

УДК 616.71

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2025-26-03

Гевко О. В., Паляниця Ю. Б.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

BLUETOOTH НАВУШНИКИ ІЗ МЕДИКО-ДІАГНОСТИЧНИМИ ФУНКЦІЯМИ

У результаті проведеного дослідження було розроблено інноваційний технологічний продукт – Bluetooth навушники із медико-діагностичними функціями. Така інтеграція дозволяє користувачам отримувати дані про стан свого здоров'я без необхідності використання додаткових спеціалізованих пристроїв, що робить процес медичного контролю більш зручним та доступним. Використовуючи методи морфологічного аналізу було проведено структурно-схемний синтез Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями, що дозволило визначити 20 потенційних варіантів конструкції. З цих варіантів експертним шляхом було обрано чотири найефективніші із медико-діагностичними функціями, які представляють собою інтегративне рішення сучасних викликів у сфері медицини, технологій та соціальної інклюзії. Створені Bluetooth навушники є медико-діагностичними інструментами, які дозволяють здійснювати моніторинг різноманітних фізіологічних параметрів користувачів в режимі реального часу. Зокрема розроблено і описано принципи роботи Bluetooth навушників із функціями слухового апарату, пульсоксиметра, корекції заїкання та отоакустичної емісії. Більш детально в роботі обґрунтовано основні технічні та математичні аспекти функціонування Bluetooth навушника із функцією реєстратора отоакустичної емісії, який дозволяє оцінити функціональний стан структур внутрішнього вуха, зокрема зовнішніх волоскових клітин, які є найбільш чутливими до різноманітних пошкоджуючих факторів. З його допомогою можливе здійснення ранньої діагностики порушень слуху, навіть до появи суб'єктивних симптомів.

Ключові слова: Bluetooth навушник, медико-діагностична функція, моніторинг, синтез.

Постановка проблеми. Сучасний антропоцентричний підхід до створення нових технологій вимагає, щоб інновації були орієнтовані на людину, її потреби та підвищення якості життя. Тому стрімкий розвиток технологій забезпечує трансформацію нашого повсякденне життя, роблячи його комфортнішим та ефективнішим. Однак, паралельно з цим, спостерігається тенденція до збільшення проблем, пов'язаних зі здоров'ям людини, зокрема зі слухом, позаяк значна частина населення страждає від різноманітних порушень слуху, і ця проблема має тенденцію до зростання, особливо серед молоді та людей похилого віку. Це зумовлює необхідність розробки інноваційних технологій, які б дозволяли здійснювати ранню діагностику та профілактику порушень слуху, а також надавати допомогу тим, хто вже стикнувся з цією проблемою. У контексті зазначеного вище існує суттєва необхідність у розробленні інноваційних засобів медико-діагностичної діагностики, які б відповідали вимогам сьогодення і забезпечували процес медичного контролю людини більш зручним та доступним.

Аналіз стану досліджень. Важливим аспектом сучасної медичної інженерії є її орієнтація на вирішення проблем підвищення якості медичної діагностики та інклюзивності. У сучасному суспільстві здоров'я люди виходить на перший план, а люди з особливими потребами часто стикаються з різноманітними бар'єрами, які ускладнюють їх інтеграцію в соціальне життя. Використання медичних пристроїв у публічних місцях може викликати дискомфорт та почуття стигматизації. Тому, сучасний підхід у розробленні медичних засобів полягає у можливості одержання необхідної медико-діагностичної підтримки без привернення зайвої уваги оточуючих, що сприяє зменшенню соціального тиску та покращенню психологічного комфорту користувачів.

На сьогоднішній день новим напрямком у медичній діагностиці для бездротової передачі медичної інформації є використання чипів радіочастотної ідентифікації [1, 2]. Також для медичного діагностування починають бурхливо розвиватись різноманітні системи реєстрації біосигналів [3-5], використання «розумного одягу» [6-9] тощо [10, 11]. Для ідентифікації станів, що може бути відправною точкою для створення інтегрованої безпеково-медичної системи і для оперативного виявлення аномалій, науковці присвячують свої дослідження спектрально-кореляційним теоріям [12], ROC-аналізу [13], використанню штучного інтелекту [14] тощо. Вивчення питання слуху біологічних об'єктів здійснювалось в працях [15, 16], в яких проведено

дослідження слухового скринінгу основі методів педіатричної аудіометрії та реєстрації отоакустичної емісії.

