

## **ВИКОРИСТАННЯ ПІДХОДУ ІОТ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМ РОЗВИТКУ ПЕРВИННОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНІВ ЛЮДИНИ**

**Коваленко І.Л., Мовчанюк А.В.**

*Радіотехнічний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського,*

*Siemens Healthineers AG Україна*

*E-mail: igor.kovalenko@siemens-healthineers.com*

### **USE OF THE IOT APPROACH AS A PROMISING TREND FOR THE DEVELOPMENT OF PRIMARY DIAGNOSTICS OF HUMAN HEALTH**

The article studies the development of the field of primary diagnostics of human health with the help of personal use devices as a promising area of Internet of Things. The practical approaches used in the creation of a commercial IoT device for the current monitoring of a woman's fertile period are considered.

Проведено дослідження розвитку галузі первинної діагностики стану здоров'я людини за допомогою пристроїв персонального використання, як перспективного напрямку Internet of Things. Розглянуто практичні підходи використані під час створення комерційного IoT пристрою для поточного моніторингу фертильного вікна жінки.

За останні 10 років спостерігається суттєве зростання інтересу до використання підходу компактних пристроїв в галузі охорони здоров'я, особливо в первинній діагностиці та моніторингу станів людини [1]. Цей інтерес визначається загальним характером зміни клініко-центричних тенденцій в бік пацієнто-центричного підходу. Компактні Internet-of-Things (далі IoT) пристрої, такі як розумні годинники, браслети, кільця та інші датчики, надають можливість неперервного відстеження різних вітальних показників, таких як пульс, тиск, рівень кисню в крові, надаючи користувачам зручний і доступний інструмент для поточного моніторингу здоров'я, без необхідності відвідування лабораторії чи клініки. З іншого боку, наявність неперервного і тривалого моніторингу різних показників може дати лікарю комплексну та більш об'єктивну картину, аніж одиничний лабораторний аналіз, особливо враховуючи можливість передачі даних в електронному вигляді. Таким чином, завдяки широкому розповсюдженню та доступності цих пристроїв, пацієнти можуть ефективно взаємодіяти з системою охорони здоров'я, забезпечуючи додаткові дані для аналізу та лікування.

Згідно з проведеними маркетинговими дослідженнями [1] тенденція збережеться в найближчі роки по всім регіонам з щорічним збільшенням темпів зростання об'єму ринку, рис.1. Прогнозується також поява суттєвого попиту на перспективних ринках країн Латинської Америки та Африки.

Окремим чинником, який варто зазначити – це те, що популяризація носимих діагностичних пристроїв створила велику базу медичних даних, яка може бути проаналізована системами машинного навчання та штучного інтелекту, що вже зараз дозволяє здійснювати ранню діагностику різних захворювань та виявляти аномалії в роботі органів та систем людини.

У цьому контексті важливо розуміти переваги та виклики використання підходу IoT-пристроїв в галузі первинної діагностики та розвивати нові стратегії для їх зручного використання в щоденному житті.

Об'єм ринку компактних медичних пристроїв,  
по регіонам, 2019 - 2031,  
(мільярд американських доларів)

