

К. О. Вадурін, А. Л. Перекрест, М. І. Гученко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

## ПРОТОТИП КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

**Анотація.** Телефони, персональні комп'ютери, машини, потяги, літаки у всіх цих пристроях є величезна кількість датчиків, що дозволяють визначити поточний стан майже кожної системи апарату. Але зовсім не досліджують психоемоційний та фізичний стан операторів під час керування такою комплексною технікою. За статистикою, більше половини авіакатастроф стається через людський фактор. Щоб зменшити кількість авіакатастроф пов'язаних з погіршенням стану оператора літального апарату пропонується використовувати мобільний біомедичний комплекс з програмною та апаратною частинами. Розроблений комплекс має знімати основні біологічні показники оператора у реальному часі, зберігати та оброблювати їх, щоб за цими даними було можна давати поради операторові задля покращення його стану. Апаратна частина включає наступні блоки обробки даних з датчиків: кардіограф; чотири міографи; пульсоксиметр; температури та вологості; визначення опору шкіри. Дані від блоків обробників даних збираються мікроконтролером-обробником, який може додатково перетворювати дані у адекватні фізичні величини. Мікроконтролер-обробник обмінюється даними з мікроконтролером-сервером, що призначений для буферизації та виведення даних на пристрій користувача чи у хмарні WEB-сервіси. Програмна частина включає програми нижнього рівня для збирання даних вимірів, їх обробку, формування у пакети, обмін пакетами між мікроконтролерами та вивід даних на WEB-сервіси, а також Backend WEB-сторінок користувачького інтерфейсу. Програмування верхнього рівня включає розробку WEB-сторінок де відображається поточна інформація про стан досліджуваного користувача. На даний момент створена модель біомедичного комплексу на базі платформ Arduino UNO та NodeMCU, яка може вимірювати опір шкіри, вологість та температуру дихання, а також передавати їх клієнтам що знаходяться в локальній мережі. У майбутньому планується: розробка системи збереження даних та їх надсилання під'єднаним користувачам; удосконалення користувачького інтерфейсу та реалізація функціоналу швидкого перенастроювання моніторингових функцій комплексу; створення системи обробки даних на основі інформаційно-аналітичних інструментів підтримки прийняття рішень, щоб формувати індивідуальні рекомендації щодо покращення фізичного стану оператора.

**Ключові слова:** біомедичний комплекс, WEB-сервер, IoT пристрій, кібернетична система, Arduino, ESP, програмне рішення, апаратне рішення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Наразі у світі наявна велетенська кількість апаратів керування якими здійснюється людьми-операторами. Розробники таких апаратів передбачають різноманітні стани, в яких можуть знаходитися їх творіння, встановлюють найрізноманітніші датчики для моніторингу стану критичних систем та положення апарату у просторі. Фізичний стан операторів таких складних апаратів вимірювати, на жаль, не прийнято. За статистикою більше 50 % авіакатастроф трапляються через людський фактор.

Інженери постійно намагаються зменшити вплив людського фактору удосконалюючи керуючі та безпекові вузли літальних апаратів.

Ми ж пропонуємо здійснювати моніторинг та чинити вплив на джерело людського фактору – оператора літального апарата.

Щоб спробувати скоригувати вплив фізичного стану оператора літального апарату на вчинення ним помилок доцільно створити біомедичний комплекс для зняття поточних біологічних параметрів оператора та формування рекомендацій для його покращення, якщо є необхідність.

**Мета та задачі досліджень.** Метою цієї роботи є створення цілісної IoT-базованої інформаційної технології, що дозволяє знімати, акумулювати, оброблювати фізичні показники оператора літального апарата та у реальному часі формувати рекомендації для їх покращення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих програмно-апаратних рішень для моніторингу стану оператора літального апарату;
- розробити структуру апаратної частини для реалізації біомедичного комплексу;
- створити прототип біомедичного комплексу, достатній для реалізації програмної частини комплексу;
- розробити програми для роботи апаратної частини та візуалізації даних.

**Об'єкт та предмет досліджень.** Об'єктом дослідження є процес зняття, обробки та акумулювання біологічних показників стану оператора літального апарата.

Предметом дослідження є інформаційна технологія моніторингу стану оператора, що керує літальним апаратом.

**Методи дослідження.** Теоретичні: досліджено можливості обміну даними між двома мікроконтролерами, що знаходяться в одній системі та зовнішніми приймаючими пристроями.

Експериментальні дослідження полягають у тому що: розроблена структурна схема біомедичного комплексу для моніторингу стану оператора літального апарата; створено прототип, що володіє основним функціоналом запропонованої структури; реалізована програмна частина розробки для базової обробки та візуалізації даних на пристрої користувача; опротестовано прототип біомедичного комплексу з

використанням існуючої IoT-інфраструктури та у режимі створення власної інфраструктури.

**Наукова новизна роботи.** Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- удосконалено інформаційну систему взаємодії мікроконтролерів Atmega328p та ESP8266, яка, на відміну від інших, базується на основі передачі даних по UART у вигляді посилки, що дублюються у інтерфейс COM-порту через мікросхему CH340, що дозволяє як отримувати дані на стаціонарному ПК під'єднаному дротом, так і на другому мікроконтролері системи;

- удосконалено метод побудови медичного обладнання розумної лікарні використовуючи прийоми IoT, який, на відміну від існуючих, передбачає використання для обробки інформації декілька енергозберігаючих мікроконтролерів, що має дозволити збільшити час роботи портативних біомедичних пристроїв за умов використання акумуляторів такої ж ємності;

- уперше розроблено метод збору та структурування даних про операторів літальних апаратів під час тренувальних польотів, для формування баз даних з трендами основних біологічних показників різних користувачів у подібних симульованих ситуаціях. Метод, на відміну від інших, передбачає зберігання даних в окремо створену базу даних з прив'язкою часових відрізків моніторингу до відео потоку зйомки тестового польоту, що має дозволити краще пов'язати дії з біологічно-психологічним станом;

- уперше розроблено структуру апаратної частини інформаційної системи збирання біологічних параметрів на основі взаємодії Arduino UNO та NodeMCU, яка, на відміну від інших, передбачає збирання та первинну обробку даних одним мікроконтролером та фінальну обробку і візуалізацію даних іншим мікроконтролером, що повинно забезпечити рівномірний розподіл завантаженості між мікроконтролерами та зменшити загальний час необхідний на повний цикл обробки даних;

- удосконалено графічний WEB-інтерфейс для індикації знятих біологічних показників, який, на відміну від інших може здійснювати паралельне асинхронне оновлення точок графіків, що має підвищити якість візуалізації контенту.