Проте існуючі засоби і дослідження не завжди мають ефективне поєднання зручності у повсякденному використанні і необхідної медико-діагностичної функціональності. Оскільки Bluetooth навушники є звичним атрибутом сучасної людини, поєднання різноманітних функцій у їх конструкціях може мати значний ефект для споживачів. Тому цей напрямок розвитку медичної апаратури потребує подальшого розвитку і дослідження, що принесе значну користь для користувачів.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями, які дозволяють здійснювати моніторинг різноманітних фізіологічних параметрів користувачів в режимі реального часу.

Результати та їх обговорення. На основі проведеного аналізу електроакустичних перетворювачів були виділені окремі медичні функціональні характеристики, які є необхідними чи бажаними для реалізації необхідних медико-діагностичних функцій, зокрема таких, як функція слухового апарату, функція реєстратора отоакустичної емісії, функція пульсоксиметра і функція корекції заїкання. Для забезпечення цих функцій електроакустичними перетворювачами доцільно провести проєктування даних технічних засобів, початковим етапом якого є генерування їх можливих варіантів. Для цього використаємо відомий метод структурно-схемного синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [17], який на початковому етапі передбачає виділення окремих конструктивних ознак та елементів даних технічних засобів, з подальшим їх групуванням у морфологічній таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Морфологічна таблиця конструктивних ознак та елементів Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями

1. Специфічні елементи	2. Загальні елементи	Керування процесом	
		3. Спосіб керування	4. Кількість програм керування
1.1. Мікшер 1.2. Модуль цифрової обробки сигналу 1.3. Модуль термометра 1.4. Модуль пульсоксиметра 1.5. Модуль отоакустичної емісії 1.5 DAF-модуль корекції заїкання	2.1. Корпус 2.2. Елемент живлення 2.3. Електронний блок 2.4. Bluetooth-ресивер 2.5. Підсилювач потужності 2.6. Динамік	3.1. Персональний комп'ютер 3.2. Смартфон	4.1. Одна 4.2. Декілька

Модель системи «Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями» представлено на рисунку 1. У ній до підгрупи I першого ієрархічного рівня ми віднесли групу 1 – «Специфічні елементи» (табл. 1); до підгрупи I другого ієрархічного рівня віднесли групу 3 – «Спосіб керування»; до підгрупи II другого ієрархічного рівня віднесли групу 4 – «Кількість програм керування»; до підгрупи I третього ієрархічного рівня віднесли групу 2 – «Загальні елементи», і вони при підрахунку кількості варіантів не враховуватимуться, бо повинні міститися у будь-якій конструкції Bluetooth навушника із медико-діагностичними функціями.

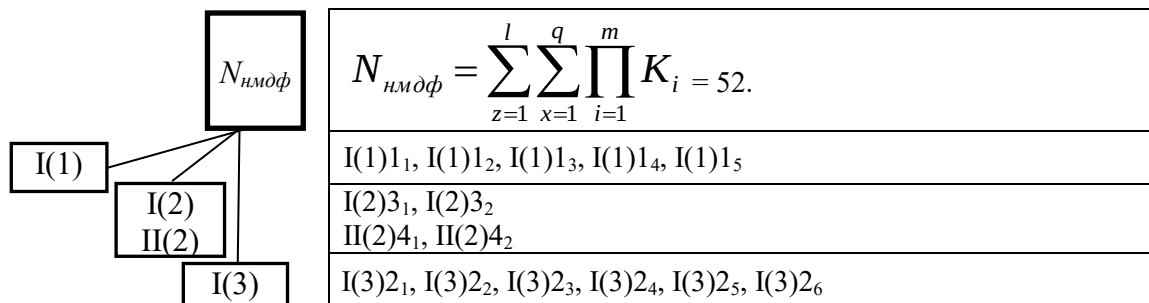


Рисунок 1 – Модель механічної системи «Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями»: (1) - (3) – ієрархічні рівні; I - II – підгрупи ієрархічних рівнів

