

БІЛИЙ ВІТАЛІЙ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
e-mail: [vitaliy2034v@gmail.com](mailto:vitaliy2034v@gmail.com)

БОНДАРЕНКО ВІКТОР

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0003-1663-4799>  
e-mail: [vicnbondarenko@gmail.com](mailto:vicnbondarenko@gmail.com)

БОНДАРЕНКО НАТАЛІЯ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0002-9237-8187>  
e-mail: [nalbondarenko@gmail.com](mailto:nalbondarenko@gmail.com)

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА МІКРОКЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЛЮДИНИ

В даній статті описано інноваційний пристрій для оцінки впливу фізіологічних параметрів і умов мікроклімату на продуктивність людини. Проаналізовано основні фактори, що впливають на продуктивність, і вибрано ключові параметри для моніторингу, серед яких частота серцевих скорочень, рівень кисню та глюкози в крові, температура тіла, інтенсивність фізичної активності, а також температура, вологість та якість повітря. Розроблено структурну схему пристрою з використанням мікроконтролера nRF52840 і датчиків для відстеження вибраних параметрів. Пристрій демонструє високу енергоефективність та інтеграцію з мобільними пристроями через Bluetooth LE. Проведено короткострокове дослідження, результати якого підтверджують потенціал пристрою для моніторингу стану здоров'я та продуктивності.

Ключові слова: продуктивність людини, фізіологічні параметри, мікроклімат, моніторинг стану здоров'я, частота серцевих скорочень, рівень кисню, глюкози в крові, температура тіла, фізична активність, якість повітря, енергоефективність, Bluetooth LE, мікроконтролер nRF52840.

BILYI VITALIY, BONDARENKO VIKTOR, BONDARENKO NATALIYA  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

### DEVICE FOR STUDYING THE INFLUENCE OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS AND MICROCLIMATE ON HUMAN PRODUCTIVITY

This article describes an innovative device for assessing the impact of physiological parameters and microclimate conditions on human productivity. The main factors affecting productivity and key parameters for monitoring are analyzed, including heart rate, blood oxygen and glucose level, body temperature, physical activity intensity, as well as air temperature, humidity, and quality. The device's structural scheme is developed using the nRF52840 microcontroller and sensors to track these parameters. The device demonstrates high energy efficiency and integration with mobile devices through Bluetooth LE. A short-term study confirms the device's potential for health and productivity monitoring.

The details of configuring the device connection topology are described. It is noted that peripheral devices act as servers, providing data to central devices that function as clients. The organization and configuration of data transmission covers the use of the Attribute Protocol (ATT) and the General Attribute Profile (GATT). This structure allows efficiently configure data transfer and maintain high energy efficiency when working with different types of data. BLE wireless communication was chosen for its low energy consumption and sufficient data transfer speed (up to 2 Mbit/s with Bluetooth 5.0) to ensure the transfer of collected data to the user's mobile device or computer, where they can be displayed or analyzed using specialized applications. BLE also supports standard GATT services to simplify development and ensure compatibility with other devices. Interaction with sensors is configured via the I2C interface. The device is powered by a 2000 mAh lithium-ion battery that provides enough power to work throughout the day.

Keywords: Bluetooth LE, nRF52840 microcontroller, human productivity, physiological parameters, microclimate, health monitoring, heart rate frequency, blood oxygen, glucose level, body temperature, physical activity, air quality, energy efficiency.

### Вступ

У сучасному світі, де кожна хвилина має значення, оптимізація продуктивності людини набуває особливої актуальності. Дане дослідження спрямоване на проектування інноваційного пристрою, що дає змогу оцінити комбінований вплив фізіологічних параметрів і умов мікроклімату на ефективність діяльності людини. Значущість такого підходу полягає у комплексному аналізі взаємодії різноманітних факторів, що впливають на продуктивність, включаючи температуру тіла, рівень кисню в крові, якість повітря та інші. Розробка пристрою відкриває нові можливості для детального вивчення і покращення умов праці, сприяючи підвищенню загальної продуктивності. Метою даного дослідження є розробка та випробування пристрою для оцінки впливу фізіологічних параметрів та умов мікроклімату на продуктивність людини.