#### **Практична цінність отриманих результатів.**

Практична цінність отриманих результатів полягає в: розробці структури біомедичного комплексу та реалізації його прототипу на базі платформ Arduino UNO та NodeMCU; створенні програмного забезпечення нижнього рівня для збирання даних про біологічні показники, їх обробці, упаковуванню у посилки, прийнятті посилки, виокремлення з них даних, візуалізації даних на WEB-сторінці запущеного локального серверу; створенню універсальної програмної основи для складних пристроїв IoT на базі Atmega328p та ESP8266.

#### **Аналіз подібних рішень**

Питання розробки IoT пристроїв для медичного використання розглядається великою кількістю наукових команд з різними підходами. Дослідникам було проведено дослідження з зняття електрока-

рдіограми за допомогою модуля BITalino (r)evolution та надсиланням їх використовуючи Bluetooth на персональний ПК для подальшої обробки, що описано у [1]. Проаналізовано можливості використання периферійних обчислень та штучного інтелекту в інтелектуальних біомедичних датчиках наступного покоління, що розглянуто в [2]. Розроблено моніторингову систему збору даних частот серцевих скорочень футболістів у [3].

Ми ж пропонуємо здійснювати моніторинг операторів літальних апаратів під час тренувальних польотів. Оператори літальних апаратів знаходяться переважно у зафіксованому та малорухливому стані та на їх біологічні параметри значно впливатимуть, крім переважань, психологічні та емоційні чинники. Щоб отримати, обробити, структурувати біологічні показники оператора літального апарату, прив'язати отримані тренди до того чи іншого психологічного стану та надати рекомендації щодо можливого покращення стану оператора можливо використати існуючу IoT-інфраструктуру з імплементацією наших програмно-апаратних рішень.

#### **Розробка структурної схеми біомедичного комплексу**

Наразі, наша команда працює над створенням універсальної програмної платформи для реалізації комплексної системи інтернету речей. Розроблювана платформа базується на взаємодії набору електронних пристроїв: мікроконтролера-обробника; мікроконтролера-сервера; набору кінцевих керуючих пристроїв. На основі цієї платформи відбувається розробка таких IoT проектів, як: «Стенд для випробування іграшкових автомобілів на базі стрічкового конвеєра та ЧПК верстата», «Мобільний пристрій моніторингу стану повітря за маршрутом руху екологічного транспорту». Представлений в цій статті біомедичний комплекс також базується на основі розроблюваної зв'язки мікроконтролерів.

Для побудови апаратної частини пристрою для моніторингу стану оператора літального апарата, спершу, було створено його структурну схему.

До структурної схеми ввійшли блоки, що легко піддаються мініатюризації, щоб у подальшому можна було помістити апаратну частину комплексу в невеличкий корпус для вільного носіння досліджуваним оператором.

У ролі мікроконтролера-обробника виступає Atmega328p, що входить до складу платформи Arduino UNO. Цей мікроконтролер має оброблювати дані з блоків моніторингу, формувати їх у повідомлення та надсилати пакети даних у послідовний порт UART. Оскільки дані, що будуть надіслані через UART до мікроконтролера-сервера дублюються мікросхемою CH340 у інтерфейс COM-порту, при приєднанні до ПК, можливо реалізувати функцію переходу у стаціонарний режим моніторингу. Стаціонарний режим передбачає живлення системи від ПК та відмикання функцій виведення даних за допомогою мікроконтролера-сервера.

Для реалізації функцій мікроконтролера-сервера було обрано чіп ESP8266 у складі платформи

NodeMCU. Дана платформа отримує дані від Atmega328p, оброблює їх та виводить на встановлений сервер. Сервер являє собою набір WEB-сторінок у які виводяться дані. NodeMCU може працювати як станція, підключаючись до локальних точок доступу, чи створювати власну мережу, що корисно коли поблизу немає вільних чи знайомих Wi-Fi-мереж. Також серед слід відзначити можливість передавати дані ESP8266 до хмарних сховищ чи ресурсів, де надіслані дані можуть зберігатися та піддаватися додатковій обробці та аналізу.

За допомогою блоку індикації планується візуалізувати процеси зміни режимів роботи та розрахунковий час роботи акумулятора.

Блок зміни режимів роботи включатиме набір перемичок та вузлів узгодження рівнів сигналів, для швидкого переходу в режим програмування Atmega328p чи ESP8266, чи для обміну даними по UART.

До блоку кардіографа входить AD8232 на платі від SparkFun, що має дозволити отримати приблизний вигляд кардіограми досліджуваного оператора.

Блок пульсоксиметру включає два вузли: MAX30102 – інтегральний датчик пульсу та насиченості крові киснем; Pulse Sensor – модуль для калібрування отриманих значень серцевих скорочень з MAX30102.

Блок визначення опору шкіри фактично реалізований на базі платформи Arduino UNO, як цифровий оміметр.

Блоки міографів являють собою EMG модулі підсилювачів, що мають фіксувати зміни електропотенціалів на м'язях досліджуваного оператора.

Блок виміру температури та вологості дихання на основі DHT11 дозволить, у подальшому, спростувати чи підтвердити теорію про зміну вологості та температури дихання залежно від фізичного стану досліджуваного суб'єкта.

Блок цифрової обробки звуків подиху містить два модулі: MAX9814, що дозволяє записувати звуки подиху; KY-037, що дозволяє визначити тривалість вдиху-видиху та їх періодичність.

Електроди та датчики, необхідні для зняття вимірів з тіла досліджуваного суб'єкта, мають розміщуватися поза корпусом пристрою та під'єднуватися через роз'єм. Деякі з описаних блоків обробки сигналів можуть потребувати безпосереднього розміщення на тілі досліджуваного суб'єкта.

Акумулятор необхідний для забезпечення мобільності пристрою та незалежності від побутової мережі. Блок перетворення напруги акумулятора необхідний лише для прототипів пристрою на фінальних етапах розробки, на даній стадії живлення здійснюється від USB-роз'ємів ПК.