Загальна кількість варіантів Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями при використанні такого методу синтезу складе:

$$N_{\text{ндфм}} = \begin{array}{|c|} \hline 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 3.1 \\ 4.2 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 4.1 \\ 4.2 \\ \hline \end{array} = 20.$$

Отже, за результатами проведеного структурно-схемного синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу було отримано їх 20 варіантів. Проте з них експертним методом було виділено чотири найефективніші, які керуватимуться зі смартфона з допомогою однієї програми. Відтак розроблені навушники належать до класу електроакустичних перетворювачів для особистого прослуховування музики або інших звукових сигналів і здатні до прийняття та обробки будь-яких сигналів Bluetooth - з'єднання, а також володіють додатковими функціями. Проаналізуємо їх детальніше.

На рисунку 2 зображено Bluetooth навушник із функцією слухового апарату, який виконаний у вигляді корпусу 1, в якому розміщено елемент живлення 2 та електронний блок 3 з Bluetooth-ресивером 4, мікшером 5, а також підсилювачем потужності 6 динаміка 7. Елемент живлення 2 підключений до електронного блоку 3, в якому вихід Bluetooth-ресивера 4 під'єднаний до входів мікшера 5, а вихід мікшера 5 під'єднаний до входу підсилювача потужності 6, вихід якого під'єднаний до входу динаміка 7.

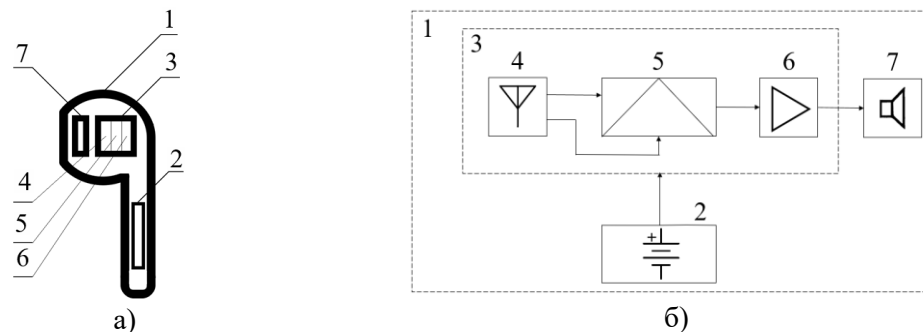


Рисунок 2 – Bluetooth навушник із функцією слухового апарату:
а) загальний вигляд; б) структурно-функціональна схема

Використання Bluetooth навушника із функцією слухового апарату здійснюється наступним чином. Bluetooth навушник із функцією слухового апарату забезпечує прийняття та обробку будь-яких сигналів Bluetooth-з'єднання Bluetooth-ресивером 4, який вмонтовано в електронному блоці 3, і який призначений для прийому сигналів від Bluetooth-девайса (на рисунку не показано). Далі сигнали (системний і мікрофонний Bluetooth-девайса) змішуються у мікшері 5 і через підсилювач потужності 6 надходять до динаміка 7. Елемент живлення 2, що розташований у корпусі 1, забезпечує живленням електронні компоненти навушника. Змішування сигналів від Bluetooth-девайса (на рисунку не показано) мікшером 5 здійснюється в адаптивному режимі шляхом безперервного оцінювання рівня звуку від оточення користувача. Причому рівень системного сигналу від Bluetooth-девайса (на рисунку не показано) є обернено пропорційним до рівня мікрофонного сигналу Bluetooth-девайса (на рисунку не показано), що дає можливість автоматично переводити пристрій у режим навушника в разі відсутності сигналу від оточення, або в режим слухового апарата. Крім того, користувач має можливість керувати та налаштовувати параметри Bluetooth навушника із функцією слухового апарату за допомогою додатку у Bluetooth-девайсі (на рисунку не показано) і визначати пріоритетність використання Bluetooth навушника в режимі навушника або слухового апарата.

