

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-19>

УДК 004.9

ГОВОРУЩЕНКО Тетяна

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>

e-mail: govorushchenko@gmail.com

АЛЕКСЕЙКО Віталій

Хмельницький національний університет

vitaliy.alekseyko@ukr.net

РЕЙ Костянтин

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9658-3148>

kostia.rei@gmail.com

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РЕСПІРАТОРНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТУ МЕДИЧНИХ РЕЧЕЙ

Задача створення системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене проектуванню системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей, яке передбачає розробку мобільного застосунку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними IoT пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням IoT призначена для контролю за показниками життєво важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень. Система реалізується у вигляді мобільного застосунку, який взаємодіє з різними IoT пристроями для збору даних про температуру тіла, сатурацію, частоту дихальних рухів, частоту серцевих скорочень, систолічний та діастолічний кров'яний тиск. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта. Такий застосунок може бути корисним при лікуванні пацієнтів з респіраторними захворюваннями як в медичних закладах, так і вдома. Перегляд показників може здійснюватись лікарем у процесі реального часу. Також здійснюється формування звітів по кожному хворому та запис усіх показників. Користувач після авторизації має доступ до своїх показників в базі даних та може здійснювати їх перегляд, а також переглядати показники в режимі реального часу. За необхідності система формує звіт, який може бути завантажений користувачем на смартфон.

Ключові слова: моніторинг респіраторних захворювань, Інтернет медичних речей, датчики, хмарний сервер, мобільний застосунок.

HOVORUSHCHENKO Tetiana, ALEKSEIKO Vitaliy, REI Kostiantyn

Khmelnytskyi National University

REAL-TIME SYSTEM FOR MONITORING RESPIRATORY DISEASES IN USING THE INTERNET OF MEDICAL THINGS

The task of creating a real-time system for monitoring respiratory diseases is relevant. Therefore, our research is devoted to the design of a real-time system for monitoring respiratory diseases using the Internet of Medical Things, which involves the development of a mobile application or web service that will interact with various IoT devices such as fitness bracelets, smart watches, heart rate sensors, etc.

The real-time system for monitoring respiratory diseases using IoT is designed to monitor vital signs (body temperature, saturation, respiratory rate, pulse, blood pressure, etc.).

The real-time system for monitoring respiratory diseases using the Internet of Medical Things allows you to track changes in indicators to monitor the dynamics of the disease and timely identify possible risks and prevent complications. The system is implemented as a mobile application that interacts with various IoT devices to collect data on body temperature, saturation, respiratory rate, heart rate, systolic and diastolic blood pressure. The data is transferred to the server, where it is analyzed and used to assess the patient's health status. Such an application can be useful in the treatment of patients with respiratory diseases both in medical institutions and at home. The doctor can view the indicators in real time. Reports are also generated for each patient and all indicators are recorded. After authorization, the user has access to his or her indicators in the database and can view them, as well as view indicators in real time. If necessary, the system generates a report that can be downloaded to a smartphone.

The real-time system for monitoring respiratory diseases using the Internet of Medical Things includes the following components: sensors; data collection and transmission system; cloud server; mobile application; data analytics and comparison service; notification system.

Keywords: respiratory disease monitoring, Internet of Medical Things, sensors, cloud server, mobile application.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Значні досягнення в області бездротових технологій, мініатюризації та обчислювальної потужності пристроїв стимулюють інновації в медичній техніці, що призводить до розробки великої кількості медичних пристроїв, здатних генерувати, збирати, аналізувати і передавати дані. Такі дані, разом з відповідними пристроями, створюють сферу Інтернету медичних речей (IoMT) – під'єднану інфраструктуру медичних пристроїв, програмних додатків, систем та послуг охорони здоров'я. IoMT стрімко трансформує роль медичних технологій у сфері охорони здоров'я. Зокрема, взаємодія між давачами та пристроями обробки інформації, дозволяє медичним закладам оптимізувати свої клінічні операції та керування робочими процесами, а також покращувати догляд за пацієнтами на відстані [1].

