Хмельницький національний університет
Факультет програмування
та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266
Назва теми

КвРКІ. 180122.18.01.20 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ-18-1 _____ Є. М. Шпуляр
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник _____ О. С. Засорнов
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер _____ С.М. Лисенко
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем _____ Т.О. Говорущенко
Підпис, дата Ініціали, прізвище

«1» червня 2022 р.

Хмельницький 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 12 Інформаційні технології
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
Освітня програма освітня програма «комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри Т.О.Говорущенко
" 11 " 01 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Шпуляр Євгенії Миколаївні
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проєкту (роботи) Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266
Керівник проєкту (роботи) Засорнов О.С., к.т.н., доц.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання
Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру 07.06.2022 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Завдання на дипломне проєктування
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Дослідження предметної області та постановка задачі
Проєктування робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму
Реалізація робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
Аналіз сучасних СМСР
Блок-схема програми робототехнічної СМСР
Схема електрична функціональна робототехнічної СМСР

6. Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІСП		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІСП		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2022	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2022	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2022	виконано
4	Робота над розділом 2 – проєктування робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму	01.04.2022	виконано
5	Робота над розділом 3 – реалізація робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму	30.04.2022	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	31.05.2022	виконано
7	Попередній захист ВКР	02.06.2022	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2022 року	

Студент _____ Підпис Є.М. Шпуляр Ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи) _____ Підпис О.С. Засорнов Ініціали, прізвище

№ рядка	формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ. 180122.18.01.20 ПЗ	Пояснювальна записка	64		
			Графічні матеріали			
2		КвРКІ. 180122.18.01.20 Е8	Аналіз сучасних СМСР	1		
3		КвРКІ. 180122.18.01.20 Е8	Блок-схема програми	1		
			робототехнічної СМСР			
4		КвРКІ. 180122.18.01.20 Е2	Схема електрична	1		
			функціональна			
			робототехнічної СМСР			

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КвРКІ. 180122.18.01.20 ВП			
Розробив		Шпуляр			Відомість проєкту	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Засорнов				У	1	1
Н. контр.		Лисенко						
Затв.		Говорущенко						

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266».

Автор роботи: Шпуляр Євгенія Миколаївна.

Керівник роботи: Засорнов Олександр Сергійович.

Пояснювальна записка: 64 с., 32 рис., 5 табл., 4 дод., 30 джерел.

Графічна частина: 6 презентаційних слайдів.

РОБОТОТЕХНІЧНА СИСТЕМА, СЕРЦЕВИЙ РИТМ, МОНІТОРИНГ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ.

Метою роботи є розробка робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266.

У цій роботі розроблена робототехнічна система моніторингу серцевого ритму. Розроблена система реалізована на основі мікроконтролера ESP8266.

Об'єктом дослідження є програмно-технічний (апаратний) засіб - робототехнічна система моніторингу серцевого ритму.

Предметом дослідження є формалізований опис та схеми робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму.

Практичне значення має спроєктована та реалізована робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266, яку можна застосовувати в побутових цілях для контролю самопочуття.

Підпис студента

01.06.2022р.

Дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ 4
ВСТУП 5
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ 8
1.1 Аналіз сучасних систем моніторингу серцевого ритму 8
1.2 Формування вимог для розробки робототехнічної СМСР 18
1.3 Аналіз сучасних мікроконтролерів 18
1.4 Висновки. Постановка задачі 24
2 ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СЕРЦЕВОГО РИТМУ 26
2.1 Етапи проєктування робототехнічної СМСР 26
2.2 Обґрунтування вибору периферійних пристроїв для створення робототехнічної СМСР 27
2.3 Вибір мікропроцесора для створення робототехнічної СМСР 30
2.4 Вибір способу з'єднання для програмування МК ESP8266 33
2.5 Вибір способу програмування МК ESP8266 35
2.6 Розробка структурна схема робототехнічної СМСР 40
2.7 Висновки 40
3 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СЕРЦЕВОГО РИТМУ 43
3.1 Розробка електричної схеми 43
3.2 Розробка макету 45
3.3 Налаштування Arduino IDE для програмування 49
3.4 Розробка програми, програмування та перевірка 53
3.5 Розрахунок матеріальних витрат 56
3.6 Напрямки вдосконалення 57
3.7 Висновки 58
ВИСНОВКИ 60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 62
ДОДАТОК А Копія креслення «Аналіз сучасних СМСР» 65

ДОДАТОК Б Копія креслення «Блок-схема програми робототехнічної СМСР» .. 66
ДОДАТОК В Копія креслення «Схема електрична функціональна робототехнічної СМСР» 67
ДОДАТОК Д Програмний код робототехнічної системи 68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВСР – варіабельність серцевого ритму

ЕКГ – електрокардіограма

МК – мікроконтролер

ОС – операційна система

ОМСР – оптичний моніторинг серцевого ритму

ПАЗ – програмно-апаратний засіб

СМСР – система моніторингу серцевого ритму

ЧСС – частота серцевих скорочень

AP – Access Point (точка доступу)

CDT – C Developers Tools (інструменти розробки мови С)

HRM – Heart Rate Monitor (монітор серцевого ритму)

IBM – International Business Machines

IDE – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки)

IoT – Internet of Things (Інтернет речей)

SSID – Service Set Identifier (ідентифікатор бездротової мережі)

SDK – Software Development Kit (набір засобів розробки)

PWM (ШІМ) – Pulse Width Modulation (широтно-імпульсна модуляція)

ВСТУП

Серцевий ритм – це фізична величина, яка вимірюється кількістю скорочень(ударів) серця за одиницю часу. У нормі регулярні скорочення нашого серця підтримуються спеціальними клітинами, які формують синусовий вузол. Ця структура розташовується у верхній частині правого передсердя. Нормальний ритм серця називають синусовим ритмом. У стані спокою нормальною частотою серцевих скорочень вважається діапазон від 60 до 100 ударів за хвилину [2]. Як правило, нижча ЧСС у стані спокою означає більш ефективну роботу серця та покращення серцево-судинної системи. Наприклад, у добре підготовленого спортсмена нормальна ЧСС у стані спокою може бути близько 40 ударів за хвилину.

Серцево-судинна система виконує важливу транспортну функцію в організмі, необхідну для нормальної життєдіяльності.

У медицині критичних станів діагностика функціонування цієї системи займає одне з основних місць, оскільки діяльність серцево-судинної системи багато в чому визначає ефективність перебігу процесів метаболізму, перенесення кисню та вуглекислого газу, терморегуляції.

Оцінка діяльності серцево-судинної системи при анестезіологічному моніторингу здійснюється шляхом реєстрації механічних, акустичних та біоелектричних проявів серцевої діяльності, найбільш доступних для реєстрації під час наркозу. Серед показників центральної та периферичної гемодинаміки найбільшу цінність становлять параметри серцевого ритму, артеріального та венозного тиску крові, серцевого викиду.

Широко поширеними методами контролю серцевої діяльності є стеження за величиною ЧСС, артеріального тиску крові, спостереження ЕКГ в одному або кількох відведеннях з автоматичним виявленням порушень ритму. Використання даних методів контролю у клінічному моніторингу характеризується простотою процедур реєстрації біологічних сигналів та інтерпретації показань. Більш складні

та громіздкі методи, що використовуються при функціональних дослідженнях серцево-судинної системи, такі як радіонуклеїдна ангіографія, ядерний магнітний резонанс, ехокардіографія, допплерівські системи вимірювання потоку крові використовуються за спеціальними показаннями. Ці методи дослідження найчастіше цікавлять хірургів і пов'язані безпосередньо з роботою анестезіолога.

Розробка медичних систем для діагностики та інформаційного вимірювання стану людини, особливо, у сфері кардіології, беззаперечно має особливе значення для розвитку науки та технології сучасності, так як захворювання серця є одними із найбільш небезпечних і поширених захворювань людини. Вік, недостатня фізична підготовка, проблеми зі здоров’ям можуть спричинити порушення нормальної роботи серця [3]. Серцево-судинні хвороби – це група захворювань, які кожного дня забирають значну кількість людських життів у всьому світі [4]. Згідно статистики, лише в Україні 25 мільйонів людей страждають на такі захворювання, як аритмія, артеріальна гіпертонія, ішемічна хвороба серця та інші. А щорічно у нашій країні реєструють близько 50 тис. випадків інфаркту міокарда, майже 120 тис. інсультів, понад 3600 випадків вроджених вад серця [5]. Аритмія спостерігається у 3% дорослого населення. Саме з цього захворювання розвивається серцева недостатність, гострі порушення кровообігу. Запобігання і вчасне лікування аритмії має надзвичайно важливе значення. Тому необхідно постійно проводити моніторинг стану свого здоров’я та слідкувати за його змінами.

Аналіз серцевого ритму – це один із методів дослідження серцево-судинної системи, психологічного стану пацієнта, а також адаптивних та регулятивних можливостей людини. Із використанням сучасних вимірювальних та діагностичних систем, які дають змогу автоматично оцінювати діагностичні ознаки та приймати медичні рішення про серцевий ритм людини на основі зареєстрованих кардіосигналів, можна досягнути особливої ефективності даного кардіологічного методу.

Вибір засобів контролю показників серцево-судинної системи для моніторингу залежить від багатьох чинників. Так, наприклад, при анестезіологічному контролю найважливішу роль відіграє вид операції, пластичність серцево-судинної системи пацієнта, обґрунтованість ризику використання інвазивних методик, вартість моніторної техніки.

Застосування цифрових пристроїв у охороні здоров'я має величезний потенціал, оскільки це має можливість підвищити якість та ефективність послуг, що надаються, і вести постійний контроль стану здоров'я пацієнтів [6]. Це особливо важливо при лікуванні людей похилого віку або пацієнтів з хронічними захворюваннями, оскільки в разі настання нападу лікарі будуть максимально швидко поінформовані про те, що сталося, і зможуть вчасно надати необхідну екстрену допомогу. Ще однією перевагою використання цифрових пристроїв у медицині є можливість отримати медичні консультації віддалено. Дані можуть оброблятися автоматично, без участі лікаря, та повідомляти користувача про наявність відхилень будь-яких показників стану здоров'я. Саме тому використання сучасних медичних терапевтичних та діагностичних систем значно підвищують якість та ефективність кардіологічних послуг.

Метою роботи є розробка робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму (СМСР) з використанням мікроконтролера (МК) ESP8266.

Поставлена мета досягається рішенням основної задачі роботи: розробкою робототехнічної СМСР та перевіркою роботи за допомогою макета.

Об’єктом дослідження є програмно-технічний (апаратний) засіб - робототехнічна СМСР.

Предметом дослідження є формалізований опис та схеми робототехнічної СМСР.

Практичне значення має спроєктована та реалізована робототехнічна СМСР з використанням МК ESP8266, яку можна застосовувати в побутових цілях для контролю самопочуття.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз сучасних систем моніторингу серцевого ритму

Найбільш простим методом оцінки параметрів серцевого ритму є визначення ЧСС людини . Цей показник дозволяє об’єктивно оцінювати рівень того, як функціонує серцево-судинна система. Під час анестезіологічного моніторингу зміни ЧСС показують реакцію організму на хірургічне втручання. Оцінка ЧСС у найпростішому випадку може проводитись шляхом пальпації коливань артеріальної судинної стінки.

Для моніторингу пульсу було створено чимало пристроїв, що обробляють сигнали для аналізу даних варіабельності серцевого ритму (ВСР), тобто даних про роботу серцево-судинної системи і роботу механізмів регуляції організму в цілому [7]. Програми для цих пристроїв швидко та автоматично аналізують вихідні параметри за допомогою складних методів обробки сигналів та алгоритмів, які визначають та вимірюють змінні, що отримуються електрокардіографом (ЕКГ) із кожного серцевого циклу.

В основі механічного методу вимірювання частоти серцевих скорочень (ЧСС) - утворення електричного сигналу із пульсації судин, використовуючи давачі деформації або тиску. Переважно в такому методі використовується п’єзоелектричні сенсори. Проте такі давачі є достатньо великими і не зовсім зручними у використанні, а також їх точність є досить низькою у зрівнянні з оптичними.

Метод вияву електричних сигналів серцевого ритму є найбільш точним у зрівнянні з механічним та оптичним методами [8]. Щоб виявити електричні сигнали на тіло людини розміщують кілька електродів, що приймають імпульси. Надалі для обробки даних сигналів використовується їх підсилення за допомогою відповідних підсилювачів електричних імпульсів. Пристрій може фіксувати й

інші сигнали, що генеруються людським тілом, тому, щоб отримати аналоговий сигнал, який буде відображатись на моніторі, виконується його фільтрація. Після цифрової обробки за допомогою АЦП отримані дані направляються по радіоканалу на смартфон чи базову станцію. Алгоритм роботи таких пристроїв показано на рис. 1.1.

Рисунок 1.1 – Метод вияву електричних сигналів серцевого ритму

У оптичному методі вимірюванні ЧСС використовується оптичний випромінювач, що складається принаймні з одного світлодіоду, через який світлові хвилі випромінюються в шкіру, і фотодіода, що фіксує дані хвилі. Через велику різноманітність споживачів існують відмінності у товщині, тонусі, морфології шкіри, тому у найсучасніших ОМСР використовуються дуже велика

кількість світлових хвиль, які дозволяють по різному взаємодіяти на різні рівні шкіри та тканини.

В залежності від методу вимірювання пульсу існують різні системи для моніторингу серцевого ритму.

Монітор серцевого ритму (HRM) – це персональний пристрій для моніторингу, за допомогою якого можна проводити виміри та відображати частоту серцевих скорочень в режимі реального часу, і у той же час фіксувати ЧСС для подальшого дослідження. Такий пристрій використовується для запису даних про пульс під час фізичних навантажень.

Сучасні монітори серцевого ритму, як правило, використовують один із двох методів для запису електричних або оптичних серцевих імпульсів [9]. Ці два типи сигналів надають однакові дані про серцевий ритм, за допомогою повністю автоматизованих алгоритмів вимірювання ЧСС.

Як правило, у медичних приладах реалізовані ЕКГ-датчики для вимірювання біопотенціалу, який утворюється електричними сигналами, що керують скороченнями та розширеннями камер серця. На рис. 1.2 представлений електричний монітор.

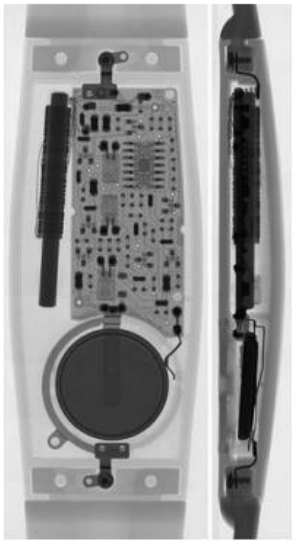


Рисунок 1.2 – Електричний монітор

Електричний монітор складається із монітора або передавача, що одягається на грудну планку, та приймача. Для визначення та відображення поточного пульсу, приймач використовує радіосигнал, що передається при виявленні серцебиття. Цим сигналом може бути простий радіоімпульс або унікальний кодований сигнал від грудної стрічки, наприклад, ANT, Bluetooth. Новіші технології запобігають підслуховуванням або перехресним перешкодам, які виникають, коли приймач одного пристрою знаходиться поблизу іншого.

У більш нових пристроях використовується оптика для відслідковування частоти серцевих скорочень. За допомогою просвічування світлодіодом через шкіру, вимірюється як розсіюються кровоносні судини. Зокрема, прилади, які використовують цю технологію, також здатні виміряти насичення кисню в крові.

На сьогодні існує велика кількість компактних технологічних пристроїв, завдяки розвитку технологій, пов'язаних із сферою компактної електроніки та інтернету речей (англ. Internet of Things – IoT). Серед цих пристроїв – розумні годинники, фітнес-трекери [10]. У своїй конструкції вони мають сенсори та різноманітні датчики, що вимірюють фізіологічні показники людини.

Сучасні пристрої, такі як смартфони або смарт-годинники можуть бути використані для збору та відображення інформації про серцевий ритм або інші параметри, такі як визначення швидкості, відстані, місця за допомогою акселерометра, гіроскопа та GPS.

Більшість таких пристроїв об'єднують дві ознаки – Bluetooth модуль та оптичні датчики для вимірювання ЧСС. Похибка при вимірюванні серцевого ритму становить менше 5%, тому точність даних, що отримуються за допомогою даних датчиків є доволі високою.

Bluetooth модуль в таких пристроях слугує для здійснення обміну інформацією, передаючи її на смартфон користувача, так як більшість існуючих смарт-годинників та фітнес трекерів є додатками до смартфону.

Завдяки поєднанню цих двох ознак з'являється можливість для створення нових актуальних систем моніторингу фізіологічного стану людини. За

допомогою точних оптичних датчиків можна рахувати не просто частоту серцевих скорочень, а й виконувати більш інформативний глибокий аналіз варіабельності серцевого ритму.

