

УДК 616-089.843:004.9

## **ПРОТЕЗ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ КЕРОВАНИЙ ГОЛОСОМ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32**

Кузнецов І. В. Бабиченко О.Ю.

e-mail: [ihor.kuznetsov1@nure.ua](mailto:ihor.kuznetsov1@nure.ua), [oksana.babychenko@nure.ua](mailto:oksana.babychenko@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП  
м. Харків, Україна

The paper deals with the development of a voice-controlled upper limb prosthesis based on the ESP32 microcontroller. The architecture of the system is described, including voice command recognition, servo motor control, and PCB development. The use of the ESP32 provides high performance, interchangeability, energy efficiency, and the ability to integrate with speech recognition algorithms and further development of artificial intelligence. The proposed solution allows users to increase the level of comfort and functionality for limb loss.

В період війни в Україні актуальність проблеми протезування є надзвичайно високою через значне зростання кількості випадків ампутацій серед військового та цивільного населення. Доступність та якість протезів має деякі недоліки, хоча протезування в Україні безкоштовне проте ступінь забезпечення пацієнтів першочергово залежить від їх рівню за системою оцінки мобільності. При цьому навіть отримавши сучасний біонічний протез, для пацієнта залишається важливим питання, реабілітації та проходження ерготерапії.

Мета роботи – розробка та аналіз концепції голосового управління протезом верхньої кінцівки на базі мікроконтролера ESP32 для осіб із втратою руки. Робота спрямована на підвищення доступності, функціональності та зручності використання біонічних протезів, використовуючи сучасні технології розпізнавання голосових команд, 3D-друк та штучний інтелект.

Основними видами протезів є косметичні, функціональні та міоелектричні.

Косметичні протези можна виготовити практично для всіх рівнів ампутації – від пальця руки до плечового суглобу, проте вони мають обмежений рівень функціональності та лише візуально імітують втрачену частину кінцівки [1, с. 30].

Функціональні протези (з тяговим керуванням) забезпечують базові функції стискання і можуть надавати людині досягати 20-30% функціональності руки [1, с.33].

Міоелектричні протези (керовані електричними сигналами м'язів) можуть забезпечувати до 40-60% функціональності [1, с. 34].

Функціональність біонічних протезів останнього покоління, таких як Ottobock або Open Bionics, Convi, може наближатися до 45-65% стану

здорової руки, але все ще поступаються в сенсорному зворотному зв'язку, швидкості рухів та точності захоплення. Також на опанування керуванням такого протезу пацієнту та фахівцю з реабілітації потрібно приділити багато часу для набуття першого повного спектру навичок керування готовим виробом, що займає не менше часу ніж саме виготовлення протезу.

На відміну від протезів верхніх кінцівок, протези нижніх кінцівок мають свою специфіку, структуру та принципово іншу функціональність, для котрих не потрібно вигадувати розробки з дрібної моторики.

Беручи до уваги всю проаналізовану практичну та теоретичну інформацію, слід зробити висновок у потребі розробки нативно легкого в опануванні протеза верхньої кінцівки для пацієнтів з набутими ампутаціями або вродженими вадами, тобто протез верхньої кінцівки керованого голосом.

Для керування протезом користувачеві не обов'язково використовувати рідну мову, замість цього можна використовувати будь-яку іншу або так звані wake words (sounds), котрі будуть приводити його до руху. Таким чином голосове управління протезом не матиме помилкових спрацювань через сторонній шум в побуті людини.

Використання сучасних мікроконтролерів в парі з 3D друком основної частини протеза дає швидкий, дешевий та при цьому функціональний варіант для більшості приватних та державних виробництв.

Протез верхньої кінцівки, керований голосом на базі мікроконтролера ESP32, може стати сучасним рішенням для осіб із втратою руки. Пристрій використовує технологію розпізнавання голосових команд, що дозволяє користувачеві інтуїтивно керувати рухами протеза без потреби у фізичних зусиллях. Завдяки ESP32 забезпечується швидка обробка команд, енергоефективність та можливість бездротового підключення для оновлення прошивки [2].