Згідно з Концепцією розвитку електронної охорони здоров'я, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України [2]: «Охорона здоров'я є складною системою з багатьма чинниками та детермінантами, які охоплюють усе суспільство, а її трансформація стосується кожного». Сьогодні Україна перебуває на другому етапі розвитку електронної охорони здоров'я, який згідно з відповідною Концепцією охоплює період 2023 – 2025 років. Цією Концепцією передбачено зокрема: «посилений розвиток систем підтримки клінічних рішень, персоналізованої медицини, телемедицини, систем для обробки великих даних, штучного інтелекту – інженерної обробки, використання та здобуття нових знань».

Технології Інтернету медичних речей (IoMT) розвиваються надзвичайно швидко. Відповідно до звіту Grand View Research, Inc. (дослідницька і консалтингова компанія з Індії та США), глобальний обсяг ринку Інтернету речей в сфері охорони здоров'я до 2025 року досягне 534,3 мільярда доларів США, збільшившись в середньому на 19,9%. Забезпечуючи технологічні перетворення у галузі медицини, сектор IoMT дозволяє впроваджувати сучасні технологічні рішення в операційну діяльність охорони здоров'я і сприяє цифровим трансформаціям у цій галузі [3].

Технології IoMT дають можливість відслідковувати стан пацієнта в цілодобовому режимі за допомогою трекерів, котрі у разі будь-яких відхилень від норми подають відповідний сигнал. Це дозволяє невідкладно надати допомогу людині або відкоригувати процес лікування.

Розглянемо відомі платформи на основі технології Інтернету медичних речей. Система моніторингу Clean Hands – Safe Hands (CHSH) – це спеціальна технологія, що дозволяє контролювати, як персонал медичного закладу дезінфікує руки до та після контакту з пацієнтами [4]. Спеціальні IoT-пристрої закріплені на бейджах медичних працівників і диспенсерах із дезінфікуючим засобом. Давачі ідентифікують співробітників і контролюють їх переміщення. Щойно лікар або медсестра перетинає чергову палату, міні-пристрій дає сигнал і починає відлік часу, протягом якого необхідно виконати саніацію. Давачі фіксують кожну дезінфекцію рук і прив'язують цю інформацію до конкретного співробітника. Завдяки CHSH кількість внутрішньолікарняних інфекцій у медичних закладах США знизилась на 66%.

Інтернет речей Azure – це надійна технологічна платформа, яка допомагає підвищити результативність лікування, спростити клінічні операції, а також оптимізувати виготовлення та контроль за постачанням медичних засобів від виробника до кінцевого споживача [5]. В основі платформи лежить ефективна та інтелектуальна технологія Інтернету речей із високим рівнем безпеки. Платформа містить такі сервіси:

- Безперервний моніторинг стану пацієнтів. Розширює можливості догляду за хворими, що знаходяться за межами лікувального закладу. Дозволяє скоригувати кількість та частоту повторних прийомів та контролювати перебіг захворювань шляхом віддаленого моніторингу.
- Домашній догляд. Допомагає забезпечити догляд за літніми людьми, відстежувати відновлення та реабілітацію, а також надавати підтримку пацієнтам з обмеженими можливостями та хронічними захворюваннями.
- Інтелектуальне лікарняне обладнання. Дозволяє отримувати корисні відомості на основі даних лікарняного обладнання, задля підвищення результативності лікування.
- «Розумна» лікарня. Забезпечує зручність роботи в медичній установі для співробітників та максимальний комфорт і безпеку для пацієнтів.
- Керування запасами товарів медичного призначення. Забезпечує контроль усіх необхідних медичних засобів.
- Відстеження дотримання температурного режиму під час доставок окремих фармацевтичних препаратів. Дозволяє створити прозорий, безпечний та регульований ланцюжок постачання фармацевтичної продукції.

Продукція компанії Primex містить різноманітні системи моніторингу OneVue Sense [6]: мережні датчики температури, а також датчики для відстеження витоків води, вологості, перепаду тиску і замикання контактів. Ці автоматизовані інструменти допомагають медичним закладам оптимізувати моніторинг довкілля для керування активами. Програмне забезпечення OneVue Monitor, розміщене в хмарі, що надає доступ до необхідної інформації з будь-якого місця. Система об'єднує дані моніторингу навколишнього середовища з

мережевих давачів по всьому об'єкті, забезпечуючи швидкий доступ до інформації про приміщення об'єкта і дозволяючи створювати звіти для підвищення обізнаності та дотримання нормативних вимог.