Провівши аналіз існуючих систем моніторингу серцевого ритму було знайдено декілька пристроїв, розбір характеристик яких наведено нижче.

Xiaomi Mi Band 4 (рис. 1.3) – один із найкращих та найпопулярніших фітнес-трекерів на ринку. Пристрій здійснює цілодобове спостереження за станом організму користувача, слідкує за активністю і фазами сну.

Рисунок 1.3 – Xiaomi Mi Band 4

Фітнес-трекер фіксує персональні рекорди та досягнення при виконанні фізичних вправ. Обладнаний датчиками, що ведуть точний підрахунок кроків, зважаючи на темп пересування. Має захист від вологи та витримує занурення на глибину до 50 метрів. Розпізнає стилі плавання і робить 12 видів замірів, включаючи темп плавання. Пристрій уважно слідкує за денною активністю і продовжує своє спостереження вночі, відстежуючи фази сну, що дозволяє отримувати точну і актуальну інформацію про стан організму для правильного вибору фізичних навантажень та організації повноцінного відпочинку. Усі дані

про стан здоров’я користувача можна знайти у додатку на смартфоні. У режимі 24/7 виміряє частоту серцевих скорочень за допомогою вбудованого високоточного датчику. Фітнес-браслет надсилає важливі сповіщення пов’язані із перевищенням нормативних показників серцебиття, нагадуванням зробити зарядку після довго сидіння без руху. Окрім основних функцій фітнес-браслет дозволяє керувати музикою на смартфоні, отримувати повідомлення та сповіщення.

Samsung Galaxy Watch4 (рис. 1.4) – стильний і багатофункціональний розумний годинник, обладнаний датчиками, що зчитують потрібні показники для слідкування за продуктивністю фізичних тренувань.

Рисунок 1.4 – Samsung Galaxy Watch4

Головним чином, пристрій вимірює серцевий ритм користувача і показники якості сну. Смарт-годинник дає можливість аналізувати тканини організму та їх склад, що дозволяє бачити відсоткові значення розподілу води, м’язів та жиру. Завдяки цим показникам можна легко корегувати програми тренувань і щоденні звички. За допомогою методу виміру електричного опору тканин у організмі, зокрема, для біоімпендансного аналізу (БІА), є можливість спостерігати за результативністю фізичних вправ, а саме фіксувати досягнення на смартфоні або годиннику, відслідковувати кількість витрачених калорій та пройдених кроків.

Нові технології в основі даного пристрою дозволяють користувачу у режимі реального часу виміряти рівень кров'яного тиску. Також смарт-годинник має здатність до виявлення можливих відхилень у роботі серця, а система контролю та оцінки сну збирає інформацію про різні його фази і проводить аналіз для надання рекомендацій щодо його покращення. Окрім вищезгаданих функцій, смарт-годинник має захист від вологи, навіть під час занурення на глибину до 50 метрів.

Fuse Crimson MiO (рис. 1.5) - суто спортивний пристрій для тих, хто хоче приділяти більше уваги слідкуванню за пульсом, ніж іншим функціям.

Рисунок 1.5 – Fuse Crimson MiO

Дизайн фітнес-трекеру представляє собою суцільний браслет із світлодіодним дисплеєм, що відображає параметри серцевого ритму, кількість витрачених кілокалорій, пройдену відстань. За допомогою оптичних датчиків, що зчитують дані про кров'яний тиск через шкіру, і складних обчислювальних алгоритмів, даний фітнес-браслет використовується в якості кардіомонітору при інтенсивних тренуваннях. Вбудований акселерометр дозволяє вести повноцінний журнал активності. Пристрій записує дані про кількість пройдених кроків, середній серцевий ритм та кількість витрачених кілокалорій. Простий та зручний дизайн дозволяє використовувати його не тільки для занять спортом, а й під час

сну. Трекер має можливість автоматично синхронуватись із мобільним пристроєм через Bluetooth або ANT+. Використання енергоефективних технологій максимізує тривалість роботи від одного заряду. Звітність тренувань можна подивитись у програмі GO App для iOS та Android.

Fitbit Inspire HR (рис. 1.6) – багатофункціональний фітнес-трекер для щоденного використання, що допомагає користувачу стежити за станом свого здоров'я.

Рисунок 1.6 – Fitbit Inspire HR

Пристрій обладнаний датчиками, що дозволяють цілодобово відслідковувати серцевий ритм, якість сну, щоденну активність, витрачені калорії, рівень інтенсивності тренувань та багато іншого. При підключення пристрою до смартфону через спеціальний додаток відкривається більше можливостей, такі як режим релаксації, монітор серцебиття, аналіз фаз сну та подальші рекомендації щодо покращення його якості. Відстеження серцевого ритму у режимі 24/7 дозволяє оптимально налаштовувати графік тренувань і збалансовувати фізичне навантаження. А відображення співвідношення спожитих та витрачених калорій дасть можливість зберігати енергетичний баланс, а також зробити висновки щодо харчування користувача та при потребі коригувати його. Спортивний браслет

здатний не тільки відслідковувати, а й з високою точністю визначити вид фізичної активності, фіксуючи результати тренувань у режимі реального часу, що дозволяє коригувати інтенсивність навантаження відповідно до потреб користувача.

Moov HR Burn Black (рис. 1.7) – пристрій, що на відміну від багатьох фітнес-браслетів і смарт-годинників чіпляється прямо на грудну клітину.

Рисунок 1.7 – Moov HR Burn Black

Саме це забезпечує точне вимірювання серцебиття і його контроль під час фізичних навантажень. Пристрій має захист від вологи, та тримає заряд до 10 місяців. При підключенні до смартфону через технології Bluetooth, можна відслідковувати результати тренувань у режимі реального часу. Контроль та аналіз частоти серцевих скорочень дозволяє ефективно підлаштовувати інтенсивність фізичних навантажень відповідно до потреб користувача. Відстежування спожитих та витрачених калорій за допомогою спеціального додатку на смартфоні користувача допоможе зберігати енергетичний баланс. Пристрій надійно фіксується на грудній клітці, що запобігає його зсуванню та точного безперервного вимірювання серцебиття.

Проведений аналіз сучасних систем моніторингу серцевого ритму показав, що серед розглянутих побутових приладів нема таких, які можуть показувати

електрокардіограму. Тобто робити повну оцінку стану серцевої діяльності людини.

Характеристики пристроїв та їх порівняння наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики пристроїв

Характеристика	Xiaomi Mi Band 4	Samsung Galaxy Watch4	Fuse Crimson MiO	Fitbit Inspire HR	Moov HR Burn Black
Тип	Наручний	Наручний	Наручний	Наручний	З нагрудним ременем
Передача сигналу	Бездротова	Бездротова	Бездротова	Бездротова	Бездротова
Технологія передачі	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart
Водонепроникність	До 50 метрів	До 50 метрів	Більше 30 метрів	Захист від вологи	Відштовхує воду
Місце виміру пульсу	На зап’ясті	На зап’ясті	На зап’ясті	На зап’ясті	На грудній клітині
Функції	Вимір пульсу, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, тиску, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, калорій
Живлення	Акумулятор	Акумулятор	Акумулятор	Акумулятор	Батарейки
Вага	22 г	46 г	39 г	20 г	60 г

1.2 Формування вимог для розробки робототехнічної СМСР

Метою роботи є створення робототехнічної СМСР. Ключовим етапом є визначення вимог для розробки робототехнічної СМСР:

- опрацювання теоретичних відомостей про ЧСС, ВСР, методи аналізу та отримання кількісної характеристики про фізичні показники людини;
- створення структурної та електричної принципової схем;
- вибір компонентів, а саме: вибір периферійних пристроїв робототехнічної системи, вибір МК.

До того ж, за технічними характеристиками пристрій повинен:

- обробляти дані у режимі 24/7;
- бути зручним у використанні;
- бути невеликим за розмірами.

Відповідно даним вимогам, особливо до маси пристрою, мають бути використані легкодоступні електронні елементи, що невеликі за розміром та масою. Конструкція приладу має забезпечувати ремонтопридатність та взаємозамінність компонентів.

1.3 Аналіз сучасних мікроконтролерів

МК - це обчислювальний пристрій, здатний виконувати програми (тобто послідовність інструкцій). Він часто згадується як "мозок" або "центр управління" робота. Як правило, МК відповідає за всі обчислення, прийняття рішень та комунікації.

Для того, щоб взаємодіяти із зовнішнім світом, МК має низку виводів для електричного розпізнавання сигналу. Так сигнал може бути включений на макс. (1/С) або мін. (0/викл) за допомогою інструкції програмування. Ці виводи можуть бути використані для зчитування електричних сигналів. Вони надходять з датчиків або інших приладів та визначають, чи є сигнали високими або низькими.

МК знадобиться для будь-якого робототехнічного проєкту. МК повинен бути здатним виконувати всі спеціальні дії робототехнічної системи, щоб функції виконувались правильно. Деякі особливості є спільними для всіх МК (наприклад, наявність цифрових входів та виходів, можливість виконувати прості математичні дії, порівняння значень та прийняття рішень). Іншим контролерам потрібне специфічне обладнання (наприклад, АЦП, ШІМ та комунікаційний протокол підтримки). Також вимоги до пам'яті та швидкості, кількості виводів мають бути прийняті до уваги.

Більшість датчиків і компонентів може взаємодіяти безпосередньо з багатьма МК. Хоча деякі комплектуючі призначені для взаємодії із конкретним МК.

Для того щоб вибрати МК необхідно дотримуватися наступних критеріїв:

- низька вартість;
- простий у використанні;
- наявність супровідної документації МК;
- повинен програмуватись у графічному середовищі;
- має бути популярним і мати активну спільноту користувачів;
- мати достатню кількість портів (для керування та підключення датчиків).

МК – це центральний елемент у розробці пристроїв, який керує підключеними датчиками, засобами виводу та іншими периферійними пристроями. За останнє десятиліття ринок техніки збагатився величезною різноманітністю МК систем, які мають універсальне призначення та низьку ціну.

Взявши до уваги раніше описані вимоги, доречним буде розглянути таку серію, як Arduino, та її моделі. Ця серія ПАЗ призначена для створення простих робототехнічних та автоматизованих систем, і в той же час, більше зосереджена для використання у власних непрофесійних проєктах [11]. В основі побудови переважної більшості плат Arduino – 8-бітні МК AVR архітектури компанії Atmel

(ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280, ATmega2560), що мають на вибір різну кількість вбудованої пам’яті, пінів для розширення та інше.

Мінімальний необхідний набір обв’язок (стабілізатор напруги, кварцовий резонатор і т. д.), що забезпечує нормальну роботу, присутній в обладнанні майже всіх плат. МК Arduino обладнані завантажувачем (bootloader), який можна перезавантажувати без потреби використання окремих апаратних програматорів. Для з’єднання завантажувача з ПК використовується інтерфейс USB, якщо наявний, або окремий перехідник UART.

Створення ПЗ для МК відбувається з використанням мов програмування С або С++. Для роботи з платою використовується інтегроване середовище розробки Arduino IDE, що має редактор коду, набір базових компіляторів, засоби завантаження прошивки на плати.

У таблиці 1.2 наведено список актуальних моделей плат Arduino та їх основні характеристики [1212].

Проте у МК Arduino відсутні вбудовані засоби зв’язку такі, як Wi-Fi чи Ethernet адаптери. Тому є необхідність використовувати додаткові сторонні пристрої, а це в свою чергу впливає на збільшення складності одного пристрою та загальної ціни.

Наступна серія МК ESP позбавлена цих недоліків. Серія ESP, а саме моделі ESP32 та ESP8266 – це системи на кристалі (System-on-a-chip, SoC) з інтегрованими Bluetooth (для ESP32) та Wi-Fi контролерами, виробники яких Espressif Systems, Китай [13]. Серед характеристик даних МК – безпровідні можливості, низьке енергоспоживання, невелика ціна.

Перша поява ESP8266 – у 2014 році. Так як МК не обладнаний вбудованою енергозалежною пам’яттю на кристалі, тому програма виконується за допомогою зовнішнього ПЗУ, що під’єднано до інтерфейсу SPI. Також підтримується до 16 Мб зовнішньої пам’яті.

Специфікація та основні можливості ESP8266 [14]:

- 80 MHz 32-bit процесор Tensilica Xtensa L106;

- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi. Підтримка WEP и WPA/WPA2;
- 14 портів вводу-виводу;
- живлення: від 2,2 до 3,6В;
- споживання струму: до 215 мА;

На рисунку 1.8 представлені різні версії та покоління МК ESP8266.

Таблиця 1.2 – Основні характеристики актуальних моделей плат Arduino

Arduino	Процесор	Напруга живлення	Флеш-пам'ять, Кб	Двійкові входи та виходи	Аналогові входи	Інші інтер-фейси	Розміри, мм
Dieci-mila	ATmega168	5В	16	14	6	UART	68.6× 53.3
Due	ATMELSAM3U	5В	256	54	16	UART	68.6× 53.3
Duemi-lanove	ATmega168 / 328P	5В	16/32	14	6	UART	68.6× 53.3
Leonar-do	ATmega32u4	5В	32	14	12	UART	68.6× 53.3
Mega	ATmega1280	5В	128	54	16	UART	101.6× 53.3
Nano	ATmega168 / ATmega328	5В	16/32	14	8	UART	43×18
Pro Mini	ATmega328P	5В або 3.3В	32	14	8	UART	33×18
Uno	ATmega328P	5В	32	14	6	UART	68.6× 53.3

У 2015 році Espressif було представлено ESP32. Нижче наведено характеристики ESP32 [15]:

- 160-240 MHz 32-bit процесор Tensilica Xtensa LX6;

- 448 Кб ПЗУ, 520 Кб ОЗУ. Зовнішні ОЗУ/ПЗУ підключені по SPI інтерфейсу, підключення до 64 Мб;
- живлення: від 2,2В до 3,6 В;
- Wi-Fi 802.11, Bluetooth v4.2;
- порти та периферія: ADC, DAC, 4 SPI, 2 I2S, 3 UART, CAN. інтерфейс для SD карт. Ethernet MAC.

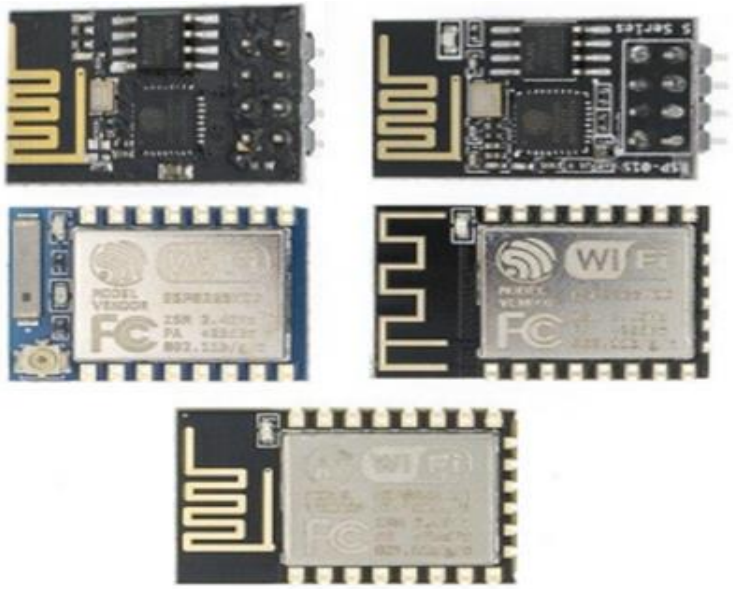


Рисунок 1.8 – Мікроконтролери ESP8266

На рисунку 1.9 представлений МК ESP32.

Рисунок 1.9 – Мікроконтролер ESP32

У таблиці 1.3 представлені відмінності вище згаданих МК серії ESP.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики ESP8266 та ESP32

Характеристики	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa Single-core 32-bit L106	Xtensa Dual-core 32-bit LX6 with 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	HT20	HT40
Bluetooth	No	Bluetooth 4.2 and BLE
Typical Frequency	80 MHz	160 MHz
SRAM	No	Yes
Flash	No	Yes
GPIO	17	36
Hardware / Software PWM	None / 8 channels	None / 16 channels
SPI/I2C/I2S/UAR	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	No	Yes
Ethernet MAC Interface	No	Yes
Touch Sensor	No	Yes
Temperature Sensor	No	Yes
Hall effect sensor	No	Yes
Working Temperature	$-40^{\circ}\ to\ 125^{\circ}$	$-40^{\circ}\ to\ 125^{\circ}$

Невелика ціна, достатня обчислювальна потужність для подібних систем моніторингу, велика розповсюдженість і широке використання, що означає відсутність проблем з програмуванням пристроїв та пошуку необхідних бібліотек, – все це сприяє тому, що МК серії Arduino є найпопулярнішим варіантом вибору для створення власних проєктів, особливо таких як системи моніторингу.

