

УДК 621.326

Шегда М. – ст. гр. СП-41

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РУХАМИ ПРОТЕЗА ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

Науковий керівник: к.т.н., доцент Михалик Д. М.

Shehda M.

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

## **DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CONTROLLING UPPER LIMB PROSTHESIS MOVEMENTS USING MACHINE LEARNING METHODS**

Supervisor: PhD in Technical Sciences, Associate Professor Mykhalyk D.

Ключові слова: протезування, машинне навчання, біосигнали

Keywords: prosthetics, machine learning, biosignals

Розробка систем керування протезами верхніх кінцівок є актуальною задачею в галузі біомедичної інженерії, оскільки дозволяє відновити частину функціональних можливостей людини після втрати кінцівки. Сучасні підходи передбачають використання біосигналів, зокрема електроміографічних (EMG), які зчитуються з м'язів користувача та використовуються для керування рухами протеза. Основною складністю є точна інтерпретація цих сигналів, які можуть бути шумними, нестабільними та залежати від індивідуальних особливостей користувача.

Методи машинного навчання дозволяють будувати моделі, здатні класифікувати або регресійно відображати біосигнали у відповідні команди керування. Для цього використовуються алгоритми, такі як SVM, Random Forest, KNN, а також глибокі нейронні мережі, зокрема CNN та LSTM, які здатні враховувати часову структуру сигналів. Попередня обробка сигналів включає фільтрацію, нормалізацію, сегментацію та виділення ознак, що є критично важливим для підвищення точності моделей.

Окрім цього, важливим є забезпечення адаптивності системи до конкретного користувача. Оскільки біосигнали можуть суттєво відрізнитися між людьми, моделі повинні бути здатні до індивідуального налаштування та донавчання. Це дозволяє підвищити точність розпізнавання жестів та зробити керування протезом більш природним і зручним.

Важливим аспектом є також забезпечення роботи системи у реальному часі, що вимагає оптимізації моделей та мінімізації затримок обробки сигналів. Для цього використовуються легковагові моделі та методи оптимізації, що дозволяють реалізувати систему на вбудованих пристроях або мікроконтролерах.

Експериментальні результати показують, що використання методів машинного навчання дозволяє значно підвищити точність керування протезами порівняно з традиційними підходами. Основними метриками оцінювання є точність класифікації, затримка реакції та стабільність роботи системи [1].

Разом з тим, залишаються проблеми, пов'язані з шумністю сигналів, варіативністю положення електродів та втомою м'язів, що впливає на якість

розпізнавання. Тому актуальними є задачі підвищення робастності моделей, адаптації до змін умов та покращення зручності використання системи [2].

Додатково важливим є врахування індивідуальної калібровки системи для кожного користувача, оскільки навіть незначні зміни у розташуванні електродів або фізіологічному стані м'язів можуть суттєво впливати на характеристики сигналів. Для цього застосовуються методи адаптивного навчання та персоналізації моделей, які дозволяють системі поступово підлаштовуватись під користувача в процесі експлуатації. Використання підходів transfer learning або онлайн-навчання дає можливість зменшити час первинного налаштування та підвищити стабільність роботи системи у довгостроковій перспективі.

Окрему роль відіграє підвищення інтерпретованості моделей, що дозволяє краще зрозуміти, які саме характеристики сигналу впливають на прийняття рішення. Це важливо не лише з точки зору оптимізації алгоритмів, але й для підвищення довіри користувачів до системи. Крім того, інтеграція додаткових сенсорів, таких як акселерометри або гіроскопи, дозволяє створювати мультимодальні системи керування, які враховують як електроміографічні сигнали, так і рухові параметри, що значно підвищує точність та надійність розпізнавання жестів [3].

Таким чином, поєднання методів машинного навчання, ефективної обробки біосигналів та адаптивних алгоритмів формує комплексну технологічну основу для створення інтелектуальних систем керування протезами. Важливим є не лише використання окремих алгоритмів, а їх узгоджена інтеграція у повний конвеєр обробки сигналів — від зчитування та фільтрації біосигналів до їх інтерпретації та генерації керуючих команд у реальному часі. Це дозволяє досягти високої точності розпізнавання намірів користувача навіть у складних умовах, пов'язаних із шумами, варіативністю сигналів та змінами фізіологічного стану. Такі системи здатні забезпечити більш природну та інтуїтивну взаємодію користувача з протезом, зменшуючи затримки реакції та підвищуючи плавність рухів. Завдяки адаптивності моделей, система може поступово підлаштовуватись під індивідуальні особливості користувача, що значно покращує комфорт використання та ефективність керування. Крім того, інтеграція сучасних обчислювальних підходів дозволяє реалізувати подібні рішення на компактних пристроях, що відкриває можливості для їх широкого практичного застосування.

У результаті такі інтелектуальні системи не лише підвищують функціональність протезів, але й сприяють покращенню якості життя користувачів, розширюючи їх можливості у повсякденній діяльності. Вони також відіграють важливу роль у процесах реабілітації, допомагаючи швидше адаптуватися до використання протеза та відновлювати моторні навички, що робить їх перспективним напрямом розвитку сучасних біомедичних технологій.

1. Ameri, A., Kamavuako, E. N., Scheme, E. (2021). A review of EMG-based control of upper limb prostheses. — *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*.

2. Ortiz-Catalan, M., Håkansson, B., Brånemark, R. (2022). Real-time control of prosthetic limbs using machine learning. — *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*.

3. Phinyomark, A., Scheme, E. (2023). Feature extraction and selection for myoelectric control based on machine learning: A review. — *Sensors*.