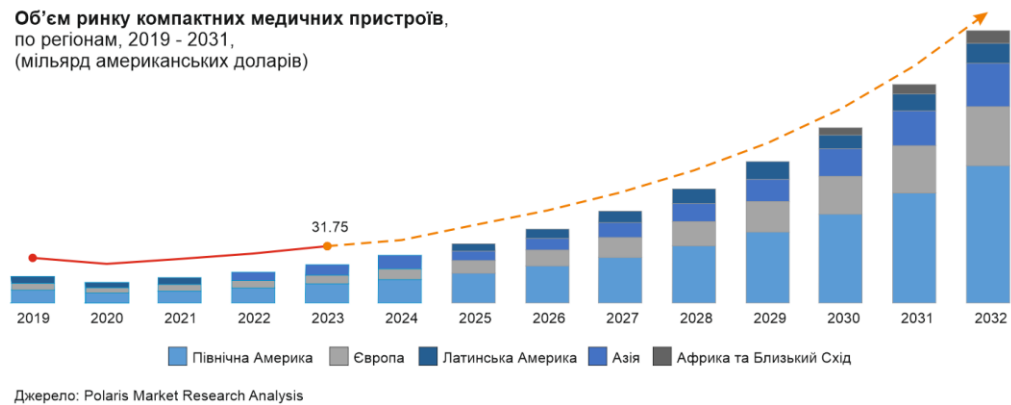


Рис. 1. Об'єм ринку компактних медичних пристроїв,  
нинішній стан та прогноз по регіонам.

### Застосування IoT в первинній діагностиці.

Розвитку галузі компактних діагностичних пристроїв передувала ціла низка факторів та чинників – як технологічних, так і суспільних.

Створення компактних пристроїв було б неможливе без технологічних досягнень – розвитку мікроелектроніки та компонентної бази, зростання рівня інтеграції, поліпшення ефективності використання та ємності малогабаритних елементів живлення. Необхідними передумовами створення IoT як галузі були активний розвиток персональних електронних пристроїв та мобільних мереж передачі даних. Серед соціальних передумов швидкого набуття популярності компактних пристроїв діагностики та моніторингу станів здоров'я варто відзначити тенденцію до збільшення інтересу суспільства розвинених країн до здорового способу життя та самостійного ведення власного здоров'я, що, відповідно, збільшило попит на зручні та доступні засоби первинної самодіагностики та спостереження життєвих показників.

Ці та інші фактори створили сприятливе середовище для інтенсивного розвитку носимих медичних та діагностичних пристроїв, які, в свою чергу, є підгрупою більш широкого класу IoT.

Запропонована [2] узагальнена класифікація медичних та діагностичних IoT-пристроїв, що базується на їх застосуванні:

- дистанційна медицина – бездротові IoT рішення для безпечного збору даних пацієнта, їх первинну обробку та передачу кваліфікованому спеціалісту для надання рекомендацій;

- поточний моніторинг – персональні сенсори неінвазивного моніторингу станів людини з режимі реального часу;

- пристрої профілактичної медицини – IoT медичні системи, що використовують дані з датчиків для раннього виявлення та попередження аномалій та хворобливих станів.

Як вже частково було зазначено у вступній частині, підхід Інтернету Речей має широкий спектр аспектів, що можуть бути корисними у сфері медицини. Тривале відстеження вітальних показників у реальному часі дає важливі дані динамічних змін в залежності від різних факторів, що можуть бути використані для ранньої діагностики вікових змін, хвороб внутрішніх органів чи порушень обміну речовин. Аналізуючи сукупні характеристики життєвих показників можна відслідкувати навіть деструктивні зміни у психологічних станах, таких як депресія [3] чи тяжкий перебіг стресу [4]. Рання діагностика та прогнозування дають можливість вчасно прийняти

відповідні заходи. Завдяки IoT можливий віддалений моніторинг пацієнтів. Це особливо важливо для людей з хронічними захворюваннями, які можуть отримувати медичний нагляд зручно та ефективно. Аналіз даних, зібраних за допомогою персональних пристроїв, дозволяє виробити персоналізовані терапії та підходи до лікування на основі індивідуальних особливостей пацієнта [5].

На ефективність використання підходів IoT для покращенні діагностики, моніторингу та загального управління системами охорони здоров'я вказують результати численних наукових досліджень. Було проведено як систематичні узагальнені дослідження позитивного впливу поточної діагностики здоров'я за допомогою компактних пристроїв на покращення результатів лікування пацієнтів [6], так і розглянуто конкретні випадки застосування певних пристроїв для ранньої діагностики захворювань [7], з оцінкою їх ефективності в порівнянні зі звичайними методиками.

