https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-71
УДК 621.396: 551.508

ЧИГІНЬ ВАСИЛЬ
Національний університет "Львівська політехніка"
https://orcid.org/0000 -0003-1593-6832
e-mail: vchygin@gmail.com
ПАЗИНЮК МИХАЙЛО
Національний університет "Львівська політехніка"
https://orcid.org/0009-0009-1038-4611
e-mail: pazyniuk.m@gmail.com
ЧАЙКОВСЬКА ГАЛИНА-ГАННА
ДУ "Інститут спадкової патології НАМН України"
https://orcid.org/0000 -0003-1593-6832
e-mail: chashalyna@gmail.com

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ОРГАНІЗМУ

Опрацювали відомі методи вимірювання та аналізу звукових та інших сигналів органів людини у широкому часовому вимірі, починаючи з середини 20-го століття. Показали, що навіть сучасний дороговартісний цифровий стетоскоп типу Littmann CORE Digital має ряд недоліків - не дозволяє автоматично аналізувати параметри сигналів і передавати отримані дані на зовнішній пристрій. Створили і випробували експериментальну систему, яка дозволяє неперервно і тривалий час автоматично вимірювати часові і частотні характеристики звукових сигналів організму і передавати дані їх аналізу на зовнішній пристрій. Сигнали від органів людини попадають на мікрофони, заховані у звукоізольовані натільні капсули. Використали конденсаторні мікрофони в комплекті з посилювачем типу MAX-9814, а також типу Clippy-XLR-EM272Z1 і посилювач зовнішньої звукової карти типу Scarlett Solo. Посилені сигнали попадають на вхід до мікроконтролера типу Raspberry Pi Pico або аналогово-цифрового перетворювача карти Scarlett Solo. Після оцифрування сигнали попадають через USB-порт на вхід до мінікомп'ютерів типу Raspberry Pi Zero або Raspberry Pi 3. Написали програмне забезпечення типу ChyPaCha з використанням мов MicroPython, C++ і Python. Програма для аналізу даних на Raspberry Pi 3 містить виклик алгоритму швидкого перетворення Фур'є. Ефективність роботи систем перевірили за допомогою складених програмних засобів, які забезпечили неперервне опрацювання звукових сигналів серця в залежності від стану навантаження на тіло людини у реальному часі і дистанційне передавання результатів аналізу. Показали, що використання комплексу Clippy-XLR-EM272Z1 і Scarlett Solo дозволило суттєво зменшити вплив власних шумів системи (посилювач-АЦП) у порівнянні із такими ж шумами системи MAX-9814 - Raspberry Pi Pico і підвищити точність вимірювання інтенсивності звуку серця.

Ключові слова: *звукові сигнали організму, дистанційна діагностика, стан органів людини, мікроконтролер, конденсаторний мікрофон, звукова карта*

CHYHIN VASYL
National University "Lviv Polytechnic"
PAZYNIUK MYKHAILO
National University "Lviv Polytechnic"
CHAYKOVSKA HALYNA-HANNA
SI "Institute of Hereditary Pathology of NAS of Ukraine"

SYSTEM OF AUTOMATED MONITORING OF ORGANISM SOUND SIGNALS

Well-known methods of measuring and analyzing sound and other signals of human organs in a wide time dimension have been reviewed, starting from the ones dated 20th century. It has been shown that even a modern expensive digital stethoscope of the Littmann CORE Digital type has a number of shortcomings - it does not allow to automatically analyze the parameters of the signals and transmit the obtained data to an external device. An experimental system that allows to continuously and for a long time automatically measure the time and frequency characteristics of the sound signals of the body and transmit the data of their analysis to an external device has been created and tested. Signals from human organs are received by microphones hidden in soundproof body capsules. Condenser microphones along with an amplifier of the MAX-9814 type, as well as the Clippy-XLR-EM272Z1 and an amplifier with an external sound card Scarlett Solo have been tested. The amplified signals are fed to the input of a Raspberry Pi Pico microcontroller or an analog-to-digital converter of the Scarlett Solo card. After digitization, the signals are input to minicomputers such as Raspberry Pi Zero or Raspberry Pi 3 via the USB port. Software named ChyPaCha was written using MicroPython, C++, and Python. The program for data analysis on Raspberry Pi 3 contains a call to the fast Fourier transform algorithm. The efficiency of the systems has been tested using compiled software tools that provided continuous processing of heart sound signals depending on the state of the load on the human body in real time and transmission of analysis results. It has been shown that the use of the Clippy-XLR-EM272Z1 and Scarlett Solo complex significantly reduced the impact of the system's own noise (amplifier-ADC) compared to the same noise of the MAX-9814 - Raspberry Pi Pico system and increased the accuracy of measuring the intensity of heart sounds.

