 614.2

DOI: <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2024-01-07-10>

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТЕЛЕМЕДИЦИНІ

Петренко А. І., д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. <https://orcid.org/0000-0001-6712-7792>, tolja.petrenko@gmail.com

Кандель К. В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. <https://orcid.org/0000-0001-7152-5945>, kirill.kandel@gmail.com

Анотація. Хмарні технології стають усе більш важливими для трансформації системи охорони здоров'я, особливо у зв'язку з розвитком телемедицини. У статті досліджується роль хмарних обчислень у покращенні доступності, якості та ефективності медичних послуг. Розглянуто різні архітектурні підходи до створення телемедичних систем на основі хмарних технологій, включаючи використання сервіс-орієнтованої архітектури (SOA), яка забезпечує модульність, повторне використання компонентів та низьку зв'язність.

Особливу увагу приділено взаємодії хмарних технологій з іншими сучасними підходами, такими як штучний інтелект (AI) та Інтернет речей (IoT). Інтеграція з AI допомагає поліпшити діагностику, персоналізувати лікування та оптимізувати клінічні процеси. Використання IoT забезпечує постійний моніторинг стану здоров'я пацієнтів і перехід до проактивної моделі надання медичної допомоги. Хмарні провайдери надають необхідну інфраструктуру разом з інструментами для розроблення, навчання та розгортання моделей штучного інтелекту. Також вони пропонують інструменти для збору, зберігання та обробки великих обсягів даних від медичних IoT-пристроїв.

Розглянуто реальні приклади успішних світових платформ та систем охорони здоров'я, які демонструють практичне застосування хмарних технологій для вирішення конкретних проблем у медицині. Ці проєкти поліпшують результати лікування, оптимізують витрати та розширюють доступ до якісних послуг. Також представлено огляд репозиторіїв та ініціатив із відкритим кодом, які надають багаторазові та сумісні сервіси для розроблення медичних додатків.

Зроблено висновок, що хмарні технології є ключовим чинником цифрової трансформації системи охорони здоров'я, а їх інтеграція з телемедициною та іншими інноваційними підходами має потенціал революціонізувати спосіб надання медичних послуг. Реальні приклади проєктів та оглянуті репозиторії демонструють, як інноваційні рішення на базі хмарних платформ можуть поліпшувати результати лікування, оптимізувати витрати та розширювати доступ до якісної медичної допомоги.

Ключові слова: хмарні технології, телемедицина, охорона здоров'я, віддалений моніторинг пацієнтів, сервіс-орієнтована архітектура (SOA), штучний інтелект (AI), Інтернет речей (IoT).

MODERN APPROACHES OF USING CLOUD TECHNOLOGIES IN TELEMEDICINE

Anatolii Petrenko, Sc.D., Prof., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0001-6712-7792>, tolja.petrenko@gmail.com

Kyrylo Kandel, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0001-7152-5945>, kirill.kandel@gmail.com

Abstract. Cloud technologies are becoming increasingly important for the transformation of the healthcare system, especially in connection with the development of telemedicine. This article explores the role of cloud computing in improving the accessibility, quality, and efficiency of medical services. It also examines various architectural approaches to building cloud-based telemedicine systems, including the use of service-oriented architecture (SOA), which provides modularity, component reuse, and loose coupling.

Particular attention is paid to the interaction of cloud technologies with other modern approaches, such as artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT). Integration with AI helps improve diagnostics, personalize treatment, and optimize clinical processes. The use of IoT ensures continuous monitoring of patients' health and a transition to a proactive model of medical care delivery. Cloud providers offer the necessary infrastructure along with tools for developing, training, and deploying artificial intelligence models. Clouds also provide tools for collecting, storing, and processing large volumes of data from medical IoT devices.

Real-world examples of successful global healthcare platforms and systems that demonstrate the practical application of cloud technologies to solve specific problems in medicine are considered. These projects improve treatment outcomes, optimize costs, and expand access to quality services. An overview of open-source repositories and initiatives that provide reusable and interoperable services for developing medical applications is also presented.

