УДК 57.083.4:004.75 **doi.org/10.31498/2522-9990262023294299**

Сілі І. І., Азархов О. Ю., Єфременко Б. В.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ БІОІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ ТА ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Інженерна спільнота зараз переживає період інноваційних та захоплюючих можливостей завдяки поєднанню біоінженерії та Інтернету речей (IoT). Цей симбіоз стає основою для розвитку нових технологій, що перетворюють спосіб, яким ми бачимо використання пристроїв в біологічних дослідженнях та медицині. Біоінженерні завдання охоплюють широкий спектр додатків, від медичних пристроїв до біотехнологічних рішень, що потребують різних характеристик мікроконтролерів. Вибір мікроконтролера у біоінженерії ускладнюється потребою високої точності, надійності та ефективності роботи в різних умовах. Різноманітність сенсорів, які використовуються у біоінженерних задачах, вимагає підтримки різних інтерфейсів та обробки даних мікроконтролером. В свою чергу Інтернет речей, революційне відкриття, яке постійно трансформується у нові типи апаратних засобів та програмного забезпечення, що робить його беззаперечно необхідним для будь-яких технологічних рішень, зокрема і у біоінженерії. Мікроконтролер або плата розробника для Інтернету речей - це прототипне рішення, яке включає в себе енергоефективні процесори, що підтримують різні середовища програмування, збирають дані з датчиків за допомогою вбудованого програмного забезпечення та передають їх на сервер або у хмару. Увійшовши в еру Інтернету речей, використання невеликих, дешевих та гнучких апаратних засобів, що дозволяють програмування кінцевим користувачам, стає актуальним. У цій статті ми надаємо огляд сучасного апаратного забезпечення та досліджуємо продуктивність різних мікроконтролерів, таких як Arduino Uno, ESP32, Raspberry Pi. Аналіз сучасних мікроконтролерів для вирішення біоінженерних завдань з використанням Інтернету речей є важливим напрямом наукових досліджень.

Ключові слова: *інтернет речей (IoT), програмна плата, Ардуіно, ESP32, Raspberry Pi, компілятор, WiFi, біоінженерія, прототип, інтерфейс.*

Постановка проблеми. Біоінженерні завдання охоплюють широкий спектр додатків, від медичних пристроїв до біотехнологічних рішень, що потребують різних характеристик мікроконтролерів. Вибір мікроконтролера у біоінженерії ускладнюється потребою високої точності, надійності та ефективності роботи в різних умовах [1]. Різноманітність сенсорів, які використовуються у біоінженерних задачах, вимагає підтримки різних інтерфейсів та обробки даних мікроконтролером. Від споживчих електронних пристроїв до медичних імплантатів, вимоги до мікроконтролерів у біоінженерії можуть суттєво відрізнятися [2]. Необхідність оптимізації споживаної енергії та довготривала автономність у використанні ускладнює вибір мікроконтролера для біоінженерних пристроїв [3]. Розширені можливості обробки даних та швидкість реакції важливі для точних медичних діагностичних пристроїв, що ускладнює вибір відповідного мікроконтролера. Велика кількість різних протоколів зв'язку та взаємодії між пристроями у біоінженерних системах потребує вивчення сумісності та можливостей мікроконтролера [4]. Наявність вбудованих блоків обробки сигналів, підтримки високошвидкісних інтерфейсів та алгоритмів шифрування може бути ключовою у виборі мікроконтролера. Потреба у відповідності до стандартів безпеки та медичних регулятивних вимог ускладнює вибір мікроконтролера для медичних пристроїв. Швидкий та неперервний розвиток біоінженерних технологій призводить до постійних змін в вимогах до мікроконтролерів, що робить вибір більш складним та динамічним процесом [4]. В цій статі

ми пропонуємо аналіз найпопулярніших мікроконтролерів, їх переваги та недоліки для вирішення біоінженерних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ринок Інтернету речей (IoT) швидко розширюється за останні кілька років внаслідок зростаючого попиту на зв'язок та керування різними пристроями та гаджетами. Основною вимогою, яку застосовують до сучасних пристроїв IoT, є забезпечення ефективного зв'язку для надійної віддаленої комунікації та передачі даних у бездротовому середовищі. Ця концепція для пристроїв IoT в англійській літературі називається 6A (Anything, Anytime, Anyone, Anyplace, Any service, and Any network) [5].