Для кінцевих етапів проектування передбачено можливість оновлення прошивок на Atmega328p та ESP8266 за допомогою ПК. Також ПК має стати основою для створення стаціонарної станції моніторингу, яка акумулюватиме дані напряму з мікроконтролера-обробника та структуруватиме їх формуючи базу даних контрольних вимірів для кожного досліджуваного суб'єкта.

При переміщенні суб'єкта в межах однієї бездротової мережі, під час дослідження, можливе підключення пристрою до Wi-Fi точки доступу для віддачі даних у хмарний сервіс чи портативний ПК-дослідника.

Структурну схему розробленого біомедичного комплексу надано на рис. 1.

### Синтез схеми електричних з'єднань та фізична побудова прототипу

Схема електричних з'єднань та прототип апаратної частини інформаційно-технології розроблені виходячи з кількості та типу наявних модулів. На момент побудови першого прототипу у наявності було лише декілька модулів та платформ: Arduino UNO; NodeMCU; AD8232; DHT11; резистори декількох номіналів; макетна плата; контактні дроти.

Схема електричних з'єднань виконана за допомогою програми Fritzing, а моделі модулів NodeMCU, AD8232, DHT11 знайдені у відкритих джерелах. Як видно з схеми представленої на рис. 2, NodeMCU та Arduino UNO підключені за лініями RX та TX, для обміну даними по UART, що також треба враховувати при заливці прошивки на кожен з платформ.

Використання в схемі двох мікроконтролерних платформ дозволяє розподілити між ними задачі інформаційної обробки знятих даних. До аналогових та цифрових виводів Arduino UNO підключаються або модулі, або обвіска для здійснення розрахунків використовуючи вбудовані функціональні можливості Atmega328p. Робота ж з серверної частини та акумулювання даних здійснюється переважно NodeMCU, оскільки вона має більший об'єм пам'яті та власну файлову систему.

Побудований прототип апаратної частини інформаційної технології отримання, обробки та візуалізації біологічних показників наведено на рис. 3.

На момент публікації статті його живлення відбувається від ПК, а отже, й дані дублюються в інтерфейс послідовного порту, хоча основна візуалізація оброблених показників здійснюється через мережу сформовану локальною точкою доступу, у вигляді WEB-інтерфейсу.

Кінцевий датчик блоку визначення опору шкіри представлений резистором, замість якого має бути підключена ділянка шкіри опір якої вимірюється. Принцип вимірювання опору шкіри базується на основі ділення напруги, причому опір невідомого резистора визначається на основі падіння напруги на відомому резисторі. У змодельованій схемі максимально можливий вимірюваний опір становить:  $(272 \text{ Ом} - \text{опір відомого резистора дільника}) \times (4,995 \text{ В} - \text{напруга на шкірі по відношенню до землі}) / \{(5 \text{ В} - \text{напруга на виводі живлення Arduino UNO}) - (4,995 \text{ В} - \text{напруга на шкірі})\} = 278256 \text{ Ом}$ .

Виміри температури, вологості подиху та їх відношення здійснюються за допомогою підключеного модуля DHT11. Струм живлення цього модуля становить до 2,5 мА (на етапі перетворення даних), діапазон виміру вологості 20 ... 80 % з похибкою 5 %, діапазон виміру температури 0 ... 50 % з точністю 2 %, частота формування даних 1 Гц.