Пристрої Apple Watch із функцією кардіограми широко використовуються для постійного моніторингу стану серця не лише хворими, а й здоровими людьми задля попередження розвитку захворювань [1].

Розробка вчених з Університету Тохоку (Японія) дозволяє розпізнавати найбільш небезпечні віруси на планеті [7]. Пристрій діє за таким принципом: на електроді знаходяться антитіла, які взаємодіють зі специфічним вірусом. Потрапляння патогену певного вірусу зумовлює збільшення маси матеріалу, що призводить до зменшення частоти електричного струму, який через нього проходить, після чого пристрій ідентифікує вірус та подає відповідний сигнал.

Застосування технологій IoT в галузі охорони здоров'я передбачає не лише лікування при діагностуванні захворювань, а дозволяє побудувати превентивну систему охорони здоров'я, яка зосереджена на профілактиці, задля того, щоб люди не страждали від важких наслідків хвороб.

Інтелектуальні системи моніторингу допомагають швидко виявити симптоми і вчасно їх лікувати. Це чудово підходить як для лікарів, так і для пацієнтів, оскільки значно знижується рівень стресу. Більш того, пацієнти можуть отримувати індивідуальне лікування за допомогою пристроїв з підтримкою технології Інтернет-речей, оскільки лікарі можуть отримати чітке уявлення про спосіб життя та історію хвороби пацієнта.

Застосування IoT дозволяє перейти на новий рівень діагностики захворювань, точності лікування та відстежування стану здоров'я пацієнтів за допомогою мікро- та нанодавачів, а також інших «розумних пристроїв». Як наслідок, підвищиться ефективність роботи медичних закладів. Зокрема, дистанційний моніторинг дозволяє знизити ризики позапланових госпіталізацій та зменшити навантаження на стаціонари, а взаємодія між лікарями та пацієнтами на відстані спрощується.

Отже, впровадження технології Інтернету Медичних Речей (IoMT) при лікуванні різноманітних хвороб свідчить про стрімкий розвиток сфери охорони здоров'я. Завдяки сучасним цифровим технологічним розробкам можна суттєво покращити якість життя хворих та надавати ефективну медичну допомогу.

В контексті пандемії COVID-19 та епідемії інших респіраторних захворювань, особливого значення та поширення набули системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу, які можуть бути ефективними для запобігання поширенню захворювань (в основному, у вигляді мобільних додатків). Однак рівень впровадження таких систем був і залишається відносно низьким, на що, очевидно, значною мірою впливають питання, пов'язані з конфіденційністю та анонімністю, а також сприйняття потенційними користувачами співвідношення ціни та вигоди [8].

Отже, задача створення системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене проектуванню системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей, яке передбачає розробку мобільного застосунку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними IoMT пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо. Цей застосунок може збирати дані про температуру тіла, пульс, кров'яний тиск, сатурацію, а також інші параметри здоров'я. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням IoMT призначена для контролю за показниками життєво важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).

Тоді стан здоров'я пацієнта (S) з респіраторним захворюванням може бути представлений у вигляді залежності від функцій: t – температура тіла, SpO_2 – сатурація, RR (Respiratory Rate) – частота дихальних рухів, HR (heart rate) – частота серцевих скорочень, SBP – систолічний кров'яний тиск, DBP – діастолічний кров'яний тиск.

Тоді модель стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням матиме наступний формалізований вигляд:

$$S = f(t, SpO_2, RR, HR, SBP, DBP). \quad (1)$$

Основною метою моделі є оцінка стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями на основі вхідних даних, отриманих від пристроїв IoMT.