Результати досліджень вказують на широкий спектр застосувань IoT у медицині та переконливо демонструють його перспективність у покращенні первинної діагностики.

### Практичний досвід провадження інноваційних підходів у моніторингу фертильності.

*Проблематика:* За даними звіту Всесвітньої організації охорони здоров'я [8] 19% жінок у віці від 19 до 49 років мають складнощі з першою вагітністю через проблеми з фертильністю, по причині чого вдаються до різних методів відслідковування фертильного вікна – короткого фізіологічного періоду зрілості яйцеклітини, коли можливість завагітніти найвища.

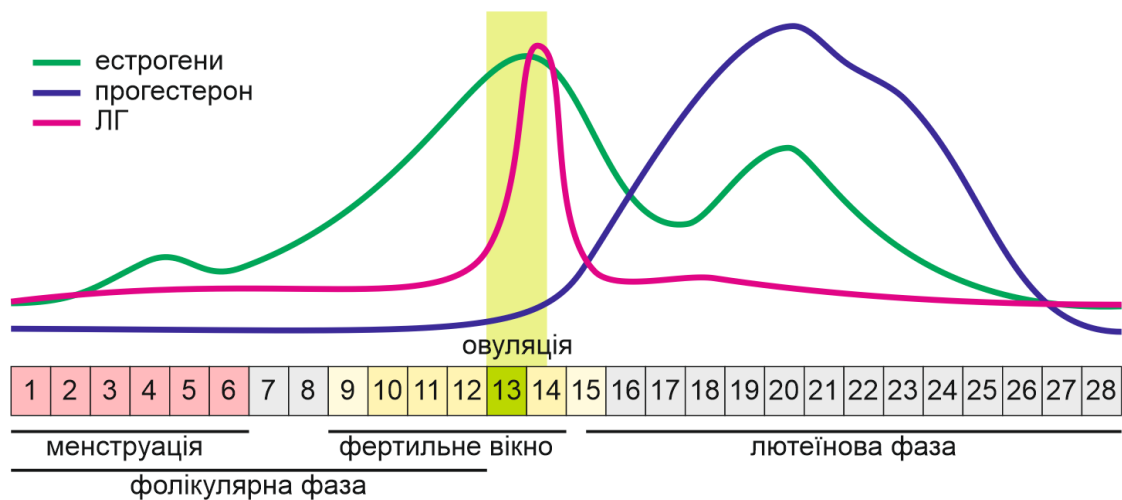


Рис. 2. Фертильне вікно та овуляція у менструальному циклі.

*Методологія:* Існує декілька розповсюджених методик відслідковування овуляції, основні з яких це:

- календарний метод - ґрунтується на регулярності циклу і теоретичній моделі. Недолік – низька точність, оскільки регулярність циклу є індивідуальною характеристикою, на яку впливає велика кількість факторів;

- бтт-метод – ґрунтується на вимірюванні базальної температури тіла (бтт), яка може незначно підвищитися через вивільнення прогестерону. Недолік – необхідна висока точність датчиків, щоб зафіксувати зміну температури, значний вплив зовнішніх факторів.

- овуляційні тести – ґрунтуються на визначенні рівню лютеїнізуючого гормону

(ЛГ), який підвищується приблизно за 24 години перед овуляцією. Недолік – незручні у використанні, дають позитивний результат лише в день піку овуляції.

Задача: створити компактний пристрій, що буде простим і зручним у використанні та матиме переваги IoT підходу.

Під час детального опрацювання питання були вивчені наукові дослідження щодо альтернативних методик відслідковування овуляції – серед яких аналіз рівня кристалізації слини при висиханні. Збільшення рівня вільних естрогенів у рідинах організму жінки під час овуляції викликає специфічну картину кристалізації зразків слини, схожу на листя папороті.