Електронна система на базі мікроконтролера ESP32 може використовувати модулі штучного інтелекту для підвищення точності розпізнавання команд, а також може бути адаптована під індивідуальні потреби користувача методами загального оновлення. Використання цієї системи, при створенні протезу, буде сприяти підвищенню якості життя людей з інвалідністю, забезпечуючи їм більшу свободу рухів та зручність у повсякденному житті. Структурна схема електронної системи протезу верхньої кінцівки керованого голосом на базі мікроконтролера ESP32 представлено на рисунку 1.1. В цій схемі мікрофон використовується для прийому звукових сигналів із зовнішнього середовища. Далі звуковий розшифровувач обробляє аудіосигнали, перетворюючи їх з аналогового сигналу в цифровий формат для подальшої інтерпретації.

Сервоприводи забезпечують рух механічних елементів протезу. Міст УАПП до УППП перетворює сигнали між інтерфейсами, забезпечуючи їхню сумісність. UART являє собою сполучену ланку для обміну даними між мікроконтролером та пристроями периферії.

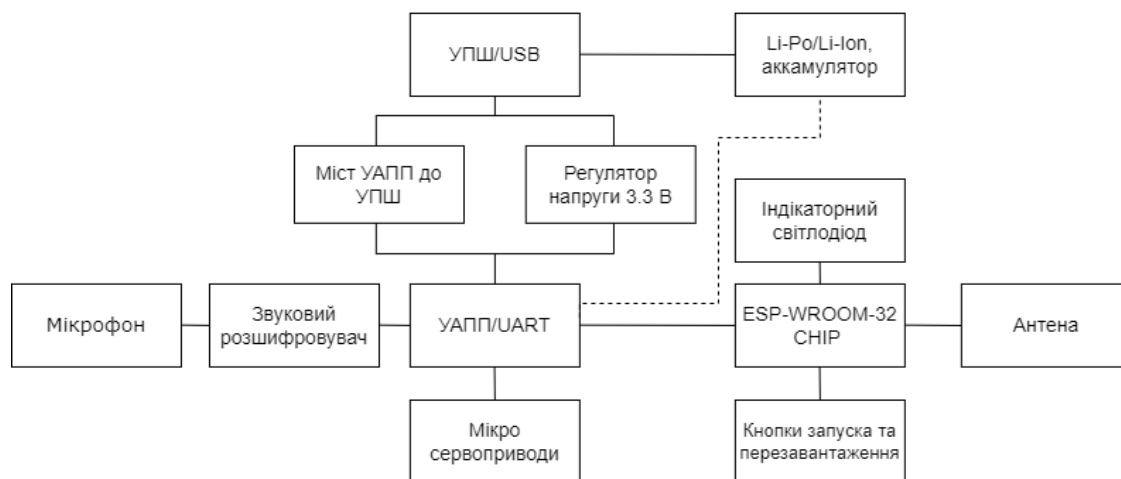


Рисунок 1.1 – Структурна схема електронної системи протезу верхньої кінцівки керованого голосом на базі мікроконтролера ESP32

Регулятор напруги 3.3 В знижує напругу живлення до безпечного рівня для мікроконтролера та інших компонентів схеми. USB використовується для підключення пристрою до комп'ютера або джерела живлення через свою шину. Акумулятор забезпечує автономне живлення пристрою, в залежності від робочої напруги його можна підключити як через USB так і через UART (за умови що його робоча напруга дорівнює 3.3 В). Індикаторний світлодіод сигналізує про стан пристрою наприклад пройшла команда повороту, проте нічого не відбулося а світлодіод видав зелений колір та певне блимання, що дає зрозуміти що команда пройшла перевірку, проте має механічні порушення. ESP-WROOM-32 CHIP це основний мікроконтролер із певними інструкціями, який виконує всі основні обчислення та керування. Антена використовується для прийому та передавання бездротового сигналу.

Таким чином, запропоновано структурну схему електронної системи протезу верхньої кінцівки керованого голосом на базі мікроконтролера ESP32, впровадження якої в процес виготовлення керованих протезів може стати сучасним рішенням для осіб із втратою руки.

#### Список використаних джерел:

1. Бондаренко І. М. Прилади та пристрої інтегральної електроніки. Частина 1: навч. посібник для студентів ЗВО / І. М. Бондаренко, О. В. Бородін, В. П. Карнаушенко, Ю. С. Васильєв ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – 228 с.
2. Sound with ESP32 - I2S Protocol // DroneBot Workshop. URL: <https://dronebotworkshop.com/esp32-i2s/> (дата звернення: 22.02.2025).