Технологія IoT значно впливає на поведінку та спосіб життя людей як у робочих, так і в домашніх умовах. Розширені можливості зв'язку радикально перетворюють властивості та функціонування промислової автоматизації та виробництва, управління бізнесом і процесами, інтелектуальний транспорт і логістику, медицину та біоінженерію тощо. У сфері домашніх застосувань IoT покращує автоматизацію будинку та впроваджує нові технології на основі зв'язку, такі як домотика, підтримка життєдіяльності, електронне здоров'я та електронне навчання тощо.

Для подальшого розвитку IoT та розширення області його застосування потрібні потужні, недорогі та енергоефективні рішення для пристроїв IoT. Ще однією вимогою до пристрою IoT є його компактний форм-фактор: чим менший розмір і вага пристрою, тим ширший спектр його застосувань. Кожна одиниця на основі IoT складається з мікроконтролера та бездротового модуля комунікації (зазвичай WiFi), або комбінації обох функцій в одному пристрої. На ринку вже є великий вибір модулів, які широко використовуються для розробки пристроїв IoT, такі як Xbee, WhizFi, деякі плати Arduino тощо [3]. Однак більшість сьогодні доступних пристроїв є досить дорогими або великими за розміром та вагою. Крім того, дуже небагато модулів є пристроями з відкритим вихідним кодом і не мають обмежень у цілях використання. Плата ESP32, випущена на ринок компанією Espressif Systems у вересні 2016 року, для заміни попереднього мікроконтролера ESP8266. Пристрій ESP32 - це потужний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi та Bluetooth®, призначений для використання у пристроях IoT.

З інноваціями у технології виготовлення напівпровідників виробники здатні інтегрувати пам'ять, вводо-вивідні інтерфейсні схеми, таймери, послідовні порти зв'язку та аналого-цифрові перетворювачі та інші периферійні пристрої у мікроконтролер. Таким чином, це, по суті, ціла мікросхема, виготовлена на одному чіпі. Одиничні мікроконтролери використовуються в товарах для споживачів, таких як пральні машини, копіювальні апарати, кондиціонери, принтери і т.д., високошвидкісна обробка даних, така як відеоконференції, реальний час стиснення та системи безпеки, обробка зображень і т.д., системи автомобілів, такі як електронні системи керування кермом, системи протиблокувального гальмування і т.д., різні промислові застосування, такі як приводи змінного та постійного струму, позиційне керування, керування рухом та інше. Через інтеграцію всіх блоків функцій на одному чіпі мікроконтролера, розміри плат управління та споживання енергії зменшуються; надійність системи збільшується, а також забезпечується гнучкість [3-4]. Інші переваги використання таких систем на основі мікроконтролерів - просте виправлення помилок та обслуговування. Всі вищезазначені області застосування залежать від кількох факторів вибору правильного мікроконтролера для конкретних застосувань. У цій роботі наводиться огляд критичних врахувань факторів, що відповідають специфікаціям системи за рахунок зменшення загальних витрат, до яких входять витрати на виробництво, гарантію, науково-дослідну роботу, післяпродажне обслуговування, обслуговування, заміну та інше.

У 1993 році створення EEPROM дозволило мікроконтролерам (починаючи з Microchip PIC16x840) виконувати швидке електричне стирання. Разом з цим з’явилась можливість

швидкого створення прототипів і швидкого програмування In-System-Programming (ISP). Того ж року був представлений перший мікроконтролер, який використовував флеш-пам'ять, розроблений компанією Atmel. Сьогодні на ринку доступні мікроконтролери від 4 до 32 біт [6]. Структуру сучасного мікроконтролера можна описати основними елементами, які наведені на рисунку 1.