The conclusion is made that cloud technologies are a key factor in the digital transformation of the healthcare system, and their integration with telemedicine and other innovative approaches has the potential to revolutionize the way medical services are delivered. However, for the full realization of this potential, further research, development of standards and policies, as well as close collaboration between stakeholders are necessary.

Key words: cloud technologies, telemedicine, healthcare, remote patient monitoring, service-oriented architecture (SOA), artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT).

Вступ

Розвиток цифрових технологій відкриває нові можливості для трансформації системи охорони здоров'я. Одним із ключових напрямів є розгортання хмаро-орієнтованої інфраструктури для потреб телемедицини, популярність якої серед медичних установ у світі стрімко зростає завдяки перевагам хмарних платформ: масштабованості, гнучкості та економічній ефективності. В Україні нагальна потреба у таких рішеннях особливо загострилася на тлі двох глобальних криз – пандемії COVID-19 та повномасштабної війни. Хмарні сервіси можуть допомогти швидко розгорнути системи для надання віддаленої медичної допомоги та консультацій постраждалим, що критично важливо в умовах бойових дій та руйнування інфраструктури.

Однак широке застосування хмарних технологій у телемедицині стримується низкою проблем – від питань кібербезпеки до складнощів інтеграції з існуючими медичними ІТ-системами. Попри це, за прогнозами аналітиків, ринок хмарних рішень для медицини продовжить стрімке зростання, сягнувши \$285,7 млрд до 2028 р. [1].

В Україні впровадження хмарних технологій у медицині також є стратегічним пріоритетом. МОЗ ініціює проекти з розвитку телемедицини на базі хмарних платформ та планує до 2030 р. повноцінно впровадити інтелектуальні системи підтримки клінічних рішень та обробки великих даних на всіх рівнях [2].

Метою статті є комплексний аналіз сучасного стану, можливостей та викликів використання хмарних технологій для потреб телемедицини. У статті розглянуто основні переваги та проблеми, потенціал синергії хмарних обчислень із такими технологіями, як Інтернет речей (IoT), сервіс-орієнтована архітектура (SOA) та штучний інтелект (AI). Також наведено та проаналізовано реальні приклади застосування хмарних рішень у телемедицині в Україні та світі.

Виконання досліджень

Синергія хмарних технологій з іншими підходами

У сучасному технологічному ландшафті хмарні обчислення відіграють ключову роль у трансформації різних галузей, у тому числі охорони здоров'я. Поєднання хмарних платформ із такими концепціями, як сервіс-орієнтована архітектура (SOA), штучний інтелект (AI) та Інтернет речей (IoT), відкриває нові можливості для поліпшення якості, доступності та ефективності медичних послуг. Цей розділ присвячено розгляду синергії між хмарними технологіями та кожним із цих підходів.

Хмарні технології та SOA

Сервіс-орієнтована архітектура (SOA) – це архітектурний стиль, який дає змогу розбивати складні системи на більш прості, незалежні сервіси, що взаємодіють через стандартизовані інтерфейси. SOA базується на принципах модульності, багаторазового використання сервісів та слабкої зв'язності компонентів.

У контексті охорони здоров'я застосування SOA дає змогу розділити комплексні медичні системи на окремі функціональні одиниці, такі як сервіси управління електронними медичними записами (EMR), сервіси обробки діагностичних зображень, сервіси аналізу даних тощо. Кожен сервіс виконує специфічну функцію і може бути розроблений, розгорнутий та масштабований незалежно.

Поєднання SOA із хмарними платформами в медицині має низку переваг [3; 4]:

- **Гнучкість та адаптивність:** хмарні сервіси можуть виступати будівельними блоками для SOA, забезпечуючи масштабованість, надійність та доступність окремих компонентів системи охорони здоров'я. Це дає змогу швидко адаптуватися до мінливих потреб галузі, розгортаючи нові сервіси та функціональність за запитом.