### Технології моніторингу фізіологічних параметрів та мікроклімату

Технології моніторингу показників людини та мікроклімату охоплюють розробку інтегрованої системи датчиків та алгоритмів для точного вимірювання та аналізу ключових фізіологічних та екологічних параметрів [1]. Система включає датчики для вимірювання серцевого ритму, температури тіла, рівня кисню в крові, CO<sub>2</sub>, температури та вологості повітря. Дані з датчиків агрегуються та аналізуються із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення, яке може ідентифікувати зв'язки між різними параметрами та впливом на продуктивність [2]. Втілення у життя таких технологій вимагає глибокого розуміння і практичного засвоєння як біомедичних, так і екологічних дисциплін, а також використання передових методів обробки даних.

### Структурна схема пристрою і вибір датчиків для моніторингу

У проєктованому пристрої застосовується набір датчиків, кожен з яких відповідає за певний тип даних. Датчики пульсу та рівня кисню і глюкози в крові, датчик температури тіла забезпечують моніторинг фізіологічних параметрів. Водночас, датчики якості повітря та вологості, разом з датчиком навколишньої температури, відстежують стан навколишнього середовища. Окремо вибираємо датчик фізичної активності, що реєструє наявність та інтенсивність рухів користувача. Блок бездротової комунікації забезпечує передачу зібраних даних до мобільного пристрою або комп'ютера користувача. Живлення системи забезпечується від батареї з достатньою ємністю для тривалої роботи пристрою. Світлодіодний індикатор стану може надавати миттєву візуальну інформацію про стан датчиків або рівень заряду батареї, що є корисним для швидкої оцінки поточної роботи пристрою.

Вибір комунікаційного протоколу для портативного пристрою моніторингу є ключовим аспектом його розробки. Розглянуто протоколи Bluetooth Low Energy (BLE), ANT+ та Zigbee. BLE вибрано за його низьке енергоспоживання і достатню швидкість передачі даних (до 2 Мбіт/с з Bluetooth 5.0), що робить його ідеальним для передачі фізіологічних параметрів та мікроклімату. Додатково, BLE підтримує стандартні сервіси GATT для спрощення розробки та забезпечення сумісності з іншими пристроями. Протокол ANT+ оптимізований для дуже низького енергоспоживання та мінімального радіусу дії, а Zigbee, окрім низького енергоспоживання, має широкі мережеві можливості в системах домашньої автоматизації. Проте, протокол BLE виявився найбільш відповідним для цілей проєкту через свої технічні характеристики та широкую підтримку сервісів [3]. При виборі платформи розробки для Bluetooth-інтерфейсу існують два основні варіанти: пара мікроконтролер та окремий радіомодуль або система на кристалі (SoC) з вбудованим радіомодулем. Застосування автономного радіомодуля є простішим у розробці та часто призводить до швидшого виходу на ринок завдяки сертифікованим рішенням. Однак, цей варіант може бути дорожчим і вимагає більше ресурсів. Системи на кристалі пропонують більшу гнучкість і зазвичай мають нижчу вартість і менші габарити, але вимагають досвідченого розробника прошивки для ефективного використання [4].

Вибір системи на кристалі (SoC) для розробки пристроїв з Bluetooth Low Energy (BLE) є критичним кроком, що вимагає аналізу багатьох факторів, серед яких підтримка останньої версії Bluetooth, енергоефективність, розмір оперативної та постійної пам'яті, а також наявність та зручність середовища розробки. Такий підхід дає змогу вибрати найбільш оптимальний SoC, що відповідає всім технічним вимогам проєкту, забезпечуючи надійну та ефективну роботу кінцевого пристрою. Серед розглянутих варіантів, наведених в табл. 1, SoC nRF52840 від Nordic Semiconductor є найкращим вибором через високу енергоефективність, потужну підтримку Bluetooth 5.0, великий обсяг пам'яті та гнучкість розробки завдяки підтримці Zephyr RTOS. Це робить його ідеальним для розробки пристроїв, що вимагають високої продуктивності та довгого часу автономної роботи.