Для створення робототехнічної системи моніторингу частоти серцевих скорочень людини найкращим варіантом є МК системи ESP8266 та ESP32.

Ці МК є достатньо молодими і володіють основними важливими характеристикам, а саме чудовою продуктивністю, наявністю периферійних інтерфейсів, можливістю бездротового підключення через модулі бездротового зв'язку, низькою ціною.

Отже, для створення та реалізації прототипу системи моніторингу частоти серцевих скорочень було обрано МК на кристалі ESP8266. На відміну від ESP32, обраний МК не володіє технологією Bluetooth, яка, однак, не використовується у даному проєкті, має меншу обчислювальну потужність, тим не менш, яка є достатньою для реалізації прототипу, та має перевагу у ціні [16].

1.4 Висновки. Постановка задачі

Для моніторингу пульсу було створено чимало пристроїв, що обробляють сигнали для аналізу даних ВСР. Програми цих пристроїв швидко та автоматично аналізують вихідні параметри за допомогою складних методів обробки сигналів та алгоритмів, які визначають та вимірюють змінні, що отримуються ЕКГ із кожного серцевого циклу.

Сучасні монітори серцевого ритму, як правило, використовують один із двох методів для запису електричних або оптичних серцевих імпульсів.

Метод вияву електричних сигналів серцевого ритму є найбільш точним у зрівнянні з механічним та оптичним методами. Щоб виявити електричні сигнали на тіло людини розміщують кілька електродів, що приймають імпульси.

У оптичному методі вимірюванні ЧСС використовується оптичний випромінювач, що складається принаймні з одного світлодіоду, через який світлові хвилі випромінюються в шкіру, і фотодіода, що фіксує дані хвилі.

Як правило, у медичних приладах реалізовані ЕКГ-датчики для вимірювання біопотенціалу, який утворюється електричними сигналами, що керують скороченнями та розширеннями камер серця.

Проведений аналіз сучасних систем моніторингу серцевого ритму показав, що серед розглянутих побутових приладів нема таких, які можуть показувати електрокардіограму. Тобто робити повну оцінку стану серцевої діяльності людини.

Метою роботи є створення робототехнічної СМСР. Ключовим етапом є визначення вимог для розробки робототехнічної СМСР.

Для створення робототехнічної системи моніторингу частоти серцевих скорочень людини найкращим варіантом є МК система ESP8266. Вона є достатньо новою і має основні характеристики, які відповідають вимогам, а саме швидкість, наявність периферійних інтерфейсів, можливість бездротового підключення через модулі бездротового зв’язку, низька ціна.

Отже, для створення та реалізації прототипу системи моніторингу частоти серцевих скорочень людини було обрано МК на кристалі ESP8266.

Поставлена мета досягається рішенням основної задачі роботи: розробкою робототехнічної СМСР та перевіркою роботи за допомогою макета.

2 ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

2.1 Етапи проєктування робототехнічної СМСР

Проєктування робототехнічних систем – це процес створення нового виробу, як його проєкту. Проєкт – це сукупність технічних документів, за якими виріб може виготовлятися та експлуатуватися. Процес проєктування стандартизований і складається з наступних етапів:

- розробка технічного завдання;
- попереднє проєктування (розробка технічної пропозиції);
- ескізний проєкт;
- технічний проєкт (розробка повного комплекту технічної документації).

Перші два етапи – це науково-дослідна робота (НДР), інші – дослідно-конструкторські роботи (ДКР). Процес проєктування виробу не закінчується технічним проєктом, а продовжується протягом усього його виробництва та експлуатації. Протягом цього часу виріб остаточно довершується, підвищується його технічний рівень шляхом коригування технічної документації [17].

Порядок та методи проєктування засобів робототехніки регламентуються комплексом нормативно-технічних документів, які включають ДСТУ (за класифікацією, термінологією та позначеннями, основними параметрами) та методичні вказівки (за технічними вимогами, методами випробувань та правил приймання, з оцінки економічної ефективності) [18]. Аналогічні документи є і по основним компонентам робототехнічних систем – пристроям управління, приводам і так далі.

Тільки після розгляду взаємодії робототехнічної системи із зовнішнім середовищем та оптимізації технічних вимог до роботи та об'єктів цього середовища слід переходити до проєктування власне робототехнічної системи [19]. Основний принцип тут, як і у проєктуванні інших технічних систем, у

застосуванні принципу декомпозиції, тобто у розподілі всього завдання на кілька більш простих підзадач. Робототехнічна система, як і інші засоби робототехніки, складається з двох основних функціональних частин сенсорів та пристрою керування ними. Пристрій керування у свою чергу вміщує апаратну та програмну частини.

Апаратне та програмне забезпечення – це два основні елементи, без яких неможливе функціонування робототехнічної системи [20]. Частини проєкту, до яких можна торкнутися фізично, називаються апаратним забезпеченням. У той же час, набір команд та інструкцій для комп'ютера, написані з метою виконання системою конкретних задач та операцій, зветься програмним забезпеченням [1]. Для правильної роботи ПАЗ необхідні і апаратна, і програмна складові системи. Саме від того, які елементи будуть використовуватись при розробці робототехнічної системи, залежить рівень її функціональних можливостей.

2.2 Обґрунтування вибору периферійних пристроїв для створення робототехнічної СМСР

Системи моніторингу здоров'я людини відрізняються за параметрами моніторингу залежно від того, які сенсори підключені.

Мета даного проєкту – система моніторингу частоти серцевих скорочень, тому буде розглядатись робота із датчиком серцевого ритму.

На ринку представлені багато різноманітних модулів для вимірювання пульсу, що мають велику розповсюдженість, низьку ціну та не мають складнощів у підключенні. Проте безперечним лідером є AD8232. Це невелика плата з чипом, що використовується для вимірювання імпульсів електричної активності серця. Таку електричну активність можна позначити як ЕКГ або електрокардіограму [22,23,23]. Виробник даної мікросхеми – Analog Devices, Inc. Модуль AD8232 на 50% менший та споживає на 20% менше енергії, аніж інші подібні пристрої. Тому

цей модуль має широкий діапазон використання у системах моніторингу здоров’я [24].

В основі роботи AD8232 – найпоширеніший метод зняття ЕКГ. При розташуванні електродів на кінцівках або грудній клітині фіксується різниця потенціалів між двома точками електричного поля. Основною схемою зняття показників роботи серця є розміщення електродів на лівій та правій руці, а також на лівій нозі. Можна використовувати і інші двополюсні відведення, або обмежитись четвертим електродом, розмістивши його на нозі. Таким чином, розширюється обсяг даних і стає можливим зняття електрокардіограми за триполюсною схемою відведення. На рис. 2.1 представлений ЕКГ модуль AD8232.

Рисунок 2.1 – Датчик серцевого ритму AD8232

Застосування датчика серцевого ритму AD8232:

- фітнес та спортивний моніторинг серцевого ритму;
- портативна ЕКГ;
- віддалений моніторинг стану здоров’я;
- ігрове периферійне обладнання;
- збір сигналів біоелектрики.

Специфікація:

- низьке споживання струму: 170 мкА;

- напруга живлення: однополярний від 2 до 3,5 В Rail to Rail вихідний сигнал;
- кількість електродів: 2 або 3;
- кількість відведень ЕКГ: 1;
- вбудований фільтр ВЧ перешкод;
- 2-полюсний фільтр високих частот;
- 3-полюсний фільтр низьких частот;
- коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу: 80 дБ;
- детектор контакту електродів;
- вихідний сигнал: аналоговий.

Для виявлення на поверхні тіла людини невеликих змін різниці потенціалів, які виникають при деполяризації серцевого м'яза при кожному його скороченні, використовуються електроди (представлені на рис. 2.2), що розміщуються на тілі пацієнта на грудну клітину та кінцівки (в залежності від обраного відведення). Таким чином, можна отримати кардіограму.

Рисунок 2.2 – Електроди для контролю СМСР

Обрано плату AD8232 з електродами, оскільки вона є безперечним лідером для створення робототехнічної СМСР.

2.3 Вибір мікропроцесора для створення робототехнічної СМСР

Аналіз сучасних МК в попередньому розділі показав, що найбільш придатним для робототехнічної СМСР є ESP8266 із підтримкою WiFi-інтерфейсу від виробника Espressif. Керування МК можливе не тільки із браузеру, а й за допомогою додатків на Android/iOS/Desktop. Якщо МК застосовується там, де не має можливості підключитись по мережі WiFi, то ESP8266 має можливість працювати у режимі точки доступу.

МК ESP8266 працює із зовнішньою flash-пам’яттю по інтерфейсу SPI. Її об’єм коливається у межах від 512 Кбайт до 4 Мбайт.

ESP8266 розроблений так, що він може використовувати підключений до нього модуль пам'яті і це, зазвичай, флеш-пам'ять. Кількість циклів перезапису на таку пам'ять становить 10000 разів.

Це цілком достатньо для випадків, коли програма записує в пам'ять свої налаштування, але якщо програма записує свої дані занадто швидко, пам'ять незабаром перестане працювати.

Проте існує багато модифікацій плат на ESP8266, що іменуються, зазвичай, від ESP-01 до ESP-12. Деякі з цих модулів представлені на рис. 2.3.

Відмінність в платах полягає, в основному, в портах введення-виведення, кількості флеш-пам’яті, виду конекторів і так далі.

Крім того існує декілька різних модулів на базі МК ESP8266, деякі з них представлені на рис. 2.4.

Ці плати виконані на МК ESP8266, тому, відповідно, характеристики в них однакові.

Характеристики плат виконаних на МК ESP8266:

- енергоспоживання: 10 мкА ... 170 мА;
- флеш-пам'ять: до 16 Мб;
- діапазон частот: 2.4 ГГц – 2.5 ГГц;

- процесор: Tensilica L106 32 біт;
- швидкість процесора: 80...160 МГц;
- ОЗП: 32 кб + 80 кб;
- напруга живлення: 2.5 В – 3.6 В;
- порти введення-виведення: 17;
- АЦП: 1 порт введення з роздільною здатністю 1024.

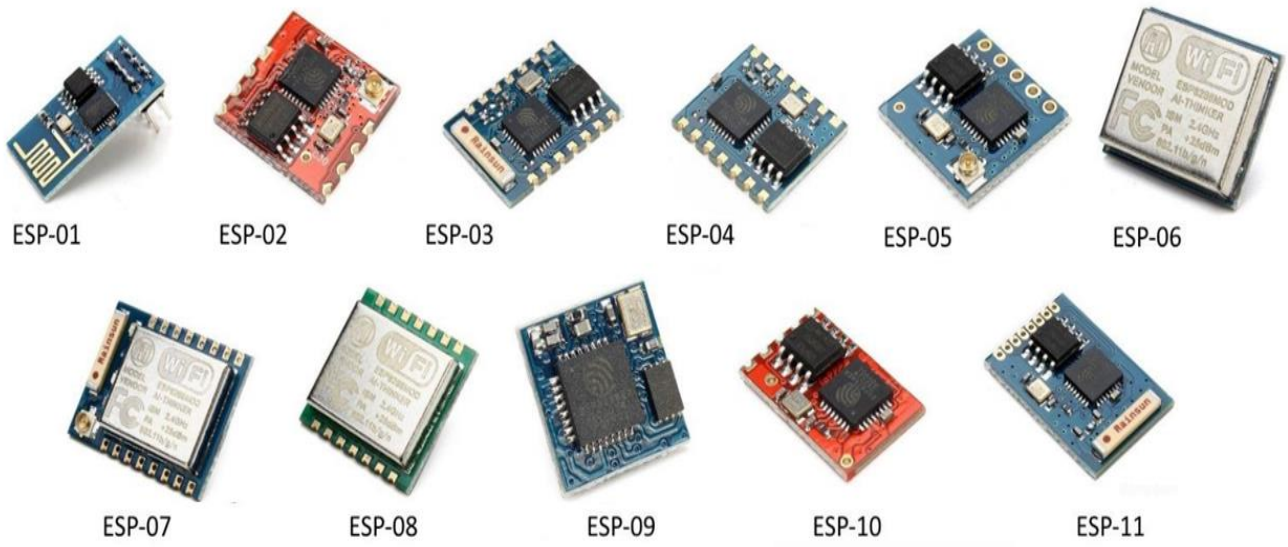


Рисунок 2.3 – Різновиди модуля ESP8266

Рисунок 2.4 - Модулі на базі МК ESP8266

Після аналізу обрано модуль (плата) NodeMCU v3 оскільки вона вміщує спеціальну мікросхему для програмування та роз'єм micro USB (рис. 2.5).

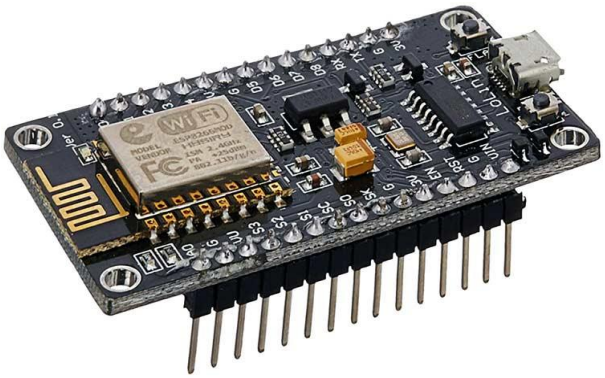


Рисунок 2.5 – Плата NodeMCU v3 на основі ESP8266

Обрана плата NodeMCU v3 – це платформа, в основі якої Wi-Fi модуль ESP8266 [25]. Його процесор має доволі кращі характеристики, ніж Atmel процесор Arduino. До прикладу, Arduino Pro mini, Nano, Uno, Mega мають частоту процесора лише 16 МГц, в той час як у модуля ESP8266 частота процесора складає 80 МГц. А також є значні відмінності у Flash-пам'яті: у тих самих раніше зазначених Arduino Flash-пам'ять всього лиш 32 кБ, а пам'ять ESP – 4 МБ. Можна зробити висновок, що модуль ESP8266 має набагато вищу продуктивність, аніж звичайні Atmel процесори на Arduino. До того ж, вбудований у ESP Wi-Fi модуль має додаткову перевагу у зрівнянні із тими самими Arduino.

Підсумовуючи все вище сказане, можна коротко описати основні характеристики плати NodeMCU v3:

- розмір плати – 6*3 см. Плата досить компактна, що дозволяє використовувати її в багатьох проєктах. З легкістю встановлюється у макетну плату;
- на лицевій частині плати роз'єм Micro USB, за допомогою якого на контролер записуються «скетчі», використовуючи середовище розробки Arduino IDE, або подається живлення від ПК;

- біля роз’єму розміщуються кнопки «Flash» та «Reset», що використовуються для налагодження та перезавантаження плати відповідно;
- більше всього місця на платі займає чип ESP8266, на якому встановлений мікропроцесор із тактовою частотою 80 МГц;
- плата має 4 Мб Flash-пам’яті;
- для живлення на плату можна подавати від 5 до 12 В, але рекомендовано від 10 В;
- живлення плати може відбуватись як через Micro USB, так і від контакту Vin (від 5 В);
- також існують додаткові плати розширення для зручного живлення модулів;
- плата споживає невелику кількість електроенергії, що дозволяє використовувати її з автономним живленням.

2.4 Вибір способу з’єднання для програмування МК ESP8266

Після підключення існують два способи роботи із МК ESP8266 – керування через АТ-команди і автономна робота зі всією прошивкою. У першому випадку МК ESP8266 працює лише в парі з іншими МК, у другому він може працювати незалежно (хоча його також можна приєднати до іншого МК).

Якщо МК ESP8266 постачається із прошивкою то для роботи через АТ-команди він підключається до будь-якого іншого МК через UART-інтерфейс. Для демонстрації роботи АТ-команд МК ESP8266 можна підключити до ПК через USB-UART перехідник і завантажити монітор послідовного порту (наприклад із Arduino IDE).

Також існує можливість роботи з МК ESP8266 без підключення перехідника працюючи з пристроями стандарту Wi-Fi. На високому рівні, Wi-Fi – це бездротова мережа для з'єднань TCP/IP. Оскільки Wi-Fi – це набір протоколів

бездротової мережі, описаних у стандарті IEEE 802.11. МК ESP8266 може працювати в режимі Wireless Access Point (AP) – бездротова точка доступу – працює як вузол комунікацій. Проте найчастіше він працює в режимі роутера.

Тобто Модуль МК ESP8266 може працювати як у режимі точки доступу (AP), так і в режимі клієнта – робочої станції (Station), а може і в обох режимах одночасно. Найчастіше точка доступу має підключення до інтернету та працює як міст між пристроєм та інтернетом. Декілька робочих станцій у локальній мережі спілкуються між собою також через точку доступу. Станція одночасно може бути підключена лише до однієї точки доступу. Кожен пристрій у мережі має власну унікальну MAC-адресу – 48-бітове значення.