- **Поліпшення інтеграції та обміну даними:** хмарні шлюзи та API, побудовані на принципах SOA, забезпечують стандартизовані інтерфейси для безпечного обміну медичними даними між різними системами, пристроями та організаціями. Це сприяє створенню інтегрованої екосистеми охорони здоров'я, де дані можуть безперешкодно передаватися між постачальниками медичних послуг, лабораторіями, страховими компаніями тощо.

– *Прискорення інновацій та зниження витрат*: мікросервісна архітектура на базі хмарних платформ спрощує розроблення, тестування та розгортання нових медичних застосунків. Розробники можуть створювати та оновлювати окремі сервіси незалежно, що прискорює впровадження інновацій. Окрім того, використання хмарної інфраструктури дає змогу медичним організаціям зменшити витрати на обслуговування власних ІТ-систем.

– *Підвищення відмовостійкості та безпеки*: хмарні провайдери, що підтримують SOA, зазвичай пропонують вбудовані механізми забезпечення відмовостійкості, такі як дублювання сервісів, балансування навантаження та автоматичне відновлення після збоїв. Окрім того, хмарні платформи надають розширені інструменти безпеки, шифрування даних та контролю доступу, що критично важливо для захисту конфіденційної медичної інформації.

Прикладами успішного застосування SOA та хмарних технологій у медицині можуть бути [5]:

– Телемедичні платформи, які інтегрують сервіси відеоконференцзв'язку, обміну медичними даними та віддаленого моніторингу пацієнтів.

– Регіональні системи обміну медичною інформацією (HIE), що дають змогу безпечно обмінюватися даними про пацієнтів між різними медичними закладами.

– Платформи віддаленого моніторингу хронічних захворювань, які дають змогу пацієнтам передавати дані про стан здоров'я (наприклад, рівень глюкози в крові, артеріальний тиск, вагу) із домашніх пристроїв до хмарного сховища, де лікарі можуть відстежувати прогрес і коригувати лікування.

Поєднання SOA із хмарними технологіями в медицині дає змогу створювати гнучкі, масштабовані та безпечні системи, що сприяють інтеграції медичних даних, поліпшенню якості обслуговування пацієнтів та прискоренню впровадження інноваційних рішень. Такий підхід забезпечує міцний фундамент для цифрової трансформації охорони здоров'я та адаптації до майбутніх викликів.

Хмарні технології та AI

Штучний інтелект (AI) – це галузь комп'ютерних наук, яка зосереджена на створенні інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту. AI включає такі напрями, як машинне навчання, глибоке навчання, обробка природної мови, комп'ютерний зір та експертні системи.

Застосування AI в охороні здоров'я має значний потенціал для поліпшення діагностики, персоналізації лікування, оптимізації клінічних процесів та підтримки наукових досліджень. Однак розроблення та розгортання моделей AI часто потребують значних обчислювальних ресурсів та великих обсягів даних для навчання.

Поєднання AI із хмарними технологіями дає змогу подолати ці виклики та відкриває нові можливості для трансформації медицини [6; 7]:

– *Масштабована інфраструктура для обробки даних*: хмарні платформи надають практично необмежені обчислювальні потужності та сховища даних, що дає змогу обробляти та аналізувати величезні обсяги структурованих та неструктурованих медичних даних. Це особливо важливо для навчання моделей AI, які потребують значних ресурсів.

– *Доступ до агрегованих даних*: хмарні системи дають змогу збирати та інтегрувати анонімізовані медичні дані з різних джерел, таких як електронні медичні картки, діагностичні зображення, генетичні дані тощо. Доступ до таких багатих та різноманітних наборів даних поліпшує точність та узагальненість моделей AI.

– *Розгортання AI як хмарних сервісів*: натреновані моделі AI можуть бути розгорнуті як хмарні сервіси, доступні для використання медичним працівникам та пацієнтам через вебінтерфейси або API. Це дає змогу легко інтегрувати можливості AI в існуючі медичні системи та робочі процеси.

