

## ПРИЛАДИ

УДК 616-71

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.4.1/04>

**Бандурка Л.М.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова  
Національної академії наук України

### РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ

*Однією з основних причин високої смертності, через хвороби серцево-судинної системи, серед населення виділяють такі, як відсутність якісного спостереження за перебігом стану організму хворої людини, та неможливість вчасного виявлення погіршення стану здоров'я хворого для запобігання небажаних наслідків. Актуальною задачею є створення систем моніторингу життєвих параметрів організму людини, які дозволять здійснювати вимірювання функціональності організму, аналізувати інформацію, та цим самим попереджати небажані наслідки та запобігати хворобам. Тому розробка і впровадження систем моніторингу вчасного інформування про зміни в організмі людини та попередження про можливі небажані наслідки є актуальною задачею.*

*Особливо важливим це є для літніх людей, військових, людей, які знаходяться на виконанні небезпечних чи небезпечних видів діяльності. Бездротові системи моніторингу параметрів організму людини, дозволяють покращити якість діагностики, тому, що забезпечують більшу зручність та мобільність користувача (пацієнт може знаходитись у віддаленому від лікарні місці). За допомогою віддаленого моніторингу лікар може безперервно спостерігати за основними параметрами системи, та вчасно реагувати у разі їх порушення, та призначити лікування, додаткове лікування, чи прийняти рішення про госпіталізацію пацієнта.*

*За допомогою даних систем лікар може виявляти при яких видах діяльності у пацієнта відбувається погіршення показників, далі пацієнт може змінювати спосіб свого життя та уникати небажаних наслідків та виникнення хвороби.*

*У статті запропоновано програмно-апаратну систему віддаленого моніторингу організму людини, яку можна використовувати в різних життєвих ситуаціях: від моніторингу стану пацієнтів у лікарнях до контролю навантажень спортсменів під час тренувань. У виробничих умовах вона здатна попереджувати про перевантаження та небезпечні умови праці, зменшуючи ризик нещасних випадків. Для осіб із хронічними захворюваннями система може стати засобом самоконтролю та нагадування про прийом ліків або необхідність відвідати лікаря.*

**Ключові слова:** віддалений моніторинг, сенсори, збір даних, фізіологічні параметри організму, бездротова мережа, датчик.

**Постановка проблеми.** Не дивлячись на те, що існує велика кількість засобів моніторингу на ринку виявлено, що деякі системи моніторингу мають незручний користувацький інтерфейс, погану довговічність даних та надто високу якість сигналу. Дизайн деяких застосунків неадекватний, незрозумілий для сприйняття пацієнтами, особливо людей похилого віку. Слабка довготривалість даних призводить до проблем з діагностуванням та подальшим контролем хвороби. Існують

недоліки, пов'язані з низькою якістю сигналу, вони призводять до поганої фільтрації даних при фізичній активності, що може подавати неправдиві повідомлення про потребу надання першої невідкладної медичної допомоги бути досить неефективними або обмеженими в можливостях. Це може включати обмежений функціонал, складність у використанні, або недостатню точність даних. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити програмно-апаратну систему,

яка забезпечить надійний та точний моніторинг стану людини. Ця система може включати в себе сенсори для вимірювання різних фізіологічних показників, програмне забезпечення для аналізу цих даних, а також можливість передачі даних до аналізу або спільного хмарного сховища для подальшого використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останні дослідження та публікації у сфері розроблення програмно-апаратної системи для моніторингу стану людини вказують на великий прогрес у цьому напрямку. Завдяки поєднанню різних передових технологій штучного інтелекту, датчиків, а також інтернету речей, сучасні системи можуть надавати докладну інформацію про фізичний стан та психологічний комфорт особи.

Деякі дослідження фокусуються на розробці носимих пристроїв, таких як смарт-браслети та сенсорні патчі, які мають змогу вимірювати пульс, температуру тіла, рівень стресу та інше. Інші вивчають можливості розширеної реальності для моніторингу психоемоційного стану людини. Прикладом новітнього покоління не дуже дорогих систем моніторингу параметрів серця, що можна носити, і які все частіше використовують у повсякденному житті є пристрій Cardiac Insignia Cardea Solo. Після завершення періоду моніторингу цей патч, який пацієнт носить на тілі, розривається, щоб отримати модуль даних, який вставляють в пристрій для зчитування та завантаження даних. Програмне забезпечення автоматично створює звіти на основі даних із формами сигналів для різних показників серцево-судинної системи.