Якщо в межах видимості знаходиться кілька точок доступу, їх потрібно якось розрізняти, тому кожна точка доступу має мережевий ідентифікатор, званий SSID (Service Set Identifier, іноді також званий BSSID) - це ім'я мережі, що має довжину до 32 символів.

Найшвидший спосіб поспілкуватися з модулем МК ESP8266 – це передати йому АТ-команду та отримати відповідь. Набір АТ-команд – це спеціальний набір інструкцій, що “знає” даний модуль, і за допомогою яких він може виконувати певні дії при їх отриманні і видавати в термінал результат виконання. Програма, що називається процесором АТ-команд, вже встановлена в модулі ESP8266 і готова до прийому по послідовному порту. Ці команди починаються із символів "AT". Коли модуль підключено до терміналу комп'ютера, можна надіслати найпростішу команду – “AT”. У відповідь на неї модуль має надіслати “OK”.

Проте працювати з модулем МК ESP8266 за допомогою АТ-команд доволі складне завдання, краще використовувати спеціальне середовище для програмування. Слід пам’ятати що з’єднання Wi-Fi перед першим прошиванням можливе лише з використання АТ-команд. Якщо потрібно підключитися до точки доступу Wi-Fi, API має команду для цього. Для отримання IP адреси також є API, для отримання часу із запуску модуля також є API. Таких функцій дуже багато, і вони дозволяють робити з модулем дуже багато корисних речей.

У більшості випадків набагато зручніше прошивати МК ESP8266 і працювати зі своєю прошивкою [26]. Оскільки нами обрано плата NodeMCU v3 в якості перехідника USB-UART використана мікросхема CH340, яка є на самій платі. На NodeMCU v3 присутній вхід Micro USB (Рисунок 2.6 (а)) та вбудований USB-конвертор (Рисунок 2.6 (б)).

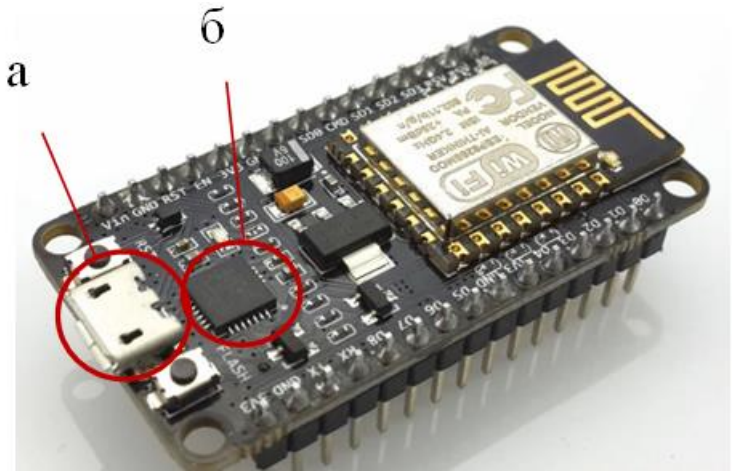


Рисунок 2.6 – Вхід Micro USB (а), USB-конвертор (б)

У цьому випадку потрібно – лише підключити плату через USB до ПК.

2.5 Вибір способу програмування МК ESP8266

Програмне забезпечення робототехнічної системи видає закодовані команди пристроям периферії. Програмне забезпечення може бути налаштоване для автоматизації різних завдань, пов'язаних із цими пристроями периферії, що дозволяє робототехнічним системам виконувати завдання без необхідності ручного втручання [2727].

Успіх програми для роботів залежить від того, як створено мову програмування. Як і за будь-якого типу програмування, мова має бути конкретною, логічною та організованою так, щоб приймальний пристрій міг правильно інтерпретувати команди та брати участь у зазначених завданнях.

Програмування робототехнічних систем зазвичай є заключним етапом, пов'язаним із їх створенням. Сьогодні МК можуть бути запрограмовані різними мовами високого рівня. Це такі мови як C, C++, C#, Python, Basic та інші.

Програмне забезпечення для програмування має відповідати вибраному МК. Щоб використовувати різні МК, потрібно визначитись із мовою програмування. Найбільш поширені мови програмування робототехнічних систем наведені нижче.

Асемблер – це мова низького рівня максимально наближена до машинного коду. Асемблер потрібно використовувати тільки тоді, коли потрібен абсолютний контроль над кодом лише на рівні інструкцій.

Basic – одна із перших широко використовуваних мов програмування. Вона, як і раніше, використовується деякими МК (Basic Micro, BasicX, Parallax) для програмування навчальних роботів.

C/C++ – одна з найпопулярніших мов. Мова С забезпечує високорівневу функціональність, зберігаючи хороший контроль низького рівня.

Java – сучасніша, ніж С. Забезпечує безліч функцій безпеки, але менше контролю низького рівня. Деякі виробники роблять МК спеціально для використання з Java.

C# – запатентована мова Microsoft використовується для розробки програм у Visual Studio.

Python – одна з найпопулярніших мов. Дуже проста у освоєнні і тому може використовуватися для швидкої та ефективної передачі програм.

Програмне забезпечення Arduino використовує варіант C++. Програмування роботів у ній включає деякі спрощення у тому, щоб зробити програмування не складним.

Для управління роботом необхідно запрограмувати МК. Програмування МК стало простіше завдяки використанню сучасних інтегрованих середовищ розробки IDE з повнофункціональними бібліотеками. Вони легко охоплюють усі найпоширеніші завдання та мають багато готових прикладів коду.

Створювати та редагувати текст програми найзручніше в якомусь редакторі, який має підсвічування синтаксису, вбудовану довідку та інші корисні функції, і ще краще - в інтегрованому середовищі розробки (IDE – Integrated Development Environment). Працюючи в такому середовищі, можна написати текст програми, скомпілювати її і відразу ж завантажити в модуль.

Широко відомі такі середовища розробки як Eclipse та Arduino IDE.

Eclipse – дуже потужне середовище, що було розроблено компанією IBM і отримало статус відкритої багато років тому. Вона написана на Java, що означає можливість роботи в різних ОС: Windows, Linux, OS X. До цього середовища розробки можна підключати багато додатків, а набір таких додатків для мови С називається "C Developers Tools" (CDT). CDT не включає компілятор мови С. Його слід обрати самому. Програми в Eclipse для модуля ESP8266 пишуться зазвичай мовою С. Перед завантаженням програми в модуль її слід скомпілювати з тексту у машинні коди.

Проте найбільш поширеним є Arduino IDE [28]. Це середовище розробки є доволі простим. Яке, тим не менш, дозволяє писати і завантажувати в модуль свої програми.

Саме тому для того, щоб запрограмувати МК ESP8266, використовується середовище Arduino IDE, головне вікно якого показано на рис. 2.7.

На програмному рівні платформа Arduino представляє собою безкоштовне середовище розробки Arduino IDE. МК потрібно програмувати на мові С++, з деякими відмінностями і полегшеннями, що створені для швидкої адаптації початківців. Компіляція програмного коду і прошивка МК автоматично виконуються середовищем Arduino IDE.

Програмний код для Arduino прийнято називати скетчами. У скетчів є два основних методи: setup() і loop(). Перший метод автоматично викликається після включення або скидання МК. У ньому відбувається ініціалізація портів і різних модулів, систем. Метод loop() викликається в нескінченному циклі протягом всієї роботи МК.

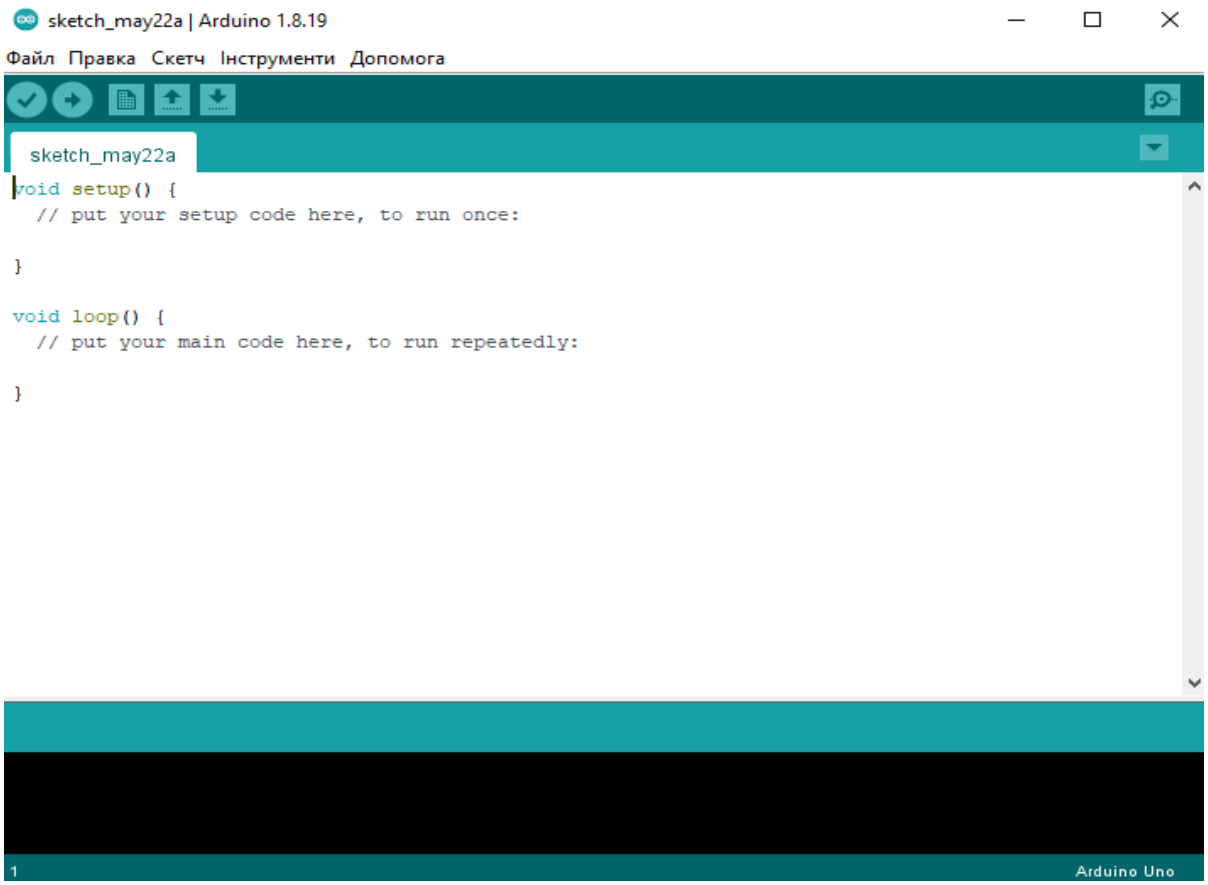


Рисунок 2.7 – Основне вікно Arduino IDE

Порти – це невід'ємна частина будь-якого МК. Через них відбувається взаємодія МК із зовнішніми пристроями. З програмного боку порти називаються пінами. Будь-який пін може працювати в режим входу (для подальшого зчитування напруги з нього) або в режимі виходу (для подальшого встановлення напруги на ньому).

Будь-який пін працює з двома логічними станами: LOW і HIGH, які є еквівалентними логічному нулю та одиниці відповідно. У деяких портів є вбудований АЦП, що дозволяє зчитувати аналогові сигнали з входу. Також деякі піни можуть працювати в режимі ШІМ, тобто встановлювати аналогову напругу на виході. Зазвичай функціональні можливості піна вказуються на маркуванні самої плати.

Процес програмування в Arduino IDE дуже схожий на стандартний C++. Для базової роботи з платою в бібліотеці Arduino IDE є наступні основні функції:

- pinMode(PIN, type) – вказує призначення конкретного піна PIN (значення type INPUT – вхід, OUTPUT – вихід);
- digitalWrite(PIN, state) – встановлює логічний стан на виході PIN (state LOW – 0, HIGH – 1);
- digitalRead(PIN) – повертає логічний стан з входу PIN (LOW – 0, HIGH – 1);
- analogWrite(PIN, state) – встановлює аналогову напругу на виході PIN (state в межах від 0 до 255);
- analogRead(PIN) – повертає значення аналогового рівня сигналу з входу PIN (межі залежать від розрядності і вбудованого АЦП. Зазвичай розрядність становить 10 біт, відповідно, значення, що повертається, лежить в межах від 0 до 1023);
- delay(ms) – призупиняє виконання скетча на задану кількість мілісекунд;
- millis() – повертає кількість мілісекунд з момента запуску МК.

Після написання скетчу необхідно завантажити його на МК. Для цього потрібно підключити плату до комп'ютера. Перед прошивкою МК потрібно вибрати плату зі списку. Більшість існуючих плат вже там є, але при необхідності можна додавати інші через «Менеджер Плат» (для МК ESP8266 це потрібно зробити).

Після цього потрібно підключити плату до будь-якого USB-порту комп'ютера і обрати відповідний порт в пункті меню «Інструменти» > «Порт». Для того, щоб приступити до прошивки МК, достатньо натиснути кнопку «Завантаження». Після цього розпочнеться компіляція коду, і у випадку відсутності помилок компіляції, розпочнеться прошивка МК.

У всіх плат підключених до Arduino IDE є можливість обміну інформації з комп'ютером. Обмін відбувається по USB-кабелю. Для цього потрібен клас Serial, який містить в собі всі необхідні функції. Перед роботою з класом потрібно ініціалізувати послідовний порт, вказавши при цьому швидкість передачі даних

(за замовчуванням – 9600). Для відправки даних в класі Serial існують відомі методи print() та println().

В Arduino IDE є «Монітор порту». Завантажити його можна через пункт меню «Інструменти» > «Монітор порту». Після його відкриття потрібно переконатись, що Монітор працює на тій ж самій швидкості, яка була вказана при ініціалізації послідовного порту в скетчі. Це можна зробити в нижній частині панелі Монітору.

2.6 Розробка структурної схеми робототехнічної СМСР

Після вибору складових робототехнічної СМСР є доцільною розробка її структурної схеми. В якості апаратної складових СМСР було обрано: плата NodeMCU v3 з МК ESP8266, плата монітору роботи серця AD8232 та електроди для прийому електричних імпульсів серця. Проте для виводу інформацій і програмування потрібна ще одна складова це ПК. На рис. 2.8 зображена остаточна структурна схема пристрою, яка відображає взаємозв’язок елементів робототехнічної СМСР:

2.7 Висновки

Проєктування робототехнічних систем – це процес створення нового виробу як його проєкту. Процес проєктування стандартизований. Перші два етапи – це НДР та ДКР. Робототехнічна система, як і інші засоби робототехніки, складається з двох основних функціональних частин сенсорів та пристрою керування ними. Пристрій керування у свою чергу вміщує апаратну та програмну частини. Апаратне та програмне забезпечення – це два основні елементи, без яких неможливе функціонування робототехнічної системи.

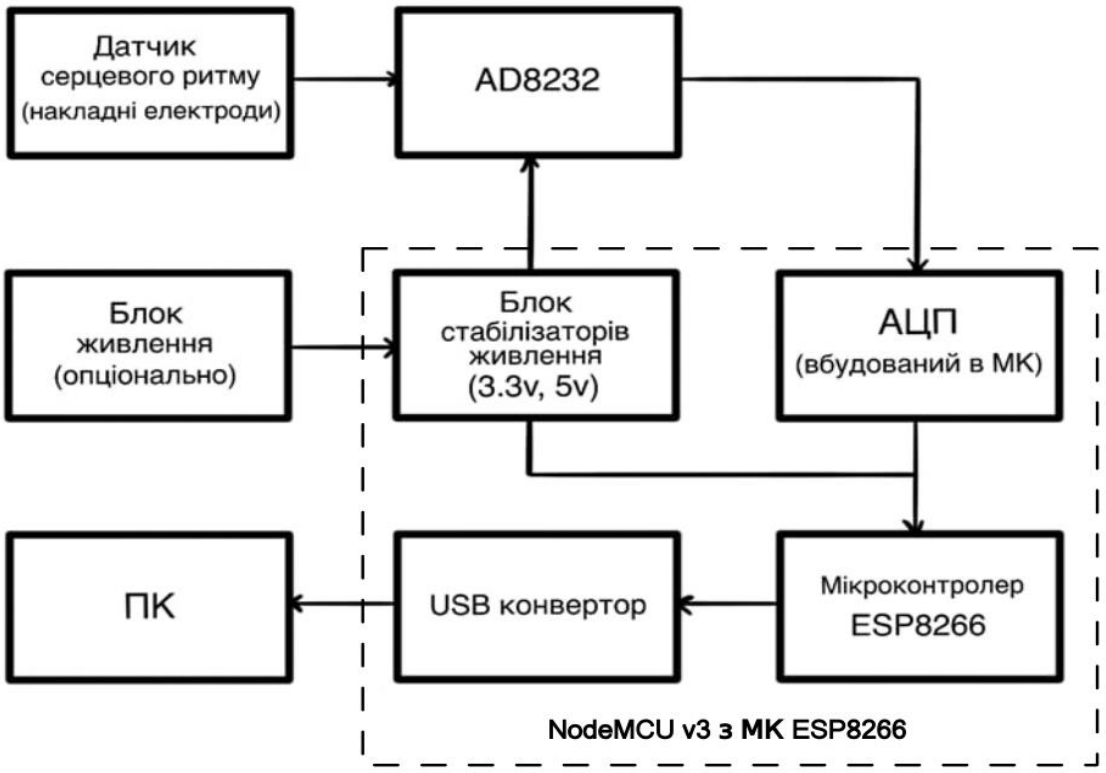


Рисунок 2.8 – Структурна схема робототехнічної СМСР

Системи моніторингу здоров’я людини відрізняються за параметрами моніторингу залежно від того, які сенсори підключені. На ринку представлені багато різноманітних модулів для вимірювання пульсу, що мають велику розповсюдженість, низьку ціну та не мають складнощів у підключенні. Проте безперечним лідером є AD8232

Існує багато модифікацій плат на ESP8266, що іменуються, зазвичай, від ESP-01 до ESP-12. Відмінність в платах полягає, в основному, в портах введення-виведення, кількості флеш-пам’яті, виду конекторів і так далі. Крім того існує декілька різних модулів на базі МК ESP8266 Після аналізу обрано модуль (плата) NodeMCU v3 оскільки вона вміщує спеціальну мікросхему для програмування та роз’єм micro USB.