Збір даних проводитиметься шляхом передачі показників, знятих за допомогою пристроїв IoMT. Оскільки під час роботи системи може спостерігатися некоректна робота якогось з приладів (несправність, відсутність контакту тощо) слід провести попередню обробку даних, за умови, що ці дані не свідчать про

проблеми зі здоров'ям пацієнта (видалення аномальних значень, масштабування показників тощо). Також слід включити функцію негайного сповіщення при виявленні нетипових показників.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень. Система реалізується у вигляді мобільного застосунку, який взаємодіє з різними ІоМТ пристроями для збору даних про температуру тіла, сатурацію, частоту дихальних рухів, частоту серцевих скорочень, систолічний та діастолічний кров'яний тиск. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта. Такий застосунок може бути корисним при лікуванні пацієнтів з респіраторними захворюваннями як в медичних закладах, так і вдома. Перегляд показників може здійснюватись лікарем у процесі реального часу. Також здійснюється формування звітів по кожному хворому та запис усіх показників. Користувач після авторизації має доступ до своїх показників в базі даних та може здійснювати їх перегляд, а також переглядати показники в режимі реального часу. За необхідності система формує звіт, який може бути завантажений користувачем на смартфон.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу може перебувати у шести станах. Для того, щоб розпочати моніторинг, необхідно здійснити правильне підключення усіх давачів, після чого, безпосередньо, розпочинається процес моніторингу. Після збору необхідних даних та передачі їх на сервер, здійснюється аналіз отриманої інформації. На основі отриманих показників формується звіт про стан здоров'я пацієнта. У разі прийняття лікарем рішення про припинення моніторингу, система завершує свою роботу. Давачі від'єднують, проводять дезінфекцію, оглядають та перевіряють функціональний стан на готовність до подальших досліджень. За необхідності, користувач заносить показники до бази даних для подальших досліджень або аналітики.

Діаграма варіантів використання системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей представлена на рис.1, діаграма послідовності – на рис. 2., діаграма станів – на рис. 3. На рис. 4 представлено контекстну діаграму системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей.

Система моніторингу стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням з використанням технології Інтернету медичних речей включає наступні компоненти (рис. 5): сенсори; система збору та передачі даних; хмарний сервер; мобільний застосунок; сервіс аналітики та порівняння даних; система сповіщень.

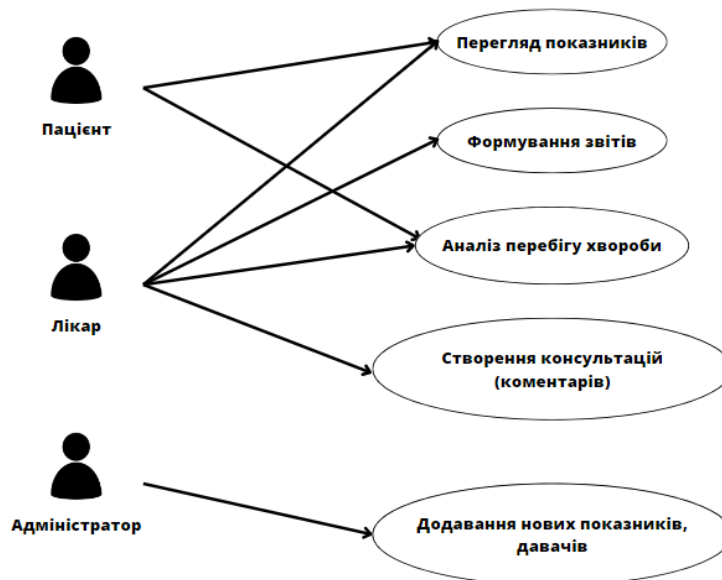


Рис. 1. Діаграма варіантів використання системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

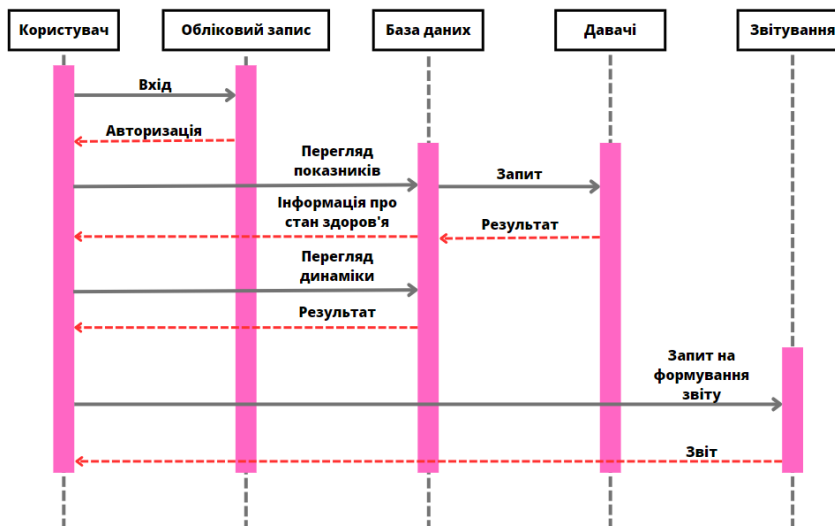


Рис. 2. Діаграма послідовності системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