Keywords*: body sound signals, remote diagnostics, human organ condition, microcontroller, condenser microphone, sound card*

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025
Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми

У сфері моніторингу параметрів стану людини одними з рішень є стетоскопи та фонокардіографи, проте їхнє застосування досі було обмеженим у швидкій передачі інформації для

аналізу показників у режимі реального часу. Ці технології можна вдосконалити шляхом створення систем одночасного вимірювання, передачі та аналізу звукових сигналів тіла людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методи та способи вимірювання та аналізу звукових та інших сигналів органів людини, зокрема, стетоскопія (фонендоскопія), електрокардіографія і т.п. є відомими і використовувалися здавна, починаючи з середини 19-го століття [1-3]. Широкого застосування отримала цифрова стетоскопія при розвитку сучасної комп'ютерної науки і техніки, особливо, мінікомп'ютерної і високошвидкісної, в 21-му столітті. У роботі [4] розглядаються цифрові стетоскопи, їхнє описання, можливості, програмне забезпечення, порівняння з традиційними стетоскопами, цінність для лікаря, проаналізовані недоліки.

Відомий метод вимірювання акустичних сигналів [5], при якому акустичні сигнали реєструють графічно за допомогою фонокардіографа. Проте він має кілька недоліків - акустичні сигнали реєструють тільки графічно, їх не перетворюють з аналогової у цифрову форму, не обчислюють параметри спектру виміряних сигналів. Відома сучасна система для вимірювання акустичних сигналів [6], у якій електричні коливання мікрофона підсилюють і перетворюють з аналогової у цифрову форму. Але тут мікрофон з підсилювачем поміщають в головку стетоскопа, який ручним способом прикладають до поверхні тіла, що не дозволяє вимірювати акустичні сигнали неперервно і тривалий час. Ця система обмежується записуванням і візуалізацією форми сигналів за допомогою смартфона, а часові і спектральні залежності акустичних сигналів не аналізують за допомогою комп'ютера із відповідним програмним забезпеченням. Все це не дозволяє отримати параметри часових і частотних залежностей виміряних акустичних сигналів і порівняти з відповідними параметрами еталонних акустичних сигналів та підвищити точність вимірювання сигналів, не дозволяє автоматично розпізнати тип джерела акустичних сигналів. При цьому, отримані дані за методом [6] передають на близько розміщений мобільний реєструючий смартфон за допомогою технології бездротового зв'язку Bluetooth, що не дозволяє неперервно і тривало передавати отримані дані на віддалений пристрій споживача. Таким чином, дороговартісний цифровий стетоскоп типу Littmann CORE Digital [6] потребує суттєвого доопрацювання з використанням швидкісної сучасної мінікомп'ютерної техніки, зокрема, для вирішення актуальної наукової задачі створення методів та засобів оцінювання стану людини в медичних кіберфізичних системах [7].

При огляді існуючих систем збирання даних, бездротового передавання та аналізу біотелеметрії основними критеріями для порівняння обрано швидкодію процесора при невеликих габаритах мінікомп'ютера, який відповідає за аналіз даних, а також чутливість, малошумність і здатність звукових карт та мікрофонів записувати необхідний частотний діапазон. Одним із розглянутих варіантів є одноплатний мінікомп'ютер BeagleBone Black [8], який має потужний процесор і спеціалізовані програмовані модулі (PRU), що дозволяють аналізувати аудіосигнали в реальному часі з мінімальною затримкою. Завдяки вбудованим інтерфейсам вводу-виводу, ця платформа дозволяє під'єднувати мікрофони та аналізувати їхні сигнали безпосередньо на пристрої без застосування додаткових перехідників чи аналогово-цифрових перетворювачів. Цей одноплатний комп'ютер використовує процесор Texas Instruments Sitara AM3358, побудований на архітектурі ARM Cortex-A8 з тактовою частотою 1 ГГц. Мінікомп'ютер BeagleBone Black також оснащений 512 МБ оперативної пам'яті типу DDR3L, що обмежує його продуктивність при багатозадачності. Для зберігання даних пристрій має 4 ГБ вбудованої флеш-пам'яті eMMC та підтримує розширення через microSD-карту. Враховуючи недостатню результуючу обчислювальну здатність цього одноплатного комп'ютера, застосування BeagleBone Black у нашій системі не виявилось доцільним. Одноплатний мінікомп'ютер Raspberry Pi 3 [9], на відміну від BeagleBone Black, використовує потужніший процесор Broadcom BCM2837 з чотирма ядрами Cortex-A53, що працюють на частоті 1,2 ГГц. Це дає йому значну перевагу у розрізі продуктивності при роботі з операційними системами на базі Linux. Об'єм оперативної пам'яті складає 1 ГБ, що дозволяє пускати більш ресурсомісткі застосунки та виконувати багатозадачну роботу з кращою ефективністю. На відміну від мінікомп'ютера BeagleBone Black, Raspberry Pi 3 не має вбудованої флеш-пам'яті, а вся операційна система працює з використанням microSD-карти. Одноплатний мінікомп'ютер Banana Pi M2 [10] та його наступні версії пропонують хорошу продуктивність при низькому енергоспоживанні, що робить їх придатними для довготривалого збору та аналізу звукових даних у мобільних системах біотелеметрії. Використовуючи вбудовані аудіоінтерфейси або підключені через USB звукові карти, ці пристрої можуть виконувати обчислення спектральних характеристик звуку та фільтрацію шуму. Мініомп'ютер Banana Pi M2 використовує процесор Allwinner A31S, побудований на архітектурі чотириядерного ARM Cortex-A7, що працює на частоті 1 ГГц. Його продуктивність поступається Raspberry Pi 3 через старіший тип ядра, хоча багатоядерна архітектура дозволяє ефективно розподіляти навантаження між процесами. Пристрій оснащений 1 ГБ оперативної пам'яті типу DDR3, що робить його придатним для роботи з легкими операційними системами на базі Linux або Android. Проте його обчислювальної потужності є недостатньо для аналізу необхідного об'єму даних у реальному часі. На відміну від одноплатного мінікомп'ютера Raspberry Pi 3, мінікомп'ютер Banana Pi M2 має вбудовану 8 ГБ eMMC-пам'ять, що дозволяє завантажувати систему без використання microSD-карти. Проте мінікомп'ютер Raspberry Pi 3