– *Співпраця та обмін знаннями*: хмарні платформи полегшують співпрацю між дослідниками, медичними закладами та технологічними компаніями у розробленні та вдосконаленні моделей AI. Це сприяє обміну знаннями, валідації результатів та прискоренню інновацій у сфері медичного AI.

Приклади застосування AI та хмарних технологій у медицині включають [8]:

– Системи для автоматизованого аналізу медичних зображень (рентгенівських знімків, КТ, МРТ) із метою виявлення патологій та підтримки діагностики.

– Платформи для персоналізації лікування на основі аналізу геномних, клінічних та життєвих даних пацієнтів.

– Чат-боти та віртуальні асистенти на базі AI для надання медичних консультацій, підтримки прийняття рішень та моніторингу стану здоров'я пацієнтів.

– Системи раннього попередження та прогнозування ризиків на основі аналізу даних з електронних медичних карток та носимих пристроїв.

Отже, синергія між AI та хмарними технологіями в медицині дає змогу розблокувати потенціал даних для поліпшення діагностики, лікування та профілактики захворювань. Хмарні платформи надають необхідну інфраструктуру та інструменти для розроблення, навчання та розгортання моделей AI, що сприяє трансформації охорони здоров'я у більш персоналізовану, превентивну та засновану на доказах галузь.

Хмарні технології та IoT

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це концепція, що передбачає підключення різноманітних фізичних пристроїв, датчиків та об'єктів до Інтернету для збору, обміну та аналізу даних. У контексті охорони здоров'я IoT охоплює широкий спектр пристроїв, таких як носимі датчики, розумні медичні прилади, системи віддаленого моніторингу пацієнтів та підключені домашні пристрої.

Застосування IoT у медицині дає змогу збирати значно більше даних про стан здоров'я пацієнтів у режимі реального часу, що відкриває нові можливості для персоналізованої медицини, профілактики захворювань та віддаленого догляду. Однак ефективне використання цих даних вимагає надійної та масштабованої інфраструктури для їх збору, зберігання та обробки.

Поєднання IoT із хмарними технологіями створює потужний фундамент для трансформації охорони здоров'я [7; 9]:

- *Безпечний збір та зберігання даних*: хмарні платформи, такі як AWS IoT, Azure IoT Hub та Google Cloud IoT, надають безпечні та масштабовані рішення для збору, зберігання та управління великими обсягами даних із різноманітних медичних IoT-пристроїв. Ці платформи забезпечують шифрування даних, автентифікацію пристроїв та контроль доступу.

- *Обробка та аналіз даних у реальному часі*: хмарні сервіси дають змогу обробляти та аналізувати потоки даних IoT у режимі реального часу за допомогою інструментів потокової аналітики та машинного навчання. Це дає можливість виявляти тривожні сигнали, прогнозувати потенційні проблеми зі здоров'ям та вчасно інформувати медичних працівників.

- *Віддалений моніторинг та догляд*: поєднання IoT-пристроїв із хмарними платформами дає змогу створювати системи віддаленого моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Дані з носимих датчиків, розумних медичних приладів та домашніх пристроїв можуть передаватися у хмару для аналізу та візуалізації, що дає змогу медичним працівникам віддалено спостерігати за пацієнтами та надавати своєчасну допомогу.

- *Персоналізовані рекомендації та інтервенції*: інтеграція даних IoT з електронними медичними записами та іншими джерелами медичної інформації дає змогу створювати більш повну картину здоров'я пацієнта. Застосування алгоритмів машинного навчання до цих даних може генерувати персоналізовані рекомендації щодо способу життя, дієти, фізичних вправ та лікування, а також автоматизовані інтервенції, такі як нагадування про прийом ліків.

