

моделей є оптимізувати послідовність операцій, зменшити витрати та підвищити швидкодію логістичних завдань.

Математичні та оптимізаційні моделі застосовуються для точних розрахунків і планування. Сюди належать моделі оптимізації маршрутів (VRP — Vehicle Routing Problem), моделі управління запасами (EOQ, ABC/XYZ), а також методи лінійного та нелінійного програмування. Для їх реалізації використовуються інструменти Python, R, MATLAB та спеціалізовані системи, наприклад, AnyLogic чи Lingo.

Імітаційні моделі дають змогу відтворювати логістичні процеси у віртуальному середовищі. Сюди відносять агентне моделювання, дискретно-подійне або системна динаміка.

Цифрові двійники (Digital Twin) створюють цифрову копію логістичної системи, яка працює в режимі реального часу. Вони дають змогу прогнозувати можливі збої та оптимізувати роботу транспорту й складів.

Інформаційно-аналітичні та Big Data моделі використовуються для прогнозування попиту, аналізу ризиків, оптимізації запасів і вибору найкращих постачальників. У цьому випадку застосовуються алгоритми машинного навчання — нейронні мережі, регресійні моделі та дерева рішень.

Моделі інтеграції IT-систем показують, як взаємодіють різні корпоративні системи: ERP (SAP, Oracle), WMS (складські системи), TMS (транспортні системи) та MRP (системи планування ресурсів). Таким чином, кожен тип моделі виконує свою роль — від опису структури та процесів до точних розрахунків, симуляцій і цифрових двійників, що забезпечує комплексне управління логістичною системою.

Література

1. How Does Digital Transformation Impact Logistics – Now and in The Future? - Camelot Management Consultants. Camelot Management Consultants. URL: <https://www.camelot-mc.com/blog/how-does-digital-transformation-impact-logistics-now-and-in-the-future/> (date of access: 18.11.2025).

УДК 681.518.3

Г.М. Осухівська, к.т.н., доц.; А.В. Коритко; А.М. Паламар, к.т.н., доц.
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ У ПРОЦЕСІ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ

Н.М. Osukhivska, Ph.D., Assoc. Prof.; A.V. Korytko; A.M. Palamar, Ph.D., Assoc. Prof.
**REAL-TIME COMPUTER SYSTEM FOR ANALYZING ELECTROMYOGRAPHIC
SIGNALS DURING PATIENT REHABILITATION**

У сучасних умовах розвитку медичних технологій важливого значення набувають системи, здатні забезпечувати безперервний контроль фізіологічних показників пацієнта під час реабілітації. Електроміографічні (ЕМГ) сигнали, що відображають електричну активність м'язів, є ключовим індикатором стану опорно-рухового апарату, рівня м'язової взаємодії та динаміки відновлення після травм чи захворювань. Традиційні системи ЕМГ-моніторингу здебільшого громіздкі, маломобільні та потребують присутності фахівця, що ускладнює їх використання у позаклінічних умовах. Наявні рішення або потребують спеціалізованого обладнання, або не

забезпечують достатньої швидкодії й точності для аналізу м'язових скорочень. Актуальність дослідження пов'язана з потребою створення доступної системи, що дозволяє здійснювати збір, обробку та передачу ЕМГ-сигналів у режимі реального часу з можливістю віддаленого контролю.

Метою роботи є розроблення IoT-орієнтованої комп'ютерної системи для безперервного аналізу ЕМГ-сигналів у процесі реабілітації пацієнтів. Розроблена система базується на мікроконтролерному модулі ESP32 TTGO, який забезпечує достатні ресурси для локальної попередньої обробки сигналу, а також підтримує Wi-Fi технологію та MQTT-протокол для інтеграції в IoT-інфраструктуру. Сигнал зчитується за допомогою біомедичного модуля AD8232, що виконує фільтрацію та підсилення слабких мікрровольтних коливань, характерних для ЕМГ-активності. Отриманий аналоговий сигнал оцифровується вбудованим АЦП ESP32, проходить нормалізацію, фільтрацію, після чого передається на IoT-платформу Ubidots.

Хмарна платформа забезпечує візуалізацію даних у вигляді графіків, панелей стану та статистичних показників, дозволяючи лікарю або реабілітологу отримувати інформацію в реальному часі та відстежувати прогрес відновлення пацієнта. Застосування MQTT-протоколу гарантує низьку затримку передавання даних, що є критично важливим для задач реального часу. Крім того, система дозволяє зберігати історію сигналів, що забезпечує можливість довгострокового аналізу, виявлення аномалій та адаптивного налаштування програм реабілітації.

Однією з ключових переваг запропонованої системи є її мобільність та низька вартість у порівнянні з комерційними медичними комплексами. Вона забезпечує достатню точність для практичних задач відновлення м'язових функцій, підтримує віддалений доступ, працює без необхідності спеціалізованого обладнання та може бути інтегрована у домашні умови. Крім того, застосування відкритих апаратних платформ дозволяє масштабувати систему та розширювати її функціональність.

Розроблена комп'ютерна система реального часу забезпечує ефективний дистанційний моніторинг ЕМГ-сигналів і може бути застосована для медичних та наукових досліджень. Вона дозволяє підвищити якість реабілітаційного процесу, забезпечуючи безперервний зворотний зв'язок, оперативний аналіз та можливість віддаленого контролю.

УДК 004.9:620.9

А.В. Павлик, А.М. Паламар, к.т.н.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

A. V. Pavlyk, A.M. Palamar, PhD.

COMPUTERIZED SYSTEM FOR ENERGY-EFFICIENT CONTROL OF A SOLAR POWER PLANT IN A SMART HOME

Розвиток відновлюваної енергетики та зростання тарифів на електроенергію актуалізують підвищення енергоефективності житлових будинків [1]. Перспективним рішенням є кіберфізична система розумного будинку з сонячною електростанцією (СЕС) та акумуляторною батареєю, яка динамічно керує потоками енергії між СЕС, будинком, накопичувачем та мережею [2].