зрештою виграє завдяки сучаснішій архітектурі процесора, що забезпечує кращу продуктивність при роботі з сучасними операційними системами та програмами. Вбудовані бездротові модулі значно спрощують інтеграцію в IoT-системи та віддалений моніторинг. Його обмеженнями є відсутність eMMC-пам'яті та підтримки інтерфейсу SATA, що не є критичним фактором у розрізі роботи з даними у режимі реального часу. Мікроконтролер Raspberry Pi Pico [11], на відміну від своїх більш потужних аналогів, працює на основі мікроконтролерної архітектури, що робить його корисним для задач аналізу звуку на низькому рівні. Завдяки підтримці мов програмування C та MicroPython, він може використовувати ефективні алгоритми швидкого перетворення Фур'є без потреби в операційній системі, що значно зменшує затримки під час аналізу сигналу.

При дослідженні відомих мікрофонних комплексів звернули увагу на мікрофон Clippy XLR-EM272Z1 [12] і звукову карту типу Scarlett Solo [13], При порівнянні їх параметрів із найближчими за характеристиками аналогами, виявили, що мікрофон Clippy XLR-EM272Z1 є високочутливим вловлювачем звуку із модулем Primo EM272, який має наднизький рівень власного шуму (14 дБ SPL-A). Це робить його придатним для запису слабких звуків організмів та біотелеметрії. Він оснащений XLR-контактом, що забезпечує надійне з'єднання та можливість живлення фантомною напругою 48 В. Мікрофон типу LOM mikroUši [14] створений спеціально для польових записувань звуків та наукових досліджень природи із можливістю передавання середніх і високих частот. Він також використовує якісні електретні модулі, однак його вихідний сигнал має меншу потужність через відсутність XLR-з'єднання та фантомного живлення, що може вимагати використання додаткового підсилювача або зовнішнього аудіоінтерфейсу з передпідсилювачем. Наступним аналогом можна вважати мікрофон Sound Sleuthers [15]. Він є більш бюджетною альтернативою, але має вищий рівень власного шуму порівняно з мікрофонами серії EM272. Це може стати проблемою при записуванні дуже слабких звуків, зокрема, біотелеметричних сигналів. Мікрофон Sound Sleuthers (PUI 5024) є більш доступним варіантом, але через вищий рівень шуму та нижчу чутливість він потребує додаткового підсилення або програмного аналізу для компенсації шуму. Головною перевагою мікрофона Clippy XLR-EM272Z1 є значно нижчий рівень власного шуму, що робить його оптимальним для застосування в області біотелеметрії.

Серед оглянутих звукових карт, до основних елементів яких належать підсилювачі звукових сигналів і аналогово-цифрові перетворювачі, найменші габарити і високоякісні параметри має карта Scarlett Solo. Вона працює з розрядністю 24 біт і підтримує частоти дискретизації до 192 кГц, а також має один інтерфейс XLR з підтримкою фантомного живлення 48 В і додатковий інтерфейс 1/4" Jack. Найближчою за характеристиками є звукова карта Audient iD4 [16]. Вона має вищу якість передпідсилювачів завдяки студійній схемі Audient, яка забезпечує чистий і деталізований звук із низьким рівнем шуму. Звукова карта Audient iD4 підтримує записування звуків у форматі 24-біт/96 кГц, що є нижчим, ніж максимальні характеристики звукової карти Scarlett Solo. Звукова карта Behringer UMC22 [17] є доступною альтернативою, яка має один мікрофонний XLR-вхід і один комбінований вхід типу 1/4" Jack. Як і карта Scarlett Solo, звукова карта Behringer UMC22 підтримує фантомне живлення 48 В, що робить її сумісною із конденсаторними мікрофонами.

В результаті огляду відомої електронної техніки зробили висновок, що для задач збирання та аналізу біотелеметричних даних найбільш доцільно застосовувати одноплатні мінікомп'ютери типу Raspberry Pi 3 і Raspberry Pi Pico у поєднанні зі звуковою картою Scarlett Solo та мікрофоном типу Clippy XLR EM272Z1.

Постановка задачі

Метою дослідження є вивчення існуючих рішень у сфері моніторингу показників стану людини, зокрема, фонокардіографів та стетоскопів, та створення експериментальних систем, які дозволяють вимірювати звукові сигнали органів людини на прикладі звуків серця.