Приклади використання IoT та хмарних технологій у медицині включають [10]:

- Системи віддаленого моніторингу пацієнтів із хронічними захворюваннями, такими як діабет, серцево-судинні хвороби та хронічні обструктивні захворювання легень (ХОЗЛ).

- Розумні медичні пристрої, такі як інгалятори з підключенням до хмари, які відстежують використання та надають зворотний зв'язок пацієнтам і лікарям.

- Носимі датчики для моніторингу життєво важливих показників, рівня активності та сну з передачею даних у хмарні платформи для аналізу та генерації інсайтів.

- Системи домашнього моніторингу для людей похилого віку та пацієнтів, які проходять реабілітацію, із використанням датчиків руху, розумних медичних приладів та відеоспостереження.

Поєднання IoT із хмарними технологіями в медицині створює нові можливості для збору та використання даних про здоров'я пацієнтів в режимі реального часу. Це дає змогу перейти від реактивної до проактивної та персоналізованої моделі охорони здоров'я, де проблеми можуть бути виявлені та попереджені на ранніх стадіях, а лікування та догляд адаптовані до індивідуальних потреб кожного пацієнта.

Загалом розглянуті підрозділи демонструють, що синергія хмарних технологій із такими підходами, як SOA, AI та IoT, має значний потенціал для трансформації системи охорони здоров'я. Ця синергія дає змогу створювати більш гнучкі, масштабовані та персоналізовані рішення, які поліпшують якість медичних послуг, оптимізують витрати та підвищують доступність медичної допомоги для пацієнтів.

Реальні приклади трансформації охорони здоров'я за допомогою хмарних технологій

У цьому підрозділі розглядаються кілька новаторських проєктів та ініціатив із різних куточків світу, які демонструють, як хмарні технології у поєднанні з іншими підходами вже змінюють спосіб надання медичних послуг та поліпшують результати для пацієнтів. Вони забезпечують більш комплексне та інтелектуальне надання медичних послуг, покращуючи результати лікування пацієнтів і кращу координацію між різними зацікавленими сторонами в екосистемі охорони здоров'я.

Ось кілька прикладів подібних до запропонованих проєктом платформ і систем охорони здоров'я, які були впроваджені або знаходяться на стадії розроблення в різних країнах світу (табл. 1).

Таблиця 1
Розумні світові платформи та системи охорони здоров'я

№	Країна, назва платформи	Функціональність
1	США: Cerner Health	<i>Cerner</i> пропонує низку рішень для охорони здоров'я, включаючи платформу <i>HealthLife</i> , яка об'єднує переносні пристрої, дистанційне спостереження за пацієнтами та послуги телемедицини для лікування хронічних захворювань.
2	Великобританія: NHS Digital's Remote Monitoring Platform	<i>Національна служба охорони здоров'я (NHS)</i> у Великобританії розробляє платформу віддаленого моніторингу, яка дасть змогу постачальникам медичних послуг контролювати життєво важливі показники та дані про стан здоров'я пацієнтів за допомогою переносних пристроїв і домашніх датчиків.
3	Великобританія: Babylon Health	<i>Babylon Health</i> пропонує віртуальну медичну послугу, включаючи дистанційні консультації, засоби перевірки симптомів за допомогою ШІ та платформу для інтеграції переносних пристроїв і даних про здоров'я.
4	Канада: TELUS Health Cloud	<i>TELUS Health Cloud</i> – це платформа, яка поєднує електронні медичні записи, віртуальну допомогу та рішення для дистанційного моніторингу пацієнтів, що дає змогу постачальникам медичних послуг отримувати доступ до даних пацієнтів і надавати допомогу віддалено.
5	Канада: Cloud DX	<i>Cloud DX</i> – компанія, яка надає платформу віддаленого моніторингу пацієнтів, об'єднуючи переносні пристрої та домашні датчики для лікування хронічних захворювань і надання віртуальної допомоги..
6	Австралія: Telstra Health	<i>Telstra Health</i> надає цілу низку цифрових рішень для охорони здоров'я, включаючи дистанційний моніторинг пацієнтів, телемедицину та платформи віртуального догляду, використовуючи носимі пристрої та підключені технології охорони здоров'я.
7	Сінгапур: Integrated Health Information Systems (IHIS)	<i>IHiS</i> – це державна агенція, яка розробила різні цифрові платформи охорони здоров'я, включаючи Національну систему електронних медичних записів (NEHR) і платформу телемедичної допомоги для дистанційних консультацій і моніторингу.
8	Китай: Ping An Good Doctor	<i>Ping An Good Doctor</i> – це провідна онлайн-платформа охорони здоров'я, яка пропонує віртуальні консультації, послуги віддаленого моніторингу та інтеграцію з переносними пристроями та даними про здоров'я.
9	Китай: Alibaba Cloud's Healthcare Solutions	<i>Alibaba Cloud</i> надає хмарні рішення для охорони здоров'я, включаючи платформу для віддаленого моніторингу пацієнтів, аналітику даних і підтримку клінічних рішень на основі штучного інтелекту.
10	Німеччина: Siemens Healthineers Digital Ecosystem	<i>Siemens Healthineers</i> пропонує цифрову екосистему, яка включає дистанційне спостереження за пацієнтами, рішення телемедицини та можливості аналізу даних для різних медичних закладів.