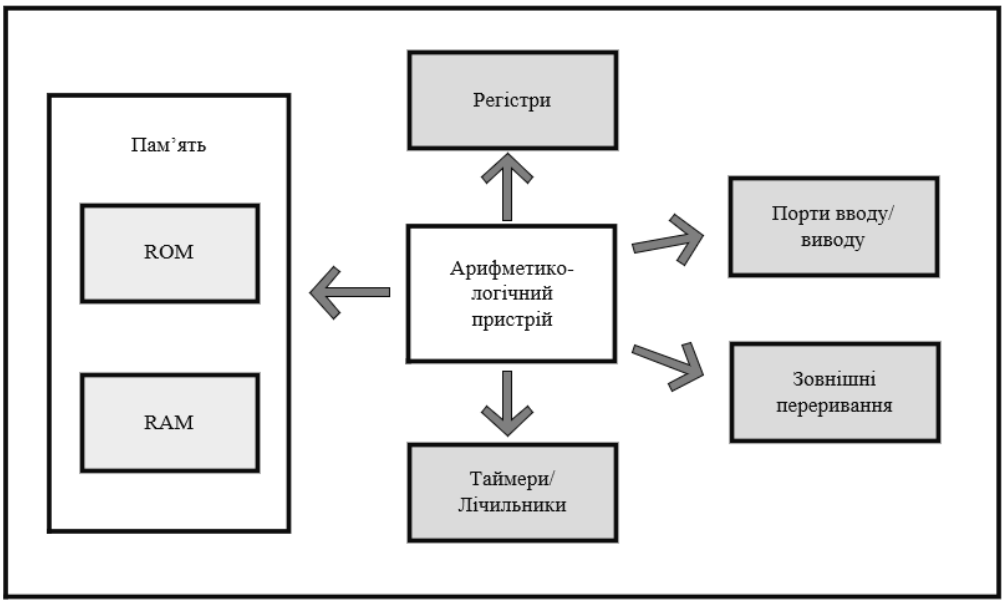

Рисунок 1 – Схематична блок-схема сучасного мікроконтролера

Залежно від кількості бітів вони класифікуються на чотири категорії: 4-бітові, 8-бітові, 16-бітові та 32-бітові мікроконтролери. 4-бітові мікроконтролери широко використовуються в електронних іграшках. 8-бітові мікроконтролери використовуються в різних системах керування, таких як керування положенням, керування швидкістю та будь-якою системою управління процесами. 16-бітові мікроконтролери розроблені для високошвидкісних застосувань, таких як системи керування сервоприводом, робототехніка тощо. Програмування таких мікроконтролерів може здійснюватися або мовою високого рівня (C++, Python), або мовою асемблера. Для дуже швидких операцій у робототехніці, обробці зображень, автомобільній техніці, системах інтелектуального керування та телекомунікаціях використовуються 32-бітові мікроконтролери. Типовими прикладами мікроконтролерів є сімейства Intel MCS48, 51 і 96, Motorola MC68HC11 і Zilog z8. Більшість з цих мікроконтролерів мають розмір однієї літери у 8 біт (за винятком MCS-96 з розміром літери у 16 біт), принаймні 64 байти ОЗУ і 1 КБ ПЗУ. Кількість ліній вводу/виводу варіюється від 16 до 40.

Мета дослідження. Мета статті полягає в проведенні аналізу сучасних мікроконтролерів, які використовуються для вирішення завдань у сфері біоінженерії з використанням Інтернету речей (IoT). Стаття спрямована на дослідження та визначення ключових параметрів, які впливають на вибір мікроконтролера для біоінженерних застосувань в умовах IoT.