Bluetooth навушник із функцією пульсоксиметра, який виконаний у вигляді корпусу 1, в якому розміщено елемент живлення 2, електронний блок 3 з Bluetooth-ресивером 4, модулем цифрової обробки сигналу 5 та підсилювачем потужності 6, зображено на рисунку 3. У верхній частині корпусу 1, поблизу розташування до вушної раковини (на рисунку не показано), розміщено модуль термометра 7, а у нижній частині корпусу 1, поблизу розташування до мочки вуха (на рисунку не показано), розміщено модуль пульсоксиметра 8. Елемент живлення 2 підключений до електронного блоку 3, в якому вихід Bluetooth-ресивера 4 під'єднаний до входу модуля цифрової обробки сигналу 5, вихід якого під'єднаний до входу підсилювача

потужності 6, вихід якого під'єднаний до входу динаміка 9. Елемент живлення 2 також під'єднаний до модуля термометра 7 та модуля пульсоксиметра 8. Виходи модуля термометра 7 та модуля пульсоксиметра 8 під'єднані до входів модуля цифрової обробки сигналу 5.

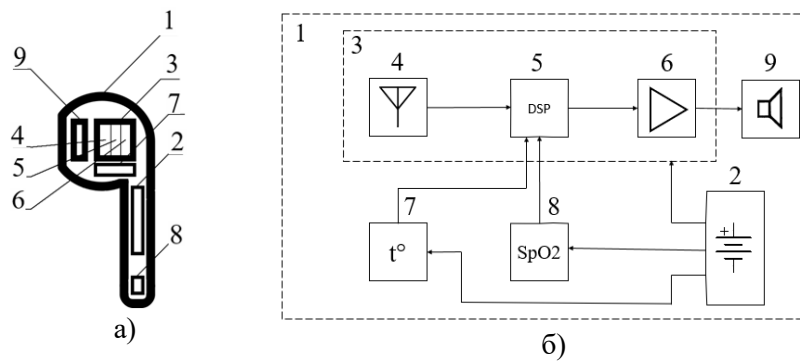


Рисунок 3 – Bluetooth навушник із функцією пульсоксиметра:
а) загальний вигляд; б) структурно-функціональна схема

Bluetooth навушник із функцією пульсоксиметра забезпечує прийняття та обробку будь-яких сигналів Bluetooth-з'єднання Bluetooth-ресивером 4, який міститься в електронному блоці 3, і який призначений для прийому сигналу від Bluetooth-девайса (на рисунку не показано). Далі сигнал через модуль цифрової обробки сигналу 5, який служить для цифрової обробки сигналу, передається до динаміка 9. Елемент живлення 2, що розташований у корпусі 1, забезпечує живленням електронні компоненти Bluetooth навушника із функцією пульсоксиметра. Модуль термометра 7, який розташований у верхній частині корпусу 1 поблизу до вушної раковини (на рисунку не показано), забезпечує вимірювання температури шляхом її реєстрації з вушної раковини (на рисунку не показано). Модуль пульсоксиметра 8, який розташований у нижній частині корпусу 1 поблизу до мочки вуха (на рисунку не показано), забезпечує вимірювання частоти серцевих скорочень та рівня кисню в крові шляхом реєстрації пульсоксиметричного сигналу з мочки вуха (на рисунку не показано). Отримані дані передаються на Bluetooth-девайс (на рисунку не показано) сигналом Bluetooth-з'єднання з Bluetooth-ресивера 4 для подальшої обробки інформації про величину температури, частоти серцевих скорочень і рівня кисню в крові користувача.

На рисунку 4 зображено Bluetooth навушник із функцією корекції заїкання, який виконаний у вигляді корпусу 1, в якому розміщено елемент живлення 2, електронний блок 3 з Bluetooth-ресивером 4, модулем цифрової обробки сигналу 5 та підсилювачем потужності 6. Також у корпусі 1 розміщено DAF-модуль корекції заїкання 7. Елемент живлення 2 підключений до електронного блоку 3, в якому вихід Bluetooth-ресивера 4 під'єднаний до входу модуля цифрової обробки сигналу 5, вихід якого під'єднаний до входу підсилювача потужності 6, вихід якого під'єднаний до входу динаміка 8, крім того, елемент живлення 2 також під'єднаний до DAF-модуля корекції заїкання 7, крім того, вихід DAF-модуля корекції заїкання 7 під'єднаний до входу модуля цифрової обробки сигналу 5. Bluetooth навушник із функцією корекції заїкання забезпечує прийняття та обробку будь-яких сигналів Bluetooth-з'єднання Bluetooth-ресивером 4, який міститься в електронному блоці 3, і який призначений для прийому сигналу від Bluetooth-девайса (на рисунку не показано). Далі сигнал через модуль цифрової обробки сигналу 5, який служить для цифрової обробки сигналу, передається до динаміка 8.