Ці приклади демонструють глобальне впровадження та розвиток інтегрованих платформ охорони здоров'я, які використовують переносні пристрої, віддалений моніторинг, аналітику даних і хмарні технології, щоб забезпечити більш персоналізоване, доступне та ефективне надання медичних послуг. Видно, що в наведених прикладах країни ЄС не займають лідируючих позицій.

Варто сказати, що серед перерахованих вище платформ немає жодної, побудованої за сервісним принципом, тому варто впровадити сервісне ядро медичної платформи з широким набором функцій і додатків. Пацієнт, зареєстрований на такій платформі, може розраховувати на точний діагноз, а в екстремальній ситуації – на миттєве надання лікарям своєї історії хвороби. Дистанційна діагностика та моніторинг стану пацієнта мають вирішальне значення для охорони здоров'я сільського населення, де лікарів і лікарень мало.

Існує також кілька сховищ та ініціатив із відкритим вихідним кодом, які надають багаторазові та сумісні сервіси або модулі для охорони здоров'я та медичних програм, дотримуючись принципів FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) (табл. 2).

Ці репозиторії та ініціативи пропонують низку повторно використовуваних і сумісних сервісів, модулів і ресурсів, які можна використовувати для розроблення інтелектуальних медичних завдань і платформ із мінімальними витратами. Знову ж таки, більшість із них розроблено поза Європою.

Висновки

У роботі розглянуто роль хмарних технологій у трансформації системи охорони здоров'я та їхній вплив на розвиток телемедицини. Аналіз переваг, архітектурних підходів та синергії з іншими технологіями дав змогу зробити кілька ключових висновків.

По-перше, хмарні технології мають значний потенціал для трансформації медичних послуг, забезпечуючи масштабованість, гнучкість та економічну ефективність. Вони відіграють ключову роль у розвитку телемедицини, даючи змогу долати географічні бар'єри та розширювати доступ до медичної допомоги.