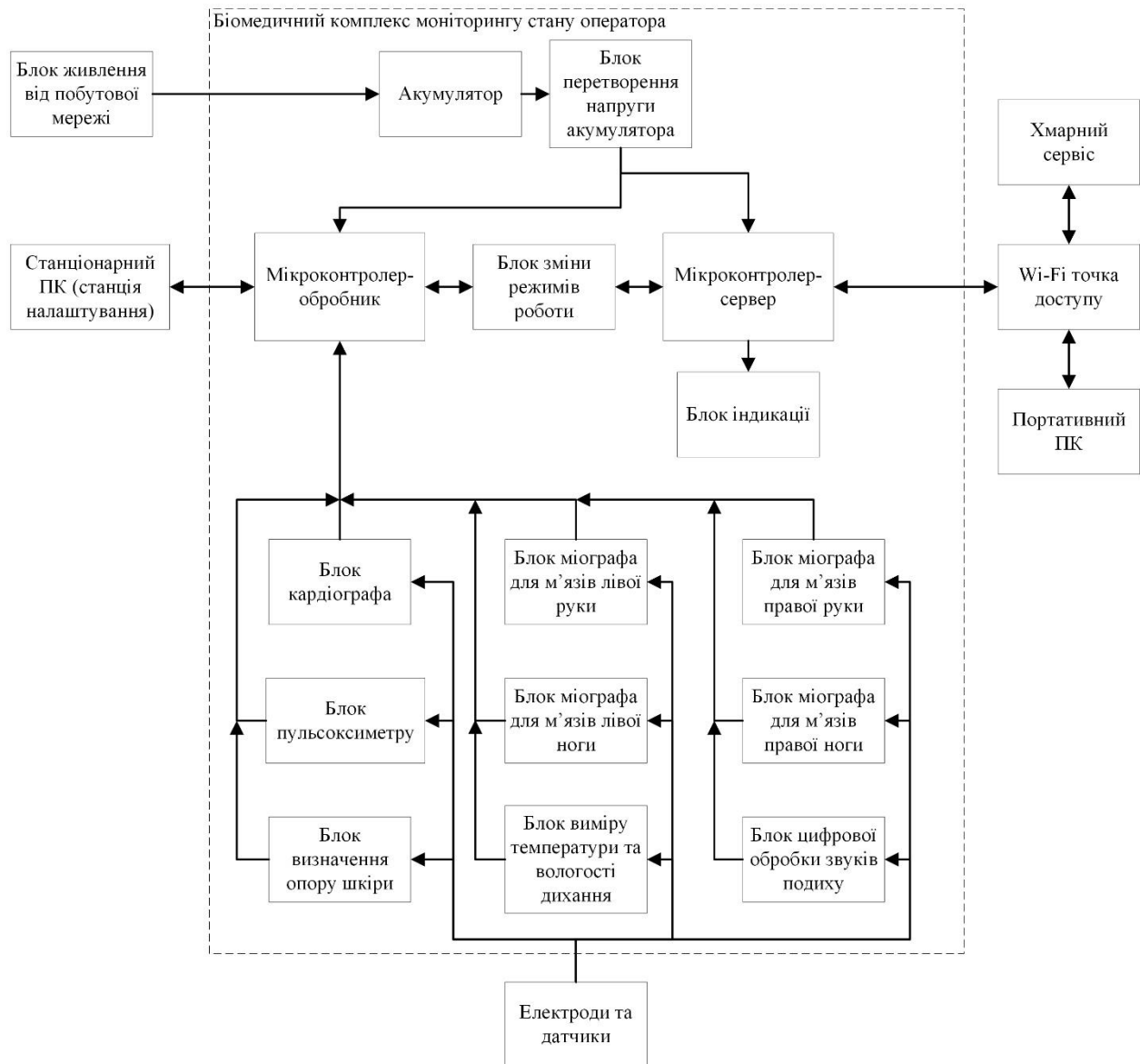


Рис. 1. Структурна схема біомедичного комплексу для моніторингу стану оператора

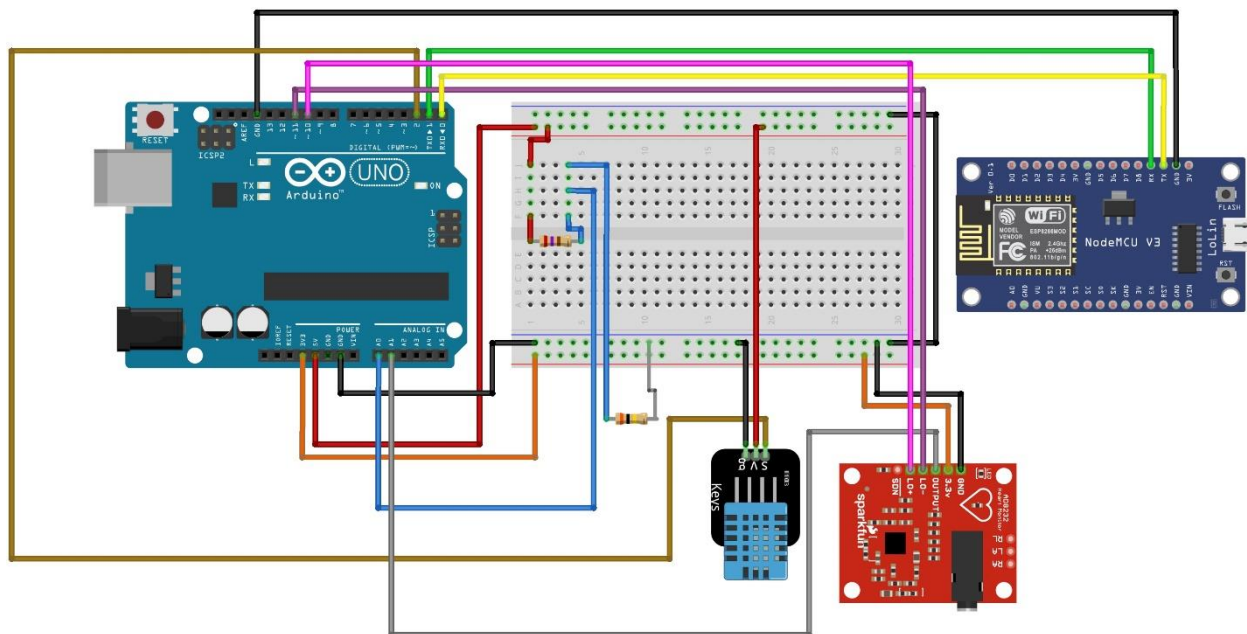


Рис. 2. Схема апаратної частини інформаційної технології у Fritzing

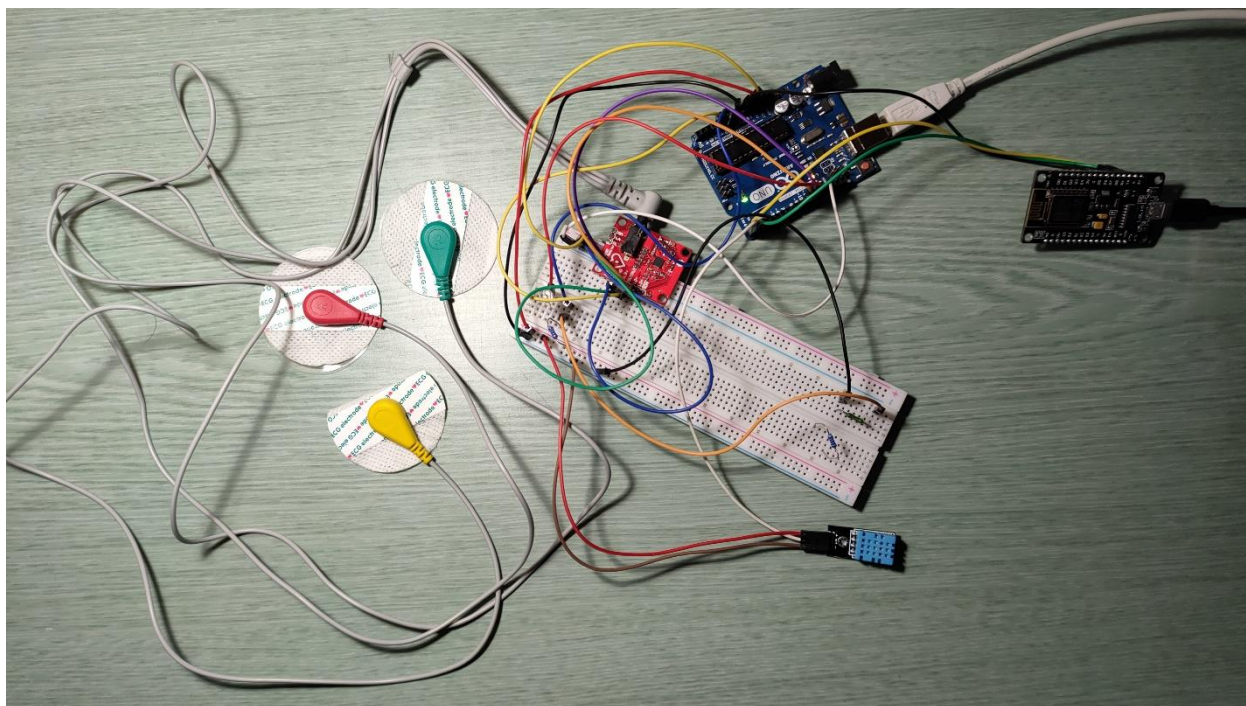


Рис. 3. Побудований прототип апаратної частини

AD8232 являє собою модуль електрокардіографа. Живлення даного модуля здійснюється від 3,3 В платформи Arduino UNO. Цифрові контакти LO- та LO+ підключаються до виводів 11 та 10 Arduino UNO, відповідно. Модуль дозволяє здійснити підсилення слабких біосигналів та здійснити фільтрацію шумів в умовах сильних електромагнітних полів. До складу AD8232 входять двополосний фільтр високих частот та некомутований операційний підсилювач, що дозволяє реалізувати технологію багатополосної низькочастотної фільтрації для видалення різних шумів.