Виклад основного матеріалу

1. Експериментальна частина

Методика досліджень. З метою практичного дослідження часових та частотних характеристик акустичних сигналів тіла людини створили 2 системи. Перша система містить зовнішній конденсаторний мікрофон MAX9814, мікроконтролер Raspberry Pi Pico у ролі аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) та Raspberry Pi 3, який обробляє кінцеві дані. Друга система містить звукову карту Scarlett Solo із вбудованим АЦП, мікрофон Clippy XLR-EM272Z1, підсилювач та Raspberry Pi 3.

Експериментальна схема і макет. На схемі з'єднання (рис.1) показано під'єднання мікрофона MAX9814 до мікроконтролера Raspberry Pi Pico за допомогою трьох кабелів типу AVG18. Для комутації застосували 3 піни мікроконтролера Pico (32, 38, 39) та 4 піни MAX9814 (GND, VCC, Gain, OUT). Пін VCC мікрофона під'єднали до піна 3.3V Raspberry Pi Pico, пін GND мікрофона приєднується до відповідного піна GND мікроконтролера Pico, а вихідний сигнал OUT мікрофона під'єднали до аналогового входу ADC0 Raspberry Pi Pico. Контакт GAIN може бути під'єднано до одного з пінів GND або VCC, залежно від бажаного коефіцієнта підсилення (40dB, 50dB або 60dB), а контакт AR за замовчуванням можна залишити непід'єднаним. Для увімкнення функції підсилювача на мікрофоні піни VCC та Gain з'єднали між собою. Така схема з'єднань дозволяє мікроконтролеру зчитувати аналогові значення звуку через вбудований АЦП і виконувати цифрову обробку сигналу.

Мікроконтролер Raspberry Pi Pico під'єднали до мінікомп'ютера Raspberry Pi 3 через один із його USB-портів, після чого мікроконтролер розпізнається як серійний пристрій (наприклад, у файловій системі побачимо його за шляхом /dev/ttyACM0 або /dev/ttyUSB0). На Raspberry Pi 3 застосовується програмний код мовою C++ із залученням допоміжних бібліотек для отримання даних від мікрофона, які передаються з Pico у цифровому вигляді, використовуючи інтерфейс USB. Мікроконтролер Raspberry Pi Pico у цьому випадку працює як пристрій збору даних, оцифровуючи аналоговий аудіосигнал із мікрофона MAX9814 через вбудований АЦП та передаючи його у вигляді числових значень, які можуть бути опрацьовані на Raspberry Pi 3.

Таке з'єднання Raspberry Pi Pico, Raspberry Pi 3 та мікрофону MAX9814 дозволяє ефективно розподілити обчислювальні завдання між пристроями, що покращує загальну продуктивність системи. Мікроконтролер Raspberry Pi Pico виконує роль автономного аналого-цифрового перетворювача, що зменшує навантаження на мінікомп'ютер Raspberry Pi 3 та дозволяє йому зосередитися на складнішому аналізі даних. Передача цифрових даних через інтерфейс типу USB усуває шум і втрати, які можуть виникнути при передачі аналогового сигналу безпосередньо до мінікомп'ютера Raspberry Pi 3, що робить систему більш надійною. Використання USB-з'єднання дозволяє легко інтегрувати систему у різні програмні середовища, наприклад, для збору даних у реальному часі або для машинного навчання. Такий підхід також забезпечує модульність, оскільки мікрофон та мікроконтролер можуть бути замінені або оновлені без необхідності значних змін у програмному забезпеченні.

2. Програмне забезпечення

Для забезпечення роботи системи із зовнішнім конденсаторним мікрофоном MAX9814 застосували програмне забезпечення мовою C++, створене для обміну даними між усіма складовими системи. Додатково створили програмне забезпечення мовою Python для збору даних із системи, у складі якої є мікрофон Clippy-XLR-EM272Z1 і посилювач звукової карти Scarlett Solo. Склали алгоритми роботи цих системи типу ChyPaCha, які демонструють послідовність виконання інструкцій кожною з програм (рис. 1).