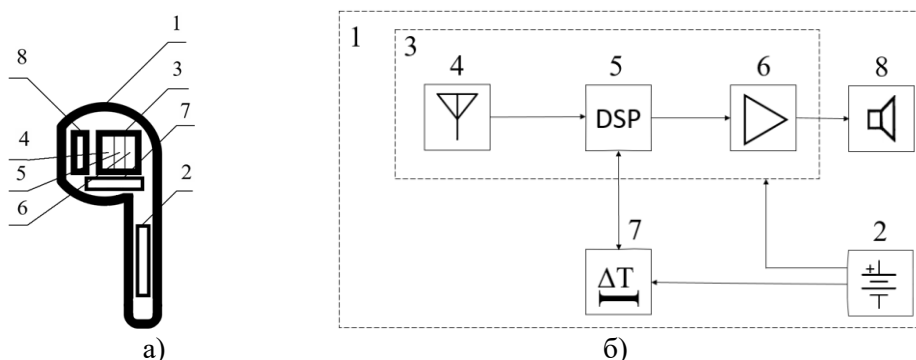


Рисунок 4 – Bluetooth навушник із функцією корекції заїкання:
а) загальний вигляд; б) структурно-функціональна схема

Елемент живлення 2, що розташований у корпусі 1, забезпечує живленням електронні компоненти навушника. DAF-модуль корекції заїкання 7 вносить затримку звукового сигналу для реалізації методу корекції заїкання. Відтак людині, яка заїкається, через Bluetooth навушник із функцією корекції заїкання з Bluetooth-девайса (на рисунку не показано) сигналом Bluetooth-з'єднання з Bluetooth-ресивера 4 повертається її власний голос із певною затримкою, що допомагає їй сповільнити темп мовлення і знизити рівень заїкання.

Bluetooth навушник із функцією реєстратора отоакустичної емісії зображено на рисунку 5. Він виконаний у вигляді корпусу 1, в якому розміщено елемент живлення 2, електронний блок 3 з Bluetooth-ресивером 4, модулем цифрової обробки сигналу 5 та підсилювачем потужності 6. Також у корпусі 1 розміщено модуль отоакустичної емісії 7. Елемент живлення 2 підключений до електронного блоку 3, в якому вихід Bluetooth-ресивера 4 під'єднаний до входу модуля цифрової обробки сигналу 5, вихід якого під'єднаний до входу підсилювача потужності 6, вихід якого під'єднаний до входу динаміка 8. Елемент живлення 2 також під'єднаний до модуля отоакустичної емісії 7. Вихід отоакустичної емісії 7 під'єднаний до входу модуля цифрової обробки сигналу 5.

Використання Bluetooth навушника із функцією реєстратора отоакустичної емісії здійснюється наступним чином. Навушник забезпечує прийняття та обробку будь-яких сигналів Bluetooth-з'єднання Bluetooth-ресивером 4, який міститься в електронному блоці 3, і який призначений для прийому сигналу від Bluetooth-девайса (на рисунку не показано). Далі сигнал через модуль цифрової обробки сигналу 5, який служить для цифрової обробки сигналу, передається до динаміка 8. Елемент живлення 2, що розташований у корпусі 1, забезпечує живленням електронні компоненти навушника. Модуль отоакустичної емісії 7, який розташований у корпусі 1, забезпечує вимірювання отоакустичної емісії шляхом її реєстрації з вушного проходу (на рисунку не показано). Отримані отоакустичні дані проведеної отоакустичної емісії передаються на Bluetooth-девайс (на рисунку не показано) сигналом Bluetooth-з'єднання з Bluetooth-ресивера 4 для подальшої обробки даних про стан слухового апарату користувача.