Таблиця 2
FAIR-репозиторій інваріантних сервісів

№	Назва репозиторія	Функціональність
1	FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources)	FHIR – це міжнародний стандарт для електронного обміну медичними даними, розроблений HL7 (Health Level Seven International). Репозиторій FHIR (https://www.hl7.org/fhir/) надає набір ресурсів і API, які можна використовувати як будівельні блоки для розроблення сумісних програм охорони здоров'я, включаючи модулі для керування даними, зв'язку та інтеграції із зовнішніми системами.
2	OpenEHR	OpenEHR (https://www.openehr.org/) – це система з відкритим вихідним кодом, яка забезпечує нейтральну та сумісну структуру для електронних медичних записів (EHR). Вона пропонує сховище клінічних моделей, архетипів і термінологічних ресурсів, які можна використовувати як будівельні блоки для розроблення програм охорони здоров'я, включаючи модулі для моделювання даних, запитів та обміну.
3	Open Health Services and Integration Resources (OHSIR)	OHSIR (https://ohsir.org/) – це спільний проект, метою якого є створення репозиторію багаторазових сервісів і компонентів із відкритим кодом для програм охорони здоров'я. Він надає низку послуг і модулів, пов'язаних з інтеграцією даних, керуванням термінологією, підтримкою клінічних рішень і взаємодією.
4	OHDSI (Observational Health Data Sciences and Informatics)	OHDSI (https://www.ohdsi.org/) – міжнародна спільна організація, яка зосереджена на розробленні рішень із відкритим кодом для доглядових досліджень і охорони здоров'я на основі цінностей. Вона пропонує низку інструментів і ресурсів, у тому числі OMOP Common Data Model (CDM) і стандартизовані словники, які можна використовувати як будівельні блоки для інтеграції даних, аналітики та дослідницьких програм у сфері охорони здоров'я.
5	OpenMRS	OpenMRS (https://openmrs.org/) – це платформа електронної системи медичних записів із відкритим кодом. Незважаючи на те що воно не є явно сховищем, вона надає модульну структуру для спільноти розробників, які вносять багаторазові модулі для різних функціональних можливостей охорони здоров'я, таких як керування пацієнтами, збір даних, звітування та інтеграція із зовнішніми системами.
6	SMART (Substitutable Medical Applications and Reusable Technologies)	SMART (https://smarthealthit.org/) – це відкрита стандартизована платформа для розроблення та інтеграції програм охорони здоров'я. Вона надає набір API, бібліотек і інструментів, які можна використовувати для створення сумісних і взаємозамінних сервісів охорони здоров'я, забезпечуючи повну інтеграцію з електронними системами медичних записів (EHR) та іншими джерелами медичних даних.

По-друге, поєднання хмарних технологій із сервіс-орієнтованою архітектурою (SOA), штучним інтелектом (AI) та Інтернетом речей (IoT) відкриває нові можливості для трансформації охорони здоров'я. Це дає змогу створювати гнучкі та масштабовані системи телемедицини, покращувати діагностику, персоналізувати лікування, оптимізувати клінічні процеси та забезпечувати безперервний моніторинг стану здоров'я пацієнтів, сприяючи переходу до проактивної моделі медичної допомоги.

Нарешті, реальні приклади успішних проектів демонструють практичне застосування хмарних технологій для вирішення конкретних проблем охорони здоров'я, а оглянуті репозиторії та ініціативи з відкритим кодом надають багаторазові та сумісні сервіси для швидкого та зручного розроблення медичних додатків. Ці проекти показують, як інноваційні рішення на базі хмарних платформ можуть поліпшувати результати лікування, оптимізувати витрати та розширювати доступ до якісної медичної допомоги.

Література

1. Telehealth & telemedicine market by component (software & services (RPM, real-time), hardware (monitors)), delivery (On-premise, cloud-based), application (teleradiology, telestroke), end user (provider, payer) & region – global forecast to 2028. *MarketsAndMarkets*. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/telehealth-market-201868927.html> (дата звернення: 21.03.2024).
2. МОЗ України. Стратегія розвитку системи охорони здоров'я до 2030 року. URL: <https://moz.gov.ua/uploads/ckeditor/Стратегія/UKR%20Health%20Strategy%20Feb%2024.2022.pdf> (дата звернення: 21.03.2024).
3. Božić V. Service oriented architecture & smart hospital. 2023. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33654.37447> (дата звернення: 04.04.2024).
4. A microservice-based system for industrial internet of things in fog-cloud assisted network / F.H. Khoso et al. *Engineering, technology & applied science research*. 2021. Т. 11. № 2. Р. 7029–7032. DOI: <https://doi.org/10.48084/etasr.4077> (дата звернення: 04.04.2024).