Таблиця 1

#### Енергоефективність контролерів

SoC	nRF52840	CC2652	ESP32-C6	Одиниця виміру
Енергоефективність	25,2	14,5	7,7	СМ/мВат

Структура розробленого пристрою для моніторингу здоров'я та фізичної активності індивіда базується на використанні розробницької плати nRF52840-DK і наведена на рис. 1. Ця плата обрана через наявність усіх необхідних регуляторів живлення, вбудовану антену, програматор та зручні конектори для під'єднання різноманітних датчиків. Мікроконтролер nRF52840, який розміщено на платі, відповідає за збір, обробку та передачу даних від датчиків та за бездротову Bluetooth 5 комунікацію. У комплектацію пристрою входять датчики якості повітря ENS160, температури та вологості ENS210, оптичний датчик серцебиття та рівню оксидації крові MAX30102, трьохосовий акселерометр LIS2DW12 для відстеження фізичної активності, датчик температури тіла MAX30205, а також інтегрований сенсор глюкози для моніторингу рівня цукру в крові. Живлення пристрою забезпечується літій-іонним акумулятором ємністю 2000 мАг, що забезпечує достатньо енергії для денної роботи. Дані передаються на смартфон або комп'ютер користувача через Bluetooth, де вони можуть бути відображені або проаналізовані із застосуванням спеціалізованих додатків. Також плата містить кнопки та світлодіоди для налагодження взаємодії з користувачем.

Вибір датчиків для моніторингу фізіологічних параметрів, зокрема SpO2 і пульсу, є ключовим для розробки пристроїв охорони здоров'я. Неінвазивні методи, як фотоплетизмографія, вважаються оптимальними через їх безпеку та зручність. Метод рефлекторної фотоплетизмографії є більш переважним через менші вимоги до розміру та енергоспоживання. Серед проаналізованих датчиків, наведених в табл. 2, MAX30102 виділяється своєю високою точністю, ефективним придушенням зовнішнього світла та додатковими функціями, забезпечуючи надійне вимірювання пульсу і рівня кисню в крові.

Вибір методу вимірювання глюкози значно впливає на моніторинг здоров'я та продуктивності. Розглядаються інвазивні, неінвазивні, та частково інвазивні методи. Інвазивні методи, хоч і точні, викликають дискомфорт через необхідність забору крові. Неінвазивні методи зручні, але менш точні. Частково інвазивні системи безперервного моніторингу глюкози (CGM) забезпечують постійний моніторинг із високою точністю, що робить їх оптимальним вибором, незважаючи на високу вартість та обмежений термін служби датчика.