Основний матеріал дослідження. Різні виробники виготовляють мікроконтролери з різними архітектурами. Intel 8051, Freescale 6811, PIC 16X від Microchip Technology, Zilog Z8 - це чотири основні 8-бітові мікроконтролери (рис.1.). Завдяки унікальному набору інструкцій та регістрів вони несумісні між собою. Програма, написана для одного з них, не запуститься на іншому мікроконтролері від іншого виробника [6].

Одна з основних цілей розроблюваного пристрою (з точки зору Інтернету речей) полягає в зборі даних. Тому наступним кроком слід задуматися про те, які саме дані ми збираємо та яке обладнання для цього потрібно. У еру Інтернету речей активно використовуються невеликі, дешеві та гнучкі обчислювальні пристрої, які дозволяють користувачам виконувати програмування на кінцевому етапі. Мікроконтролер спрямований на інтеграцію периферійних пристроїв, необхідних для швидкого управління вбудованою системою. Простими словами, мікроконтролер - це один інтегрований лічильник, який принаймні містить необхідні елементи повноцінної комп'ютерної системи. При розробці нових рішень для Інтернету речей, апаратні та програмні компоненти розробляються, створюються прототипи та удосконалюються за допомогою інтеративного процесу зворотного зв'язку та оцінки. Існуючі апаратні платформи, такі як Arduino та Raspberry Pi, можуть допомогти прискорити цей процес швидкої розробки та удосконалення, оскільки вони легко доступні та вимагають менших інвестицій, ніж проектування та виготовлення спеціальних друкованих плат (ПЛІС) на кожній ітерації дизайну. Вибір плати для розробки IoT здійснюється на основі наступних факторів:

–Вартість;
–Специфікації: пам'ять, процесор, можливості введення-виведення тощо;
–Підтримка/опції програмування;
–Надійність постачальника;
–Сумісність з датчиками та приводами.

Таблиця 1 – Список виробників та їхніх продуктів

Виробник	Продукт
Atmel	AT89 series (Intel 8051 architecture) , AT90, ATtiny, ATmega, ATxmega series(AVR architecture), AT91SAM (ARM architecture), AVR32 (32-bit AVR architecture), MARC4
Dallas Semiconductor	8051 family, MAXQ RISC family, Secure Micros family
Freescale Semiconductor	68HC05, 68HC08, 68HC11 (8-bit), 68HC12, 68HC16 (16-bit), 683XX, MCF5xxx, M-core, MPC500, MPC860 (32-bit)
Intel	MCS-48, MCS-51, 8xC251 (8-bit), MCS-96, Intel MCS-296
Microchip Technology	PIC10, PIC12, PIC16 series, PIC18 series (8-bit), PIC24, dsPIC (16-bit), PIC32MX series
NXP Semiconductor	80C51 (8-bit), XA (16-bit), ARM7/LPC2000, ARM9/LPC3000, ARM Cortex-M0/LPC800,LPC1100, LPC1200, ARM Cortex-M3/LPC1300, LPC1700, LPC1800, ARM Cortex-M4/LPC4300
ST Microelectronics	ST6, ST7, STM8, uPSD (8-bit), ST10 (16-bit), ST20, ARM7/STR7, ARM9/STR9, ARM Cortex-M0/STM32 F0, ARM Cortex-M3/STM32 F1, F2, ARM Cortex-M4/STM32 F4
Texas Instruments	TMS370 (8-bit), MSP430 (16-bit), TMS 320, ARM Cortex-R4/TMS570 (32-bit)
Zilog	8051, ARM922T, MAXQ20, MAXQ30, MIPS4kSD
Maxim Integrated	8051, ARM922T, MAXQ20, MAXQ30, MIPS4kSD

Збір даних (Data acquisition DAQ) - це процес вимірювання умов реального світу та перетворення цих вимірювань на цифрові показники з фіксованими інтервалами часу (частота зрізу даних) [5]. Датчики - це компоненти введення, які вимірюють фізичні величини та перетворюють їх на електричні сигнали (зазвичай напругу). До вимірюваних сигналів відносяться температура, вологість, тиск, дим, газ, світло, звук, вібрація, потік повітря, потік води, швидкість, прискорення, близькість, позиція за GPS, висота чи сила, і список може