Стандарт Bluetooth використовує частотну модуляцію з гаусівською фільтрацією (GFSK). Канал Bluetooth працює в діапазоні 2.4 ГГц з використанням технології розширення спектра шляхом перестрибування частоти (FHSS). Підсилювач потужності в навушнику забезпечує достатній рівень звукового тиску для комфортного прослуховування. Акустична система навушника включає динамік та акустичне оформлення. Її математична модель базується на електроакустичних аналогіях. Модуль цифрової обробки сигналу виконує ключову роль у функціонуванні навушника. Для вимірювання отоакустичної емісії (OAE) у навушнику використовується спеціальний акустичний зонд, що включає мікрофон та джерело звуку. Акустичні характеристики навушника визначають якість відтворення звуку. Для їх моделювання використовуються методи акустики та електроакустики. Електроакустичний перетворювач (динамік) можна представити як систему з електричним входом і акустичним виходом. Для аналізу сигналів OAE у частотній області використовуються методи спектрального аналізу. Точність вимірювань OAE є критичним параметром пристрою.

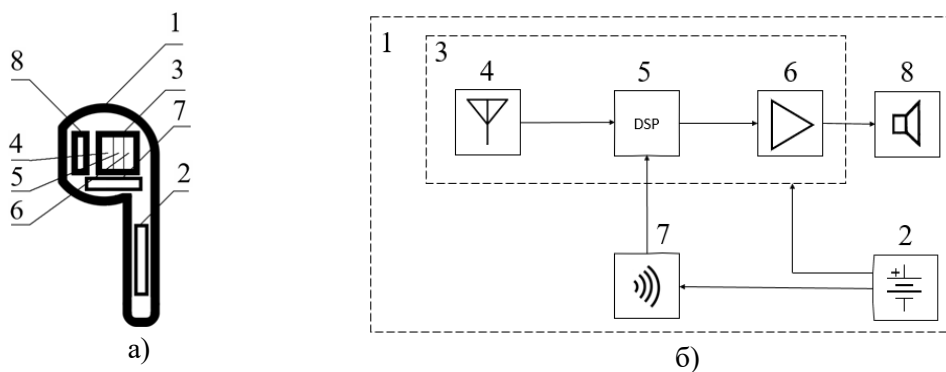


Рисунок 5 – Bluetooth навушник із функцією отоакустичної емісії:
а) загальний вигляд; б) структурно-функціональна схема

Стандарт Bluetooth використовує частотну модуляцію з гаусівською фільтрацією (GFSK). Канал Bluetooth працює в діапазоні 2.4 ГГц з використанням технології розширення спектра шляхом перестрибування частоти (FHSS).

Підсилювач потужності в навушнику забезпечує достатній рівень звукового тиску для комфортного прослуховування. Акустична система навушника включає динамік та акустичне оформлення. Її математична модель базується на електроакустичних аналогіях. Модуль цифрової обробки сигналу виконує ключову роль у функціонуванні навушника. Для вимірювання отоакустичної емісії (ОАЕ) у навушнику використовується спеціальний акустичний зонд, що включає мікрофон та джерело звуку. Акустичні характеристики навушника визначають якість відтворення звуку. Для їх моделювання використовуються методи акустики та електроакустики. Електроакустичний перетворювач (динамік) можна представити як систему з електричним входом і акустичним виходом. Для аналізу сигналів ОАЕ у частотній області використовуються методи спектрального аналізу. Точність вимірювань ОАЕ є критичним параметром пристрою.

Коротко розглянемо аспекти математичного моделювання функціонування Bluetooth-навушника із функцією реєстратора ОАЕ. Розуміння цих процесів вимагає аналізу акустичних сигналів, їх перетворення, передачі та обробки в контексті отоакустичної емісії. ОАЕ є результатом активних процесів у внутрішньому вусі. Її математична модель базується на нелінійній механіці та теорії біфуркацій. Спонтанна отоакустична емісія (SOAE) виникає внаслідок біфуркації Хопфа, коли система стає нестійкою і переходить у режим автоколивань, а викликана отоакустична емісія (EOAE) описується, як відгук нелінійної системи на зовнішній стимул. Біспектральний аналіз дозволяє виявити квадратичні нелінійності в сигналі. Тому ОАЕ, як фізичне явище, може бути описана системою диференціальних рівнянь, що характеризують механічні коливання структур внутрішнього вуха. Bluetooth-комунікація в навушнику з функцією реєстратора ОАЕ базується на математичних алгоритмах модуляції та кодування сигналів. Математична модель такого вимірювання включає калібрування акустичного зонда, корекцію впливу вушного каналу, визначення передавальної функції середнього вуха, оцінку рівня ОАЕ і визначення відношення сигнал/шум для ОАЕ. Розглянемо основні математичні аспекти цього процесу.