Система моніторингу на основі сенсорів отримують всю необхідну інформацію про стан здоров'я пацієнта через електронний сигнал даних, після чого сповіщає пацієнта за допомогою звукового сигналу.

Вченими була запропонована нова архітектура переносимої на зап'ясті мережі тіла (WBAN) з використанням обчислень в хмарних середовищах. Але значним недоліком цієї системи є те, що вона підключається за допомогою дроту [7]. Можливість виготовлення пристрою з бездротовим зв'язком дає змогу підвищити гнучкість системи і зробити використання системи зручнішими.

Система моніторингу на основі мікроконтролеру. Вони мають малі розміри, тому стали дуже корисними для швидкої обробки даних датчиків. Платформа Raspberry Pi є однією з найбільш розповсюджених у користуванні на основі мікроконтролерів у сфері систем моніторингу здоров'я. Існує деяка кількість систем моніторингу параме-

трів здоров'я на основі Arduino. Вони керуються через додаток в смартфоні, що є дуже зручним. Виміряні дані надсилаються на окрему плату Arduino Uno. За допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача аналогові значення, які надійшли до системи, перетворюються в цифрові. У системі використовується модуль Bluetooth, який не має великого радіуса дії, і за допомогою нього цифрові значення передаються на смартфон [8]. Існує розроблене рішення дослідником Сабіром (Sabbir) для хворих на цукровий діабет m-Health [9]. Це система створена для домашнього використання. Даний пристрій дає змогу хворому на цукровий діабет контролювати стан свого здоров'я, дієту, фізичні навантаження, дозу інсуліну та має можливість консультуватися з лікарями. Недоліком є те, що розроблена система не забезпечує якісної передачі даних, має малий час роботи [9].

**Постановка завдання.** Метою роботи є здійснення постійного моніторингу стану пацієнта для інформування про зміни його загального стану та попередження про можливі небажані наслідки.

Розроблення програмно-апаратної системи для моніторингу стану людини є актуальним напрямом сучасних досліджень та розробок у сфері охорони здоров'я, спорту, промислової безпеки та дистанційного спостереження. Зростаючий попит на рішення, що дозволяють в режимі реального часу оцінювати фізіологічні параметри організму, стимулює пошук оптимальних поєднань датчиків, обчислювальних модулів та комунікаційних технологій. Сучасні мікроконтролери мають достатню обчислювальну потужність для обробки багатопотокових даних, а широке розповсюдження бездротових стандартів зв'язку створює передумови для віддаленого контролю стану здоров'я у різних умовах. Водночас інтеграція апаратної частини з програмним забезпеченням дозволяє забезпечити не лише збір первинної інформації, а й її аналіз, візуалізацію та зберігання з мінімальною затримкою.

**Виклад основного матеріалу.** Проектування подібної системи починається з вибору набору сенсорів, які повинні забезпечувати необхідну точність та надійність вимірювань. Серед найбільш поширених параметрів – частота серцевих скорочень, рівень кисню в крові, температура тіла, артеріальний тиск та активність опорно-рухового апарату, електрокардіограма. Важливо обрати датчики з оптимальним співвідношенням ціни, енергоспоживання та стійкості до зовнішніх перешкод. Правильне розташування сенсорів на тілі

користувача та зручний кріпильний механізм забезпечують стабільний контакт і мінімізують похибки вимірювань, що є критично важливим для довготривалого моніторингу. На рис. 1 показано структурну схему моніторингу параметру пацієнта, яка складається з трьох рівнів – фізичного, логічного і прикладного. Перший рівень складається з датчиків, які використовуються для збору даних. Отримані дані на фізичному рівні обробляються на попередньому. Логічний рівень обробляє завдання щодо керування доступом до міжсенсорного зв'язку. Третій рівень виконує дії на основі оброблених даних, згенерованих логічним рівнем. Дана система дає точні дані, без затримки й перебоїв з сигналами

Програмна частина системи включає низку модулів, що відповідають за ініціалізацію апаратних компонентів, збір даних, їх попередню обробку, а також комунікацію з віддаленим сервером чи мобільним додатком. Для забезпечення гнучкості та масштабованості доцільно застосувати модульний підхід, коли кожен блок функціональності може бути оновлений або замінений без суттєвого втручання в інші частини системи. Використання популярних мов програмування для вбудованих систем, таких як C/C++ або Python на платформах із підтримкою мікровіртуальних середовищ, дає змогу швидко прототипу-

вати алгоритми обробки сигналів та алгоритми машинного навчання [2].