продовжуватися. Датчики контролюють внутрішній стан пристрою, а елементи, такі як кнопки, перемикачі чи сенсорний екран, можуть використовуватися для безпосередньої взаємодії з пристроєм, надаючи інтерфейс людина-машин. Вихідні пристрої є протилежними: вони перетворюють електричний сигнал на фізичний результат. До вихідних пристроїв відносяться світлодіоди, динаміки та екрани, а також приводи, такі як двигуни чи соленоїди, які переміщують або керують речами у фізичному світі. Проаналізуємо сучасні мікроконтролери, які представлені сьогодні на ринку з точки зору їх апаратних та програмних можливостей.

Arduino UNO - це відкрита прототипна платформа, яка добре підходить для початку роботи з електронікою та програмуванням (рис.2). UNO є найбільш використовуваною та задокументованою платою усієї сім'ї Arduino. Універсальна та проста у використанні апаратна частина та програмне забезпечення UNO, дають розробнику можливості швидко створювати прототипи та мати якісний апаратно-орієнтований підхід до розробки. Arduino чудово справляється з конфігурацією апаратури та передачею даних на зовнішній пристрій для їх відображення. Плату потрібно просто підключити до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або до мережі за допомогою адаптера AC-DC або батареї, щоб почати роботу. Основні характеристики: базується на процесорі ATmega328P. Має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, 16-мегагерцовий кварцовий кристал, USB-підключення, роз'єм живлення, ICSP та кнопку скидання. "Uno" означає "один" на італійській мові і було обрано для позначення випуску Arduino Software (IDE) 1.0. Arduino Software (IDE) були основними версіями Arduino, які тепер розвиваються до нових релізів [7].

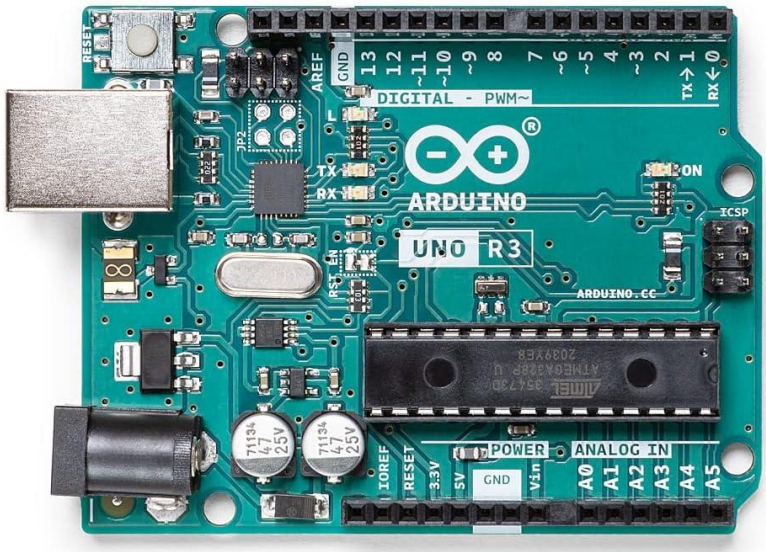

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд плати Arduino UNO

Мікроконтролер ATmega може виконувати до 16 мільйонів операцій за секунду. На перший погляд, 16 мільйонів операцій за секунду може здатися великою кількістю (і це так, в певному роді), але коли ми розглядаємо, скільки різних операцій потрібно виконати навіть для простих завдань на Arduino, то це насправді не так вже й багато. Для багатьох проектів тактові цикли діляться між такими операціями, як обчислення, комунікація по I2C, читання та запис в контакти та регістри, а також багатьма іншими операціями.