Датчик AD8232 працює на основі методу двополосних відведень, за якого відбувається фіксація різних потенціалів між двома точками електричного поля (цифрові електроди). Ці дані можна використовувати для відслідковування ритмів серця при навантаженнях чи заняттях спортом.

### Синтез алгоритму функціонування мікроконтролера-обробника

Хоча на початку була представлена повна структура інформаційної технології, якою вона може бути на кінцевій стадії розробки, для створення підґрунтя для її реалізації побудовано алгоритми функціонування та програми роботи мікроконтролерів з урахуванням встановлення наявних модулів, щоб перевірити основну працездатність апаратної частини. Створення такого програмного та апаратного скелету інформаційної системи дозволить швидко налаштувати інформаційну технологію на роботу з усіма запланованими модулями, коли вони будуть доступні.

Побудовані функціональні алгоритми організовані на основі функцій прописаних у Arduino IDE, щоб створити умовно-блочну структуру для швидкого орієнтування за розробленим вихідним кодом.

Алгоритм функціонування програми мікроконтролера-обробника починається ініціалізації бібліотек: GParser – необхідної для обробки даних сформованих у посилки в послідовному порті; DHT – дозволяє отримати дані з датчика температури та вологості, а також вирахувати їх відношення. Далі здійснюється ініціалізація глобальних змінних, необхідних для обміну даними між функціональними процесами.

Програма МК обробника передбачає реалізацію таких функцій:

- «Відправка повідомлення» – формує String-рядок з біологічними показниками розділеними «,» та звершенням у вигляді «;».
- «Зняття параметрів подиху» – з датчика DHT11 зчитуються параметри вологості температури та розраховується тепловий індекс.
- «Читання з UART» – здійснює перевірку наявності даних у буфері послідовного порту, якщо дані є, то здійснюється їх прийняття, відкидання зайвих символів, розбиття на підрядки та виокремлення даних з підрядків. За значенням, що приходить разом з кодом 100 вмикається чи вимикається світлодіод, якщо ж приходить значення 101 то активується функція «Відправка повідомлення».
- «Визначення опору шкіри» – знімається значення з входу A0, та відбувається розрахунок опору шкіри.
- «Побудова кардіограми» – перевіряється наявність високого сигналу на цифрових виводах AD8232, якщо на них низький рівень сигналу, то відбувається читання з входу A1 та отримане значення записується у глобальну змінну.
- «Налаштування» – передбачає виконання одноразових дій. Встановлюється швидкість обміну даними по послідовному порту на рівні 115200 бод, налаштовуються режими роботи виводів Arduino

UNO та відбувається запуск зчитування даних з DHT11.

• «Основний цикл» – функція, яка виконується безперервно після налаштування, до вимкнення живлення чи переходу у режим енергозбереження.

Послідовно запускає «Читання з UART», «Визначення опору шкіри», «Побудова кардіограми», «Зняття параметрів подиху».

Схему алгоритму функціонування програми мікроконтролера-обробника наведено на рис. 4.