Калібрування акустичного зонда [15, 16]:

$$H_{cal}(f) = \frac{p_{mic}(f)}{p_{ref}(f)}, \quad (1)$$

де $p_{mic}(f)$ - тиск, виміряний мікрофоном; $p_{ref}(f)$ - тиск, виміряний еталонним мікрофоном.

Корекція впливу вушного каналу [15, 16]:

$$H_{ec}(f) = \frac{p_{ec}(f)}{p_{in}(f)}, \quad (2)$$

де $p_{ec}(f)$ - тиск у вушному каналі; $p_{in}(f)$ - тиск на вході вушного каналу.

Передавальна функція середнього вуха визначається з залежності [15, 16]:

$$H_{ms}(f) = \frac{F_{oval}(f)}{p_{ec}(f) \cdot A_{tm}}, \quad (3)$$

де $F_{oval}(f)$ - сила, що діє на овальне вікно; A_{tm} - площа барабанної перетинки.

Оцінка рівня ОАЕ визначається по формулі [15, 16]:

$$L_{OAE} = 20 \log_{10} \left(\frac{p_{OAE,rms}}{p_{ref}} \right), \quad (4)$$

де $p_{OAE,rms}$ - середньоквадратичне значення тиску ОАЕ; $p_{ref} = 20$ мкПа - опорний тиск.

Відношення сигнал/шум для ОАЕ визначається по формулі [15, 16]:

$$SNR_{OAE}(f) = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{OAE}(f)}{p_{noise}(f)} \right), \quad (5)$$

де $P_{OAE}(f)$ - спектральна щільність потужності ОАЕ; $P_{noise}(f)$ - спектральна щільність потужності шуму.

Висновки. Використовуючи методи морфологічного аналізу було проведено структурно-схемний синтез Bluetooth навушників із медико-діагностичними функціями, що дозволило визначити 20 потенційних варіантів конструкції. З цих варіантів експертним шляхом було обрано чотири найефективніші із медико-діагностичними функціями, які представляють собою інтегративне рішення сучасних викликів у сфері медицини, технологій та соціальної інклюзії. Створені Bluetooth навушники є медико-діагностичними інструментами, які дозволяють здійснювати моніторинг різноманітних фізіологічних параметрів користувачів в режимі реального часу. Зокрема розроблено і описано принципи роботи Bluetooth навушників із функціями слухового апарату, пульсоксиметра, корекції заїкання та отоакустичної емісії.

2. Більш детально в роботі обґрунтовано основні технічні та математичні аспекти функціонування Bluetooth навушника із функцією реєстратора отоакустичної емісії, який дозволяє оцінити функціональний стан структур внутрішнього вуха, зокрема зовнішніх волоскових клітин, які є найбільш чутливими до різноманітних пошкоджуючих факторів. З його допомогою можливе здійснення ранньої діагностики порушень слуху, навіть до появи суб'єктивних симптомів.