Плати до прототипування Raspberry Pi, є комп'ютерами компактного розміру, майже розміром з кредитну картку (рис.3). Їх легко можна підключити до монітора, комп'ютера або

телевізора, вони сумісні зі стандартною клавіатурою та мишею [8]. Навіть користувачі з обмеженим технічним досвідом використовують ці платформи для налаштування своїх цифрових медіа-систем та систем спостереження. Серед різних версій Raspberry Pi, Raspberry Pi 3 вирізняється як доступна та потужна обчислювальна платформа. Основні характеристики: Raspberry Pi 3 включає в себе процесор з такими характеристиками: 1,2 ГГц, 64-бітний чотирьохядерний процесор ARMv8, бездротова мережа 802.11n, Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy (BLE), 1 ГБ оперативної пам'яті, 4 USB-порти, 40 GPIO-виводів, повноцінний HDMI-порт, комбінований аудіо-вихід на 3,5 мм та комбінований вихід для композитного відео, інтерфейс камери (CSI), інтерфейс дисплея (DSI), слот для Micro SD-карт, графічне ядро videoCore IV 3D.

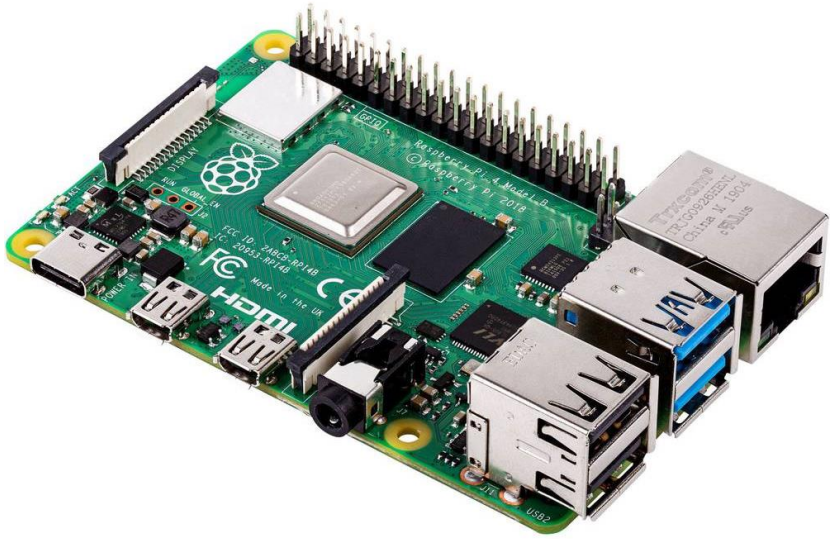

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд плати Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3, з чотирьохядерним процесором ARM CortexA53, вважається у 10 разів потужніший за Raspberry Pi 1. Це, на думку дослідників, залежить від паралельності завдань та використання набору інструкцій. Вимірювання продемонстрували, що Raspberry Pi 3 при паралельних завданнях приблизно на 80% швидший за Raspberry Pi 2. У паралельних тестах Raspberry Pi 2 V1.1 може бути до 14 разів швидшим за Raspberry Pi 1 Model B+. Перше покоління Raspberry Pi працювало за замовчуванням на частоті 700 МГц та забезпечувало реальну продуктивність, що приблизно відповідала 0.041 GFLOPS. Графічні можливості Raspberry Pi приблизно відповідають продуктивності Xbox 2001 року. Результати однонодових обчислень у бенчмарках LINPACK показують середню продуктивність одноковшівної точності 0.065 GFLOPS та подвійної точності 0.041 GFLOPS для однієї плати Raspberry Pi Model-B. Способи використання програмного забезпечення: Raspberry Pi працює на спеціально адаптованій версії операційної системи Debian Linux під назвою Raspbian, що дозволяє встановлювати різноманітні пакети, включаючи Node.js, Java, стек LAMP, Python та багато іншого.