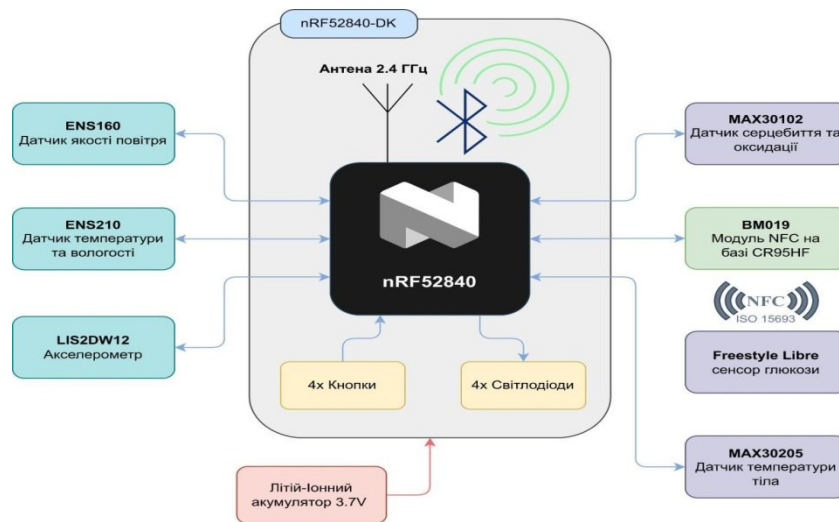


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Таблиця 2

Порівняння датчиків SpO2 і пульсу

Властивості	MAX30102	MAX30100	BH1790GLC
Статус	У масовому виробництві (заміна MAX30100)	Виробництво припинено	У масовому виробництві
Розрядність АЦП	18-біт	16-біт	16-біт
Придушення зовнішнього світла	Є	Відсутня	Відсутня
Додаткові можливості	Виявлення наближення, розширені регістри стану	Відсутні	Відсутні
Допоміжні функції для визначення вмісту кисню в крові	Містить ALC, сигма-дельта АЦП, фільтр дискретного часу	Відсутні	Відсутні
Розмір буфера замірів	32 заміри	16 замірів	2 заміри

На ринку існує безліч частково інвазивних систем безперервного моніторингу глюкози (CGM), серед яких FreeStyle Libre 1-3, Medtronic Guardian та інші. Вибір датчика часто залежить від можливості інтеграції з іншими пристроями. Зокрема, Medtronic Guardian працює лише в рамках замкнутих систем, а FreeStyle Libre 3, хоч і використовує Bluetooth Low Energy (BLE), обмежений пропріетарними сервісами. В той час як FreeStyle Libre 1-2 використовує NFC для комунікації, FreeStyle Libre 1 набув ширшої підтримки спільноти, що привело до його вибору для детальнішого дослідження та інтеграції.

Вибір датчика температури тіла є важливим, оскільки температура значно впливає на концентрацію, ясність мислення і виконання фізичних завдань. Серед інших датчиків MAX30205 вирізняється своєю високою точністю, кращою роздільною здатністю, швидким часом відгуку та найнижчим енергоспоживанням, роблячи його найпридатнішим вибором для пристроїв моніторингу здоров'я. Його переваги забезпечують надійний моніторинг температури, що є життєво важливим для оцінки стану здоров'я та продуктивності, незважаючи на його вищу вартість порівняно з іншими моделями.

Вибір датчика для моніторингу фізичної активності зосереджується на акселерометрі як оптимальному інструменті для вимірювання рухів. Акселерометр виявляється ідеальним для цієї задачі, завдяки своїй здатності фіксувати прискорення в трьох вимірах (X, Y, Z), що дозволяє точно визначити наявність та інтенсивність фізичної активності. Для повсякденного моніторингу рекомендується розміщення акселерометра на зап'ясті або верхній частині руки, що забезпечує оптимальну точність вимірювань. Порівняння декількох моделей акселерометрів, зокрема LIS2DW12, ADXL362, та BMA280, показує переваги LIS2DW12 через його високу чутливість, широкий діапазон вимірювань та низький рівень шуму в режимі високої продуктивності. Особливості LIS2DW12, такі як вбудований буфер FIFO та спеціалізований двигун для обробки рухів, роблять його найкращим вибором для вимірювання фізичної активності, забезпечуючи точність та надійність вимірювань при ефективному споживанні енергії [5].

Вибір датчиків для моніторингу мікроклімату та якості навколишнього середовища зосереджений на двох основних параметрах: TVOC (леткі органічні сполуки) та CO2. Важливість контролю якості повітря для продуктивності праці підкреслюється з урахуванням його впливу на здоров'я та ефективність людей у