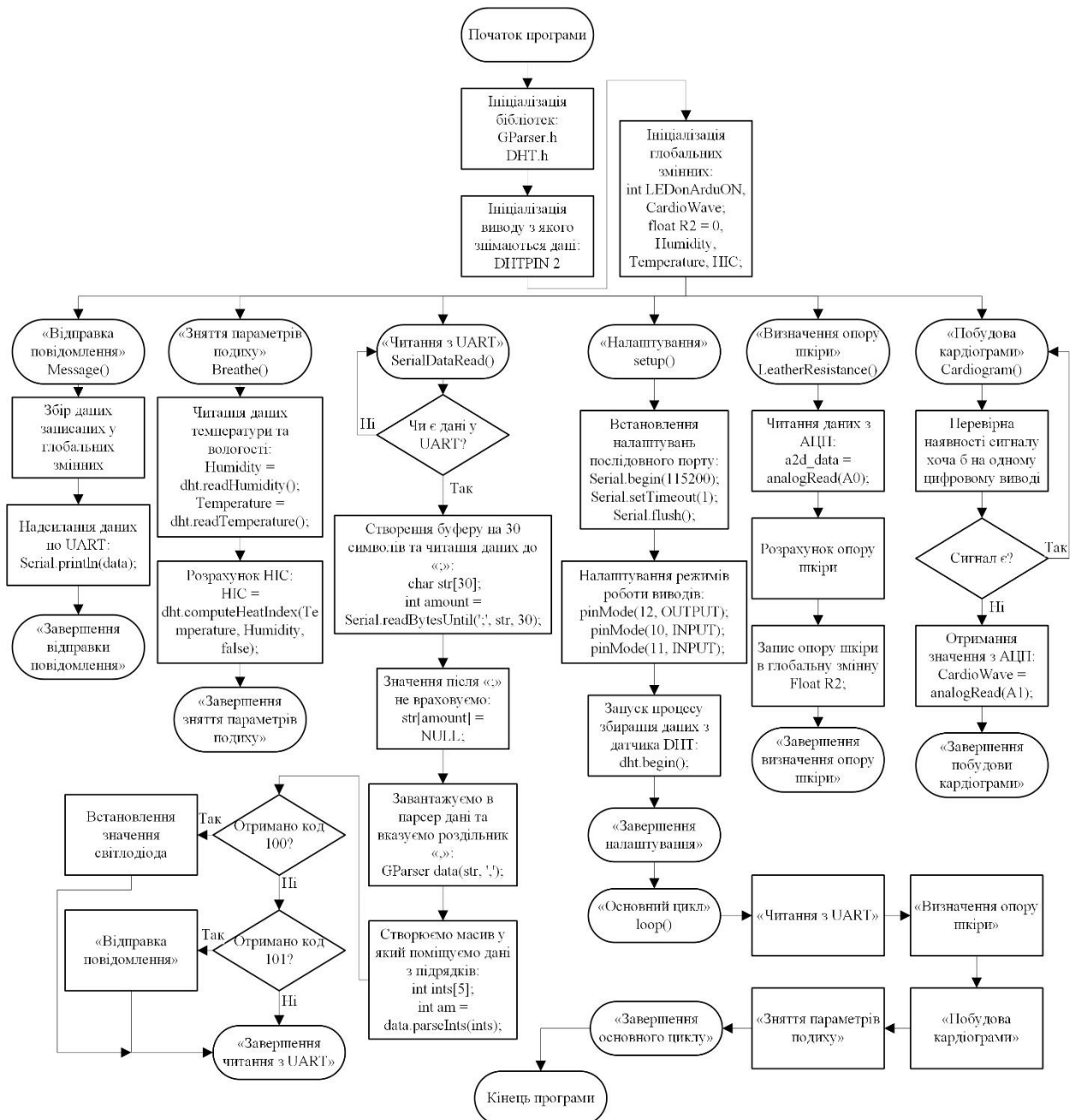


Рис. 4. Алгоритм функціонування мікроконтролера-обробника

### Синтез алгоритму функціонування мікроконтролера-сервера

Алгоритм функціонування програми мікроконтролера-сервера за методикою побудови подібний до алгоритму мікроконтролера-сервера.

Початок програми передбачає завантаження набору бібліотек: ESP8266WiFi.h – для використання Wi-Fi-функцій ESP8266; ESPAsyncTCP.h та ESPAsyncWebServer.h – для забезпечення асинхронної передачі даних в інтерфейс користувача наявний

на WEB-сторінці; FS.h – активація файлової системи SPIFFS, куди можна завантажити ресурси WEB-серверу; GParser.h – забезпечує обмін по UART.

У глобальних змінних ініціалізовані змінні необхідні для передачі даних з циклу отримання повідомлення у інтерфейс WEB-сторінки.

Далі встановлюються параметри мережі сформованої локальною точкою Wi-Fi та визначається порт на якому буде заведений WEB-сервер.

Цей алгоритм передбачає наявність наступних функцій:

- «Отримання біологічних показників» – функція у цілому подібна до «Читання з UART», але передбачає спочатку надсилання коду 101, очікування та отримання даних від Arduino UNO. Ця функція має більший буфер для отримання даних та, після отримання посилки з показниками, розбиває її усю одразу та записує у інформацію глобальні змінні для подальшого відображення на сервері.

- «Налаштування» – спершу встановлюється швидкість у 115200 бод далі відбувається ініціаліза-

ція файлового сховища та підключення до локальної точки Wi-Fi, з виведенням IP у послідовний порт. Далі відбувається запуск асинхронного сервера та оновлення даних під'єданого клієнта.

- «Основний цикл» – у основному циклі виконується функція «Отримання біологічних показників».

Вигляд схеми алгоритму функціонування мікроконтролера-сервера надано на рис. 5.

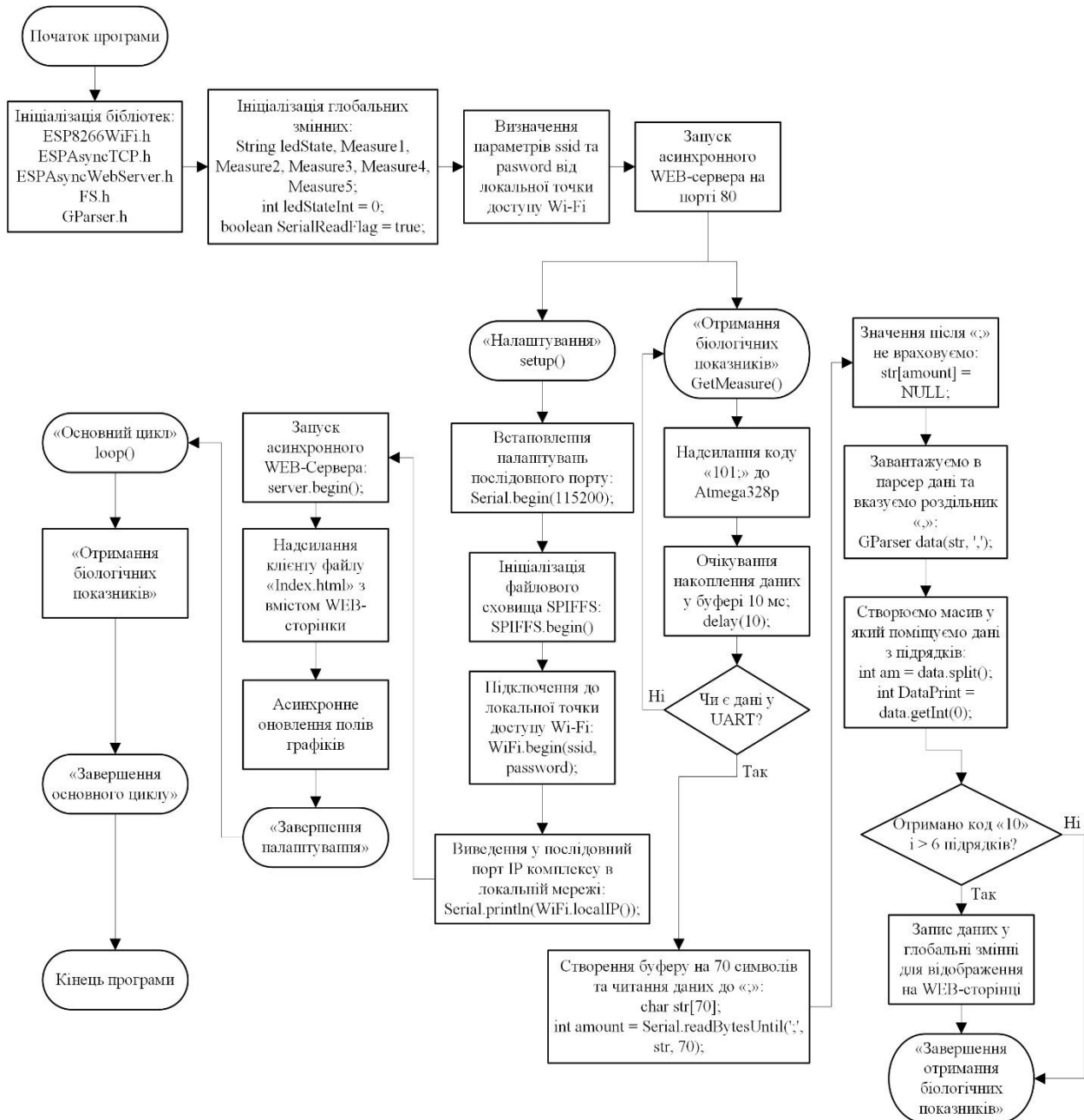


Рис. 5. Алгоритм функціонування мікроконтролера-сервера

### Розробка інтерфейсу користувача

Інтерфейс користувача інформаційної технології реалізований у файлі index.html засобами JavaScript, Css, Html.