Застосування:

–Можливість створення міні-комп'ютера;

–Дозволяє створювати легкий веб-сервер, оскільки підтримує всі мови програмування, такі як C++, Java;

–Може працювати з WordPress, тож ви можете керувати своїм власним блогом/веб-сайтом

Arduino та Raspberry Pi не мають вбудованої підтримки бездротових мереж. Розробники повинні додати модуль WiFi або мобільний модуль до плати та написати код для доступу до бездротового модуля. На ринку представлена відкрита плата для Інтернету речей під назвою ESP32 [7], яка дозволяє вам програмувати ваш пристрій за допомогою сценаріїв Lua (рис.4). Однією з його найунікальніших особливостей є вбудована підтримка WiFi-з'єднання. ESP32, розроблена і виготовлена компанією Espressif Systems, містить всі ключові елементи сучасного комп'ютера: процесор, оперативну пам'ять, мережеве з'єднання (WiFi), навіть сучасну операційну систему та набір розробника програмного забезпечення (SDK). Це робить ESP32 розумним вибором для взаємодії з Інтернетом речей [9].

Рисунок 4 – Зовнішній вигляд плати ESP32

Цей модуль надає простий засіб вимірювання продуктивності програми. Він приблизно кожні 50 мікросекунд відбирає лічильник програм та формує гістограму знайдених значень. Оскільки для зберігання гістограми доступна лише обмежена кількість пам'яті, користувач може вказати, яка область коду його цікавить. За замовчуванням обирається вся флеш-пам'ять, яка містить код. Після визначення "гарячих точок" можна повторити виконання з різними областями та різними роздільною здатністю, щоб отримати стільки інформації, скільки потрібно. Загальний опис характеристик плати: 64 кБ завантажувальної ROM, 32 кБ RAM для інструкцій, та 80 кБ оперативної пам'яті користувача (також, 32 кБ кеш-пам'яті для інструкцій та 16 кБ системної даних ETS). Зовнішня флеш-пам'ять доступна через SPI [10]. Сам чіп має розміри 5мм×5мм і розміщується в корпусі Quad Flat No-Leads з 33 з'єднувальними пластинами — по 8 пластин на кожній стороні та одну велику пластину у центрі [11]. USB-TTL включено, просте підключення та використання. 10 виводів GPIO від D0 до D10, можливість реалізації ШИМ-сигналу, комунікація по I2C та SPI, підтримка 1-Wire та АЦП A0 — усе це на одній платі з вбудованою PCB-антеною [11].

ВИСНОВКИ

Отже, проведений аналіз показує,що ці платформи сприяють розвитку Інтернету речей, використовуючи конкретні плати відповідно до призначеного застосування. Визначено, що різні платформи, такі як Raspberry Pi, Arduino та ESP32, мають свої унікальні переваги та

характеристики, які можна використовувати у біоінженерних дослідженнях та застосуваннях. Raspberry Pi-3 має високу продуктивність порівняно з платами, такими як Arduino та ESP32, у плані обсягу пам'яті та обчислювальної швидкості, але вищу ціну. ESP32, оснащений вбудованим WiFi та Bluetooth, служить як простий засіб підключення до Інтернету та передачі даних на хмарні сервери, якщо це необхідно для подальшої обробки. Однак з порівняння видно, що плати, такі як Arduino, оснащені вбудованим аналого-цифровим перетворенням, мають кращі можливості для сприймання аналогових даних, коли потрібно отримати неперервний сигнал від аналогових датчиків. Вибір конкретної платформи для біоінженерних завдань у сфері IoT залежить від конкретних потреб дослідження та вимог проекту, а також від важливості аспектів продуктивності, зв'язку та аналогового сприймання даних у конкретному застосуванні. Проведений аналіз допомагає зрозуміти переваги кожної з платформ та їх потенціал у біоінженерних проектах, сприяючи вибору оптимального рішення для конкретних завдань у цій сфері.

Список використаних джерел

1. *Сілі І.І.* Тензосенсорна рукавиця для людей з порушенням мовлення / *Сілі І.І., Азархов О.Ю., Єфременко Б.В.//* Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 25 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2023. – 159 – 167 с. DOI: https://doi.org/10.31498/2522-9990252023286737.