Після підключення існують два способи роботи із МК ESP8266 – керування через АТ-команди і автономна робота зі всією прошивкою. Якщо МК ESP8266 постачається із прошивкою, то для роботи через АТ-команди він підключається

до будь-якого іншого МК через UART-інтерфейс. Для вводу АТ-команд МК ESP8266 можна підключити до ПК через USB-UART перехідник і завантажити монітор послідовного порту. Також існує можливість програмувати МК ESP8266 без підключення перехідника працюючи з пристроями стандарту Wi-Fi. На високому рівні, Wi-Fi – це бездротова мережа для з'єднань TCP/IP. Хоча найшвидший спосіб поспілкуватися з модулем МК ESP8266 – це передати йому АТ-команду та отримати відповідь. Проте працювати з модулем МК ESP8266 за допомогою АТ-команд доволі складне завдання, краще використовувати спеціальне середовище для програмування.

Для управління роботом необхідно запрограмувати МК. Програмування МК стало простіше завдяки використанню сучасних інтегрованих середовищ розробки IDE з повнофункціональними бібліотеками. Вони легко охоплюють усі найпоширеніші завдання та мають багато готових прикладів коду.

Створювати та редагувати текст програми найзручніше в редакторі, який має підсвічування синтаксису, вбудовану довідку та інші корисні функції, і ще краще - в IDE Найбільш поширеним є Arduino IDE.

Окрім того це середовище розробки є доволі простим та дозволяє писати і завантажувати в модуль програми користувача. Саме тому для того, щоб запрограмувати МК ESP8266, обрано середовище Arduino IDE.

Після вибору складових робототехнічної СМСР була розроблена структурна схема. Для робототехнічної СМСР були обрані: плата NodeMCU v3 з МК ESP8266, плата монітору роботи серця AD8232, електроди для прийому електричних імпульсів серця та ПК для виводу інформацій і програмування.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

3.1 Розробка електричної функціональної схеми

Розробку електричної функціональної схеми робототехнічної СМСР робимо на основі структурної схеми (пункт 2.6).

Головним елементом апаратної частини робототехнічної СМСР є МК ESP8266. Другим елементом апаратної частини робототехнічної СМСР є ЕКГ модуль AD8232 (рис. 3.1).

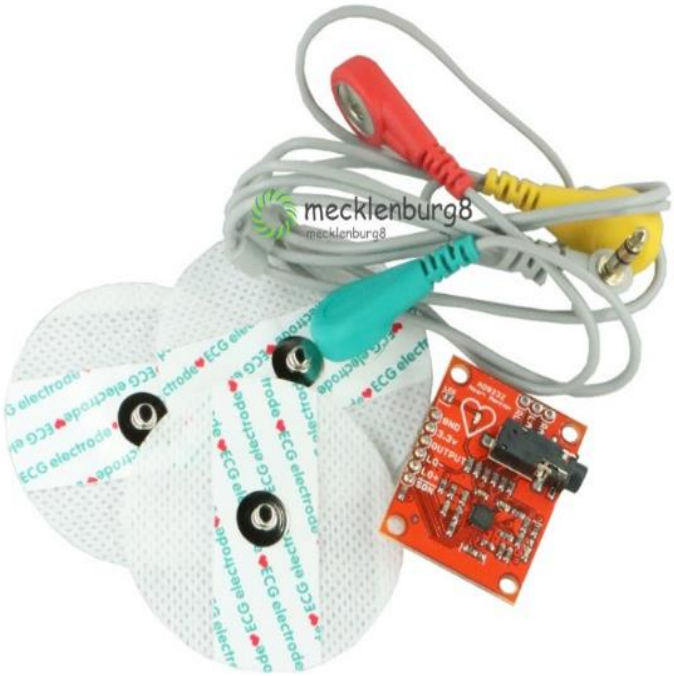


Рисунок 3.1 – ЕКГ модуль AD8232 та електроди

Плата AD8232 є компонентом аналогової вхідної схеми Heart Monitor (монітор частоти серцевих скорочень). На корпусі плати є 3,5 мм роз'єм для підключення поширених самоклеючих електродів, що дозволяють знімати показники роботи серця. А самі електроди кріпляться на тілі людини [29]. Схема підключення електродів до тіла людини зображена на рис. 3.2.

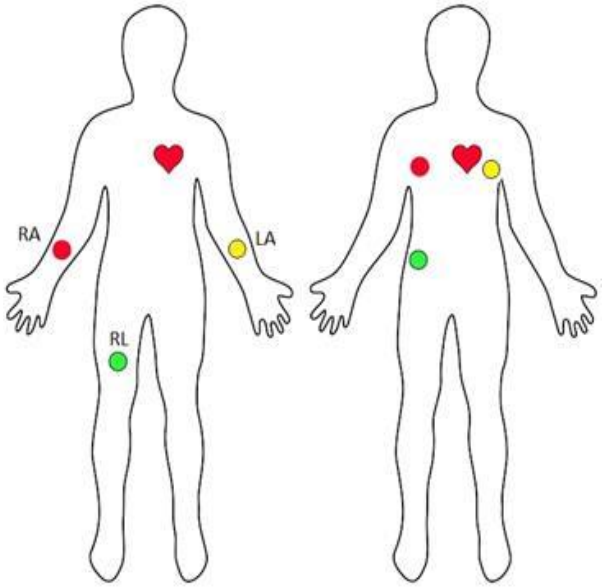


Рисунок 3.2 – Розташування електродів на тілі людини

Жовтий електрод відповідає значенню RL (права нога), червоний – RA (права рука), зелений – LA (ліва рука). Таким чином, можна прикріпити електроди і на грудній клітині.

Модуль AD8232 має детектор підключення електродів – контакти L+ та L-. Вони виводять логічну одиницю, якщо електроди не підключені і логічний нуль, якщо підключені. На екрані дисплею це відображається символами L+ та L-. Якщо їх колір зелений – це означає, що електроди підключені, якщо червоний – відключені. Наявність шуму на графіку ЕКГ може бути пов’язано з такими нюансами, як контакт електродів і їх правильне розміщення на тілі, наявність дефектів в проводах електродів та їх пошкодження. На відміну від оптичних датчиків, рух тіла при вимірі серцевого ритму не призводить до значного спотворення графіку на екрані, але все ж деякі спотворення є, так як при русі чи напрузі інші м’язи тіла, що розташовані близько до електроду, також дають деякі імпульси.

При з’єднанні модуля AD8232 з МК ESP8266 необхідно використовувати такі контакти: GND, живлення 3.3В, вихід OUTPUT, LO+ та LO- (детектори

підключення електродів). Розроблена електрична функціональна схема представлена у додатку Б.

Згідно електричної функціональної схеми модуль AD8232 та МК ESP8266 мають п’ять з’єднань. Аналоговий вихід AD8232 OUT з’єднано з ADC (A0) МК ESP8266, що теж є аналоговим. Цифрові виходи AD8232 LO- та LO+ з’єднано відповідно з GPIO4 і GPIO5 ESP8266. Також згідно схеми подано живлення від МК ESP8266 на модуль AD8232. Електроди модуля AD8232 під’єднанні до відповідних контактних площадок.

3.2 Розробка макету

Згідно електричної функціональної схеми потрібно розробити схему з’єднання модуля AD8232 та плати NodeMCU v3 для створення макету робототехнічної СМСР.

Плата NodeMCU v3 призначена для зручного керування схемами на відстані за допомогою передачі сигналу по локальній мережі або в інтернет через Wi-Fi. Можливості застосування цієї плати досить широкі. NodeMCU v3 має 13 контактів введення/виведення, які є аналогічними до контактів на Arduino.

Деякі з портів мають додаткові функції:

- D9, D10 – UART;
- D1, D2 – I2C/TWI;
- D5-D8 – SPI;
- D1-D10 – виходи з ШІМ (PWM);
- A0 – аналоговий вхід з АЦП.

Схема розташування контактів портів введення/виведення зображено на рис. 3.3.

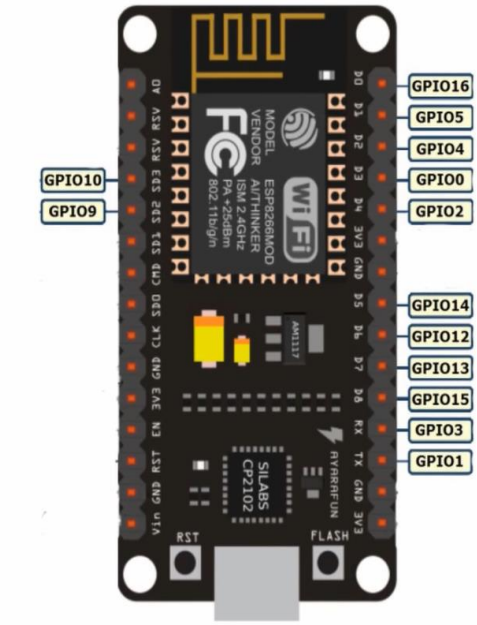


Рисунок 3.3 – Схема розташування контактів портів введення/виведення NodeMCU v3

При роботі з платою NodeMCU v3 потрібно користуватись схемою розташування контактів, яка зображена на рисунку 3.4.

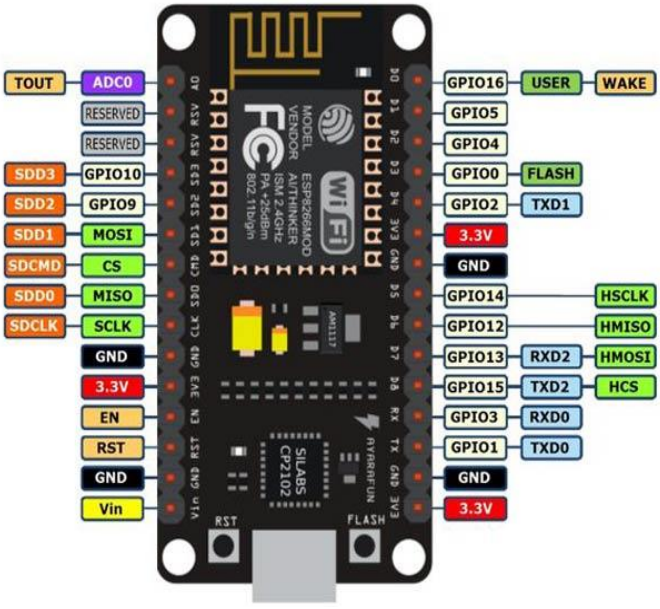


Рисунок 3.4 – Схема розташування контактів плати NodeMCU v3

Контакти живлення на платі NodeMCU v3 переважно 3.3В, через те, що сам модуль ESP8266 живиться від 3.3В. Але якщо під час використання плати знадобиться живлення 5В, для цього передбачений вихід Vin, на який надходить напруга 5В з порту Micro USB. На рис. 3.5 зображені контакти живлення платі NodeMCU v3.

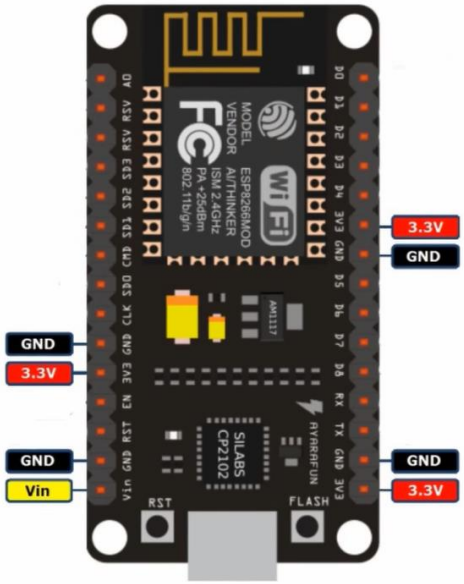


Рисунок 3.5 – Схема розташування контактів плати NodeMCU v3

Згідно електричної схеми з’єднань модуля AD8232 та МК ESP8266 розроблена схема з’єднання компонентів робототехнічної СМСР, а саме модуля AD8232 та плати NodeMCU v3 (рис. 3.6).

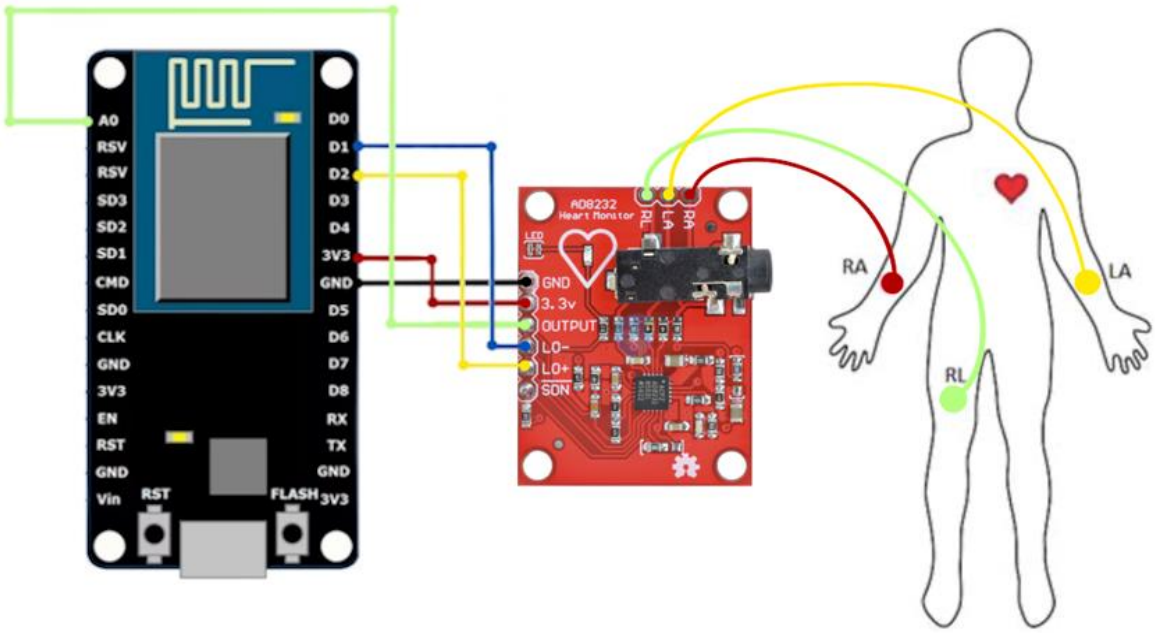


Рисунок 3.6 – Схема з’єднання плати NodeMCU v3 та модуля ЕКГ AD8232

Конфігурація пінів плати NodeMCU v3 представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Конфігурація пінів

Board Label	Pin Function	NodeMCU v3 Connection
GND	Ground	GND
3.3v	3.3v Power Supply	3.3v
OUTPUT	Output Signal	ADC0
LO-	Leads-off Detect -	GPIO4
LO+	Leads-off Detect +	GPIO5
SDN	Shutdown	Not used

Живлення робототехнічної СМСР здійснюють через з’єднувальний кабель USB – micro USB підключений до роз’єму Micro USB або блоку живлення.