Можливість працювати з цими інструментами забезпечується модулем ESP8266 та прошивкою

NodeMCU, що дозволяє виконувати Lua скрипти та періодично оновлювати дані на WEB-сторінці.

Графіки виводяться аналогічно якісно в мобільних та десктопних браузерах.

Розроблений прототип WEB-інтерфейсу, що базується на рекомендаціях наведених у [4], показаний на рис. 6.

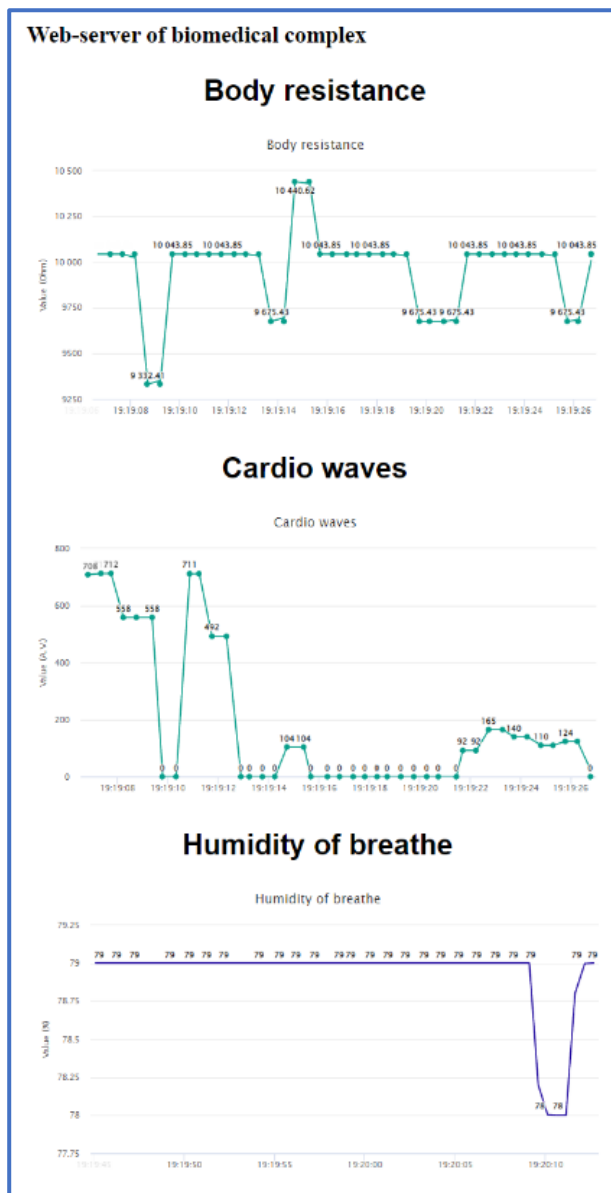


Рис. 6. Вигляд розробленого прототипу WEB-інтерфейсу

### Аналітична основа подальшої роботи

Подальша робота буде спрямована на удосконалення створеного прототипу та перетворення його у повноцінну інформаційну технологію з підтримкою існуючої IoT-інфраструктури.

Реалізація системи інформаційно-аналітичних інструментів підтримки прийняття рішень буде здійснюватися на основі бази розробленої Гученком М. та командою.

В своїх працях, Гученком М. та команда докладно розглядають основи створення локальних моделей процесів керованих нейронними мережами, що представлено у тезах доповіді наданих у [5].

Кінцеві результати з створення локальної моделі для керування лінійними процесами, а також нароби з керування динамічними процесами за допомогою нейромереж, стануть основою для подальшого структурування та обробки даних про зібрані біологічні показники зняті з операторів різних апаратів.

Також нароби Гученка М. та команди заклали підґрунтя для реалізації удосконаленої моделі TCP/IP інформаційної технології для поліпшення обслуговування потоків даних на основі локальної моделі керованого процесу, що буде використано для передачі даних у межах кібернетичної системи моніторингу стану оператора літального апарата. Детальний опис проведеної роботи наданий у статті представлений у [6].

Другою фундаментальною основою для подальшої обробки біологічних даних операторів, які планується збирати та аналізувати, є роботи Перекреста А. та команди. Вони розробили детальні моделі сегментації споживачів теплової енергії на основі щоденних даних про використання енергії [7] та прогностичну модель опалення муніципальних будівель [8].

Адаптація цих моделей під біологічні показники різних операторів дозволить визначити приблизний тренд відхилень значень для стандартизованих імітованих ситуацій та спрогнозувати можливі рекомендації для прийняття оптимальних рішень.

### Висновки та обговорення

Виконана робота є фундаментом для подальшого удосконалення у повнофункціональну, компактну та мобільну інформаційну технологію для моніторингу стану оператора, що керує літальним апаратом.

Наразі інформаційна технологія знаходиться на стадії прототипу та реалізована лише частина її функцій, що пов'язано з кількістю наявних модулів, малою кількістю часу на налагодження основного функціоналу.

Хоча інформація технологія і знаходиться на стадії прототипу, але всі її функції працюють, як і очікувалося. Слід відзначити деякі аспекти конструктивних рішень над якими буде здійснюватися подальша робота:

- Опір шкіри, що вимірюється за рахунок вбудованого у Atmega328p АЦП обмежується 278 кОм, чого не достатньо для повноцінного моніторингу зміни опору та прив'язки значень опору до того чи іншого стану досліджуваного оператора. Буде обрано АЦП з більшою розрядністю, для заміру значень що перевищують 300 кОм, щоб покрити увесь діапазон значень опору які може приймати шкіра.

- Датчик вологості та температури DHT11 має низьку швидкість оновлення, та має бути замінений на швидший аналог з меншими масо-габаритними характеристиками, щоб його можна було інтегрувати у кисневу маску чи шолом.