Особливу увагу приділено методам обробки сирих даних із сенсорів. Застосування фільтрів низьких та високих частот дозволяє відокремлювати сигнали корисного навантаження від шуму та артефактів руху. Додатково можуть використовуватися алгоритми виявлення аномалій для раннього попередження про можливі патологічні стани. Наприклад, зсув у частоті серцевих скорочень або різкі коливання температури тіла можуть сигналізувати про розвиток інфекційних процесів чи серцево-судинну дисфункцію. Вбудовані алгоритми аналізу здатні автоматично формувати сповіщення та рекомендації для користувача або медичного персоналу.

Для передачі зібраних даних найчастіше використовуються стандарти Bluetooth Low Energy, Wi-Fi або GSM/4G-модулі. На рис. 2 показана структурна система збору даних. На вхід СЗД потрапляють аналогові сигнали з датчиків фізичних величин. Тип і рівень аналогового сигналу залежить від фізичних особливостей датчиків, що використовуються. Зазвичай, сигнал малий за амплітудою, і в ньому наявні побічні шуми й перешкоди. Фільтр нижніх частот (ФНЧ) фільтрує сигнал і запобігає накладанню його спектрів. Нормуючий підсилювач погоджує за амплітудою

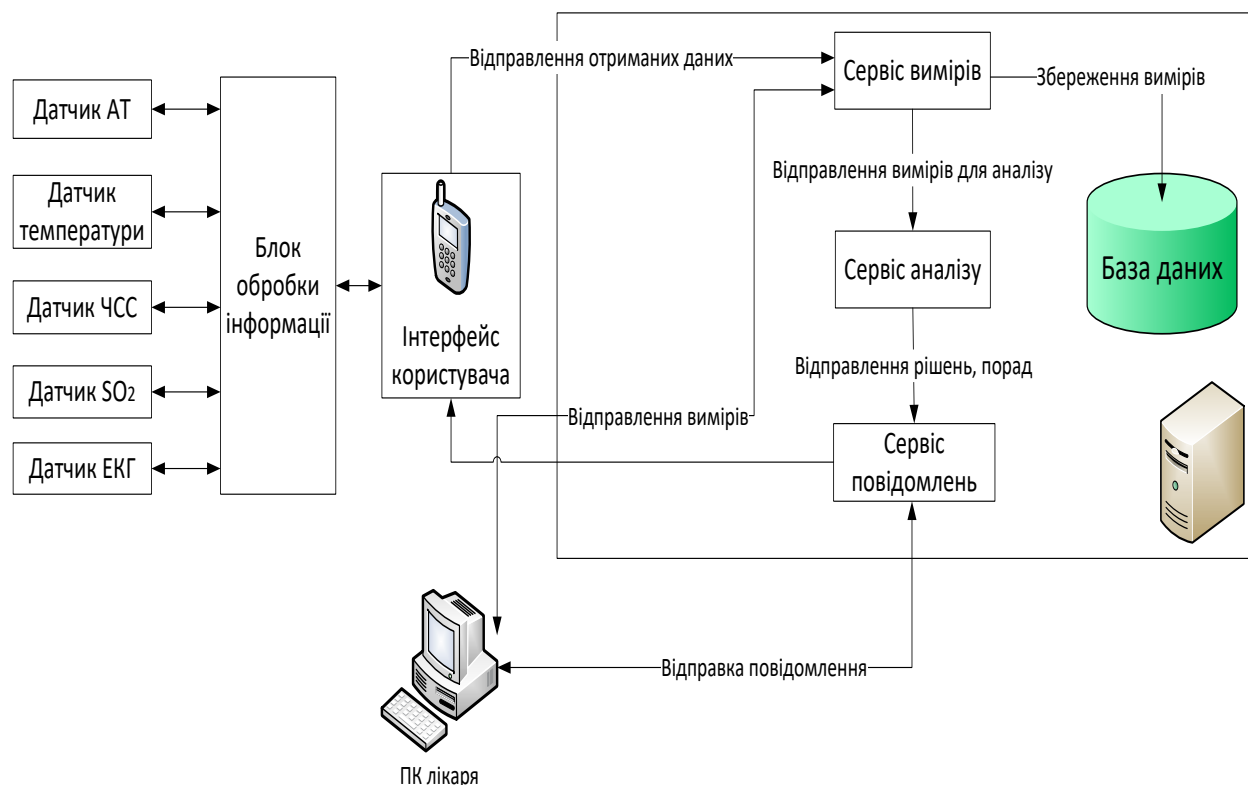


Рис. 1. Структурна схема моніторингу параметрів пацієнта

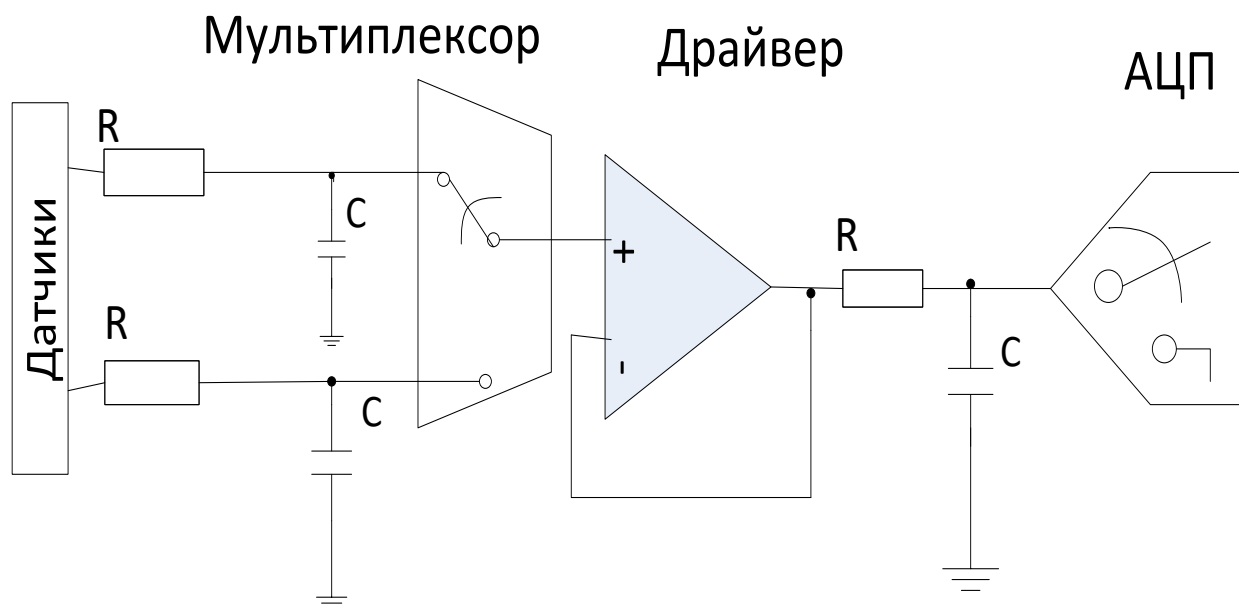


Рис. 2. Структурна система збору даних

сигнал первинного перетворювача з вхідним діапазоном АЦП.

Вибір технології залежить від завдань системи: для поблизу-короткодійного моніторингу достатньо Bluetooth-з'єднання із смартфоном, а для віддаленого спостереження – GSM-модулів з можливістю виходу в Інтернет. Організація безпечного каналу зв'язку передбачає застосування сучасних криптографічних протоколів, таких як TLS, а також механізми аутентифікації пристроїв для запобігання несанкціонованому доступу до персональних даних [1].

Живлення системи забезпечується, наприклад, літій-полімерною батареєю ємністю 2000 мА·год, що при середньому струмі споживання близько 20 мА гарантує автономну роботу протягом 80–100 годин. Зарядка батареї відбувається через вбудований зарядний модуль TP4056 зі струмом заряду до 1 А, що дає змогу поповнити ємність акумулятора за 2–3 години. В схемі передбачено захист від глибокого розряду та короткого замикання, що підвищує безпеку експлуатації.