3.3 Налаштування Arduino IDE для програмування

Для реалізації програмної складової системи моніторингу в якості плати було обрано NodeMCU на базі МК ESP8266, тому доречно використовувати таке середовище програмування, як Arduino IDE. Завантажити його можна на офіційному сайті Arduino IDE (рис. 3.7) [30].

Рисунок 3.7 – Офіційний ресурс для завантаження Arduino IDE

Після завантаження середовища розробки Arduino IDE можна приступати до написання скетчів під обраний МК. Перед завантаженням скетча потрібно обрати тип плати, що буде використовуватись, із списку плат у меню інструментів. Проте, за замовчуванням там відсутні плати ESP8266. Тому спочатку необхідно підключити потрібну плату до середовища розробки Arduino IDE.

Підключення необхідних плат відбувається у декілька нескладних та швидких кроків. У середовищі Arduino IDE є «Менеджер плат», за допомогою якого можна легко додати потрібні плати у список. Для цього необхідно виконати такі дії:

1. У головному вікні середовища Arduino IDE обрати пункт меню: «Файл» > «Налаштування» (рис. 3.8).

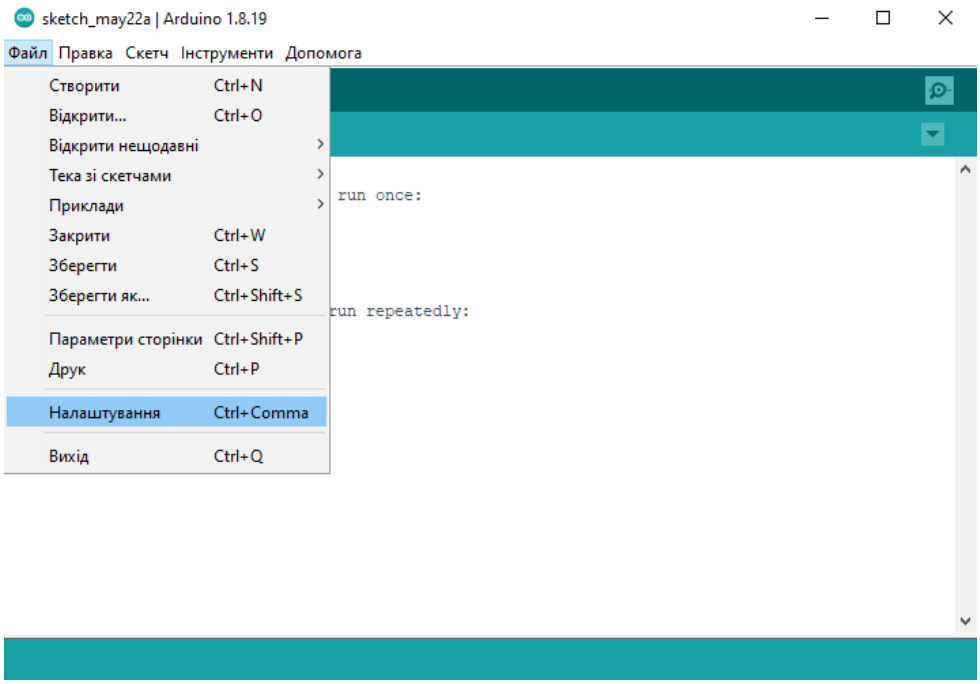


Рисунок 3.8 – Пункт головного меню «Файл»

2. У відкритому меню «Налаштування» знайти поле «URL Менеджерів додаткових плат» і ввести рядок:
«http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json» (рис. 3.9).
3. Відкрити «Менеджер плат», обравши пункт меню «Інструменти» > «Плата» > «Менеджер плат» (рис. 3.10).
4. У відкритому вікні «Менеджер плат» знайти пункт «esp8266 by ESP8266 Community» із списку збірок і натиснути на кнопку «Встановити» (рис. 3.11).

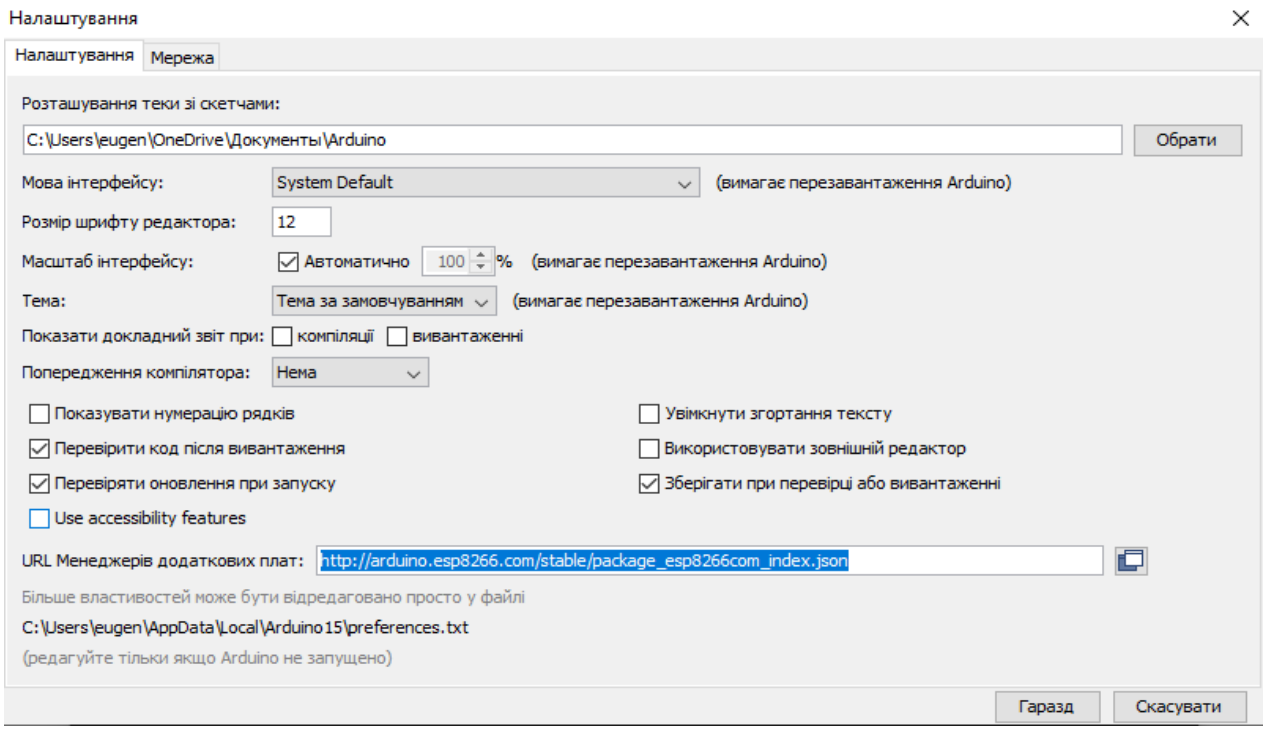


Рисунок 3.9 – Меню налаштувань

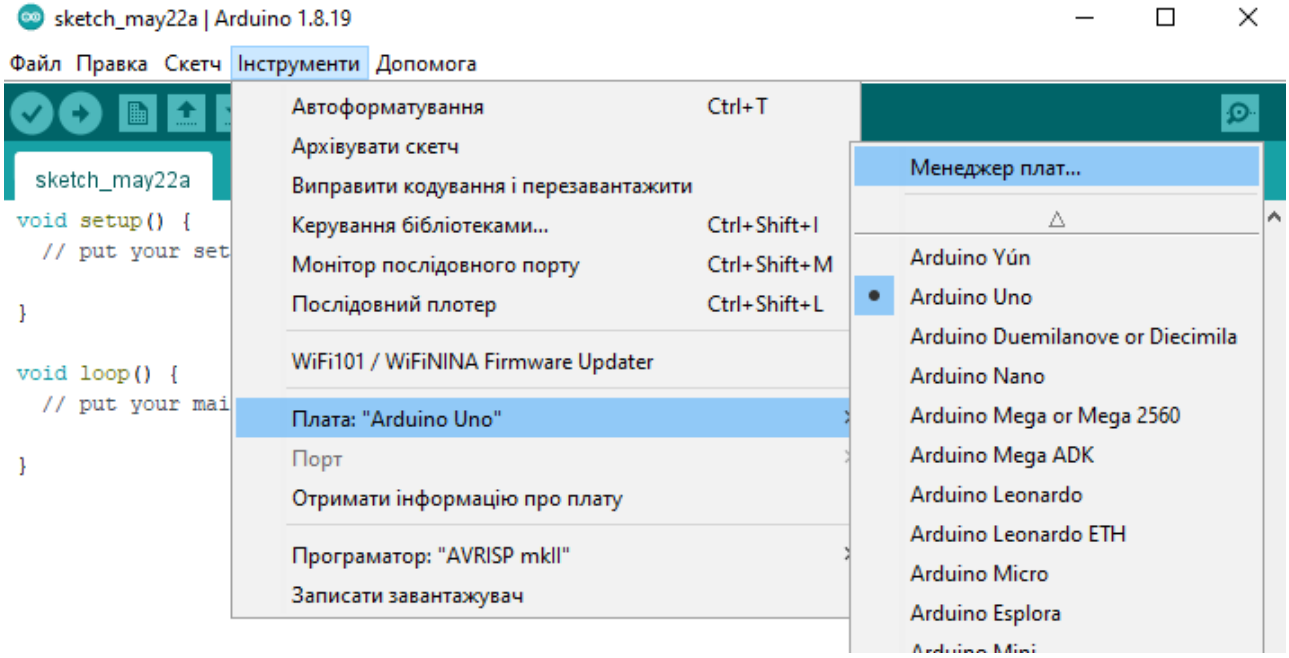


Рисунок 3.10 – Пункт меню «Інструменти»

5. Після успішного завантаження збірки потрібна плата з’явиться у списку плат (рис. 3.12).

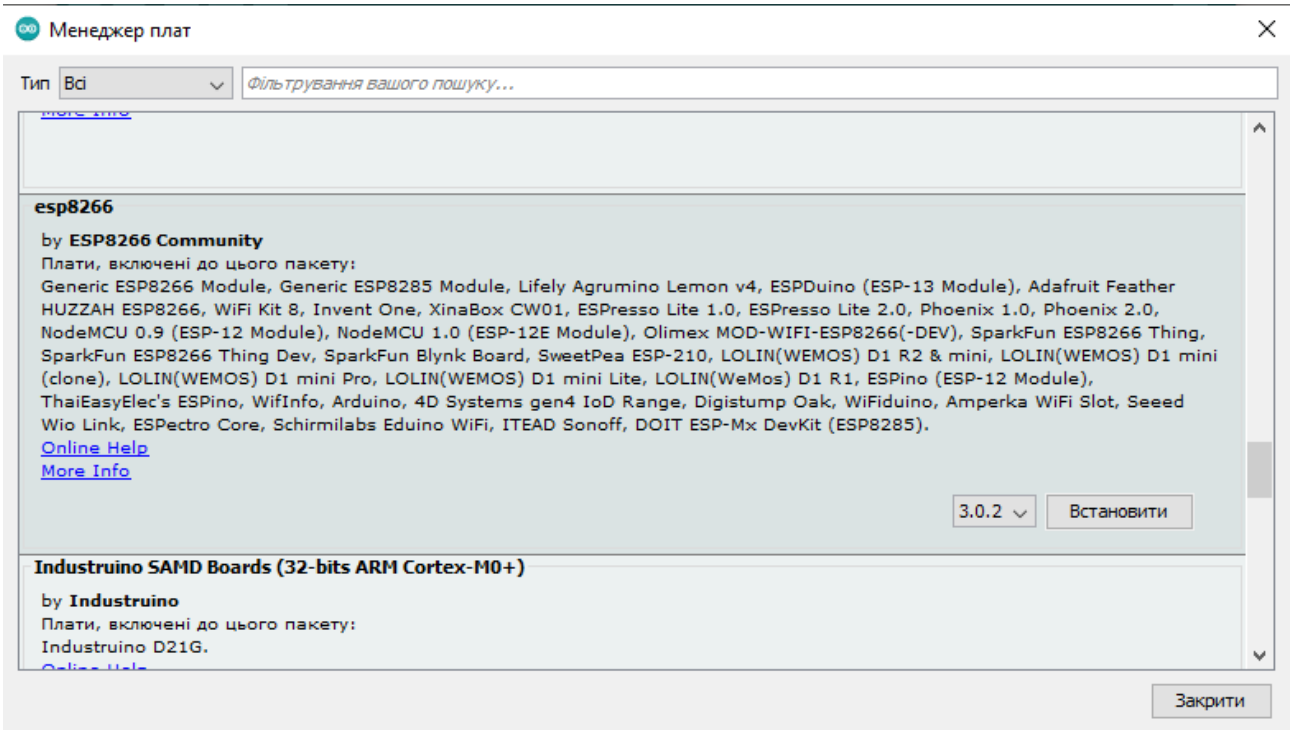


Рисунок 3.11 – Список збірок плат

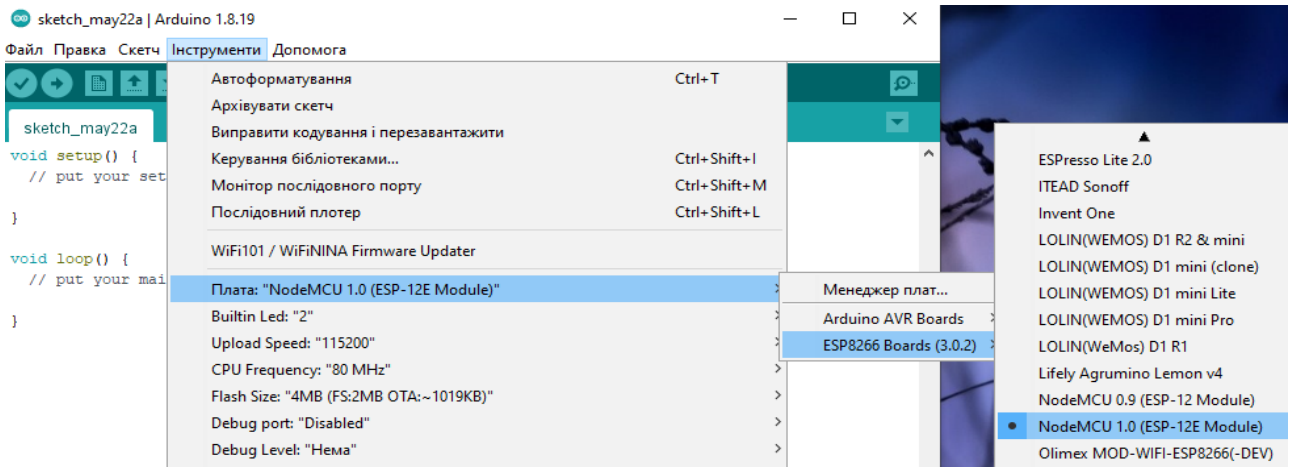


Рисунок 3.12 – Список доступних плат

На цьому налаштування Arduino IDE завершено, і можна приступати до програмування МК ESP8266.

3.4 Розробка програми, програмування та перевірка

Програмування робототехнічної СМСР зроблено з використанням середовища для програмування Arduino IDE. Оскільки модуль AD8232 є закінченим пристроєм спеціально призначеним для моніторингу серцевого ритму програма, яка створена для виводу даних є досить проста.

Закінченість модуля AD8232 дозволяє використовувати (для програмування в середовищі Arduino IDE) стандартні команди і не використовувати спеціальні бібліотеки, які найчастіше завантажують при використанні додаткових модулів.

Програмний код починає секція - void setup в Aduino IDE, що має таку конструкцію:

```
void  setup () {
// код секції
}
```

Початок і кінець циклу показано фігурними дужками (всі команди повинні розташовуватися між ними). Секція -void setup виконується МК один раз.

У цій секцій ми проводимо ініціалізацію послідовного зв'язку з портом Serial.

```
Serial.begin(9600);
```

Цей рядок коду сповіщає МК, що потрібно звернутися до послідовного порту за UART інтерфейсом, відкрити його для отримання даних. Швидкість зчитування яких повинна бути 9600 біт на секунду (бод).

Наступні рядки показують налаштування для виявлення введення контактів LO + та LO -. Тобто встановлюють для введення GPIO4 та GPIO5 МК.

```
pinMode(4, INPUT); // Setup for leads off detection LO +
pinMode(5, INPUT); // Setup for leads off detection LO -
```

Після чого завершуємо секцію -void setup.