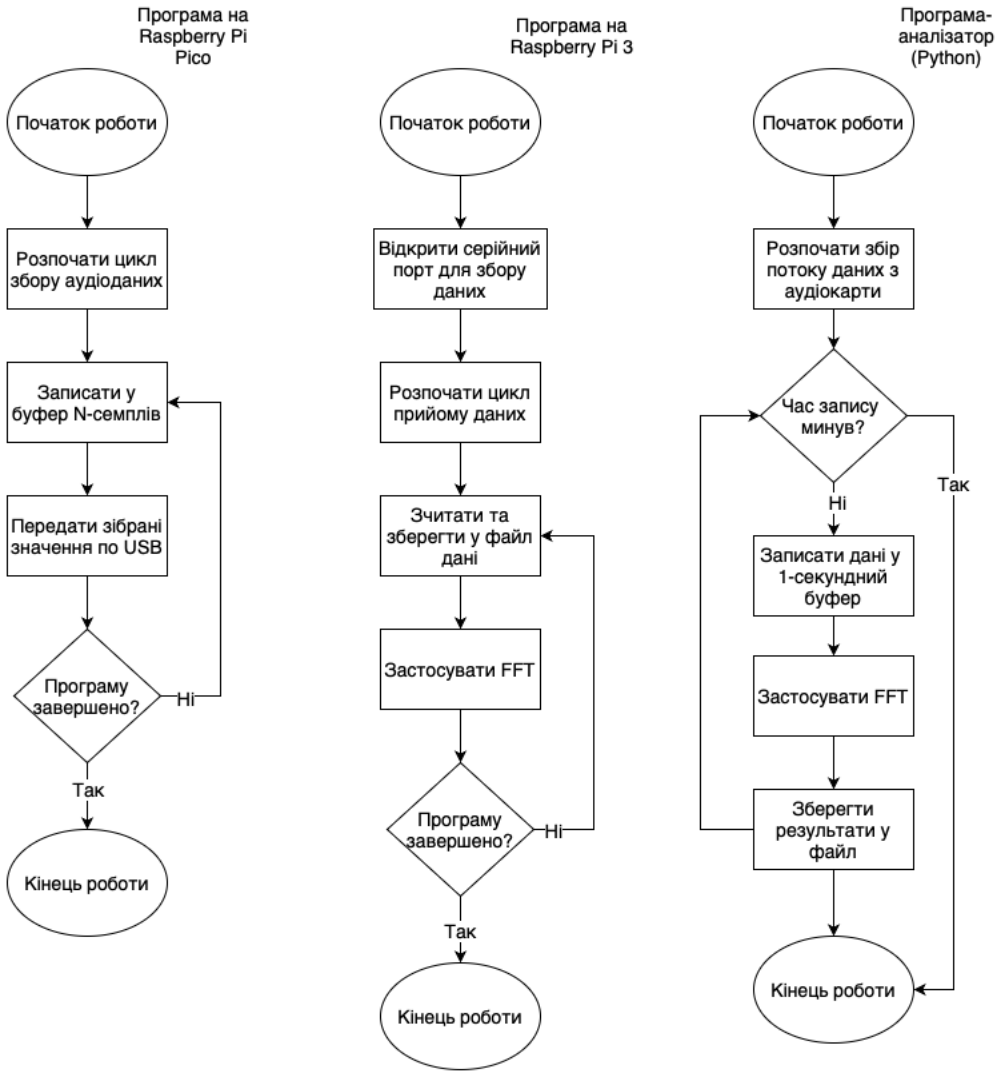

Рис. 1. Блок-схеми роботи програм, застосованих у експериментальних системах

Алгоритм роботи програми для Raspberry Pi Pico починається із оголошення змінних, необхідних для коректної роботи системи. Відбувається визначення пристрою, із якого буде відбуватись зчитування даних, а також встановлення частоти зняття зразків даних. Основний цикл програми розпочинається із запису у буфер пам'яті заданої у змінній NSAMP кількості зразків даних. Після успішного заповнення буферу необхідною кількістю зразків ці дані передаються за допомогою USB-інтерфейсу провідним шляхом. У випадку завершення надсилання масиву зразків даних відбувається візуальне оповіщення користувача ввімкненням LED-індикатора.

Програма, яка встановлена на Raspberry Pi Zero, працює синхронізовано із програмою на Raspberry Pi Pico, зокрема завдяки ідентичному значенню змінної NSAMP. Програма зчитування даних із USB-інтерфейсу Raspberry Pi Zero очікує чітко задану кількість зразків даних та не почне їх обробляти у випадку, якщо ця кількість буде відмінною від заданої. У основному циклі програми відбувається зчитування даних, надісланих через USB-кабель від Raspberry Pi Pico, та запис їх у текстовий файл. Наступним етапом у циклі є застосування алгоритму FFT до отриманих даних та їхній подальший запис у окремий текстовий файл. З метою економії місця на пристрої, у програмі було виставлено затримку у зчитуванні даних – 60 секунд.

Для системи, яка складається із Raspberry Pi 3, мікрофона Clippy-XLR-EM272Z1 та посилювача звукової карти Scarlett Solo, написали програму мовою Python із використанням бібліотеки PyAudio. Алгоритм роботи програми розпочинається із імпортування бібліотеки PyAudio та ініціалізації змінних, необхідних для коректного зчитування даних з мікрофону (розмір блоків даних, частота, кількість каналів, шлях до пристрою). Бібліотека PyAudio забезпечує програмний інтерфейс для взаємодії із мікрофоном, зокрема зчитування потоку даних. Основний цикл програми кожної ітерації перевіряє, чи не завершився час запису аудіоданих. Якщо тривалість запису не перевищено, на кожній ітерації циклу фрагмент даних (тривалістю 1 секунда) записується у файл та піддається аналізу алгоритмом FFT. Після відпрацювання FFT отримані дані записуємо у окремий файл.

3. Результати дослідження та їх аналіз

Тестування роботи системи проводили за двома схемами: 1 - з використанням конденсаторного мікрофона у комплекті з посилювачем типу MAX-9814 (рис. 2); 2 - з використанням конденсаторного мікрофона типу Clippy-XLR-EM272Z1 і посилювача зовнішньої звукової карти типу Scarlet Solo (рис. 2).