Серверна частина системи відповідає за зберігання історичних даних, аналітику на основі великих обсягів інформації та формування довгострокових звітів. Використання реляційних або документно-орієнтованих баз даних залежить від структури отримуваних даних та запитів користувачів. Для аналізу великих обсягів інформації можуть застосовуватися інструменти бізнес-аналітики та платформи візуалізації, що надають можливість швидко оцінити динаміку фізіологічних

параметрів у графічному форматі. Автоматизовані звіти та щоденники стану допомагають лікарям і тренерам приймати обґрунтовані рішення [3].

Наприклад, застосовується архітектура IoT-рішення на базі AWS: шлюз AWS IoT Core приймає MQTT-пакети, після чого дані зберігаються в базі DynamoDB із середнім часом відповіді 5 мс. Для довгострокового зберігання сирових даних використовується Amazon S3, куди за 24 години завантажується близько 10 МБ даних з одного пристрою. Аналітику в реальному часі здійснює AWS Lambda-функція, що запускається при кожному надходженні нового запису та оцінює стан користувача за заздалегідь заданими порогоми: середнє значення ЧСС за хвилину, SpO<sub>2</sub> нижче 92 % або температура понад 38 °C викликає тривожне сповіщення. Сповіщення надсилаються через AWS SNS у вигляді SMS або push-повідомлення мобільного додатка.

**Розробка структурної схеми модуля бездротового зв'язку.** Для розробки системи, в якій головним критеріями є енергоефективність бездротових вузлів, довгий час автономної роботи, надійність і стабільність бездротового каналу передачі даних, найбільш актуальною є бездротова технологія обміну даними Bluetooth. У запропонованій системі-на-кристалі nRF82540 наявна підтримка протоколу Bluetooth. Для здійснення операцій з передавання даних по бездротових вузлах та створення бездротової мережі на базі цих вузлів було вибрано протокол Bluetooth 5, який має кілька позитивних особливостей у сукупності

з апаратними засобами системи-на-кристалі. Головним є те, що у модулі nRF82540 наявна підтримка Bluetooth mesh, що у подальшому дасть можливість вивести систему сенсорів на кращий рівень мережевої взаємодії. При використанні протоколу Bluetooth 5 передбачено швидкості обміну даними, яка відповідає 125 кбіт/с, 250 кбіт/с, 500 кбіт/с, 1 Мбіт/с і 2 Мбіт/с. Чутливість приймача, при швидкості 125 кбіт/с складатиме – 103 дБм, та при швидкості 1 Мбіт/с дорівнюватиме – 95 дБм.

Підсилення передавача даних знаходиться в межах від –20 до +8 дБм з можливим кроком налаштування в 4 дБм. Пікове споживання струму в режимі приймача містить 4,6 мА, а в режимі передавача – 4,8 мА на рівні підсилення в 0 дБ [10].

Структурну схему модуля бездротового зв'язку на базі системи-на-кристалі nRF82540 з основними параметрами для системи моніторингу та інтерфейсами підключення наведено на рис. 3.

Підключення різних інтерфейсів дає можливість побудувати різні вузли мережі. Вимірювальний вузол передбачає підключення дротового каналу UART і бездротового каналу Bluetooth. Координатор мережі передбачає підключення бездротового каналу Bluetooth і додат-

кових модулів, до дисплею, пам'яті та додаткових елементів керування. Також координатор у певних прикладних задачах вимагає підключення дротового каналу для зв'язку з ПК. Третім є вузол керування, він дає можливість підключати необхідні вузли до ПК. При цьому, вузол керування передбачає підключення бездротового каналу Bluetooth і дротового каналу USB для з'єднання ПК [11].

Інтерфейс користувача відіграє важливу роль у забезпеченні зручності експлуатації системи. Мобільні та веб-додатки повинні бути інтуїтивно зрозумілими і базуватися на простих принципах навігації. Користувачу важливо отримувати чітку інформацію про поточний стан, попередження про можливі ризики та рекомендації для покращення самопочуття. Наявність історії показників у вигляді лінійних графіків або табличних форм дозволяє слідкувати за змінами стану здоров'я протягом тривалого періоду [5].