- Модуль AD8232, тестування якого проводилося, не видав сигналу подібного до електрокардіографічних, він видає переважно шуми. Буде розглянуто потенційну можливість виготовлення власного підсилюючого модуля кардіографа розрахованого на 3 чи 6 відведень та проаналізовано представлені на ринку аналоги. Також буде розглянуто систему фіксації та структуру знімаючих кардіограму електродів, щоб зробити апаратну частину малопомітною та високонадійною.



• Наразі на ринку представлено модифікації платформ Arduino з інтегрованими чіпами ESP8266 для реалізації інтернет технологій. У подальшому буде розглянуто можливість збирання подальших прототипів на основі таких платформ факторів UNO чи Mega, щоб розширити кількість виводів до яких можна під'єднати оброблювальні блоки.

• Наразі відбувається розробка функції для акумуляції знятих біологічних показників у текстові файли. У подальшому планується автоматизувати систему відвантаження текстових файлів у базу даних розташовану у хмарному сховищі.

• На основі створеної бази даних біологічних параметрів операторів різних апаратів, планується

реалізувати інформаційну технологію підтримки прийняття рішень, що буде базуватися на індивідуально знятих контрольних показниках та сукупних статистичних узагальненнях. Така система має тісно взаємодіяти з прогностичною моделлю авіасимуляторів.

• Розроблювану інформаційну технологію планується пристосувати до потреб інших галузей, у тому числі для використання у професійному спорті. Для цього планується розробити спеціалізовану конструкцію апаратної частини з мінімізацією ваги та помітності та підвищеною надійністю. Також передбачається пошук можливості розробки мініатюрних бездротових датчиків.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Rodríguez-Jorge, R., De León-Damas, I., Bila, J., & Škvor, J. (2021). Internet of things-assisted architecture for QRS complex detection in real time. *Internet of Things*, 14, 100395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100395>
- De Giovanni, E., Forooghifar, F., Surrel, G., Teijeiro, T., Peon, M., Aminifar, A., & Atienza Alonso, D. (2022). Intelligent Edge Biomedical Sensors in the Internet of Things (IoT) Era. In *Emerging Computing: From Devices to Systems* (pp. 407-433). Springer, Singapore. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7487-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7487-7_13)
- Mora, H., Gil, D., Munoz Terol, R., Azorin, J., & Szymanski, J. (2017). An IoT-based computational framework for healthcare monitoring in mobile environments. *Sensors*, 17(10), 2302. doi: <https://doi.org/10.3390/s17102302>
- ESP32/ESP8266 Plot Sensor Readings in Real Time Charts | Random Nerd Tutorials. (n.d.). Random Nerd Tutorials. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-esp8266-plot-chart-web-server/>
- Olkhova, Y., Guchenko, M. (2015). Creation of a Local Model of a Neuron-Controlled Process Network. *Electromechanical Systems, Modeling and Optimization Methods* (p. 318). KrNU, Ukraine. URL: [http://www.kdu.edu.ua/statti/Tezi/Tezi\\_EES\\_%20pdf/318.PDF](http://www.kdu.edu.ua/statti/Tezi/Tezi_EES_%20pdf/318.PDF)
- Guchenko, M., Kostenko P., Slavko O., Sokhin N. (2015). A Formal Model of Information Technology for Improving the Quality of Service of Data Flows Based on a Local Model of The Controlled Process. *Problems of informatization and management*, 3 (51), KrNU, Ukraine. URL: <https://jrnل.nau.edu.ua/index.php/PIU/article/view/10305/13567>
- Zagirnyak, M., Perekrest, A., Ogar, V., Chebotarova, Y., & Mur, O. (2021). Segmentation of heat energy consumers based on data on daily power consumption. *Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk*, (2), 89-96. URL: [http://www.nvngu.in.ua/jdownloads/pdf/2021/2/02\\_2021\\_Zagirnyak.pdf](http://www.nvngu.in.ua/jdownloads/pdf/2021/2/02_2021_Zagirnyak.pdf)
- Perekrest, A., Chenchevoi, V., Chencheva, O., Kovalenko, A., Kushch-Zhyrko, M., Kalizhanova, A., & Amirgaliyev, Y. (2022). Prediction Model of Public Houses' heating Systems: a Comparison of Support Vector Machine Method and Random Forest Method. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 12(3), 34-39. URL: <https://ph.pollub.pl/index.php/iapgos/article/view/3032/2723>

Received (Надійшла) 29.08.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.11.2022

#### Prototype of a cyber-physical system for monitoring the physical condition of the aircraft operator

Kyrylo Vadurin, Andriy Perekrest, Mykola Guchenko

**Abstract.** Telephones, personal computers, cars, trains, planes – all these devices have a huge number of sensors that allow to determine the current state of almost every system of the device. But they do not take into account the psycho-emotional and physical state of operators while driving such complex device. According to statistics, more than half of air crashes occur due to the human factor. To reduce the number of air crashes associated with the deterioration of the aircraft operator, it is proposed to use a mobile biomedical complex with software and hardware parts. The developed complex should take the main biological indicators of the operator in real time, store and process them, this data can be used to give advice to the operator to improve his condition. The hardware includes the following units for processing data from sensors: cardiograph; four myographs; pulse oximeter; temperature and humidity; determination of skin resistance. Data from the data processor units are collected by the microcontroller-processor, which can further convert the data into adequate physical quantities. The microcontroller-processor exchanges data with the microcontroller-server, which is designed to buffer and output data to the user's device or to cloud WEB-services. The software part includes lower-level programs for collecting measurement data, processing them, forming them into packets, exchanging packets between microcontrollers and outputting data to WEB services, as well as Backend WEB pages of the user interface. The top-level programming includes the development of WEB-pages where the current information about the state of the examined user is displayed. Currently, a model of a biomedical complex based on the Arduino UNO and NodeMCU platforms has been created, which can measure skin resistance, humidity and respiratory temperature, as well as transmit them to clients located in the local network. In the future, it is planned to: develop a system for storing data and sending them to connected users; improve the user interface and implement the functionality of quick reconfiguration of the monitoring functions of the complex; create a data processing system based on information and analytical decision support tools to generate individual recommendations for improving the physical condition of the operator.

**Keywords:** biomedical complex, WEB-server, IoT devices, cybernetic system, Arduino, ESP, hardware, software.