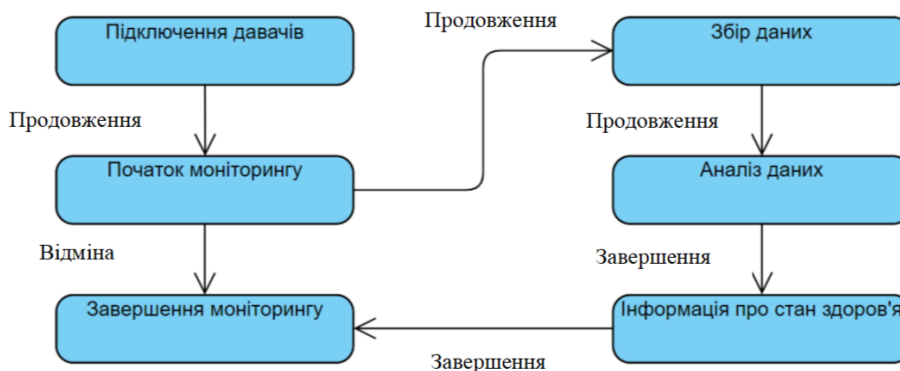


Рис. 3. Діаграма станів системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей



Рис. 4. Контексна діаграма системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

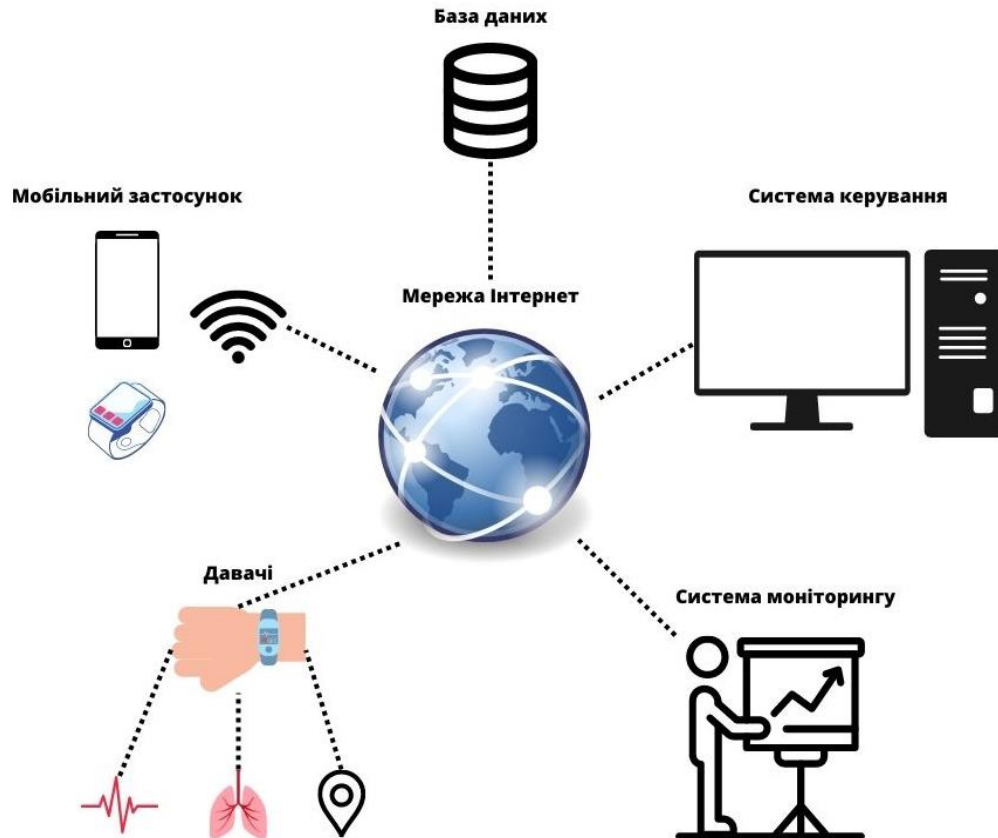


Рис. 5. Компоненти системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

До сенсорів належать різноманітні фізичні пристрої, такі як датчики температури, пульсоксиметри, вимірювачі частоти дихальних рухів, вимірювачі кров'яного тиску та інші пристрої, які за необхідності зчитують дані про стан здоров'я хворого. Кожен сенсор здоров'я повинен мати свій власний мікроконтролер та бути підключеним до мережі Інтернет, або взаємопов'язаних пристроїв через комунікаційні протоколи Wi-Fi, Bluetooth тощо.

Збір та передача даних здійснюється через комунікаційні протоколи, шляхом передачі отриманих від сенсорів здоров'я показників до центрального сервера для подальшої обробки. Дані можуть передаватися як через проміжний пристрій, так і безпосередньо на сервер.

Хмарний сервер приймає зібрані дані і забезпечує їх збереження у безпечному хмарному середовищі. Функція аналітики даних дозволяє лікарю отримувати доступ до інформації про стан здоров'я пацієнта в реальному часі, а також порівнювати показники та визначати динаміку перебігу захворювання.

Взаємодія користувача із системою моніторингу стану здоров'я відбувається через мобільний застосунок. Також передбачена функція надсилання сповіщень пацієнтові та лікарю на основі проаналізованих даних. Наприклад, система може надсилати сповіщення про підвищення температури, зниження насиченості киснем крові, підвищення пульсу, нетипову зміну частоти дихальних рухів, або попереджати про інші підозрілі аномалії, що потребують уваги – рис.6.