Наступною секцією є - void loop, яка буде повторюватиметься так довго скільки на МК будуть подавати живлення. Секція - void loop в Aduino IDE має таку саму конструкцію, як секція - void setup і відрізняється лише назвою:

```
void  loop () {
// код секції
}
```

Цю секцію ми починаємо з перевірки стану GPIO4 та GPIO5 (тобто перевіряємо чи підключені датчики до тіла людини). Якщо GPIO4 та GPIO5 МК мають високий рівень (1), то датчики треба приєднати. Якщо низький рівень (0), то датчики приєднані.

```
if((digitalRead(10) == 1)||(digitalRead(11) == 1)){
```

Наступний рядок коду друкує знак оклику (!), якщо GPIO4 та GPIO5 МК мають високий рівень (1).

```
Serial.println('!');
```

В іншому випадку (GPIO4 та GPIO5 МК мають низький рівень (0)) виконуються рядки після else, які розташовані у фігурних дужках. В нашому випадку це рядок призначений для виводу показників з аналогового входу A0 (максимальне значення може бути - 1023, а мінімальне - 0)

```
Serial.println(analogRead(A0));
```

Наступний рядок програми затримує виведення даних з порту Serial на одну мілісекунду.

```
delay(1);
```

Далі необхідно завершити секцію -void loop (фігурна дужка). А потім і програмний код (фігурна дужка). Програмний код наведений вище можна представити у вигляді блок схеми (додаток В). Повний програмний код робототехнічної системи вказано в Додатку Д.

Наступним етапом є завантаження програми у Arduino IDE тобто створення скетчу програми для прошивки МК ESP8266 (рис. 3.13).

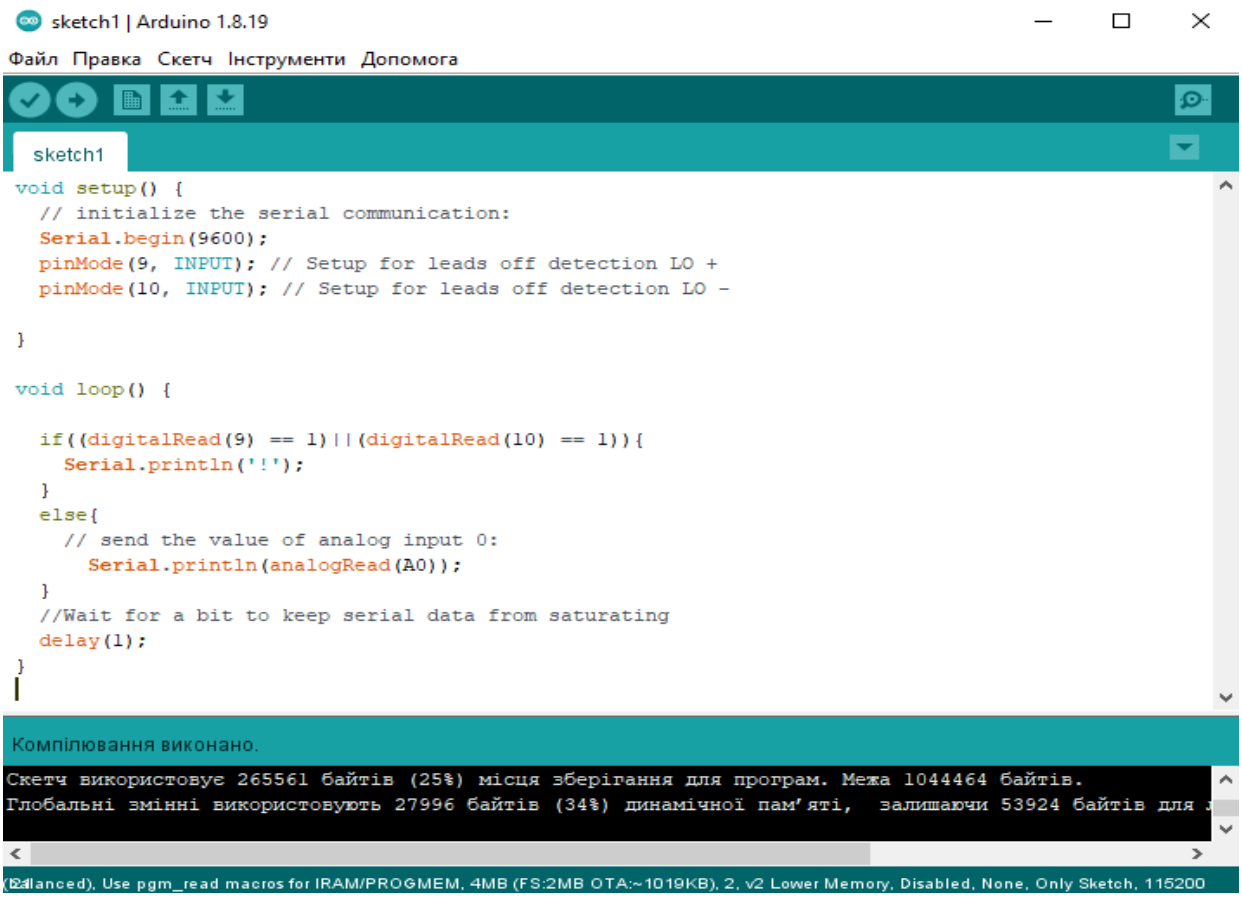


Рисунок 3.13 – Скетч програми в Arduino IDE для прошивки МК ESP8266

Наступним кроком є перевірка працездатності макету робототехнічної СМСР.

Для цього підключаємо електроди до тіла людини, після чого можна побачити реакцію на моніторі, відкривши «Послідовний плотер» у меню «Інструменти» (рис. 3.14).

На рис. 3.15 представлений графік імпульсів серцевого ритму після підключення електродів до тіла людини.

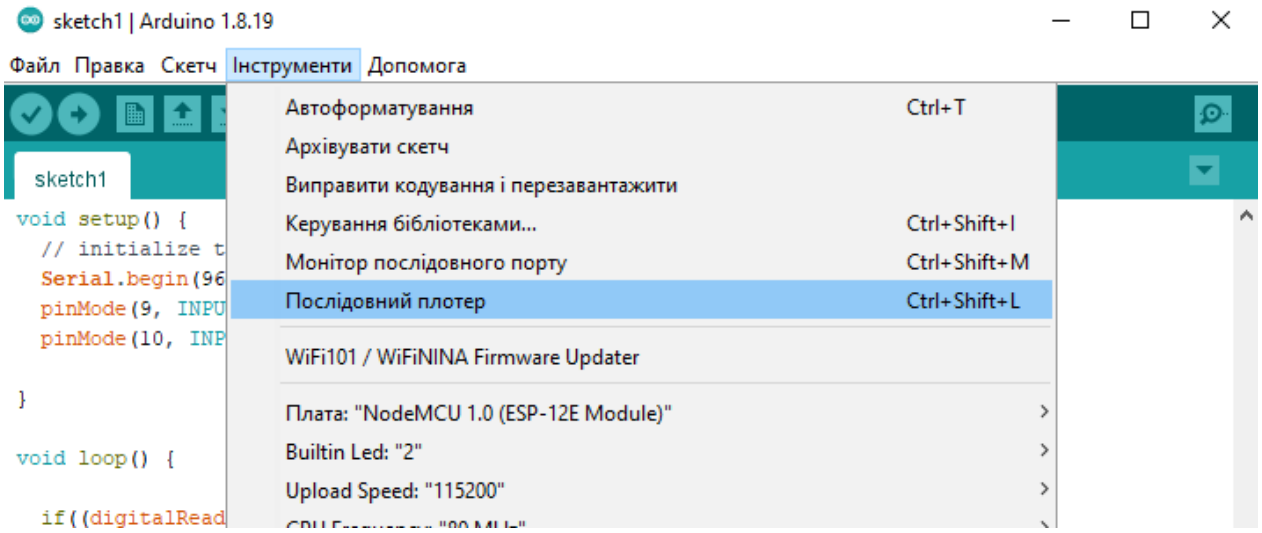


Рисунок 3.14 – Пункт меню «Послідовний плотер» в Arduino IDE

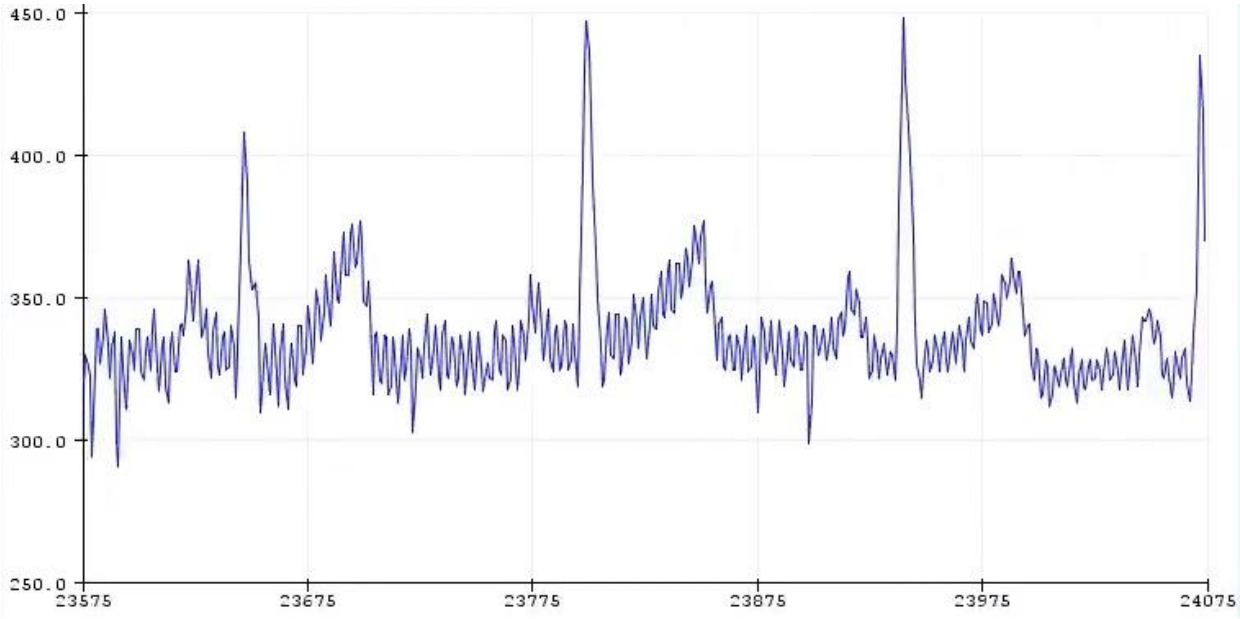


Рисунок 3.15 – Графік імпульсів

3.5 Розрахунок матеріальних витрат

Для реалізації системи моніторингу серцевого ритму були обрані такі компоненти:

- платформа NodeMCU на базі МК ESP8266;

- ЕКГ модуль AD8232;

- електроди для прийому пульсу.

Вартість реалізованого пристрою залежить від вартості елементів, що входять до складу системи.

У таблиці 3.2 наведено перелік компонентів і розрахунки витрат на них.

Таблиця 3.2 – Розрахунок витрат

№	Найменування компонентів	Ціна, грн	Кількість, шт	Загальна сума, грн
1	Плата NodeMCU v3	130	1	130
2	Модуль AD8232	238	1	238
3	Електроди		1	
Разом				368

3.6 Напрямки вдосконалення

Розроблений пристрій моніторингу серцевого ритму має дійсно значний потенціал для використання у різних сферах людської діяльності. У подальшому функціональні можливості пристрою можуть бути розширені та масштабовані у різних напрямках.

Проте можна виділити два основних напрямки вдосконалення: покращення апаратної частини та покращення програмної частини.

Можливим покращенням апаратної складової системи моніторингу може бути розширення функціоналу шляхом підключення нових сенсорів таких, як датчик температури тіла, артеріального тиску, тощо.

Можливим покращенням програмної складової системи моніторингу серцевого ритму може бути збільшення функціоналу пристрою, шляхом додання можливостей для виміру артеріального тиску, температури тіла людини, попередження про порушення роботи серця або різкі зміни артеріального тиску, а

також програмування з’єднання з ПК або мобільним телефоном бездротовим способом (Wi-Fi).

3.7 Висновки

Розробку електричної функціональної схеми робототехнічної СМСР зроблено на основі структурної схеми. Головним елементом апаратної частини робототехнічної СМСР є МК ESP8266. Другим елементом апаратної частини робототехнічної СМСР є ЕКГ модуль AD8232. При з’єднанні модуля AD8232 з МК ESP8266 були використані контакти: для живлення GND та напруги 3.3В, вихід OUTPUT, - LO+ та LO- (детектори підключення електродів).

Згідно електричної функціональної схеми була розроблена схема з’єднання модуля AD8232 та плати NodeMCU v3 для створення макету робототехнічної СМСР.

Програмування робототехнічної СМСР зроблено з використанням середовища програмування Arduino IDE, яке було налаштовано. Оскільки модуль AD8232 є закінченим пристроєм спеціально призначеним для моніторингу серцевого ритму, програма, яка створена для виводу даних, є досить проста. Закінченість модуля AD8232 дозволяє використовувати (для програмування в середовищі Arduino IDE) стандартні команди. Також був створений і перевірений у роботі макет робототехнічної СМСР.

Були розраховані матеріальні витрати на створення макету робототехнічної СМСР. Для реалізації якого були використані: платформа NodeMCU v3 на базі МК ESP8266; ЕКГ модуль AD8232; електроди для прийому пульсу. Вартість реалізованого макету склала 368 грн.

Першим можливим напрямком покращенням апаратної складової системи моніторингу може бути розширення функціоналу шляхом підключення нових сенсорів таких, як датчик температури тіла, артеріального тиску, тощо.

Другим можливим напрямком покращенням програмної складової системи моніторингу серцевого ритму може бути збільшення функціоналу пристрою, шляхом додання можливостей для виміру артеріального тиску, температури тіла людини, попередження про порушення роботи серця або різкі зміни артеріального тиску, а також програмування з’єднання з ПК або мобільним телефоном бездротовим способом (Wi-Fi).

ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи була розробка та реалізація пристрою для системи моніторингу серцевого ритму людини на основі МК ESP8266 та програмного забезпечення до нього. Цей пристрій повинен бути простий у використанні та нешкідливий для здоров'я, мати низьку вартість компонентів, якщо зрівнювати його з іншими подібними аналогами.

У першому розділі було проаналізовано та розглянуто існуючі методи вимірювання серцевого ритму, досліджені та порівняні сучасні системи моніторингу здоров'я, сформовані вимоги для розробки пристрою, розглянуті сучасні мікроконтролери та проаналізована можливість створення робототехнічної системи моніторингу частоти серцевих скорочень людини на основі МК ESP8266.

У другому розділі було визначені етапи проєктування робототехнічних систем, складові робототехнічної системи, а саме апаратна та програмна частини. Проаналізовано та обґрунтовано вибір МК ESP8266 та інших периферійних пристроїв у складі системи моніторингу серцевого ритму. Розглянуто способи підключення та з'єднання із МК ESP8266, а також способи його програмування та роботи з ним. Проаналізовано середовище програмування Arduino IDE. Після вибору складових робототехнічної СМСР було розроблено структурну схему.

У третьому розділі була розроблена електрична функціональна схема робототехнічної СМСР, а також на її основі схема з'єднання МК із модулем AD8232. Було налаштоване середовище розробки Arduino IDE для роботи із МК ESP8266 та реалізоване програмне забезпечення для даної системи. Також проведений розрахунок витрат на компоненти розроблюваної системи. Проаналізовано різні можливі напрямки вдосконалення як апаратної, так і програмної складової даної робототехнічної СМСР.

У результаті був спроєктований та створений пристрій моніторингу серцевого ритму людини. Потенціал використання даного пристрою є досить

значний у різноманітних сферах людської діяльності. У медицині метою використання даного пристрою може бути відслідковування серцевого ритму під час фізичних навантажень, виявлення порушень роботи серця.

Розроблений прототип системи моніторингу серцевого ритму має основний базовий функціонал для комфортного використання і за найнижчою вартістю для виготовлення. Набір функцій та основні можливості можуть бути розширені у майбутньому, про що було описано у третьому розділі.