Особливою вимогою є забезпечення безпеки та конфіденційності даних користувача. Збір медичної інформації підпадає під особливі регуляторні норми, тому система повинна відповідати нормативам захисту персональних даних. Шифрування даних на всіх етапах – від сенсора до серверу – є обов'язковим. Важливо також реалізувати меха-

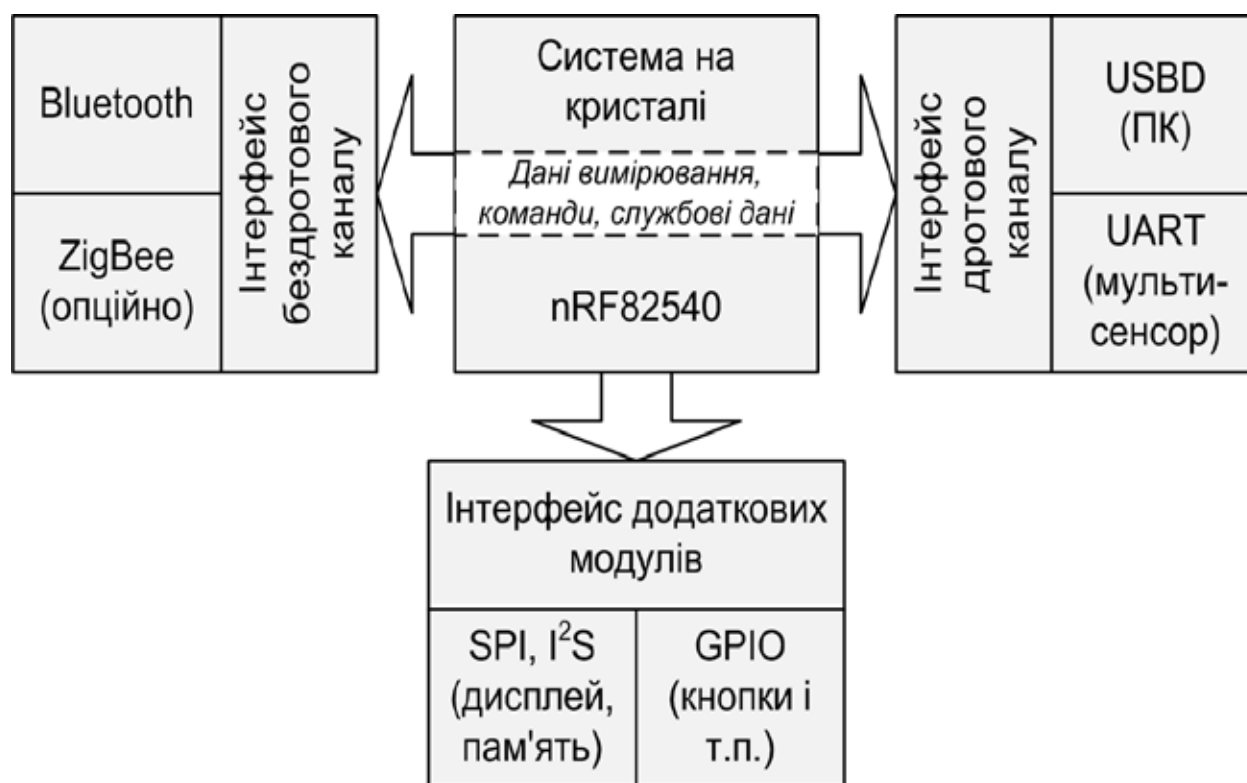


Рис. 3. Структурна схема модуля бездротового зв'язку на базі системи-на-кристалі nRF82540

нізми резервного копіювання та аварійного відновлення інформації на випадок технічних збоїв або втрати з'єднання [6].

**Висновки.** Розроблена система демонструє здатність до подальшого масштабування: додавання нових типів сенсорів, інтеграція з медичними інформаційними системами та розширення аналітичних можливостей завдяки штучному інтелекту. Наступними кроками стануть автоматичне прогнозування загострень хронічних захворювань та адаптивні рекомендації на основі поведінкових патернів користувача. Такий підхід сприятиме підвищенню якості медичного обслу-

говування та створенню умов для персоналізованої охорони здоров'я. До переваг розроблення такої системи можна віднести забезпечення постійного моніторингу стану людини, швидку реакцію на зміни в цьому стані, можливість збереження та аналізу даних для подальшого використання у медичних цілях або для підтримки здорового способу життя. Успішне розроблення програмно-апаратної системи для моніторингу стану людини може значно покращити якість життя людей, забезпечуючи їм інформацію про їхні фізіологічні показники та допомагаючи у збереженні здоров'я.