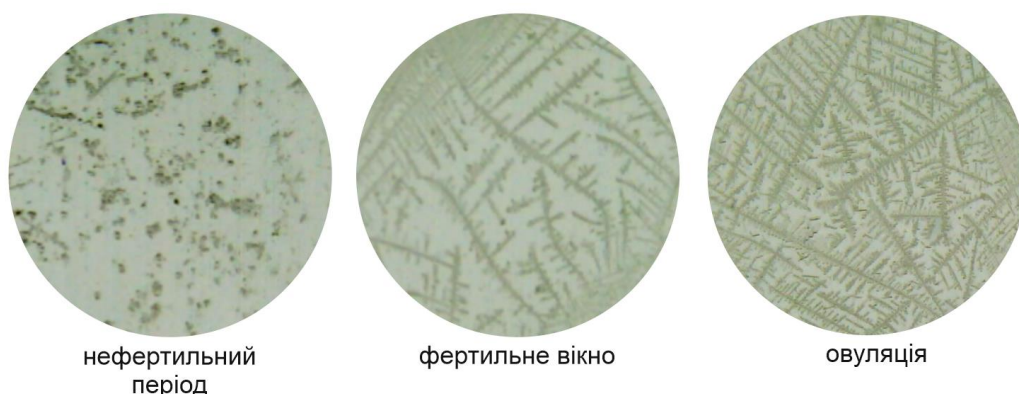


Рис. 3. Характер кристалізації слини в залежності від періоду менструального циклу.

Навіть враховуючи високу точність у понад 99% [9] метод не набув популярності через необхідність використання оптичного мікроскопу та потребу у спеціальних навичках. Використовуючи сучасну елементну базу, алгоритми машинного навчання та підходи IoT вдалося створити пристрій, що позбавлений цих недоліків.

Для стабільного та якісного виявлення папороте-подібних кристалів у зразках висохлої слини була розроблена та досліджена спеціалізована оптична система, що в парі з джерелами пружного світлорозсіяння (англ. elastic light scattering) дала змогу робити контрастні знімки високої роздільної здатності, які гарно піддаються аналізу за допомогою алгоритмів машинного навчання.

Під час дослідної експлуатації був зібраний унікальний датасет знімків, що дав можливість створити алгоритм коректного розпізнання кристалізації з вірогідністю 96,2%.

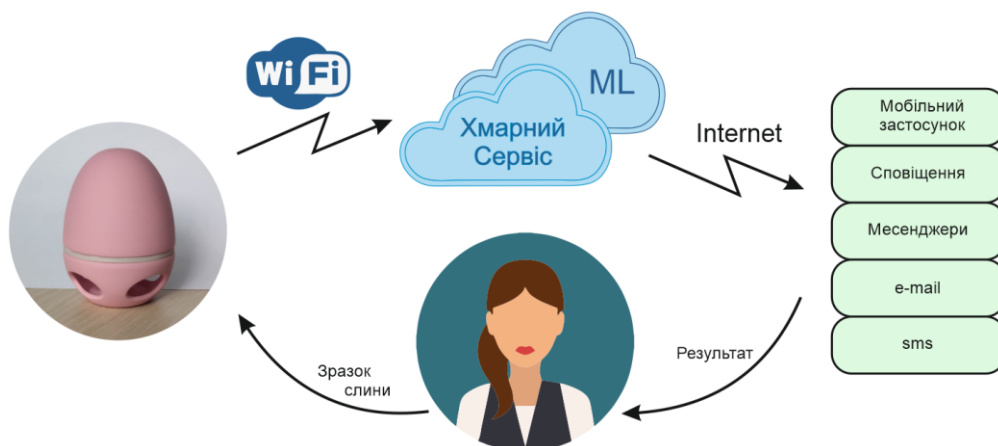


Рис. 4. IoT підхід у пристрої відслідковування фертильного вікна.