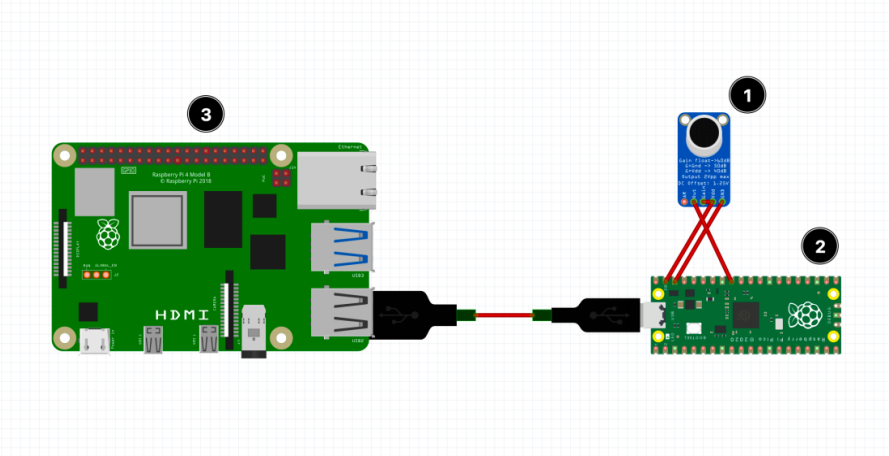

Рис. 2. Схема 1 - з'єднання мікрофона з посилювачем типу MAX9814 (1) з мікроконтролером Raspberry Pi Pico (2) та міні-комп'ютером Raspberry Pi 3 (3)

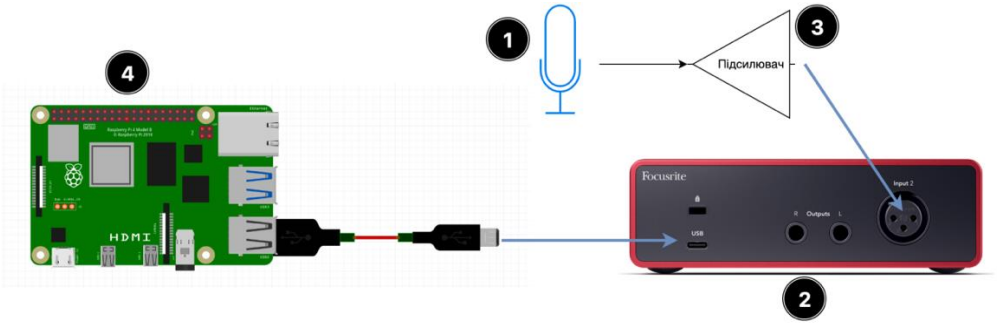

Рис. 3. Схема 2 - з'єднання мікрофона Clippy-XLR-EM272Z1 (1) і звукової карти Scarlett Solo (2) із посилювачем (3) та міні-комп'ютером Raspberry Pi 3 (4)

Для вимірювання часових залежностей інтенсивностей звуків серця мікрофони за схемами рисунків 2 та 3 поміщали у звукоізольовані капсули і прикріпляли за допомогою медичного пластира на тілі людини. Програма записувала у файл зібрані з мікрофону значення протягом часу, який

необхідний для збору 50000 зразків інтенсивностей звуку. Для поточної конфігурації системи цей час займає порядку 3 секунд. Після певної перерви (60 секунд) процес записування у файл звуку повторювався. На рисунках 4 та 5 зображені графіки відповідних залежностей інтенсивностей звуку (у відносних одиницях вимірювання) для двох систем: мінікомп'ютера Raspberry Pi 3, мікроконтролера Raspberry Pi Pico та мікрофону MAX9814; мінікомп'ютера Raspberry Pi 3, звукової карти Scarlett Solo та мікрофону Clippy XLR-EM272Z1 - відповідно. По осі абсцис на рис. 4 значення 1 відповідає часу збору 50000 зразків інтенсивностей (прибл. 3 секунди), на рис. 5 значення 60000 відповідає кількості зібраних зразків (прибл. 4 секунди).