робочому середовищі. Для вимірювання цих показників розглядаються продукти двох провідних компаній: Bosch (датчик BME680) та Sciosense (датчик ENS160), кожен з яких має свої унікальні характеристики та можливості. Датчик BME680 від Bosch включає функції вимірювання тиску, температури, вологості, а також якості повітря через рівень VOC. Цей датчик вирізняється відсутністю необхідності прогріву перед використанням і здатністю оцінювати індекс якості повітря (AQI) за стандартами Bosch Sensortec Environmental Cluster (BSEC). Датчик ENS160 від Sciosense, з іншого боку, здатен вимірювати як TVOC, так і CO<sub>2</sub>, і оцінювати індекс якості повітря за рекомендаціями Федерального агентства з охорони навколишнього середовища Німеччини (UBA). Цей датчик має високу точність вимірювань і потребує прогріву при першому використанні [6]. Обидва датчики мають свої переваги і недоліки, але враховуючи потреби проектного портативного пристрою, рекомендується вибрати датчик ENS160, який краще відповідає специфікаціям проекту, з огляду на точність, енергоспоживання та здатність до автокорекції.

Вологість і температура навколишнього середовища мають значний вплив на здоров'я та комфорт людини, оскільки екстремальні умови вологості та температури можуть негативно впливати на здоров'я. Розглянемо три датчики: AM2301 з точністю вимірювання температури  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  і вологості  $\pm 2\%$ , АНТ25 з точністю  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  та  $\pm 1\%$  відповідно, та ENS210, який має найвищу точність вимірювань температури  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$  і вологості  $\pm 0,5\%$ . В табл. 3 подано детальне порівняння цих датчиків за різними параметрами, включаючи час відгуку та енергоспоживання. В результаті порівняння, ENS210 визначено як найкращий датчик для моніторингу здоров'я людини, завдяки його високій точності, швидкості відгуку та низькому енергоспоживанню [7].

Таблиця 3

Порівняння датчиків температури та вологості середовища

Параметр	AM2301	АНТ25	ENS210
Точність вимірювання температури	$\pm 0,3^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,15^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$
Точність вимірювання вологості	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0,5\%$
Час відгуку	1 с	0.5 с	0.1 с
Енергоспоживання	3.3 мА	1.7 мА	1.1 мА

#### Методика вимірювань, програмне забезпечення та прототип пристрою

Опишемо методику для вимірювання пульсу та рівня насичення крові киснем із застосуванням датчика МАХ30102. Основною метою вимірювань є оцінка функціонального стану людини, що має велике значення для сфери охорони здоров'я та фітнесу. У методиці рефлекторної пульсоксиметрії світлодіоди використовуються для освітлення шкіри, а відбитий сигнал реєструється фотодіодом. Для визначення рівня насичення крові киснем (SpO<sub>2</sub>) використовують два основних види гемоглобіну: оксигенований та деоксигенований. Сигнали фотоплетизмографії (ФПГ) складаються з постійної (DC) та змінної (AC) складових. Для точного вимірювання SpO<sub>2</sub> застосовуються два світлодіоди різних хвильових довжин, що дозволяє отримати надійний результат [8]. Важливо визначити оптимальний струм світлодіоду для отримання достовірного сигналу частоти серцевих скорочень (ЧСС). Синхронізація червоного та інфрачервоного світлодіодів, а також врахування їхніх різних амплітуд, є важливими етапами процесу вимірювання. Ця методика надає корисні відомості для аналізу пульсу та рівня насичення крові киснем у медичній та фітнес індустріях, сприяючи покращенню якості діагностики та моніторингу фізичного стану людини.

Розглянемо методику отримання та обробки даних про температуру тіла з використанням датчика МАХ30205. Для досягнення цілей нашого дослідження, точне вимірювання температури тіла є критично важливим. МАХ30205 є високоточним датчиком температури, що відповідає стандарту клінічної термометрії ASTM E1112. Він забезпечує вимірювання температури тіла людини із застосуванням 16-бітного сигма-дельта аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та спілкується з головним SoC через I<sup>2</sup>C інтерфейс. Датчик має кілька режимів роботи, включаючи режим безперервного виміру температури, режим одного виміру та режим вимкнення. Режим вимкнення особливо корисний для пристроїв, які працюють від батареї, оскільки знижує середнє енергоспоживання. Алгоритм роботи датчика включає ініціалізацію шини I<sup>2</sup>C, конфігурацію датчика в режим вимкнення, запуск одного виміру температури, отримання даних про температуру та їхню обробку. Для перетворення значень регістру в температуру застосовується спеціальна формула:

$$\text{real\_temp\_val} = (\text{float})(\text{raw\_temp\_val}) * 0.00390625,$$

де

$$\text{raw\_temp\_val} = (\text{raw\_temp\_val} \ll 8) | (\text{raw\_temp\_val} \gg 8) .$$

Тут спочатку відбувається зміна порядку байт, оскільки основний SoC має зворотний порядок байт і молодший має йти першим, а далі значення множиться на найменше можливе значення біту D0.

Тепер розглянемо методику отримання значень температури та відносної вологості навколишнього середовища із застосуванням датчика ENS210. Для цього датчика описані різні стани живлення, включаючи режим очікування та режим постійного вимірювання. ENS210 має два блоки датчиків: температури та відносної вологості. Пристрій зазвичай перебуває у стані очікування, але може бути переведений у режим активного вимірювання за командою від основного SoC через інтерфейс I<sup>2</sup>C. Для керування датчиком використовують регістри SENS\_RUN та SENS\_START. Режими роботи датчика може бути налаштований на одиночне або постійне вимірювання. У режимі одиночного вимірювання результати зчитуються після запуску вимірювання за командою від основного SoC. У режимі постійного вимірювання датчик автоматично здійснює вимірювання після завершення попереднього циклу. Для отримання значень температури та вологості необхідно запустити вимірювання, очікувати завершення вимірювання та зчитати значення з відповідних регістрів. У разі некоректного зчитування, можливе повторне виконання вимірювання. Регістри зчитування даних (T\_VAL і H\_VAL) містять виміряні дані, прапор дійсності та контрольну суму. Після завершення вимірювання прапор дійсності встановлюється, а результати можна зчитати з регістрів. Контрольну суму використовують для перевірки цілісності даних.

Цифровий мультигазовий датчик ENS160 застосовується для визначення якості повітря, зокрема для вимірювання концентрацій еквівалентного CO<sub>2</sub>, летких органічних сполук (TVOC) та індексу якості повітря (AQI). Він має чотири чутливі елементи на основі технології оксиду металу (MOX) і забезпечує незалежний контроль гарячої пластини для виявлення широкого спектру VOCs. Датчик підтримує інтелектуальні алгоритми для обробки вимірювань, виконує компенсацію вологості та температури, а також має цифровий інтерфейс для зв'язку з головним процесором. Після першого запуску датчик потребує початкового прогріву, але може надати придатні для використання показники вже через годину після увімкнення. Після періодів бездіяльності або випадків збою живлення, потрібна коротка фаза прогріву, що зазвичай триває близько 3-х хвилин. Діаграма станів ENS160 включає режими очікування, глибокого сну і робочий режим. Робочий режим застосовується для вимірювання якості повітря або виявлення конкретного газу. Для отримання даних про якість повітря, використовують регістри, які містять індекс якості повітря, концентрацію TVOC та еквівалентну концентрацію CO<sub>2</sub>. Компенсація температури та вологості виконується для зменшення впливу цих факторів на вихідний сигнал.