ML-алгоритми потребують значних обчислювальних потужностей і великих

об'ємів пам'яті для накопичення датасетів, що стало причиною вибору вектору IoT і хмарних обчислень. За понад рік розробки і дослідної експлуатації цільовою групою пристрій декілька разів видозмінювався і набув сучасного вигляду – автономного компактного аналізатору з прямим підключенням до мережі WiFi та глибокою інтеграцією у хмарні сервіси та мобільний застосунок. Щоденне використання пристрою дає можливість відслідковувати фертильне вікно весь період його тривалості, в незалежності від зовнішніх факторів та індивідуальних особливостей. Забір зразку займає всього декілька секунд часу користувача і не викликає дискомфорту чи незручностей, не вимагає спеціального обладнання чи навичок. Всі інші кроки проведення аналізу приховані від користувача і не потребують його залучення. Після висихання зразку аналізатор в повністю автоматичному режимі робить серію знімків використовуючи вбудовану систему підсвітки і проводить первинну обробку зображення для досягнення високої контрастності та зменшення об'єму даних, що передаються по мережі, і надсилає результат хмарному сервісу, де з використанням алгоритмів машинного навчання визначається рівень кристалізації, у відповідності до якого користувачка отримує фінальний висновок у зручний для неї спосіб – через мобільний застосунок, месенджери чи повідомлення.

Слідування концепції IoT дало можливість створити водночас функціональний і компактний аналізатор, який поєднує в собі простоту використання і точність досліджень, не має розхідних матеріалів, повністю автономний і доступний.

#### Література

1. Wearable Medical Device Market Share, Size, Trends, Industry Analysis Report, By Device Type (Diagnostic Device And Therapeutic Device); By Application; By Distribution channel; By Region; Segment Forecast, 2024- 2032.; 2023, <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/wearable-medical-devices-market>.
2. Abdulmalek S, Nasir A, Jabbar WA, Almuhaya MAM, Bairagi AK, Khan MA-M, Kee S-H. IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review. *Healthcare*. 2022; 10(10):1993.
3. Nickson D, Meyer C, Walasek L, Toro C. Prediction and diagnosis of depression using machine learning with electronic health records data: a systematic review. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2023 Nov 27;23(1):271. doi: 10.1186/s12911-023-02341-x. PMID: 38012655; PMCID: PMC10680172.
4. Kang M, Chai K. Wearable Sensing Systems for Monitoring Mental Health. *Sensors (Basel)*. 2022 Jan 27;22(3):994. doi: 10.3390/s22030994. PMID: 35161738; PMCID: PMC8839602.
5. Frimpong, Bismark Atta & Barbosa, Claudia & Alhameed, Raed. (2023). The Impact of the Internet of Things (IoT) on Healthcare Delivery: A Systematic Literature Review. *Journal of Techniques*. 5. 84-91. 10.51173/jt.v5i3.1433.
6. Himanshu Verma, Naveen Chauhan, Lalit Kumar Awasthi, A Comprehensive review of 'Internet of Healthcare Things': Networking aspects, technologies, services, applications, challenges, and security concerns, *Computer Science Review*, Volume 50, 2023, 100591, ISSN 1574-0137.
7. M. N. Bhuiyan, M. M. Rahman, M. M. Billah and D. Saha, "Internet of Things (IoT): A Review of Its Enabling Technologies in Healthcare Applications, Standards Protocols, Security, and Market Opportunities," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 13, pp. 10474-10498, 1 July 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3062630.
8. World Health Organization, Sexual and Reproductive Health and Research (SRH), «Infertility Prevalence Estimates, 1990–2021», Global report, 3 April 2023, <https://www.who.int/publications/i/item/978920068315>
9. Potluri V, Kathiresan PS, Kandula H, Thirumalaraju P, Kanakasabapathy MK, Kota Sai Pavan S, Yarravarapu D, Soundararajan A, Baskar K, Gupta R, Gudipati N, C Petrozza J, Shafiee H. An inexpensive smartphone-based device for point-of-care ovulation testing. *Lab Chip*. 2018 Dec 18;19(1):59-67. doi: 10.1039/c8lc00792f. PMID: 30534677; PMCID: PMC6321627.