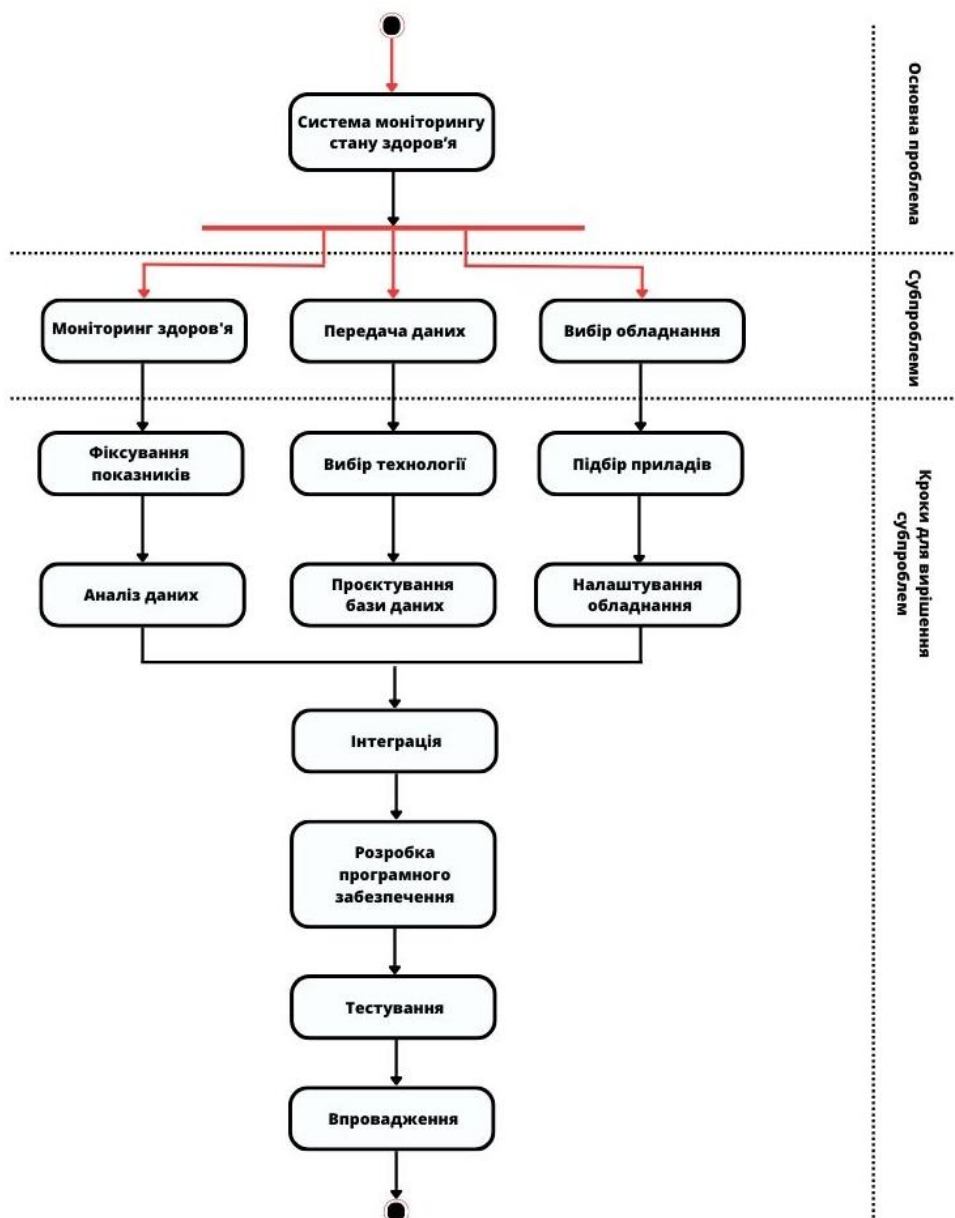


Рис. 6. Декомпозиція системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей у вигляді дерева

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1) Задача створення системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене проектуванню системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей, яке передбачає розробку мобільного застосунку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними ІоМТ пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо.

2) Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ призначена для контролю за показниками життєво важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).

3) Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень.

Література

1. IBM & Apple Expand Partnership to Help Transform Medical Research. URL: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46583.wss>.
2. Про схвалення Концепції розвитку електронної охорони здоров'я: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1671-р від 28.12.2020 р. URL: <https://ehealth.gov.ua/wp-content/uploads/2022/09/Pro-shvalennya-Kontseptsii-rozvy...-vid-28.12.2020-1671-r-Tekst-dlya-druku.pdf>.
3. Research Reports in Healthcare IT. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry/healthcare-it>.
4. Clean Hands – Safe Hands, 2023. URL: <https://cleanhands-safehands.com>.
5. Azure IoT for healthcare, 2023. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/industries/healthcare/iot>.
6. Primex. Environmental Monitoring Systems: OneVue Sense. URL: <https://www.primexinc.com/en/solutions/environmental-monitoring/onevue-sense>.