Цифровий акселерометр LIS2DW12 застосовується для визначення фізичної активності, що впливає на продуктивність. Він може працювати на різних діапазонах прискорення та з різною частотою виміру даних. Доступ до датчика можна отримати через інтерфейси I<sup>2</sup>C або SPI, причому I<sup>2</sup>C є оптимальним вибором з точки зору ефективності. Датчик має дві адреси для спілкування з декількома пристроями на одній лінії I<sup>2</sup>C. Розпізнавання активності здійснюється за допомогою внутрішнього механізму датчика. Він має два основних параметри: поріг спрацювання та мінімальна тривалість. Датчик може також автоматично переходити в режим низького енергоспоживання у стані спокою, що дозволяє зберігати енергію. Налаштування датчика для розпізнавання активності включає налаштування взаємодії з ним через інтерфейс I<sup>2</sup>C, встановлення виводу переривання INT1, налаштування механізму розпізнавання активності шляхом встановлення порогу спрацювання та мінімальної тривалості, а також налаштування механізму вимірювання прискорень. Загальний алгоритм налаштування датчика включає: встановлення необхідних параметрів через відповідні регістри, очікування оновлення даних та активацію переривань для розпізнавання активності.

Для забезпечення вимірювання рівня глюкози у пристрої застосовується модуль на базі CR95HF від STMicroelectronics, що дозволяє здійснювати комунікацію з датчиком глюкози через радіочастотну ідентифікацію (RFID), згідно стандарту ISO/IEC 15693. Мікросхема CR95HF підтримує низку протоколів зв'язку, включаючи ISO/IEC 14443 типів A і B, а також ISO/IEC 18092, використовуючи інтерфейси SPI або UART для передачі даних. Ця мікросхема оснащена аналоговим фронтендом, що дозволяє комунікацію на частоті 13.56 МГц [9]. Для активації трансивера CR95HF необхідно вибрати інтерфейс комунікації та подати імпульс пробудження. Вибір між SPI та UART визначається рівнем напруги на виводі SS\_0, а імпульс пробудження надсилається на пін IRQ\_IN. Наступний етап включає налаштування протоколу комунікації ISO/IEC 15693, що вимагає відправлення специфічної команди Protocol Select, яка задає параметри зв'язку з датчиком. Після налаштування протоколу можливе зчитування даних з датчика глюкози, що реалізується через команди Send Receive та Inventory для ідентифікації датчика та отримання його унікального ідентифікатора (UID). Останнім кроком є зчитування блоків пам'яті датчика із застосуванням команди Read Single Block, яка дає змогу отримати значення глюкози. Дані, зібрані з датчика, включають як актуальні показники за останні 15 хвилин, так і історичні дані за останні 8 годин, що дає змогу моніторити зміни рівня глюкози у крові.

Останнє що слід розглянути – налаштування комунікації через Bluetooth Low Energy (BLE) для моніторингу продуктивності. З появою Bluetooth 4.0, акцент зроблено на мінімізацію споживання енергії, що ідеально підходить для портативних пристроїв. Структура протоколу BLE включає кілька рівнів: контролер, хост і прикладний рівень, де кожен виконує специфічні функції для ефективної передачі даних. Описано деталі налаштування ролі та топології підключення пристрою, включаючи важливі аспекти адвертайзингу і з'єднання. Зазначено, що периферійні пристрої виступають як сервери, надаючи дані центральним пристроям, які функціонують як клієнти. Також описано налаштування адвертайзинг пакетів, що включає інтервали адвертайзингу та дані, що передаються. Організація та налаштування передачі даних охоплює використання протоколу атрибутів (ATT) та загального профілю атрибутів (GATT),

зосереджуючись на сервісах та характеристиках для ефективного обміну даними між пристроями. Ця структура дозволяє ефективно налаштовувати передачу даних і підтримувати високу енергоефективність при роботі з різними типами даних, від здоров'я користувача до параметрів навколишнього середовища [10].