2. *Сілі І.І.* Електронна система виміру деформацій пілону протезних систем / О. Ю. Азархов, І. І. Сілі, Б. В. Єфременко // Науковий вісник ТДАТУ. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 2. URL: https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/435 DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-40.

3. *Behura A.* Application of the Internet of Things (IoT) in Biomedical Engineering: Present Scenario and Challenges / *Behura A., Nandan Mohanty S.* //Internet of Things and Its Applications. – 2022. – С. 151-169.

4. *Pramesha Chandrasiri G. A.* A comparative study in the application of IoT in health care: data security in telemedicine / *Pramesha Chandrasiri G. A., Halgamuge M. N., Subhashi Jayasekara C.* //Security, Privacy and Trust in the IoT Environment. – 2019. – С. 181-202.

5. *Jain P.* IoT-Based Solutions for Smart Healthcare // Emerging Technologies for Healthcare: Internet of Things and Deep Learning Models. – 2021. – С. 25-67.

6. *George B.* Advanced Interfacing Techniques for Sensors: Measurement Circuits and Systems for Intelligent Sensors. – Springer, 2017. – Т. 25.

7. *Alves A. P.* A Biosignal Acquisition System based on the Arduino //BIODEVICES. – 2013. – С. 261-264.

8. *Joukhadar A.* A portable Raspberry Pi-based system for diagnosis of heart valve diseases using automatic segmentation and artificial neural networks //Cogent Engineering. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 1856757.

9. *Babiuch M.* Using the ESP32 microcontroller for data processing / *Babiuch M., Foltýnek P., Smutný P.* //2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC). – IEEE, 2019. – С. 1-6.

10. *Сілі І.І.* Фетальний пульсометр з мікропроцесорним управлінням. / Сілі І. І., Азархов О. Ю., Федюшко Ю. М., Головаха Р. В. - Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 23 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2020. – 173 – 181 с. DOI: https://doi.org/10.31498/2522-9990232020240827.

11. *Kurniawan A.* Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32. – Packt Publishing Ltd, 2019.

Sili I. I., Azarkhov O. Yu., Efremneko B. V.

ANALYSIS OF MODERN MICROCONTROLLERS FOR SOLVING BIOENGINEERING TASKS AND UTILIZING THE INTERNET OF THINGS

The engineering community is currently experiencing an era of innovation and exciting possibilities through the fusion of bioengineering and the Internet of Things (IoT). This synergy forms the basis for developing new technologies that transform the way we perceive and utilize devices in biological research and medicine. Bioengineering tasks encompass a wide spectrum of applications, from medical devices to biotechnological solutions, necessitating diverse characteristics in microcontrollers. Choosing the right microcontroller for bioengineering is complicated due to the need for high precision, reliability, and efficient performance under varying conditions. The diversity of sensors used in bioengineering tasks demands support for various interfaces and data processing by the microcontroller. Simultaneously, the Internet of Things, a revolutionary discovery, continually evolves into new hardware and software types, making it an undeniable necessity for any technological solution, including bioengineering. An IoT microcontroller or development board is a prototyping solution that features energy-efficient processors supporting various programming environments. They collect sensor data using embedded firmware and transfer it to a server or cloud. As we step into the era of IoT, the utilization of small, inexpensive, and adaptable hardware enabling end-user programming becomes pertinent. In this article, we provide an overview of contemporary hardware and explore the performance of various microcontrollers like the Arduino Uno, ESP32, and Raspberry Pi. Analyzing modern microcontrollers for addressing bioengineering challenges using IoT is a crucial research direction. The article investigates and compares the key features and functionality of popular microcontrollers within the context of their application in biomedical systems and biological research.

Keywords: *internet of Things (IoT), development board, Arduino, ESP32, Raspberry Pi, compiler, WiFi, bioengineering, prototype, interface.*

Стаття надійшла 14.10.2023 р.