### Список літератури:

1. Ігнатенко А.А., Основи програмування мовою JavaScript: тексти лекцій. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2002. 83 с.
2. Методика визначення кисню в артеріальній крові людини. О. А. Чичкан та ін. ; за заг. ред Ю. Р. Йосипова. Львів : ЛДУВС, 2023. 8 с.
3. Deng, Z.; Guo, L.; Chen, X.; Wu, W. SmartWearable Systems for Health Monitoring. *Sensors* 2023, 23, 2479. URL: <https://doi.org/10.3390/s23052479> (дата звернення 08.05.2025)
4. Sun, X.; Guo, X.; Gao, J.; Wu, J.; Huang, F.; Zhang, J.-H.; Huang, F.; Lu, X.; Shi, Y.; Pan, L. E-Skin and Its Advanced Applications in Ubiquitous Health Monitoring. *Biomedicines* 2024, 12, 2307. URL: <https://doi.org/10.3390/biomedicines12102307> (дата звернення 08.05.2025)
5. Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org/about/> (дата звернення: 07.05.2025)
6. Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/en/about> (дата звернення: 07.05.2025).
7. Тріпаті В., Шакіл Ф. (2017). Моніторинг системи охорони здоров'я за допомогою Інтернету речей – бездоганне поєднання. Міжнародна конференція з комп'ютерних та інформаційних систем наступного покоління (ICNGCIS), 2017 р., с. 153-158.А
8. Семко, О. В. «Сенсорна сервіс-орієнтована мережа телемедичної системи моніторингу стану серцево-судинної системи.» Сучасний захист інформації 4 (2016): 111-115.
9. Мехта Д.Д., Занарту М., Фен С.В., Чейн Х.А., Хілман Р.Е. (2012). Мобільний голосовий моніторинг здоров'я за допомогою носимого датчика акселерометра та платформи для смартфона. *IEEE Transactions on Biomedical*
10. Брайко Ю.О., Імамутдінова Р.Г. Основні системні вимоги до інтелектуальних приладів, методологія їх проектування. // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2013, № 12. – С. 73–82.
11. A. Mutlag, M. K. Abd Ghani, N. Arunkumar, M. A. Mohammed and O. Mohd, "Enabling technologies for fog computing in healthcare IoT systems", *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 90, pp. 62-78, Jan. 2019. Engineering, с. 3090-3096. Devices

### Bandurka L.M. DEVELOPMENT OF A SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM FOR MONITORING HUMAN CONDITION

*One of the main reasons for high mortality due to diseases of the cardiovascular system among the population is the lack of high-quality monitoring of the course of the patient's body condition, and the inability to timely detect the deterioration of the patient's health to prevent undesirable consequences. The current task is to create systems for monitoring the vital parameters of the human body, which will allow measuring the functionality of the body, analyzing information, and thereby preventing undesirable consequences and preventing diseases. Therefore, the development and implementation of monitoring systems for timely information about changes in the human body and warning about possible undesirable consequences is a current task.*

*This is especially important for the elderly, military personnel, and people who are performing dangerous and complex activities. Wireless systems for monitoring human body parameters allow improving the quality of diagnostics, as they provide greater convenience and mobility for the user (the patient may be in a remote location from the hospital). With the help of remote monitoring, the doctor can continuously monitor the main parameters of the system, and respond in time in case of their violation, and prescribe treatment, additional treatment, or make a decision to hospitalize the patient.*

*With the help of these systems, the doctor can observe in which types of activity the patient's indicators deteriorate, then the patient can change his lifestyle and avoid undesirable consequences and the occurrence of the disease.*

*The article proposes a software-hardware system for remote monitoring of the human body, which can be used in various life situations: from monitoring the condition of patients in hospitals to controlling the loads of athletes during training. In production conditions, it is able to warn about overload and dangerous working conditions, reducing the risk of accidents. For people with chronic diseases, the system can become a means of self-monitoring and a reminder to take medication or visit a doctor.*

**Key words:** remote monitoring, sensors, data collection, physiological parameters of the body, wireless network, sensor.

Дата надходження статті: 23.07.2025

Дата прийняття статті: 31.07.2025

Опубліковано: 27.10.2025