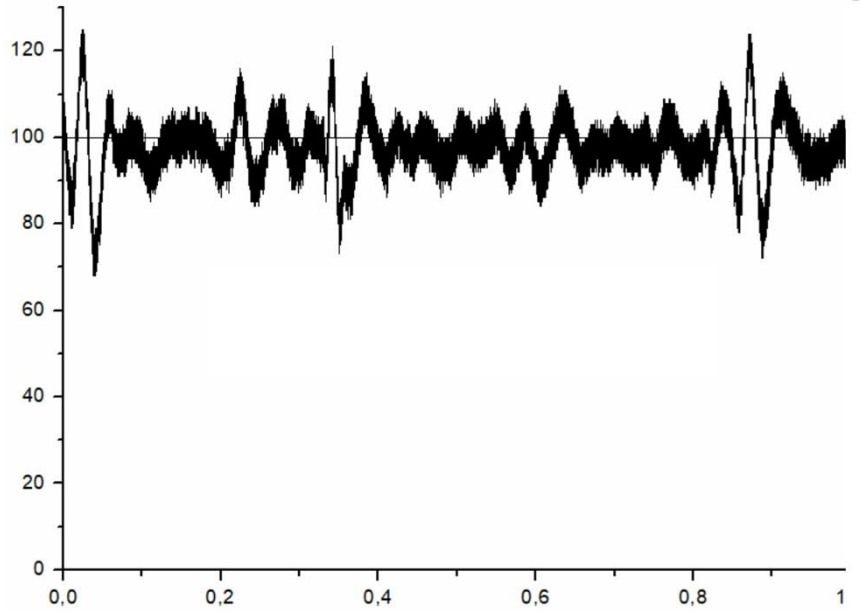

Рис. 4. Графік залежності інтенсивності звуку серця від часу, виміряний за допомогою системи 1

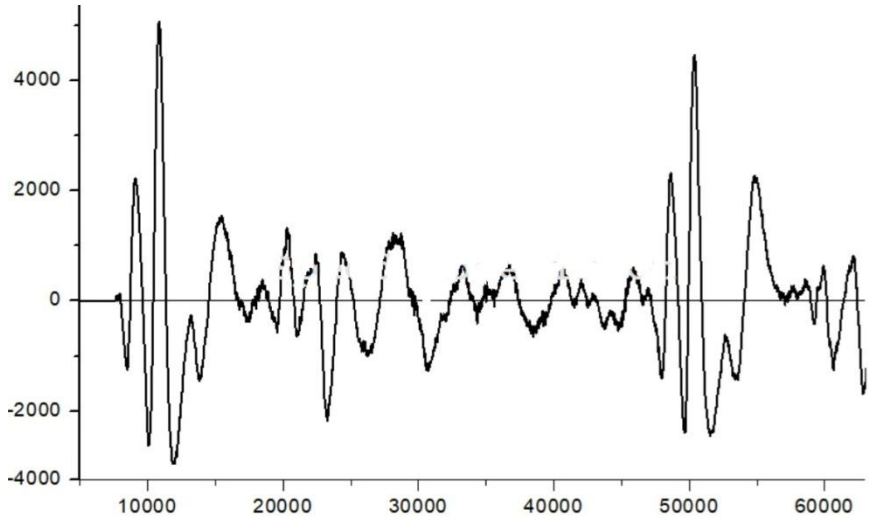

Рис. 5. Графік залежності інтенсивності звуку серця від кількості зібраних значень, виміряний за допомогою системи 2

Як видно із графіків на рисунках 4 і 5, значення власного шуму за першою схемою є суттєво більшими від таких же значень у другому випадку. Так, середнє значення амплітуди шуму у першому випадку сягає 8 одиниць при амплітудному значенні першого піку інтенсивності 26 одиниць, що відповідає 31% відношення шуму до корисного сигналу. Тому тонка структура пульсації серця при такій системі вимірювання є розмитою, недеталізованою. У випадку другої системи вимірювання (рис. 5) середнє значення амплітуди шуму дорівнює 50 одиниць при амплітудному значенні першого піку інтенсивності 5000 одиниць, що відповідає 1% відношення шуму до корисного сигналу. Це дозволяє детальніше розділювати тонку структуру пульсації серця і здійснювати відповідний аналіз її природи.

Висновки

В результаті опрацювання відомих методів вимірювання та аналізу звукових сигналів органів людини показали, що навіть сучасний дороговартісний цифровий стетоскоп типу Littmann CORE Digital має ряд недоліків, зокрема, він не дозволяє автоматично аналізувати параметри сигналів і

передавати отримані дані на віддалений пристрій. Створили і випробували дві експериментальні системи, які дозволяють вимірювати часові характеристики звукових сигналів. Використали конденсаторні мікрофони в комплекті з посилювачем типу MAX-9814, а також типу Clippy-XLR-EM272Z1 і посилювач зовнішньої звукової карти типу Scarlett Solo. Написали програмне забезпечення типу ChyPaCha з використанням мов MicroPython, C++ і Python. Ефективність роботи систем перевірили за допомогою складених програмних засобів, які забезпечили неперервне опрацювання звукових сигналів серця в залежності від стану навантаження на тіло людини у реальному часі. Показали, що використання комплексу Clippy- XLR-EM272Z1 і Scarlett Solo дозволяє суттєво зменшити вплив власних шумів системи (посилювач-АЦП) у порівнянні із такими ж шумами системи MAX-9814 - Raspberry Pi Pico і підвищити точність вимірювання та розпізнавання тонкої структури пульсації інтенсивності звуків серця.

Продовжуються дослідження у напрямку аналізу різних типів фонограм при зміні об'єкта дослідження, навантаження та інших характеристик з використанням тонкої структури часових залежностей інтенсивностей звуку органів людини, а також спектральних характеристик фонограм, при передаванні результатів аналізу дистанційно, в т.ч. за допомогою хмарних технологій.