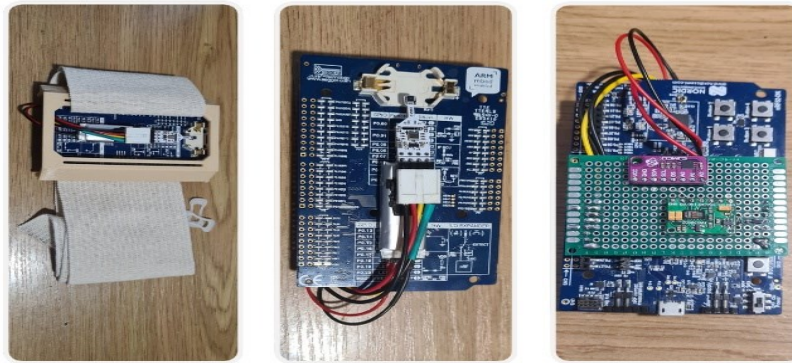


Рис. 2. Прототип пристрою

### Експериментальне дослідження

Експериментальне дослідження включало проведення триденного експерименту зі створеним прототипом пристрою (рис. 2) для оцінки функціональності та точності розробленого пристрою. Мета експерименту: збір даних про фізіологічні та мікрокліматичні параметри для оцінки зручності користування та надійності пристрою в реальних умовах. Здійснено моніторинг фізіологічних параметрів, серед яких частота серцебиття, рівень кисню і глюкози в крові, температура тіла, а також параметри мікроклімату, включаючи температуру та вологість повітря, рівень CO<sub>2</sub> та TVOC. Оцінка зібраних даних підтвердила точність та ефективність пристрою.

### Висновки

Спроековано і реалізовано носійний пристрій для моніторингу факторів, що впливають на продуктивність людини. Вибрані для відстеження фактори включають частоту серцебиття, рівень кисню і глюкози в крові, температуру тіла, інтенсивність фізичної активності, а також параметри навколишнього середовища. Розробка пристрою ґрунтується на застосуванні передових компонентів та технологій, зокрема мікроконтролера nRF52840 та низки датчиків для збору необхідних даних. Особлива увага приділяється енергоефективності та інтеграції з мобільними пристроями через Bluetooth LE, що робить пристрій зручним у використанні та актуальним для сучасних користувачів. Перші результати застосування прототипу пристрою і запропонованих методик вимірювання в короткостроковому експерименті вказують на його високу ефективність і потенціал для подальшого вдосконалення та широкого застосування в сфері моніторингу здоров'я та продуктивності людини.

### References

1. Benton D., Parker P.Y., Donohoe R.T. The supply of glucose to the brain and cognitive functioning. *J. Biosoc. Sci.* 1996. Vol. 28, № 4. P. 463–479.
2. Owens D.S., Benton D. The Impact of Raising Blood Glucose on Reaction Times. *Neuropsychobiology.* 1994. Vol. 30, № 2–3. P. 106–113.
3. FCC Rules for Unlicensed Wireless Equipment operating in the ISM bands. URL: <https://afar.net/tutorials/fcc-rules/> (accessed: 15.01.2024).
4. Dawid Kliszowski, Artyom Vlasov. Bluetooth Classic vs. Bluetooth Low Energy on Android - Hints & Implementation Steps. *Droids On Roids.* 2020. URL: <https://www.thedroidsonroids.com/blog/bluetooth-classic-vs-bluetooth-low-energy-ble> (accessed: 15.01.2024).
5. LIS2DW12 - 3-axis MEMS accelerometer, ultra low power, configurable single/double-tap recognition, free-fall, wakeup, portrait/landscape, 6D/4D orientation detections - STMicroelectronics. URL: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lis2dw12.html> (accessed: 25.12.2023).
6. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/en/data/air/air-data/air-quality> (accessed: 20.01.2024).
7. MAX30205 Datasheet and Product Info | Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/en/products/max30205.html> (accessed: 18.01.2024).
8. Rusch T.L., Sankar R., Scharf J.E. Signal processing methods for pulse oximetry. *Comput. Biol. Med.* 1996. Vol. 26, № 2. P. 143–159.
9. LIS2DW12 - 3-axis MEMS accelerometer, ultra low power, configurable single/double-tap recognition, free-fall, wakeup, portrait/landscape, 6D/4D orientation detections - STMicroelectronics. URL: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lis2dw12.html> (accessed: 25.12.2023).
10. Online UUID Generator Tool. URL: <https://www.uuidgenerator.net/version4> (accessed: 20.01.2024).