Інформаційні джерела

1. Smart K. J. Smart textiles: transforming the practice of medicalisation and health care / K. J. Smart // *Sociology of Health & Illness*. 2019. Vol. 41, Iss. 1. P. 147–161.
2. Jegan R. On the development of low power wearable devices for assessment of physiological vital parameters: a systematic review / R. Jegan, W. S. Nimi // *Journal of Public Health*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10389-023-01893-6>.
3. Дозорський В. Г. Система реєстрації біопотенціалів для електроенцефалографічних досліджень / В. Г. Дозорський, О. Ф. Дозорська, О. В. Гевко, Л. Є. Дедів. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». Луцьк, 2023. Вип. 22. С. 45–54.
4. Абакумов В. Г. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг / В. Г. Абакумов, О. І. Рибін, Й. Сватош. Київ: Нора-прінт, 2001. 516 с.
5. Montoya-Martínez J. Effect of number and placement of EEG electrodes on measurement of neural tracking of speech / J. Montoya-Martínez, J. Vanthornhout, A. Bertrand, T. Francart // *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16, Iss. 2. P. e0246769. DOI:10.1101/800979.
6. Паляниця Ю. Б. «Розумний одяг» для віддаленого моніторингу стану серцево-судинної системи. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». Луцьк, 2023. Вип. 22. С. 114–122.
7. Puranik P. R. Nonwoven Acoustic Textiles – A Review / P. R. Puranik, R. R. Parmar, P. P. Rana // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2014. Vol. 5, Iss. 3. P. 81–88.
8. Imbesi S. A User Centered Methodology for the Design of Smart Apparel for Older Users / S. Imbesi, S. Scataglini // *Sensors*. 2021. Vol. 21, Iss. 8. P. 2804.
9. Kan C.-W. Future Trend in Wearable Electronics in the Textile Industry / C.-W. Kan, Y.-L. Lam // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, Iss. 9. P. 3914.
10. Писаренко Т. Глобальні технологічні тренди у розрізі окремих цілей сталого розвитку: монографія / Т. Писаренко, Т. Кваша, О. Паладченко [та ін.]. Київ: УкрІНТЕІ, 2019. 312 с.
11. Марчук Н. Класифікація носимих електронних пристроїв / Н. Марчук, В. Осієвська, Г. Михайлова // *Товари і ринки*. 2021. № 4. С. 68–78.
12. Lytvynenko I. Methods of processing cyclic signals in automated cardiodiagnostic complexes / I. Lytvynenko, A. Horkunenko, O. Kuchvara, Y. Palaniza // *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2516. P. 116–127.
13. Herasymuk M. Application of roc-analysis to assess the quality of predicting the risk of chronic rhinosinusitis recurrence / M. Herasymuk, A. Sverstiuk, Y. Palaniza, I. Malovana // *Wiadomości Lekarskie*. 2024. Vol. 77, Iss. 2. P. 254–261.
14. Velychko D. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System / D. Velychko, H. Osukhivska, Y. Palaniza, N. Lutsyk, L. Sobaszek // *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2024. Vol. 18, Iss. 2. P. 296–304.
15. Лебедев Д. Ю. Мікрокомп'ютерні засоби слухового скринінгу новонароджених на основі методів педіатричної аудіометрії та реєстрації отоакустичної емісії: дис. канд. техн. наук:

05.11.17 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Київ, 2011. 226 с.

16. Паренюк Д. В. Дослідження зв'язку викликаного отоакустичної емісії та властивостей слуху, визначених засобами аудіології для дослідження слуху біологічних об'єктів: дис. ... д-ра філософії: 171 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2021.

17. Гевко О. В. Структурний синтез вібромасажної апаратури / О. В. Гевко, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів [та ін.] // Перспективні технології та прилади: зб. наук. праць. Луцьк, 2022. Вип. 20. С. 23–31.

Hevko O., Palyanytsya Y.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

BLUETOOTH HEADPHONES WITH MEDICAL DIAGNOSTIC FUNCTIONS

As a result of the research, an innovative technological product was developed - Bluetooth headphones with medical diagnostic functions. Such integration allows users to receive data about their health status without the need for additional specialized devices, which makes the process of medical monitoring more convenient and accessible. Using morphological analysis methods, a structural and schematic synthesis of Bluetooth headphones with medical diagnostic functions was carried out, which allowed us to identify 20 potential design options. Of these options, four of the most effective with medical and diagnostic functions were selected by experts, which represent an integrative solution to modern challenges in the field of medicine, technology, and social inclusion. The created Bluetooth headphones are medical diagnostic tools that allow monitoring of various physiological parameters of users in real time. In particular, the principles of operation of Bluetooth headphones with the functions of a hearing aid, pulse oximeter, stuttering correction and otoacoustic emission have been developed and described. In more detail, the paper substantiates the main technical and mathematical aspects of the functioning of a Bluetooth headset with the function of an otoacoustic emission recorder, which allows assessing the functional state of the inner ear structures, in particular the outer hair cells, which are most sensitive to various damaging factors. It can be used to diagnose hearing impairments early, even before subjective symptoms appear.

Key words: *Bluetooth earphone, medical diagnostic function, monitoring, synthesis.*