Література

1. Шпак Я. В., Мартинюк Т. В., Колесников І. В. Аускультація у сучасній кардіології: продовження історії, яка розпочалась двісті років тому // Серце і судини. 2013. № 2. С. 113–119.
2. Кельман І. М. Електрокардіографія та фонокардіографія. – М.: Медицина, 1974. – 152 с.
3. Фізична терапія, ерготерапія : навч. посіб. / Цанько І. І, Антонова-Рафі Ю.В., Куріло С. М., Данько Д. І. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 162 с.
4. Паламарчук М. І., Злепко С. М. Огляд цифрових стетоскопів // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13–15 березня 2019 р. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2019/paper/view/6327 (дата звернення: 01.03.2025).
5. Кельман І. М. Електрокардіографія та фонокардіографія. – М.: Медицина, 1974. – 156 с.
6. Цифровий стетоскоп Littmann CORE Digital : технічна документація. URL: https://medhome.in.ua/p1717406386-elektronnyj-stetoskop-littmann.html (дата звернення: 01.03.2025).
7. Гаваньо Б. І. Методи та засоби оцінювання стану людини в медичних кіберфізичних системах: дис. … докт. філос. – Львів, 2021. – 149 с.
8. Beaglebone Black : технічна документація. URL: https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-black (дата звернення: 01.03.2025).
9. Raspberry Pi 3 : технічна документація. URL: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/ (дата звернення: 01.03.2025).
10. Banana Pi M2 : технічна документація. URL: https://bananapi.gitbook.io/bpi-m2/en (дата звернення: 01.03.2025).
11. Raspberry Pi Pico : технічна документація. URL: https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html (дата звернення: 01.03.2025).
12. Clippy XLR-EM272Z1 : технічна документація. URL: https://micbooster.com/clippy-and-pluggy-microphones/99-xlr-stereo-clippy-em272-microphone.html (дата звернення: 01.03.2025).
13. Scarlett Solo : технічна документація. URL: https://focusrite.com/products/scarlett-solo (дата звернення: 01.03.2025).
14. mikroUši : технічна документація. URL: https://store.lom.audio/products/mikrousi?variant=6174830002208 (дата звернення: 01.03.2025).
15. Sound Sleuthers : технічна документація. URL: https://www.instructables.com/The-Sound-Sleuthers/ (дата звернення: 01.03.2025).
16. Audient iD4 : технічна документація. URL: https://audient.com/products/audio-interfaces/id4/overview/ (дата звернення: 01.03.2025).
17. Behringer UMC22 : технічна документація. URL: https://www.behringer.com/product.html?modelCode=0805-AAJ (дата звернення: 01.03.2025).

References

1. Y.V. Shpak, T.V. Martynyuk, I.V. Kolesnikov. Auscultation in modern cardiology: a continuation of the history that began two hundred years ago. Heart and vessels. 2013. No. 2. P. 113—119.
2. Kelman, I.M. Electrocardiography and phonocardiography. - M. Medicine, 1974. - 152 p.
3. Physical therapy, occupational therapy : textbook / / Tsanko I. I, Antonova-Rafi Yu. V., Kurilo S. M., Danko D. I. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Kyiv. 2023. 162 p.
4. Review of digital stethoscopes. M. I. Palamarchuk, S. M. Zlepko // Materials of the XLVIII scientific and technical conference of VNTU divisions, Vinnytsia, March 13-15, 2019. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2019/paper/view/6327 (access date: 01.03.2025).
5. Kelman, I.M. Electrocardiography and phonocardiography. - M. Medicine, 1974. - 156 p.
6. Littmann CORE Digital digital stethoscope. URL: https://medhome.in.ua/p1717406386-elektronnyj-stetoskop-littmann.html (access date: 01.03.2025).

7. Gavano B.I. Methods and means of assessing human condition in medical cyberphysical systems. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy. Lviv. 2021. 149 p.
8. Beaglebone Black. Technical documentation. URL: https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-black (access date: 01.03.2025).
9. Raspberry Pi 3. Technical Documentation. URL: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/ (access date: 01.03.2025).
10. Banana Pi M2. Technical Documentation. URL: https://bananapi.gitbook.io/bpi-m2/en (access date: 01.03.2025).
11. Raspberry Pi Pico. Technical Documentation. URL: https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html (access date: 01.03.2025).
12. Clippy XLR-EM272Z1. Technical Documentation. – URL: https://micbooster.com/clippy-and-pluggy-microphones/99-xlr-stereo-clippy-em272-microphone.html (access date: 01.03.2025).
13. Scarlett Solo. Technical Documentation. URL: https://focusrite.com/products/scarlett-solo (access date: 01.03.2025).
14. mikroUši. Technical Documentation. URL: https://store.lom.audio/products/mikrousi?variant=6174830002208 (access date: 01.03.2025).
15. Sound Sleuthers. Technical Documentation. URL: https://www.instructables.com/The-Sound-Sleuthers/ (access date: 01.03.2025).
16. Audient iD4. Technical Documentation. URL: https://audient.com/products/audio-interfaces/id4/overview/ (access date: 01.03.2025).
17. Behringer UMC22. Technical Documentation. URL: https://www.behringer.com/product.html?modelCode=0805-AAJ (access date: 01.03.2025).