5. The role of service oriented architecture in telemedicine healthcare system / A. Shaikh et al. 2009 international conference on complex, intelligent and software intensive systems (CISIS), Fukuoka, Japan, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1109/cisis.2009.181> (дата звернення: 04.04.2024).
6. Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine / J. Bajwa et al. *Future healthcare journal*. 2021. T. 8. № 2. P. e188-e194. DOI: <https://doi.org/10.7861/fhj.2021-0095> (дата звернення: 04.04.2024).
7. Rosol K. Cloud computing, artificial intelligence and machine learning in healthcare. the future of patient care. *Inetum*. URL: <https://www.nearshore-it.eu/articles/technologies/machine-learning-in-healthcare/>.
8. The future of healthcare: how cloud technology and AI are transforming medicine. DOIT Security. URL: <https://doitsecurity.com/the-future-of-healthcare-how-cloud-technology-and-ai-are-transforming-medicine/> (дата звернення: 04.04.2024).
9. Rayan R.A., Tsagkaris C. IoT technologies for smart healthcare. *Assistive technology intervention in healthcare*. Boca Raton, 2021. P. 29–46. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003207856-3> (дата звернення: 04.04.2024).
10. Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare / B. Farahani et al. *Future generation computer systems*. 2018. T. 78. P. 659–676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.04.036> (дата звернення: 04.04.2024).

References

1. *Telehealth & telemedicine market by component (software & services (RPM, real-time), hardware (monitors)), delivery (On-premise, cloud-based), application (teleradiology, telestroke, teleicu), end user (provider, payer) & region – global forecast to 2028*. (2023, december). MarketsAndMarkets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/telehealth-market-201868927.html>
2. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy [Ministry of Health of Ukraine]. (2022, february). *Strategiia rozvytku systemy okhorony zdorov'ia do 2030 roku* [Strategy for the Development of the Healthcare System until 2030]. <https://moz.gov.ua/uploads/ckeditor/Стратегія/UKR%20Health%20Strategy%20Feb%2024.2022.pdf>
3. Božić, V. (2023). Service oriented architecture & smart hospital. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33654.37447>
4. Khoso, F.H., Lakhan, A., Arain, A.A., Soomro, M.A., Nizamani, S.Z., & Kanwar, K. (2021). A microservice-based system for industrial internet of things in fog-cloud assisted network. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(2), 7029–7032. <https://doi.org/10.48084/etasr.4077>
5. Shaikh, A., Memon, M., Memon, N., & Misbahuddin, M. (2009). The role of service oriented architecture in telemedicine healthcare system. *Y 2009 international conference on complex, intelligent and software intensive systems (CISIS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/cisis.2009.181>
6. Bajwa, J., Munir, U., Nori, A., & Williams, B. (2021). Artificial intelligence in healthcare: Transforming the practice of medicine. *Future Healthcare Journal*, 8(2), Paper e188–e194. <https://doi.org/10.7861/fhj.2021-0095>
7. Rosol, K. (2023, 23 of November). *Cloud computing, artificial intelligence and machine learning in healthcare. the future of patient care*. Inetum. <https://www.nearshore-it.eu/articles/technologies/machine-learning-in-healthcare/>
8. The future of healthcare: How cloud technology and AI are transforming medicine. (б.д.). DOIT Security. <https://doitsecurity.com/the-future-of-healthcare-how-cloud-technology-and-ai-are-transforming-medicine/>
9. Rayan, R.A., & Tsagkaris, C. (2021). IoT technologies for smart healthcare. *Y Assistive technology intervention in healthcare* (p. 29–46). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003207856-3>
10. Farahani, B., Firouzi, F., Chang, V., Badaroglu, M., Constant, N., & Mankodiya, K. (2018). Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare. *Future Generation Computer Systems*, 78, 659–676. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.04.036>