7. AZO Sensors. Advances in Artificial Intelligence can Improve Sensitivity of Virus Sensors. URL: <https://www.azosensors.com/news.aspx?newsID=14218>.
8. Mobile Applications for Pandemic Monitoring : Approaches, Challenges and Opportunities / B. Alves et al. // Proceedings of 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Chaves, Portugal, 23–26 June 2021. 2021.

References

1. IBM & Apple Expand Partnership to Help Transform Medical Research. URL: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46583.wss>.
2. On approval of the Concept of eHealth Development: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1671-r of 28.12.2020. URL: <https://ehealth.gov.ua/wp-content/uploads/2022/09/Pro-shvalennya-Kontseptsii-rozvy...-vid-28.12.2020-1671-r-Tekst-dlya-druku.pdf>.
3. Research Reports in Healthcare IT. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry/healthcare-it>.
4. Clean Hands – Safe Hands, 2023. URL: <https://cleanhands-safehands.com>.
5. Azure IoT for healthcare, 2023. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/industries/healthcare/iot>.
6. Primex. Environmental Monitoring Systems: OneVue Sense. URL: <https://www.primexinc.com/en/solutions/environmental-monitoring/onevue-sense>.
7. AZO Sensors. Advances in Artificial Intelligence can Improve Sensitivity of Virus Sensors. URL: <https://www.azosensors.com/news.aspx?newsID=14218>.
8. Mobile Applications for Pandemic Monitoring : Approaches, Challenges and Opportunities / B. Alves et al. // Proceedings of 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Chaves, Portugal, 23–26 June 2021. 2021.