Отже, можна зробити висновок, що основну ціль кваліфікаційної роботи виконано. Отриманий результат повністю відповідає заданій меті, і у той же час, є досить значний потенціал для масштабування у різних напрямках.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Поморова О. В., Говорущенко Т. О. Проектування інтерфейсів користувача : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Хмельницький : ХНУ, 2011. 206 с.
2. Який пульс вважається нормальним для здоров’я. URL: https://kvitna.org/5791-yakij-puls-vvazhayetsya-normalnim-dlya-zdorovya.html (дата звернення: 10.03.2022)
3. Серцево-судинні захворювання – головна причина смерті українців. Центр громадського здоров'я МОЗ України. URL: https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya (дата звернення: 11.03.2022)
4. Серцево-судинні захворювання. Міністерство охорони здоров’я України. URL: https://moz.gov.ua/zdorovja-a-ja/sercevo-sudinni-zahvorjuvannja (дата звернення: 11.03.2022)
5. Серцеві хвороби в Україні. Укрінформ. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-culture/2565152-sercevi-hvorobi-v-ukraini-sodva-roki-vbivaut-naselenna-velikogo-mista-kardiohirurg.html (дата звернення: 11.03.2022)
6. Digital Health Market. Grandviewresearch.com URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-health-market (дата звернення: 17.03.2022)
7. Варіабельність серцевого ритму. Український медичний часопис. URL: https://www.umj.com.ua/article/503/variabelnost-serdechnogo-ritma-vozmozhnosti-primeneniya-v-fiziologii-i-klinicheskoj-medicine (дата звернення: 19.03.2022)
8. ECG vs PPG for Heart Rate Monitoring: Which is Best? URL: http://neurosky.com/2015/01/ecg-vs-ppg-for-heart-rate-monitoring-which-is-best/ (дата звернення: 22.03.2022)

9. Best ECG Monitors for Personal Use in 2022. URL: https://www.healthline.com/health/ecg-monitor#how-to-choose (дата звернення: 22.03.2022)
10. Best Fitness Trackers (2022). URL: https://www.wired.com/gallery/best-fitness-tracker/ (дата звернення: 22.03.2022)
11. Arduino для початківців. URL: http://www.electronica52.in.ua/proekty-arduino/arduino--chto-eto-takoe-populyarno-dlya-nachinaucshih (дата звернення: 24.03.2022)
12. Порівняння актуальних плат Arduino. Arduino.ua. URL: https://arduino.ua/index.php?comparison_products=1 (дата звернення: 24.03.2022)
13. About Arduino. Arduino. URL: https://www.arduino.cc/en/about (дата звернення: 24.03.2022)
14. ESP8266 Technical Reference. Espressif.com. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf (дата звернення: 24.03.2022)
15. ESP32-S Series. URL: https://www.espressif.com/en/products/socs (дата звернення: 24.03.2022)
16. ESP32 vs ESP8266 - Pros and Cons. URL: https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/ (дата звернення: 24.03.2022)
17. Проєктування технічних систем. URL: https://melimde.com/proektirovanie-tehnicheskih-sistem.html (дата звернення: 28.03.2022)
18. Проєктування засобів робототехніки. Модульне середовище для навчання ХНУ. URL: https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/373553/mod_resource/content/0/ ЛЕКЦІЯ 7. ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ РОБОТОТЕХНІКИ.pdf (дата звернення: 30.03.2022)
19. ДСТУ 2879-94 Маніпулятори, автооператори, роботи промислові та системи виробничі гнучкі. Терміни та визначення.

20. Види програмного забезпечення. URL: http://obrobka.pp.ua/3090-vidi-programnogo-zabezpechennya.html (дата звернення: 10.04.2022)
21. Електрокардіограма (ЕКГ). Родовід. Медицина для дорослих та дітей. URL: https://rodovid.center/ua/diagnostics/electrocardiogram (дата звернення: 18.04.2022)
22. Холтер ЕКГ. Добре серце. URL: http://holter.com.ua/patient/ (дата звернення: 18.04.2022)
23. Кардіографія. ЕКГ. Медичний центр Герц. URL: https://med-herz.kiev.ua/elektrokardiografiya-ekg/ (дата звернення: 18.04.2022)
24. Модуль AD8232 для ЕКГ. Arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod4139-modyl-ad8232-dlya-ekg (дата звернення: 25.04.2022)
25. Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266. Arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266 (дата звернення: 25.04.2022)
26. Знайомство з модулем ESP8266. URL: http://surl.li/brccb (дата звернення: 25.04.2022)
27. What Is Robot Software. URL: https://www.netinbag.com/en/internet/what-is-robot-software.html (дата звернення: 27.04.2022)
28. Arduino IDE vs Eclipse 2022 Comparison. URL: https://comparisons.financesonline.com/arduino-ide-vs-eclipse (дата звернення: 30.04.2022)
29. Правильне накладання електродів. URL: https://k-m-k.com.ua/wp-content/uploads/2019/03/EKG-pid-sylu-kozhnomu.pdf (дата звернення: 02.05.2022)
30. Arduino Software. Arduino URL: https://www.arduino.cc/en/software (дата звернення: 02.05.2022)

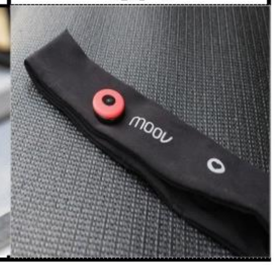
Додаток А

(обов’язковий)

Копія креслення «Аналіз сучасних СМСР»

КаРКІ. 180122.18.01.20

Характеристика	Xiaomi Mi Band 4	Samsung Galaxy Watch4	Fuse Crimson Mi(	Fitbit Inspire HR	Moov HR Burn Black
Тип	Наручний	Наручний	Наручний	Наручний	З нагрудним ременем
Передача сигналу	Бездротова	Бездротова	Бездротова	Бездротова	Бездротова
Технологія передачі	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart	ANT+, Bluetooth Smart
Водонепроникність	До 50 метрів	До 50 метрів	Більше 30 метрі	Захист від волог	Відштовхує воду
Місце виміру пульсу	На зап’ясті	На зап’ясті	На зап’ясті	На зап’ясті	На грудній кліти
Функції	Вимір пульсу, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, тиску, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, крокомір, аналіз сну, сповіщення, час, дата, будильник, секундомір	Вимір пульсу, калорій
Живлення	Акумулятор	Акумулятор	Акумулятор	Акумулятор	Батарейки
Вага	22 г	46 г	39 г	20 г	60 г



КаРКІ. 180122.18.01.20Е8

Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням ESP8266

Аналіз сучасних СМСР

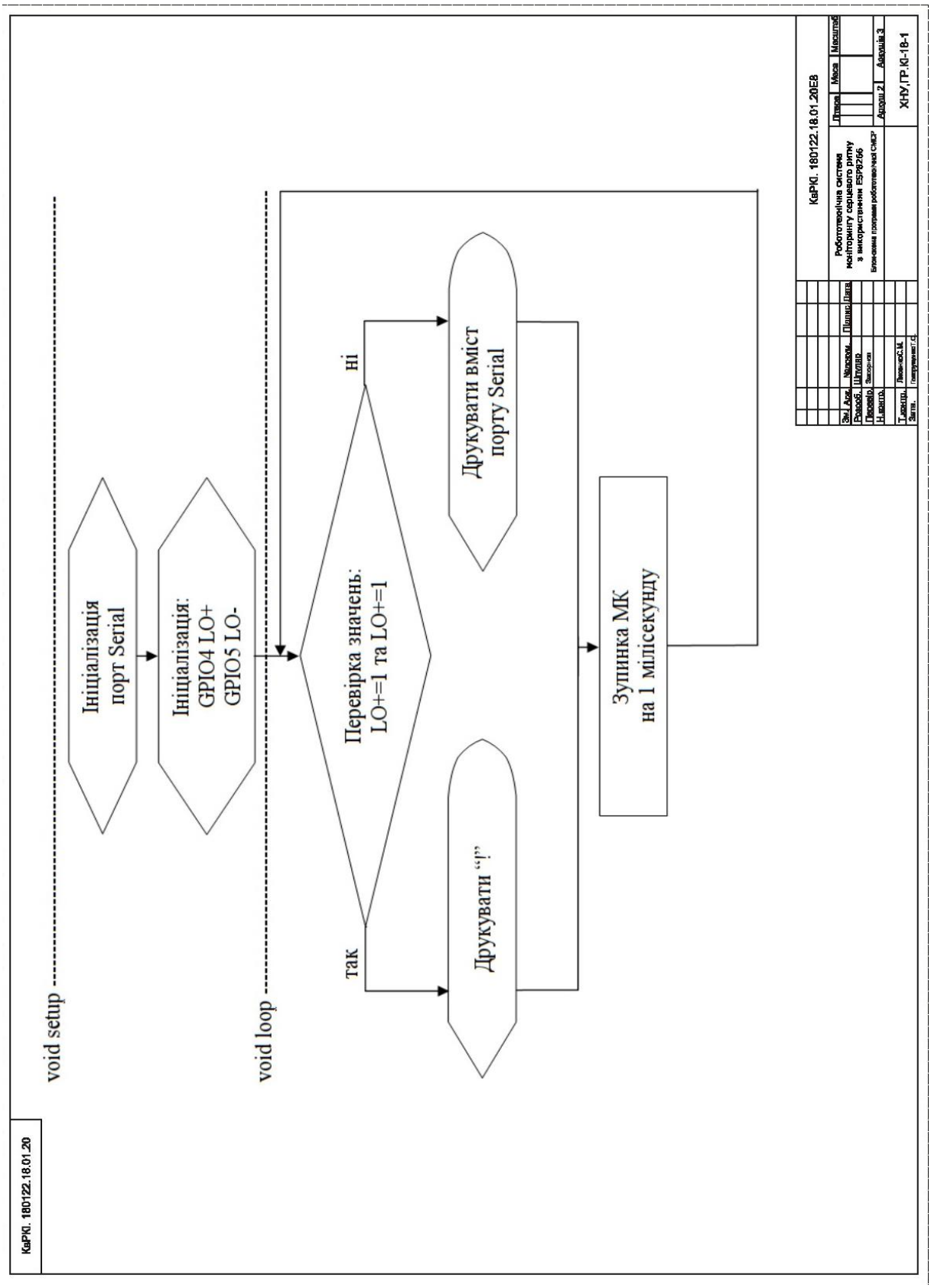
Аркуш 1 | Аркушів 3

ХНУ,ГР.КІ-18-1

Додаток Б

(обов’язковий)

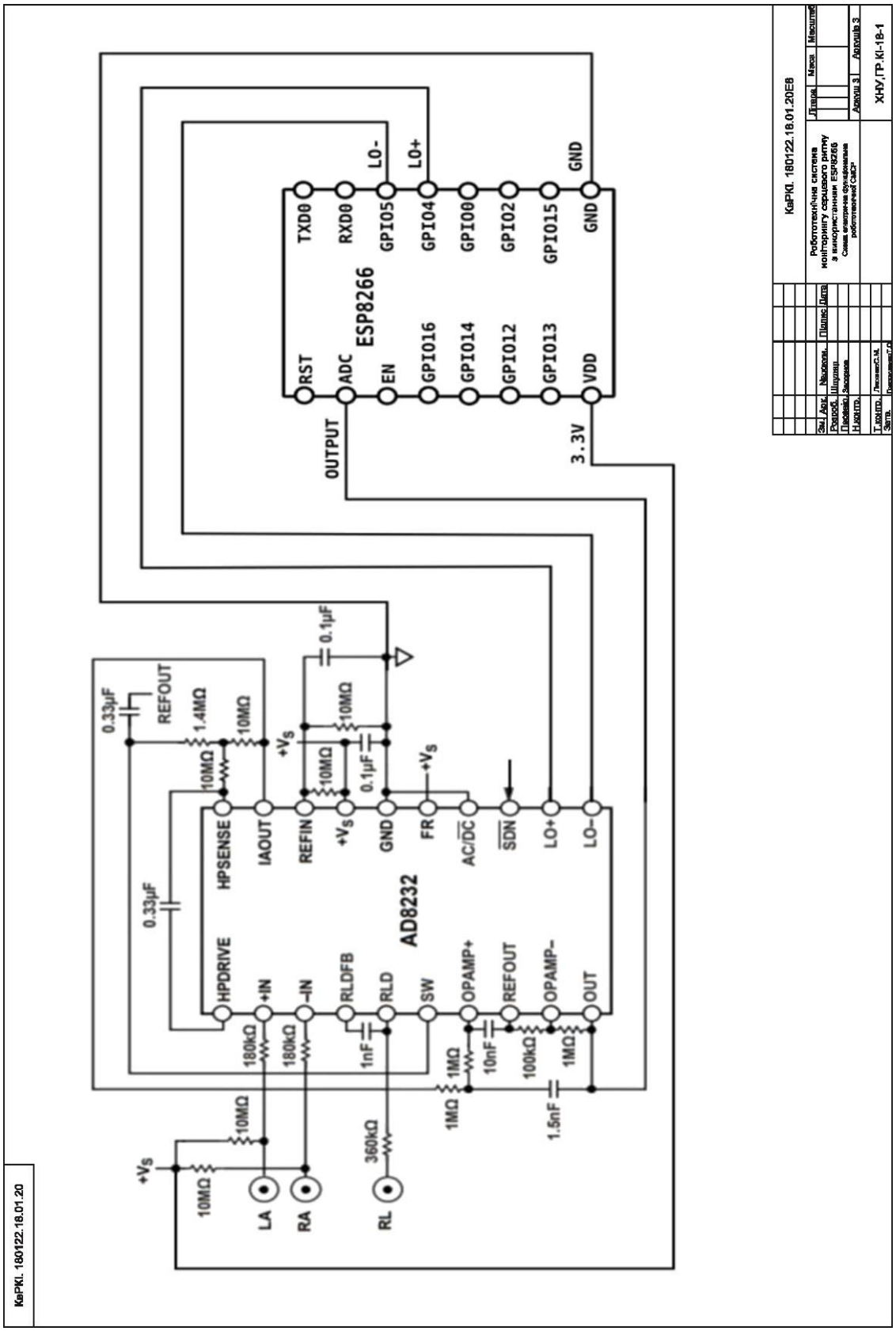
Копія креслення «Блок-схема програми робототехнічної СМСР»



Додаток В

(обов’язковий)

Копія креслення «Схема електрична функціональна робототехнічної СМСР»



Додаток Д

Програмний код робототехнічної системи

```
void setup() {
  // initialize the serial communication:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(10, INPUT); // Setup for leads off detection LO +
  pinMode(11, INPUT); // Setup for leads off detection LO -
}

void loop() {
  if((digitalRead(10) == 1)||(digitalRead(11) == 1)){
    Serial.println('!');
  }
  else{
    // send the value of analog input 0:
      Serial.println(analogRead(A0));
  }
  //Wait for a bit to keep serial data from saturating
  delay(1);
}
```

UNICHECK

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1011427345

Дата перевірки:
02.06.2022 10:58:49 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
02.06.2022 10:59:15 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: КІ-18-1_Шпуляр_Є_М_3Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанн...

Кількість сторінок: 65 Кількість слів: 10505 Кількість символів: 80736 Розмір файлу: 3.99 MB ID файлу: 1011307847

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

5.12%
Схожість

Найбільша схожість: 2.13% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1008308437)

1.87% Джерела з Інтернету	125	Сторінка 67
3.98% Джерела з Бібліотеки	170	Сторінка 67

0.3% Цитат

Цитати	2	Сторінка 68

Не знайдено жодних посилань

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Підозріле форматування	10 сторінок

Thu Jun 02 10:09:12 EEST 2022, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилок в документах: 12%**

	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
ID: 104367 Назва: Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266 Додано в БД: 2022-06-02 Автора: Є. М. Шпуляр Керівники: О. С. Засорнов Консультанти: Опоненти:	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	66040	591	1972 (3%)	28 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Шпуляр Євгенія Миколаївна

Тема: Робототехнічна система моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму з використанням мікроконтролера ESP8266

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовані та розглянуті існуючи методи вимірювання серцевого ритму, досліджені та порівняні сучасні системи моніторингу здоров'я, сформовані вимоги для розробки пристрою, розглянуті сучасні мікроконтролери (МК) та проаналізована можливість створення робототехнічної системи моніторингу серцевого ритму (СМСР) на основі МК ESP8266) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи було визначені етапи проєктування робототехнічних систем, та її складові. Проаналізовано та обґрунтовано вибір МК ESP8266 та інших периферійних пристроїв у складі СМСР. Розглянуто способи підключення та з'єднання із МК ESP8266, а також способи його програмування та роботи з ним. Здійснено вибір складових робототехнічної СМСР та розроблена структурна схема. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратну реалізацію була розроблена електрична функціональна схема робототехнічної СМСР, а також схема з'єднання МК із модулем AD8232. Було налаштоване середовище програмування

Arduino IDE запрограмовано МК ESP8266. Також проведений розрахунок витрат. Визначені напрямки вдосконалення апаратної, і програмної складової робототехнічної СМСР.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага приділена розгляду роботи робототехнічної СМСР бездротовим способом (Wi-Fi)

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно (4,75/A)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Мартинюк Валерій Володимирович, зав. каф. „Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій" д.т.н., проф.

"2" 06 2022 р. (підпис)

Завідувачу кафедри КІСП
д-ру техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Шпуляр Є. М.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 4 курсу, групи КІ-18-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2020

дата

підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Робототехнічна система моніторингу з використанням ESP8266

Автор: Шпуляр Євгенія Миколаївна

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Засорнов Олександр Сергійович, к.т.н., доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
3) окремі виявлені збіги є загальновживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозряних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості, складає 5,12%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи О. С. Засорнов

Гарант ОП С. М. Лисенко

Завідувач кафедри КІСП Т. О. Говорущенко